



# 23<sup>rd</sup> International Congress on Irrigation and Drainage

8-14 October 2017, Mexico City, Mexico

## Modernizing Irrigation and Drainage for a New Green Revolution

La Modernisation de l'irrigation et du Drainage pour  
une Nouvelle Révolution Verte



**Transactions**  
Question 60 and 61



ICID•CIID

INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE  
COMMISSION INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE



**ICID•CIID**

The International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), established in 1950 is the leading scientific, technical and not-for-profit Non-Governmental Organization (NGO). The Commission through its network of professionals spread across more than a hundred countries, has facilitated sharing of experiences and transfer of water management technology for over six decades. ICID supports capacity development, stimulates research and innovation and strives to promote policies and programs to enhance sustainable development of irrigated agriculture through a comprehensive water management framework.



## VISION

**Water secure World, free of poverty and hunger achieved through sustainable rural development.**

## MISSION

**To work together towards sustainable agriculture water management through inter-disciplinary approaches to economically viable, socially acceptable and environmentally sound irrigation, drainage and flood management.**



### Organizational Goals to realise the ICID Vision 2030

- |   |  |
|---|--|
| <b>A</b> Enable Higher Crop Productivity with Less Water and Energy   | <b>D</b> Enable Cross-Disciplinary and Inter-Sectoral Engagement                                       |
| <b>B</b> Be a Catalyst for a Change in Policies and Practices         | <b>E</b> Encourage Research and Support Development of Tools to Extend Innovation into Field Practices |
| <b>C</b> Facilitate Exchange of Information, Knowledge and Technology | <b>F</b> Facilitate Capacity Development   |

For more information on ICID Vision 2030, please access document on 'A Road Map to ICID Vision 2030' available on ICID website - [http://www.icid.org/icid\\_vision2030.pdf](http://www.icid.org/icid_vision2030.pdf)

# 23<sup>rd</sup> International Congress on Irrigation and Drainage

## 23<sup>rd</sup> Congres International des Irrigations et du Drainage

Mexico City, Mexico, 2017

### Theme / Thème du Congrès

**Modernizing Irrigation and Drainage for a New Green Revolution** / La modernisation de l'irrigation et du drainage pour une nouvelle révolution verte

**Question 60: Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus**

La productivité de l'eau : réexamen des concepts à la lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation

**Question 61: State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings**

État des connaissances dans les techniques d'irrigation et les aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés



**ICID•CIID**

**INTERNATIONAL COMMISSION ON IRRIGATION AND DRAINAGE (ICID)**  
COMMISSION INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE (CIID)

48 Nyaya Marg, Chanakyapuri, New Delhi 110021, India

Tel: 91-11-2611 5679, 91-11-2611 6837, 91-11-2467 9532, Fax: 91-11-2611 5962

E-mail: [icid@icid.org](mailto:icid@icid.org); Website: <http://www.icid.org>

ICID accepts no responsibility for the statements made, opinions expressed, maps included and accuracy of URLs for external or third-party Internet Web sites in these transactions

La CIID se degage de toute responsabilité pour les déclarations faites, les opinions formulées, les cartes reproduites et l'exactitude de l'URL des sites web externes ou tiers dans ces Actes

ICID Transaction No. 33

© International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), 2017

ISBN: 978-81-89610-24-1

Please use the following reference to the transaction:

ICID, 2017: Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution.

Transactions of the 23<sup>rd</sup> ICID Congress on Irrigation and Drainage – Abstract Volume:  
Question 60 and 61 418 pp.

# CONTENTS / TABLE DES MATIERES

<b>Foreword / Avant-Propos</b>	<b>5</b>
<b>Preface / Préface</b>	<b>9</b>
<b>Congress Theme / Thème du Congrès</b>	<b>13</b>
<b>Question 60: Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus / La productivité de l'eau : réexamen des concepts à la lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation – General Report / Rapport Général</b>	<b>19</b>
<b>Q.60.1: Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture / Les problèmes émergents et les enjeux de l'économie d'eau, y compris l'impact des transferts de l'eau hors de l'agriculture</b>	<b>67</b>
<b>Q.60.2: Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops / Compréhension de la productivité de l'eau, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie et l'empreinte hydrique des cultures</b>	<b>125</b>
<b>Q.60.3: Water security for growth and development / Sécurité de l'eau pour la croissance et le développement</b>	<b>197</b>
<b>Question 61: State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings / État des connaissances dans les techniques d'irrigation et les aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés – General Report / Rapport Général</b>	<b>243</b>
<b>Q.61.1: Adopting precision irrigation and improving surface irrigation to combat water scarcity / L'adoption de l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau</b>	<b>283</b>
<b>Q.61.2: Using ICT, remote sensing, control systems and modelling for improved performance of irrigation systems / Utilisation des TIC, télédétection, systèmes de contrôle, et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation</b>	<b>329</b>
<b>Q.61.3: Adaptability and affordability of new technologies under different socio-economic scenarios / Adaptabilité et accessibilité des nouvelles technologies selon divers scénarios socio-économiques</b>	<b>373</b>

<b>International Review Committee</b>	<b>407</b>
<b>International Panel of Experts / Co-chairs</b>	<b>408</b>
<b>International Reviewers</b>	<b>413</b>
<b>Author Index</b>	<b>414</b>



**Dr. Saeed Nairizi**  
President, ICID

## Foreword

It is widely acknowledged that in order to ensure food security for a burgeoning population, there is a need to embark on second green revolution. This time around, the green revolution should not only ensure food security but also enhance financial standing of farmers in many developing countries, which missed the bust first time around.

Under the new post-2015 sustainable development regime adopted by the UN General Assembly, the second green revolution will have to follow a different trajectory of food production, avoiding the pitfalls of the first green revolution such as over exploitation of water resources and intensive use of chemicals in food production. The second green revolution will have to be based on frugal use of water and zero tolerance on environmental degradation. It will have to depend on higher water and energy productivity, principles of better irrigation and drainage services, and appropriate harnessing of the new technologies.

To address the above concerns, the International Executive Council of ICID in its 65th IEC meeting in Gwangju, Republic of Korea decided to choose the main theme of the 23rd ICID Congress as 'Modernizing Irrigation and Drainage for a New Green Revolution'. The 23rd Congress together with the 68th International Executive Council (IEC) will be hosted by our Mexican National Committee of ICID (MXCID) from 8-14 October 2017 at Mexico City, Mexico.

During the 23rd ICID Congress, two questions would be addressed: Question 60 on "Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus"; and Question 61 on "State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings". The Congress also addresses an interesting mix of issues that are highly relevant today such as "Global Review of Institutional Reform in Irrigation Sector for Sustainable Agriculture Water Management, including WUA" (Symposium),

“Technologies for Reuse of Wastewater in Agriculture and its Impact on Health and Environment” (Special Session) and “Water Use in Food Value Chains: A Challenge for a New Green Revolution?” (International Seminar).

Water management is a critical input to crop water productivity. In the wet humid regions and low lying coastal regions, excess water must be removed by drainage systems to achieve crop production. These regions also suffer to some extent from dry periods each year and supplemental irrigation is required. In the drier and semi-arid regions, irrigation is vital for crop production and food security.

The triennial Congresses are the major events of ICID, among others, to discuss irrigation and drainage aspects that relate with crop production. Numerous congress themes and topics have been presented and discussed during the past 22 Congresses. I consider Questions 60 and 61 extremely important as we attempt to achieve the targets defined under Goal 2 and 6 of the Sustainable Development Goals.

During the Congress, papers will be presented and discuss various aspects of Question 60 and 61. The Congress transactions, would include a printed volume containing ‘Abstracts’ in English and French and a USB containing all full length papers and posters addressing Question 60 & 61 only. These transactions are a fine collection of technical papers which hopefully will be very useful to all delegates during the Congress and many others who may refer to it in future.

Yours truly,



**Dr. Saeed Nairizi**  
President, ICID





**Dr. Saeed Nairizi**  
President, ICID

## Avant-Propos

Il est largement reconnu que, pour assurer la sécurité alimentaire d'une population croissante, il est nécessaire de s'engager dans une deuxième révolution verte. Cette fois-ci, la révolution verte devrait non seulement assurer la sécurité alimentaire, mais aussi améliorer la situation financière des agriculteurs dans les nombreux pays en voie de développement qui ont loupé le coche la première fois.

En vertu du nouveau régime de développement durable post-2015 adopté par l'Assemblée générale des Nations Unies, la deuxième révolution doit suivre une trajectoire différente pour la production alimentaire, en évitant les pièges de la première révolution verte, comme la surexploitation des ressources en eau et l'utilisation intensive de produits chimiques dans la production alimentaire. La deuxième révolution verte devra être basée sur l'utilisation parcimonieuse de l'eau et la tolérance zéro pour la dégradation environnementale. Il devrait s'appuyer sur l'augmentation de la productivité de l'eau et de l'énergie, des principes d'une meilleure irrigation et services de drainage, et l'exploitation appropriée de nouvelles technologies.

Pour répondre aux préoccupations mentionnées ci-dessus, le Conseil exécutif international de la CIID lors de sa 65e réunion de la CEI à Gwangju, République de Corée, a décidé de choisir comme thème principal du 23e Congrès de la CIID "La modernisation de l'irrigation et du drainage pour une nouvelle révolution verte". Le 23e Congrès avec le 68e Conseil exécutif international (CEI) sera accueilli par notre Comité national mexicain de la CIID (MXCID) du 8 au 14 octobre 2017 à Mexico, au Mexique.

Au cours du 23e Congrès de la CIID, deux questions seront abordées: La Question 60 sur "La productivité de l'eau : Réexamen des concepts à la lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation"; et la Question 61 : "État des connaissances sur les techniques d'irrigation et aspects pratiques dans des contextes

socio-économiques donnés”. Le Congrès abordera également un mélange intéressant de questions qui sont très pertinentes aujourd’hui, telles que “L’examen global de la réforme institutionnelle dans le secteur de l’irrigation pour la gestion durable de l’eau pour l’agriculture, y compris les AUE” (Symposium), “Technologies pour la réutilisation des eaux usées dans l’agriculture et son impact sur la santé et l’environnement” (Session extraordinaire) et “L’utilisation de l’eau dans les chaînes de valeur alimentaire : un défi pour une nouvelle révolution verte” (Séminaire international).

La gestion de l’eau est un intrant essentiel de la productivité de l’eau pour les cultures. Dans les régions pluvieuses et humides et dans les régions côtières de faible altitude, il est nécessaire d’éliminer l’excès d’eau par les systèmes de drainage pour assurer la production agricole. Ces régions souffrent également dans une certaine mesure des périodes de sécheresse chaque année où une irrigation supplémentaire est nécessaire. Dans les régions sèches et semi-arides, l’irrigation est indispensable pour la production agricole et la sécurité alimentaire.

Les congrès triennaux sont les événements majeurs de la CIID, pour discuter, entre autres, les aspects d’irrigation et de drainage liés à la production agricole. De nombreux thèmes et sujets ont été présentés et discutés lors des congrès au cours des 22 dernières éditions. Je pense que les questions 60 et 61 sont extrêmement importantes en vue de réaliser les objectifs définis dans l’Objectif 2 et 6 des Objectifs de développement durable.

Au cours de ce congrès, des exposés seront présentés et les divers aspects de la Question 60 et 61 seront discutés. Un dossier imprimé contenant les “résumés” en anglais et en français et une clé USB contenant les versions complètes des exposés et affiches portant uniquement sur les questions 60 et 61 seront mis à disposition. Ces exposés sont une excellente compilation de documents techniques qui, espérons-le, seront très utiles à tous les délégués pendant le Congrès et à beaucoup d’autres qui pourraient s’y référer à l’avenir.

Sincèrement,



**Dr. Saeed Nairizi**  
Président, CIID



**Avinash C. Tyagi**  
Secretary General, ICID

## Preface

International Congresses on Irrigation and Drainage organized by ICID triennially, focus on themes related to agriculture water management that address issues of global concern. Given the pivotal role played by irrigation and drainage in the first green revolution that thwarted the specter of hunger and famine to a large extent, and the limitations that it faced in bringing a holistic and sustainable development, it is time that we take a closer look at the irrigation and drainage systems and the services provided by them. In order to provide a dynamic response, the 23rd International Congress addresses the theme: “Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution”.

For a better comprehension of the issues involved in the theme, solutions to the emerging challenges are being sought by exploring two questions in depth. They are: Question 60 - “Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus” and Question 61: “State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings”. It is important that in a changing world where the decisions are being made in consultation with all stakeholders, these technically loaded terms are understood by all. In order to improve irrigation services through modernization of irrigation and drainage systems there is a need to revisit the water productivity, water saving and water security concepts through the prism of water-food-energy interlinkages. The questions, therefore drill down various issues like water savings, water productivity and security, precision irrigation, using ICT and adaptability and affordability of new technologies etc.

Increasing food production with diminishing water supplies and a changing climate requires innovative measures and new technologies for better agriculture water management. Several response papers for the Congress Questions aim to bring out impressive accomplishments in the recent past. Affordable innovations tailored to local conditions and adaptable by even resource-poor farmers have emerged.

Responses to ICID Congress Questions are usually substantial. A reasonable number of abstracts (276) have been received from authors working in about 53 countries around the world. The General Reporters and the Panel Experts/Co-Chairs were selected by the International Technical Advisory Committee under the Chairmanship of VPH Felix Reinders. Together with the Panel Experts and reviewers under each sub-question, International Review Committee undertook the arduous task of selection of papers most relevant to the theme and directly responding to the questions and invited authors of 208 abstract found relevant to the themes of the Congress and addressing the questions, to submit full papers. After technical scrutiny, eventually about 154 full length papers have been received. Mexico being the host country, highest number of papers (40) have been received from Mexico followed by China (18) and Indonesia/India (10 each).

This pre-congress proceeding in your hand contains all the 'abstracts' of accepted papers together with its French translation and their full text published in a USB. The volume also contains the General Reports on Question 60 and 61.

My profuse thanks are due once again to each member of the International Review Committee for reviewing the abstracts/papers. My special thanks are also due to General Reporters and Panel Experts/Co-Chairs who synthesized the contributions from authors into valuable reports. Last but not the least, special thanks to Dr. A.K. Bhattacharya, an external expert engaged to review the Congress papers and my colleagues in the Central Office lead by Dr. Vijay K. Labhsetwar, Director, Mr. Madhu Mohanan, Communication Officer and Mr. Keshav Dev Tanwar, IT Assistant and other supporting staff for their dedication in bringing this volume and USB on time.



**Avinash C. Tyagi**  
Secretary General, ICID



**Avinash C. Tyagi**  
Secretary General, ICID

## Préface

Les Congrès internationaux sur l'irrigation et le drainage organisés triennalement par le CIID, mettent l'accent sur les thèmes liés à la gestion de l'eau agricole et qui abordent les problèmes d'intérêt mondial. Compte tenu du rôle central joué par l'irrigation et le drainage dans la première révolution verte qui a éloigné le spectre de la faim et de la famine dans une large mesure et les contraintes auxquelles il a dû faire face pour un développement holistique et durable, il est temps que nous examinons de plus près les systèmes d'irrigation et de drainage et les services qu'ils rendent. Afin de fournir une réponse dynamique, le 23e Congrès international aborde le thème : « La modernisation de l'irrigation et du drainage pour une nouvelle révolution verte ».

Pour une meilleure compréhension des problèmes liés à ce sujet, des solutions aux nouveaux défis sont recherchées en explorant deux questions en profondeur. Ils sont : Question 60 : « La productivité de l'eau : Réexamen des concepts à la lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation », et la Question 61 : « État des connaissances dans les techniques d'irrigation et les aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés ». Il est important que, dans un monde en évolution où les décisions sont prises en consultation avec toutes les parties prenantes, ces termes techniquement chargés soient compris par tous. Afin d'améliorer les services d'irrigation par la modernisation des systèmes d'irrigation et du drainage, il est nécessaire de revoir les concepts de la productivité de l'eau, les économies d'eau, et la sécurité hydrique à travers le prisme de l'interrelation eau-alimentation-énergie. Les interrogations, par conséquent, analysent en profondeur les diverses questions comme les économies d'eau, la productivité et la sécurité de l'eau, l'irrigation de précision, l'utilisation des TIC et l'adaptabilité et l'accessibilité des nouvelles technologies, etc.

L'augmentation de la production alimentaire, face à une diminution de l'approvisionnement en eau et aux changements climatiques, nécessite des mesures novatrices et de nouvelles technologies

pour une meilleure gestion de l'eau agricole. Plusieurs exposés en réponse à des Questions du Congrès visent à mettre en lumière les accomplissements impressionnants du passé récent. Des innovations abordables adaptées aux conditions locales et applicables par les agriculteurs aux ressources limitées ont vu le jour.

Les réponses reçues aux questions posées par le Congrès CIID sont généralement considérables. Un certain nombre de résumés (276) ont été reçus d'auteurs qui travaillent dans plus de 53 pays à travers le monde. Des Rapporteurs Généraux et les Experts du panel / Coprésidents ont été sélectionnés par le Comité consultatif technique international sous la présidence du VPH Felix Reinders. En collaboration avec les spécialistes du groupe d'experts et l'examineur de chaque sous-question, le Comité international d'examen a entrepris la tâche ardue de sélectionner des exposés les plus pertinents par rapport au thème et qui ont répondu directement aux questions, et a invité les auteurs des 208 résumés pertinentes de présenter leurs exposés complets. Après un examen technique, finalement, environ 154 documents complets ont été retenus. Le plus grand nombre d'exposés (40) ont été reçus du Mexique, le pays hôte, suivis de la Chine (18), l'Indonésie et l'Inde (10 chacun).

Le dossier pré-congrès que vous avez entre vos mains contient tous les « résumés » des exposés acceptés, accompagnés de leurs traductions en français et également les textes intégraux enregistrés sur une clé USB. Le dossier contient également les Rapports généraux sur les Questions 60 et 61.

Je remercie de tout cœur tous les membres du Comité international d'examen d'avoir étudié les résumés / exposés. Je remercie également les rapporteurs généraux et les experts du panel / coprésidents qui ont synthétisé les contributions des auteurs dans des rapports précieux. Enfin, je remercie tout particulièrement le Dr A.K. Bhattacharya, l'expert externe chargé d'examiner les documents du Congrès et mes collègues du Bureau central dirigé par le Dr Vijay K. Labhsetwar, Directeur; M. Madhu Mohanan, responsable des communications, et M. Keshav Dev Tanwar, Assistant informatique, et les autres membres du personnel de soutien pour leur dévouement et pour avoir réussi à sortir ce dossier et l'enregistrement USB à temps.



**Avinash C. Tyagi**  
Secrétaire Général, CIID

## Congress Theme: Modernizing Irrigation and Drainage for a New Green Revolution

The worldwide population is expected to rise to 9.6 billion by 2050. In order to feed this growing population agricultural production will need to keep pace and increased by 60 percent (and nearly by 100 percent in developing countries) over the 2005-2007 base. Another Green Revolution is therefore called for. However, this time around the green revolution would have to be integrated and more inclusive in terms of optimal use of resources, both land and water; reducing the risks of climate variability and change by provision of equitable and reliable irrigation services thereby enhancing agriculture productivity and preserving the ecosystem. It is estimated that 85 percent of projected food demand in 2050 could be met by bridging the gap between the actual and potential yield of both rain-fed as well as irrigated agriculture.

Under these challenging requirements, irrigated agriculture faces a number of challenges. Low efficiency of irrigation systems, rapid growth of demand for water from other sectors such as urban, industrial and energy sectors are just a couple of major concerns. Efforts to ensure sustainable agriculture water management would require improving performance of irrigation systems through modernisation and revitalisation; adoption of modern technology and improved irrigation techniques leading to water saving to satisfy needs of other competing sectors or expansion of irrigation; conservation, recycle and reuse of water and so on. While doing so the consumption of energy, which is one of the crucial inputs, has to be factored in order to ensure more income per drop of water to the farmers.

Theme of 23rd Congress “Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution” is expected to address these issues in the form of two questions.

### **QUESTION 60: Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus**

Energy drives the processes involved in food production - to pump water from groundwater or surface water sources, to power tractors and irrigation machinery, and to process and transport agricultural goods. Increasing food production by 60 percent will require an increase in energy consumption in agriculture by 84 percent. Policies in energy and water sector influence each other and food production. Energy subsidies play a significant role in low irrigation inefficiencies. The advent of liquid biofuels as a source of fuel for transport added a new and complex dimension to the water–energy–land and therefore food nexus. Thus, water, energy and food are inextricably linked. The subsidized treatment for the growth of biofuels to gain greater security for energy for transport is at the cost of water for food. The critical link of bio-fuels with water security is ultimately whether growing crops for fuel competes for limited water and land with growing food for human consumption.

Water productivity which in simplistic terms is referred to as ‘crop production’ per unit ‘amount of water used’ focuses on ‘producing more food with the same amount of water resources’ or ‘producing the same amount of food with less water resources’. Water productivity gains in agriculture can secure water resources for other uses including for ecosystem services. Integrated land and water management at the watershed scale is key to improving the water productivity and enabling sustainable water resource management. Targeted policy actions are needed to support this. Since water-energy-food nexus affects agriculture water productivity, there is need to revisit the concept of water productivity in its entirety.

While modernising large irrigation systems, lining of canal forms a major component with the objective to save water that is lost between the source and the field. However, it is often argued that such an approach does not actually save water as the water that seeps through the canal finds its way to the groundwater and is ultimately available for use further downstream. The

argument needs to be passed through the energy lens to present a more comprehensive picture.

Various water saving measures such as improved water management, effective real-time operation of water released, soil conservation and aquifer recharge, conjunctive use of surface and groundwater and recycling of used water have repercussions on the energy consumption and the economic viability of the measure. Therefore, in order to improve irrigation services through modernization of irrigation and drainage systems there is need to revisit the water productivity, water saving and water security concepts through the prism of water-food-energy interlinkages and identify associated challenges explore opportunities.

- Q. 60.1** Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture
- Q. 60.2** Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops
- Q. 60.3** Water security for growth and development

### **QUESTION 61: State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings**

Irrigation systems are often designed to maximize efficiencies and minimize labour and capital requirements. While investing in modernization of irrigation system questions that will address the issue of increased productivity revolve around when to irrigate, how much to apply, and can the efficiency be improved. The degree of automation considered, depends on various technical, social and economic factors which need to be considered. Options for design of irrigation systems undergoing modernization are influenced by the extent of information that one can have at his disposal, its interpretation and reaching out at the optimal solutions.

Technology plays an important role in all types of water applications that are in use at present such as flood and furrow irrigation, micro irrigation system (drip and sprinkler) both pressurised and non-pressurised presenting a number of option. Precision irrigation presents a great potential as only the water that is required for evapotranspiration and used by the plant for gainful purposes, at a time and in quantity that is optimal for its growth can be applied. It is based on monitoring the health parameters of the plant and the field soil moisture condition and its topographical variations.

It is essential to adopt a cost effective and efficient irrigation application technique suited to a particular situation through the use of technology. However, while deciding the use of technologies, factors like type of crops, topography, agro-climatic zones; and the socio-economic aspects and cost effectiveness etc have to be taken into account. While selecting appropriate technologies based on the prevalent socio-economic conditions, considerations must be given on its affordability and adaptability.

- Q. 61.1** Adopting precision irrigation and improving surface irrigation to combat water scarcity
- Q. 61.2** Using ICT, remote sensing, control systems and modelling for improved performance of irrigation systems
- Q. 61.3** Adaptability and affordability of new technologies under different socio-economic scenarios



# Thème du Congrès: La Modernisation de L'irrigation et du Drainage pour une Nouvelle Révolution Verte

La population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards d'ici 2050. Pour nourrir cette population croissante, la production agricole doit évoluer au même rythme et augmenter de 60 % (et près de 100 % dans les pays en voie de développement) par rapport à l'année de base 2005-2007. Une nouvelle révolution verte est donc indispensable. Cependant, cette fois-ci, la révolution verte devrait être intégrée et plus inclusive en ce qui concerne l'utilisation optimale des ressources, des terres comme de l'eau; réduisant les risques liés aux variabilités et changements dans les conditions climatiques en procurant des services d'irrigation équitables et fiables, améliorant ainsi la productivité agricole et préservant l'écosystème. On estime que 85 pour cent de la demande alimentaire prévue pour 2050 pourrait être satisfaite en comblant l'écart entre le rendement réel et potentiel de l'agriculture pluviale tout comme l'agriculture irriguée.

Dans ce contexte difficile, l'agriculture irriguée fait face à un certain nombre de défis. L'efficacité médiocre des systèmes d'irrigation, la croissance rapide de la demande en eau d'autres domaines tels que les secteurs urbains, industriels et énergétiques ne sont que quelques-unes des préoccupations majeures. Les efforts visant à assurer une gestion durable de l'eau à usage agricole nécessiteraient une amélioration des performances des systèmes d'irrigation par la modernisation et la revitalisation; l'adoption de la technologie moderne et des techniques d'irrigation améliorées engendra des économies d'eau pour satisfaire les besoins d'autres secteurs concurrents ou pour le développement de l'irrigation, la conservation, le recyclage et la réutilisation de l'eau, etc. Ce faisant, la consommation d'énergie, qui est l'un des intrants essentiels, doit être prise en compte afin d'assurer plus de revenus par goutte d'eau aux agriculteurs.

Le thème du 23e Congrès, « Modernisation de l'irrigation et du drainage pour une nouvelle révolution verte » devrait aborder ces problèmes sous la forme de deux questions :

## **QUESTION 60: La productivité de l'eau : réexamen des concepts à la lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation**

L'énergie est le moteur des processus qui interviennent dans la production alimentaire - pour pomper de l'eau provenant des eaux souterraines ou des sources d'eau de surface, pour alimenter les tracteurs et les équipements d'irrigation, et pour traiter et transporter les produits agricoles. Une hausse de la production alimentaire de 60 pour cent nécessitera une augmentation de 84 pour cent de la consommation énergétique dans l'agriculture. Les politiques dans les secteurs de l'énergie et de l'eau s'influencent mutuellement et ont une incidence sur la production alimentaire. Les subventions en matière d'énergie jouent un rôle significatif dans les faibles niveaux d'efficacité de l'irrigation. L'apparition de biocarburants liquides en tant que source de carburant pour le transport a ajouté une dimension nouvelle et complexe au lien eau-énergie-terre, et donc à l'alimentation. Ainsi, l'eau, l'énergie et les aliments sont inextricablement liés. Les traitements subventionnés pour accroître la part des biocarburants pour obtenir une plus grande sécurité énergétique des transports sont au prix de l'eau pour la nourriture. Le lien crucial entre les biocarburants et la sécurité de l'eau est finalement de savoir si les cultures pour le carburant sont en concurrence pour l'eau et les terres limitées pour cultiver les aliments pour la consommation humaine.

La productivité de l'eau qui, en termes simplistes, est appelée « production agricole », la « quantité d'eau utilisée » par unité, vise la « production de plus de nourriture avec la même quantité de ressources en eau » ou « production de la même quantité de nourriture avec moins de ressources en eau ». Les gains de la productivité de l'eau dans l'agriculture peuvent garantir

des ressources en eau pour d'autres utilisations, y compris pour les services écosystémiques. La gestion intégrée des terres et des eaux à l'échelle des bassins hydrographiques est essentielle pour améliorer la productivité de l'eau et permettre une gestion durable de l'eau. Des mesures politiques ciblées sont nécessaires pour le soutenir. Étant donné que le lien eau-énergie-alimentation affecte la productivité de l'eau agricole, il est nécessaire de revoir la notion de la productivité de l'eau dans son intégralité.

Lors de la modernisation des grands systèmes d'irrigation, le revêtement des canaux est un élément majeur pour éviter la déperdition d'eau entre la source et le champ. Cependant, on prétend souvent qu'une telle approche n'économise pas vraiment l'eau, car l'eau qui s'infiltre à travers le canal trouve son chemin vers les eaux souterraines et est finalement disponible pour utilisation plus en aval. Cet argument devrait être regardé du point de vue de l'énergie pour présenter une image plus complète.

Diverses mesures d'économie d'eau telles que l'amélioration de la gestion de l'eau, la gestion efficace et en temps réel des eaux déversées, la conservation des sols et la recharge des aquifères, l'utilisation conjointe des eaux de surface et des eaux souterraines et le recyclage des eaux usées ont des répercussions sur la consommation d'énergie et la viabilité économique de ces mesures. Par conséquent, afin d'améliorer les services d'irrigation grâce à la modernisation des systèmes d'irrigation et de drainage, il est nécessaire de revoir les concepts de la productivité de l'eau, l'économie et la sécurité de l'eau à travers le prisme de l'interdépendance eau-alimentation-énergie et d'identifier les défis afférents pour explorer les opportunités.

- Q. 60.1** Les problèmes émergents et les enjeux de l'économie d'eau, y compris l'impact des transferts de l'eau hors de l'agriculture
- Q. 60.2** Compréhension de la productivité de l'eau, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie et l'empreinte hydrique des cultures
- Q. 60.3** Sécurité de l'eau pour la croissance et le développement

### **QUESTION 61: État des connaissances dans les techniques d'irrigation et les aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés**

Les systèmes d'irrigation sont souvent conçus pour maximiser l'efficacité et minimiser les besoins en main-d'œuvre et en capital. Lors des investissements dans la modernisation des systèmes d'irrigation, les interrogations relatives à la question de l'augmentation de la productivité tournent autour de l'irrigation, quand faut-il irriguer, combien doit-on irriguer, et peut-on améliorer l'efficacité. Le niveau d'automatisation considéré dépendra de divers facteurs techniques, sociaux et économiques qui doivent être pris en considération. Les options pour la conception des systèmes d'irrigation en cours de modernisation sont influencées par l'étendue des informations dont on dispose, son interprétation et la recherche des solutions optimales.

La technologie joue un rôle important dans tous les types d'applications d'eau actuellement utilisées, telles que l'irrigation par inondation et par sillon, le système de micro-irrigation (goutte à goutte et aspersion) pressurisé ou non pressurisé, qui présentent plusieurs options. L'irrigation de précision offre de grandes possibilités, car seule l'eau requise pour l'évapotranspiration et utilisée avantageusement par la plante, à l'heure et en quantité optimale pour sa croissance, devrait être appliquée. Il est basé sur le suivi des paramètres de santé de la plante et l'état de l'humidité du sol et ses variations topographiques.

Il est essentiel d'adopter une technique d'application d'irrigation rentable et efficace adaptée à une situation spécifique grâce à l'utilisation de la technologie. Toutefois, il est nécessaire de prendre en compte certains facteurs comme le type de culture, la topographie, la zone agroclimatique, les aspects socio-économiques, la rentabilité, etc. lorsqu'on décide de faire appel à la technologie. En sélectionnant des technologies appropriées basées sur les conditions socio-économiques existantes, il faut également prendre en compte l'accessibilité et l'adaptabilité.

- Q. 61.1** L'adoption de l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau
- Q. 61.2** Utilisation des TIC, télédétection, systèmes de contrôle, et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation
- Q. 61.3** Adaptabilité et accessibilité des nouvelles technologies selon divers scénarios socio-économiques





**Question 60**  
**Water Productivity: Revisiting the concepts in  
light of water, energy and food nexus**

La productivité de l'eau: réexamen des concepts à la  
lumière du lien entre l'eau, l'énergie et l'alimentation

**General Reporter / Rapporteur Général**

**Prof. Abdelhafid DEBBARH**  
Vice President, ICID (Morocco)

**Panel of Experts and Co-Chairs / Experts du Panel**

Mr. Mehrzad Ehsani (Iran)  
Dr. Raquel Salazar Moreno (Mexico)  
Mr. Ian Makin (UK)  
Dr. Mauricio Carrillo García (Mexico)  
Dr. Gao Zhanyi (China)  
Dr. Jesús Chavez Morales (Mexico)



# Question 60:

## Water Productivity: Revisiting the Concepts in Light of Water, Energy and Food Nexus

### GENERAL REPORT

Prof. Abdelhafid DEBBARH (Morocco)<sup>1</sup>

*General Reporter*

#### Introduction

Policies in energy and water sector influence each other and food production. Water, energy and food are inextricably linked. Water productivity gains in agriculture can secure water resources for other uses including for ecosystem services, which is often ignored in countries and regions with high demand and low production. Since water-energy-food nexus affects water productivity in agriculture, there is need to revisit the concept of water productivity in its entirety.

Various water saving measures such as improved water management, effective real-time operation of water released, soil conservation and aquifer recharge, conjunctive use of surface and groundwater and recycling of used water have repercussions on the energy consumption and the economic viability of the measure. Therefore, in order to improve irrigation services through modernization of irrigation and drainage systems there is need to revisit the water productivity, water saving and water security concepts through the prism of water-food-energy interlinkages, identify associated challenges and explore opportunities. The Question 60 is titled: "Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus" and these issues are treated in the form of the sub-questions of the Question 60.

The present general report gives the summary of the issues that have been presented by the papers within the theme of Question 60 dealing with "water productivity: revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus".

Increasing food production by 60 percent will require an increase in energy consumption in agriculture by 84 percent. Policies in energy and water sector influence each other and food production. The advent of liquid biofuels as a source of fuel for transport added a new and complex dimension to the water–energy–land and therefore food nexus. Thus, water, energy and food are inextricably linked. The subsidized treatment for the growth of biofuels to gain greater security for energy for transport is at the cost of water for food. The critical link of bio-fuels with water security is ultimately whether growing crops for fuel competes for limited water and land with growing food for human consumption.

Water productivity which in simplistic terms is referred to as 'crop production' per unit 'amount of water used' focuses on 'producing more food with the same amount of water resources' or 'producing the same amount of food with less water resources'. Water productivity gains in agriculture can secure water resources for other uses including for ecosystem services. Integrated land and water management at the watershed scale is key to improving the water productivity and enabling sustainable water resource management. Since water-energy-food nexus affects agriculture water productivity, there is need to revisit the concept of water productivity in its entirety.

While modernizing large irrigation systems, lining of canal forms a major component with the objective to save water that is lost between the source and the field. However, it is often argued

---

<sup>1</sup> Vice President, ICID, Professor of Higher Education, 2, Rue Haroun Errachid, Agdal, Rabat, Morocco, E-mail:abdelhafid.debbarh@gmail.com; anafid.ma@gmail.com

that such an approach does not actually save water as the water that seeps through the canal finds its way to the groundwater and is ultimately available for use further downstream. The argument needs to be passed through the energy lens to present a more comprehensive picture.

Various water saving measures such as improved water management, effective real-time operation of water released, soil conservation and aquifer recharge, conjunctive use of surface and groundwater and recycling of used water have repercussions on the energy consumption and the economic viability of the measure. Therefore, in order to improve irrigation services through modernization of irrigation and drainage systems there is need to revisit the water productivity, water saving and water security concepts through the prism of water-food-energy interlinkages and identify associated challenges explore opportunities.

In view of the above, the issues that address Question 60 are treated under the following three sub themes:

- Q. 60.1:** Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture
- Q. 60.2:** Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops
- Q. 60.3:** Water security for growth and development

### **Question 60.1<sup>2</sup>: Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture**

This question has been addressed in 30 papers from 16 countries of Australia, China, Egypt, Finland, Germany, India, Indonesia, Japan, Korea, Mexico, Pakistan, Russia, South Africa, Sri Lanka, Taiwan, and Turkey. The authors sought to examine and analyse different water saving challenges and shared their experience gained through fieldwork, laboratory research, and theoretical studies.

In general, the water saving measures in the agricultural sector can be categorized as technology and techniques, policies and management. Accordingly, the review of the papers has been arranged under these three above-mentioned themes.

#### **Investing in improving Irrigation Techniques and Technology**

Use of any type of irrigation technology requires compliance with the necessary principles, guidelines, and regulations; otherwise, such technology won't contribute to the effective management of irrigation water. Weather and soil conditions, water resources, labor, machinery, energy, indigenous knowledge, product type, and most importantly, the reasons for the use of advanced technology will determine how these principles are going to be applied in different regions.

One of the reasons for the use of technology in irrigation systems is to prevent water losses and improve irrigation efficiency both at the farms and irrigation schemes levels, and consequently, help saving agricultural water. From the point of view of water balance in the basin, part of the irrigation losses (or non-consumptive use) is considered as recoverable flows (or beneficial) at the river basin level. Therefore, improvement of irrigation technologies

<sup>2</sup> With inputs from Mr. Mehrzad Ehsani (Iran) and Dr. Raquel Salazar Moreno (Mexico)



will not have a significant impact on water saving at this basin level. However, for farmers, irrigation technology can truly save water at their farm level and induce their 'productivity and crop yield'.

Irrigation technologies can increase farmers' management powers at their farms and reduce the required labor, energy, and irrigation management costs. Nevertheless, technology transfer is not the only important point being emphasized in the attempts aimed at improving productivity and enhancing water use efficiency. Henceforth, capacity-building programs for farmers and their workforce should also be given enough importance.

### *General overview of papers*

Researchers in Andhra Pradesh, India, measured the water releases during the cropping season and used them to estimate water productivity from surface irrigation. The project estimated water productivity from groundwater irrigation as well, using data collected through participatory groundwater management. The main conclusions of the work are: (1) water productivity may be estimated in sample cases, as its application across all tanks of the project is infeasible, but can be improved through satellite and ICT tools. (2) Water use sources (canals) at the individual farm level needs to be supplemented from groundwater, which requires enhanced participatory efforts by farmers apart from technological improvements with sensors and ICT tools. (Yoshida and Muddu, 2017: R.60.1.14<sup>3</sup>)

A paper from China introduces a water-limited vegetation growth simulation model comprising a development stage module, a carbon cycle module and a water cycle module. His paper verifies the lengths of plants during growing period, the dry matter, and the variation in crop yields. The growth simulation model was used to simulate the developmental stage, mass of dry matter and crop yields in Tuhai River Basin and Majia River Basin of China, showing an ideal result close to reality. (Liu Jiangang et al., 2017)

Currently, the Mexican Water Commission (CONAGUA) classifies as overexploited 106 out of 653 aquifers. The Volumetric Extraction Information System for Aquifers (SIEVA), developed by the Mexican Institute of Water Technology (IMTA) allows accessing the estimated information of the extracted, allocated and recharged volume from the country's aquifers. However, there are many challenges in using the energy index to monitor extractions, which emphasize the need to continue searching for schemes of measurement and control of the extractions, since it is an increasing problem putting at risk the sustainable use of the underground natural resources. (Alberto Gonzalez-Sanchez et al., 2014)

For Dongguan City in the coastal area of China, the annual water savings could be 67 M m<sup>3</sup>, with high agricultural water-saving potential; however, the low water price is a non-incentive for water-saving. The authors propose some technologies (eg., Rainwater use, Automatic water level monitoring, Water recycling after filtration, Integrated use of water and fertilizer and Use of sprinkler and drip irrigation) for water savings. Adoption of water saving measures reduced water use from 300,000 m<sup>3</sup> to only 30,000 m<sup>3</sup> every year. (Haili et al., 2017: R.60.1.10)

A paper compares gravity irrigation with modern irrigation systems (multi-gate, sprinkler and drip irrigation), in an Irrigation District in México using indicators of Water productivity (kg/m<sup>3</sup>), Water production (Mx\$/m<sup>3</sup>), Soil productivity (t/ha) and Saved water (thousand m<sup>3</sup>). The authors mention that the use of multi-gate irrigation systems and land leveling resulted in a saving of about 10 M m<sup>3</sup> of irrigation water over an area of 7,176 ha. But, the small property owners prefer drip and sprinkler irrigation. The authors emphasize the urgent need to mitigate the impacts of imminent climate change through irrigation modernization as a strategic alternative. (Salgado et al. 2017: R.60.1.17)

3 This is paper number referred in the Abstract Volume. The full paper is available in USB

Increasing water productivity through tropical perennial rice cropping system (SALIBU), of West Sumatra in Indonesia, is expected to reduce the use of irrigation water by a factor of 3.5 to 4, annually, realizing a higher yield of ratoon crop from 6t/ha to 7-8t/ha. Also, the cultivation period is shortened by 20-35 days (from 120-140 days) saving water, labor, seed and topsoil. But, there is a lack of acceptance of rice ratooning by commercial farmers because of the lack of good varieties, uneven maturity, disease and insect problem, lack of location-specific cultural practices, inferior grain quality and lack of assured return from investment. (Yamaoka et al., 2017: R.60.1.03)

In a case of study for Zacatecas, Mexico, changing to drip irrigation from gravity irrigation and modernization of hydraulic infrastructure allowed achieving an efficiency of 95% from the earlier value of 45%, a water saving of 1,716 m<sup>3</sup>/ha and increase of water productivity in the range of 50%. The volumetric measurement at intake plot level represented a significant impact in the saved water (15 to 25%). (Trinidad et al 2017: R.60.1.08)

### **Policy and Legal Approaches to Water Saving**

As a general trend worldwide, because of limited water resources and growing competition between different sectors, including industry, environment, and agriculture as well as providing drinking water to the population, the circumstances are not in favor of agricultural development. Agriculture should adapt to the limited water resources and perhaps, gradually abandon part of its share in favor of the domestic water usages.

In some parts of the world, reallocation of agricultural water share has been taken as a new policy. A number of technical measures are adopted, in some countries, to limit the withdrawal of groundwater by farmers such as: water measurement tools; automatic water allocation. These government policies are aimed at reducing the pressure on groundwater tables and saving water in the agricultural sector. Water pricing is also an efficient tool to minimize water extraction by farmers. Indeed, progressive water tariffs are used to pressure farmers to refrain from over-extracting water resources. Other means can be adopted to enhance water saving by farmers such as incentive policies (reward for water economy); penalty policies (constraining methods).

In arid and semi-arid regions, modifying or changing crop patterns from high water requirement to requiring lower water needs, are among the policies of decision makers to enhance a better management of the available water resources. In addition, capacity and skills development to modify irrigation methods constitute an important component of the stakeholder strategies aiming at saving water.

#### *General overview of papers*

Research in China revealed that promoting irrigation technology from traditional to drip irrigation does not significantly change crop ET demand. During the expansion of water-saving technology in irrigation, actual ET has decreased because of its reduction in non-irrigated areas. It was felt that changes of ET demand by promoting irrigation technology should be seriously considered during its assessment, and agricultural water planning and management. (Han et al 2017: R.60.1.13)

The supplementary supply potential of irrigation reservoirs was investigated in South Korea to explore the possibility of water transfer from them to meet increased demand. Results showed that 116 reservoirs could supply domestic water while satisfying irrigation need. As the water supply pattern will change throughout the year, changes in the water supply plan and operation of the reservoir will be expected, and the surplus water will be used for various purposes other than agriculture and is expected to contribute to rural welfare. (Yoon et al 2017: R.60.1.11)

In order to resolve water sharing conflicts between different stakeholders, the Sri Lanka Government recently located some industrial zones in the rural sector as a solution for unemployment and fragmentation of agricultural lands. Conflicts do arise at times in sharing the available water resource both within and between the sectors. The authors advise that to ensure the food security while serving the merging water users who contribute to the economy in other means have to be accommodated by using water saving and productivity enhancement. (Meegastenna and Kamaladasa, 2017: R.60.1.22).

In a case study on structural and operational reforms in irrigation in the Upper Jhelum irrigation system in Pakistan, the authors feel the need for switching over to more efficient pressurized irrigation systems. It will reduce irrigation shortages, enhance the irrigated land and will help overcome food shortage. Concrete lining was proposed for secondary and tertiary irrigation system. It is recommended that detailed study the UJC and its hydraulic structures at increased discharge are essential to finalize remodeling approach which will lead to modernization of the conveyance system. (Rashid et al 2017: R.60.1.30)

A paper from India shares the experiences of water harvesting for augmenting the water resources. Due to varying political, social and economic factors; the indiscriminate use of natural resources to supply a rapidly growing population has resulted in the unintended degradation of land and ecosystems. In order to reduce pressure on water resources for crop production, the authors feel that more emphasis should be given to rain water harvesting. (Gupta and Kapoor, 2017: R.60.1.24).

In Egypt, one of the government's efforts to save water was to implement Irrigation Improvement project: IIP, to reduce water losses in conveyance, tail escape, and on-farm. The various interventions, however, did not work satisfactorily and were discontinued. Also, the irrigation scheduling between farmers is a big problem, the rule was "first come – first served". If effect, therefore, there was no change in on-farm irrigation efficiency before and after the improvement. (El-Gamal, 2017: R.61.1.04).

It is reported from China that the agricultural production policy goals do not consider sustainability of the action. Energy use in farm operations show that pumping water for irrigation is one of the highest on-farm energy consuming processes and the main cause of emissions from groundwater-irrigated rice. He also provides with the first detailed estimate of GHG emissions from groundwater pumping for irrigation in North China. The author feels that re-appropriation scarce water resources from agriculture to other sectors with higher output/water use ratios may become increasingly necessary. (Liu et al 2017: R.60.1.05)

In Mexico, 3.5 M ha area are affected by salinity and poor drainage. Despite its proven benefits, the spread of subsurface drainage in Mexico has been about 100000 ha in 20 years (Average: 5000 ha/year). It has been seen that the cost of rehabilitating one hectare with salinity and drainage problems is five times lower than that of adding a new surface to irrigation. The rehabilitation of 60 000 ha of soil affected by salinity and drainage problems can contribute to 5% of the targeted maize production for the 2012-2018 period, and thus it can become an important element in achieving food security. (Namucho et al. 2017: R.60.1.16)

A paper from India presents the post-project scenario of construction of a dam near one of the fastest growing city Nashik in Maharashtra state. The author hopes that the water resources shall be planned considering the present and the future availability of water and considering the present and the future needs of all the sectors. The possible solutions provided by the author are: a) the installation of micro irrigation; b) Re use around 65-80 % of domestic water for irrigation and thermal power stations, c) rain water harvesting in urban areas, d) auditing of water accounts and reduce leakages; e) mandatory metering to save water. (Belsare, 2017: R.60.1.19).

## Managerial Measures and Approaches to Save Water

A number of papers submitted to the Mexican congress addressed water management or a combination of water management and technology issues.

Irrigation management can be defined as a series of operations performed to uniformly provide crops with “sufficient amounts” of water on a “specific schedule”. Therefore, smart irrigation planning, equipping sites where water is delivered to farmers with water flow measurement tools, and using volume-based supply methods to meet the total volume required by the crops, are among the measures taken to fulfill irrigation management goals.

Water saving goals, in the agricultural sector, include a number of measures such as: reducing drainage flow, minimizing surface and ground water resources pollution, preventing sharp declines in the river flows, avoiding environmental damages, and providing all users with fair access to water resources. Thus, irrigation management practices aimed at optimizing water use and reducing the drainage flow are of great importance.

Among the various irrigation techniques adopted by farmers, in arid and semi-arid regions, to reduce water losses, some of the most popular and effective are: irrigation scheduling, use of plastic covers to control evaporation from soil surface, furrow irrigation technique.

### *General overview of papers*

A field study in Zanzibar sought to evaluate the effect of three water management techniques on paddy rice water productivity. The practices were; continuous submergence (CS), alternating wetting and drying (AWD), and saturated soil culture without ponded water (SSC). The conclusion was that rice water productivity in Zanzibar could be improved by applying water saving techniques. (Shaame and Senzanje, 2017: R.60.1.15)

In Finland, controlled drainage together with sub-irrigation is an option for storing rainwater in soil for crop production. The research team recommended that the technical solution used in this study may also be useful elsewhere in other circumstances. (Virtanen et al, 2017: R.60.1.26)

Water hyacinth for drainage water treatment for saving water in irrigated lands is introduced in Egypt where drainage water is a public resource. A study demonstrated that aquatic vegetation can improve the quality of drainage water if the irrigation water system can meet certain condition such as treatment season. (Abou El Ella and El Samman, 2017: R.60.1.21)

Researchers in Turkey developed a model on controlled drainage to retain some of the groundwater in-situ and benefit more from it. Many studies show that capillary contribution of shallow groundwater will reduce irrigation water requirement. In the case study reported in the paper, the relationship between water table level and water used for irrigation is determined by using long annual data. With carefully planned and managed water table, plants can meet their water requirement if the ground water is free from excess salts. (Fayrap and Toy, 2017: R.60.2.08)

A study in the Changhua area of Taiwan identified water requirement for mixed crops and investigated the impact of groundwater pumping on the regional groundwater level. System dynamic model was used to consider rainfall, irrigation water and groundwater pumping in the supply side. The results indicated the contribution of 50% - 50% of channel water and groundwater pumping to fulfill the crop water demand. (Wu et al. 2017: R.60.1.07)

In the reservoir-based irrigation schemes in Ghana (UER) supplemental irrigation is necessary in the rainy season due to climatic variability. This additional water requirement could be met by raising irrigation efficiency through the improvement of irrigation schedule. Using the AquaCrop model in the tomato-maize system at daily time-steps, a study suggests adjusting the irrigation schedules for site-specific hydro-geological conditions and for introduction of supplemental irrigation in the rainy season. (Sekyi-Annan et al, 2017: R.60.1.04)

A paper from Northern Victoria, Australia explains how this region is modernized to enhance water savings through the Farm Water Program (FWP) projects which include activities to improve existing irrigation systems with new technology. A water savings calculator estimates the water savings to be generated from the implementation of the proposed changes. The farmers report that the new system has significantly lower water use than the old system. (Walters et al 2017: R.60.1.06).

In the three irrigation districts in Sinaloa state in Mexico, water savings were achieved by increasing the conveyance, storage, distribution and consumptive use efficiencies. The interventions have been: a) on-farm metering structures to determine delivered water volumes, b) land leveling, c) irrigation scheduling based on edaphic and climatic variables, and d) calculation of irrigation requirements per crop. The actions above reduced the irrigation application; increased application efficiency by 13%. (Flores-Velazquez et al. 2017: R.60.1.20)

A paper from Mexico analyzed the irrigation productivity in the Cuauhtemoc Aquifer in Chihuahua, Mexico, which has been exploited for several decades. The aquifer had a deficit of 207.1 hm<sup>3</sup>/year reported in 2009. The average annual rainfall in the region was 492 mm with an estimated infiltration of 100 hm<sup>3</sup>/year. Using a simulation model, the authors calculated the irrigation productivity that will allow generating alternative management option for efficient use of irrigation water. (Santos Hernández et al. 2017: R.60.1.23)

The effectiveness of the Irrigation Improvement Projects (IIPS) was evaluated in Egypt that sought to improve the socio-economic conditions of the farmers. The authors suggest the implementation of IIP with a package of recommendation such as a certain crop pattern with a valuable income to farmers. (Sayed et al. 2017: R.60.1.27)

## Major Outputs

Various techniques and technologies: Eight papers have presented various aspects of technologies and techniques approaches to improve irrigation and induce water saving; the techniques ranged from cut throat flumes for assessing the water releases for field water application to automatic water monitoring technology to control water level and drip and sprinkler irrigation systems.

Mexican Institute of Water Technology developed the volumetric extraction information system for aquifers, which allows accessing the estimated information of the extracted, allocated and recharged volume from the country's aquifers.

The main actions suggested by the authors for saving water are field water-saving irrigation technologies, rainwater collection irrigation technology, automatic water monitoring technology, water recycling technology, volumetric measuring at intake plot level. Therefore, water losses were minimized while water saving in agriculture were maximized as well as efficient use of irrigation water leading to evaporation reduction and increasing of irrigation productivity.

On the opposite side, two case studies in China and Egypt concluded in the inability of technologies to reduce water losses and partly weaken the effects of water-saving irrigation. More in depth discussion of these two cases should be done during the presentation session.

Water management – water reuse/recycle: Twelve papers focused on water management aspects and know how to use less water for the specific crops, how to reuse some of the water and to recycle them. The main idea of water management is to use the minimum amount of water needed and to optimize the usage. The authors recommended to apply site-specific hydro-geological conditions, laser grading, water and fertilizer are integrated provided to the crop, improving water efficiency, controlled drainage and sub-irrigation, the reuse of drainage water to fulfil the water demand, conjunctive use of surface and groundwater resources in order to enhance the quality of water as well as supplement the water requirement and adjusting the irrigation schedules.

National policies and strategies: Ten papers have focused the analysis on various national policies and strategies for water saving in irrigated agriculture. Some papers revealed conflicts between different stakeholders to access more water and issues raised to transfer water out of agriculture. The authors recommended solutions and strategies such as modernization of irrigation schemes, structural and operational reforms, rain water harvesting in urban areas and developing pressurized irrigation. On the other hand, a researcher from China almost doubled the efficiency of the pressurized irrigation systems in terms of water saving and suggested to the policy makers to undertake systematically performance assessment of irrigation technology before investing to develop pressurized irrigation.

Strengthening network for transfer of technology: It is worth mentioning the need to strengthen the process of transfer and dissemination of water saving management skills from professional experts in the governments and international organizations to the farmers. Appropriate national guidelines and regulations for water saving need to be developed and implemented.

#### **Question 60.2<sup>4</sup>: Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops**

This sub-question has been addressed in 32 papers from 16 countries. The authors sought to examine and analyse different water management practices for irrigated agriculture using three approaches: water-energy and food security nexus, Foot print approach and classical sectoral water management methodology.

#### **Water-Energy and Food (WEF) Nexus: Background**

According to FAO, the water, energy and food (WEF) nexus means that the three sectors — water security, energy security and food security — are inextricably linked and that actions in one area more often than not have impacts in one or both of the others.

In fact, water, energy and food are essential for human well-being, poverty reduction and sustainable development. Global projections indicate that demand for freshwater, energy and food will increase significantly over the next decades due to population growth, economic development, urbanization, and growing demand for food. Available data (FAO) shows that agriculture accounts for 70 percent of total global freshwater withdrawals, making it the largest user of water. Meanwhile, the food production and supply chain consumes about 30 percent of total global energy. Energy is required to produce, transport and distribute food as well as to extract, pump, lift, collect, transport and treat water.

It is projected that, by the year 2050, 60 percent more food should be produced to meet the demand of more nutritious. According to IEA projections, global energy consumption should grow by close to 50 percent by the year 2035 and 80 percent by 2050. The situation will be more critical for developing countries; indeed, total global water withdrawals are projected to increase by 50 percent by 2025; this percentage of increase won't exceed 18 percent for developed countries.

4 With inputs from Mr. Ian Makin (United Kingdom) and Dr. Mauricio Carrillo García (Mexico)

Various water saving measures such as improved water management, effective real-time operation of water released, soil conservation and aquifer recharge, conjunctive use of surface and groundwater and recycling of used water have repercussions on the energy consumption and the economic viability of the measure. Therefore, in order to improve irrigation services through modernization of irrigation and drainage systems there is need to revisit the water productivity, water saving and water security concepts through the prism of water-energy and food nexus.

## Conceptual Framework

The basis of the Water-Energy-Food Nexus is an attempt to balance different uses of ecosystem resources (energy, water, land, soil and socio-economic factors). There are clear interactions between water, food and energy that may result in synergies or trade-offs between different sectors or interest groups. The incentives for a nexus approach include “economic efficiency, resource efficiency and improved livelihood options”.

It is important to understand the synergies and trade-offs in order to develop response options to ensure the sustainability of the environment and people’s livelihoods. By highlighting these interdependences, the Nexus concept corroborates the need to view water, energy and food not as being separate, but as being complex and inextricably entwined. This, in turn, allows for more integrated and cost-effective policy-making, planning, implementation, monitoring and evaluation related to the different Nexus sectors. In sum, a nexus approach helps to reflect the broad range of views and expertise involved throughout the process, promoting dialogue between different sectors, seeing solutions to open challenges as collective efforts

A number of international and regional conferences and workshops and meetings were held since 2011 with the objective of promoting the WEF nexus by raising awareness. Most of these events have concluded in the necessity of developing dialogue on the challenges of the WEF nexus adoption by policy makers as well as its implementation at different scale of new project investments.

Among the number of existing WEF nexus frameworks, the FAO approach seems to be the most appropriate for the integrated water-energy and food project in the agricultural sector.

This framework focuses on the resource base, including both biophysical and socio-economic resources, on which we depend to achieve social, environmental and economic goals pertaining to water, energy and food. Interactions take place within the context of external global drivers, such as demographic change, urbanization, industrial development, agricultural modernization, international and regional trade, markets and prices, technological advancements, diversification of diets, and climate change as well as more site-specific internal drivers, like governance structures and processes, vested interests, cultural and societal beliefs and behaviors.

The management of the nexus helps determine national and local nexus-related goals and ways to achieve them vis-à-vis the resource base.

## Assessment of WEF Nexus

As part of the WEF Nexus approach, the Nexus assessment consists of an easily applicable methodology, which relies on indicators that are based on different country typologies, allowing a quick assessment of possible interventions against overarching development goals such as food security, and the sustainability of the use and management of energy and water supplies.

The nexus assessment includes the Evidence, Scenario Development element the “nexus” Responses. These responses can apply to:

- (a) the planning and implementation of new policy measures;
- (b) monitoring and evaluation of the above.

The WEF nexus assessment can be used to assess the nexus interlinkages at any scale, provided that data are available at that level. It can highlight synergies between sector interventions, so-called ‘win-win’ solutions, helping stakeholders to develop insights into different options, which might not be apparent at first glance.

The objectives set for the nexus assessment are summarized in the following elements:

- (a) provide an overview of the current nexus status of the context in terms of natural
- (b) resources and their uses to sustain society, through the identification and quantification of key nexus interlinkages;
- (c) apply specific tools to derive this information that is not readily available ;
- (d) review and suggest how specific nexus interventions can be assessed and compare the performance of specific interventions on the basis of the context status against WEF sustainability goals;
- (e) interpret the results of the nexus assessment, contextualize possible interventions and appropriate response options

The papers, accepted under question 60.2, are classified in three groups depending on the approach used: the Nexus approach; the Footprint approach and sectoral water management approach.

### **Papers adopting Water-Energy and Food Nexus approach**

Collado (2017: R.60.2.01) from Mexico indicates that the demand for water, energy and food will increase sharply in the coming decades under the pressures from population growth and mobility, economic development, urbanization, diets enrichment, and cultural and technological changes. The national planning scenarios indicate that food production will increase by 70% to feed the national population by 2050 with the expected calorie intake of 3,130 kcal/person/day. This growth of food production would come from a 52% increase in agricultural yields, 18% of higher crop intensity, and 30% due to the expansion of arable land. It also expected a 50% growth in energy consumption for the agricultural and food sector, and it is projected that the total volume of water abstractions for irrigation would rise around 11% by 2050.

Gupta and Gupta (2017: R.60.2.14) believes that the Water-Energy-Food (WEF) nexus is an emerging international, complex and multidimensional concept, which is compounded with challenges of climate change and social changes. Their paper examines various facets of this nexus and discusses their consideration on suitable intervention measures for efficient and sustainable resource utilization.

Hassan et al (2017: R.60.2.35) talks about groundwater-energy nexus in Punjab (Pakistan), linking the topic with food security and climate change. Due to climate change, demand of groundwater has increased for irrigation. The consequent lowering of water and the increased cost of operation of tubewells. The authors advise for assessment of the effects of climate change on groundwater resources under new environmental condition for better planning and management of this vital resource.

Sijapati et al (2017: R.60.2.03) recount the experience on water, food and energy nexus in Afghanistan. The interdependencies among water, food and energy sectors are numerous,



multidimensional and dynamic. Any interventions in one sector generally results in social, economic and environmental implications in one or both of the others sectors. In fact, some are of the opinion that security of one cannot be achieved without undermining the other. According to the authors, water is the first sector of the nexus; the second is the food and the third is energy. The interlinkages among these entities are obvious and fit well for Afghanistan.

Shin et al (2017: R.60.2.28) considered the WEF Nexus and water footprint data to derive the validity of the change of water supply system based on the water productivity in the Republic of Korea. The authors recommend that In order to generate income, the high value plant must be cultivated for the whole area, but the optimal cultivation area is calculated for proper self-sufficiency of rice and other crops. As a result in Seowoong district, 70 ha of grapes and 54 ha of rice were found to be adequate in terms of self-sufficiency rate and the calculation of output/input was 5.59.

### **Papers adopting Water Footprint approach**

The use of the Water Footprint indicator seems to be efficient for better water management in irrigated areas. This method is making a good progress in research field while its generalization by water managers requires more extension efforts.

de Sousa et al (2017: R.60.2.08) studied water footprint of coriander grown in the dry region of Sergipe in Brazil and concluded that in the environmental context, water is an economic and finite good and its scarcity hinders development. In this sense, the management of the water resource using Water Footprint indicator associated with the level of vulnerability and water availability is of fundamental importance for a given region.

Carretero et al (2017: R.60.2.17) mention that Water Footprint is an indicator that considers the direct and indirect use of water by a consumer or a producer. The Water Footprint concept was created by Hoekstra in 2002, and since then spread by Water Footprint Network (WFN). The agriculture sector is the major consumer of this resource. Water Footprint is an indicator to know if the water resource is used efficiently in a specific activity, by comparing the water volume that a crop really needs with the volume used for its irrigation.

Cohen, et al (2017: R.60.2.19) has drawn attention to the inseparable link between food production and energy consumption and the interdependence of energy and water use. They studied the water and the energy foot prints in milk production. As previously stated, water is needed to produce energy and energy is needed to make water available. Therefore among the plausible solutions in terms of producing the food for feeding the cows is to increase the irrigation efficiency and the electro mechanical efficiencies of the pumping equipment used to irrigate the crops. Genetic solutions to improve the efficiency of the conversion of food to energy are of long term vision; nevertheless, with the advances of science within that matter it would be expected to have a more efficient cattle sooner than expected.

Pannunzio et al (2017: R.60.2.20) from Argentina consider that proper design and management of irrigation systems are key factors while following irrigation water productivity. Continuous extension practices with irrigation workers are key factors to improve the irrigation efficiency. They advise measuring the on-farm water footprint, which will throw light on the status of water use efficiency for the irrigated crop in the farm,

Chaibandit et al (2017: R.60.2.23) correlate water footprint of sugarcane in Eastern Thailand with climatic variables and find that the highest correlation of 0.708 with green water and the next highest of 0.707 was with blue water. Green water is freely provided by nature normally in the form of rainfall. Blue water is conveyed from its sources for the needs of crops. The water needed to dilute pollution from crop production e.g. fertilizer and herbicide, is the grey water. The purpose of the study by Chaibandit et al (2017: R.60.2.23) is to assess blue to

green ratio and correlations with climatic variables of water footprint of sugarcane growing in eastern Thailand. The result can be used to prepare guidelines for sustainable water resource management for eastern region in terms of blue water and also for the whole country of green and grey water footprints.

The study by Adetoso et al (2017: R.60.2.04) on sugarcane in South Africa concludes that (1) a thick mulch cover reduced evapotranspiration, irrigation demand and blue water consumption; (2) crops irrigated by sub-surface drip consumed substantially less water than those irrigated with centre pivot systems and (3) The estimated blue water footprint was almost twice as large as the green water footprint. The results show that there is scope to improve water use efficiency in irrigated sugarcane by using efficient irrigation systems, limiting wasteful evaporation through use of mulch covers and accurate scheduling of irrigations.

In the paper by Vázquez-Lizárraga et al (2017: R.60.2.25), the authors emphasize on the importance of irrigation design without impairing the other activities in an irrigation project in Mexico and report that The surface water application efficiency of 80%, which is similar to the efficiency of portable sprinkler irrigation and more than twenty percent points than tradition surface irrigation at the study area. They re-designed the Irrigation systems in about 300 ha based on the inverse modeling of irrigation tests and the hydraulics equations presented in compliance with the rigor in their solution.

Junaid and Choi (2017: R.60.2.29) calibrated the AquaCrop Model v 5.0 to simulate the wheat yield by using the field data collected from the experimental trials conducted during 2004-2010 in the Central Punjab region in Pakistan. Their study revealed that in order to fully benefit from the future climatic trend more emphasis should be placed over better irrigation management. The results may help in deciding the optimum achievable wheat yield with the limited water resources.

Roux et al (2017: R.60.2.05) compared the applicability of Water Footprint (WF) methods and contended that crops with a sustainable WF according to local assessments could be promoted above crops with unsustainable WFs. Governments could subsidise crops with sustainable WFs to reduce retail prices. Future studies must pay attention to the ways of influencing consumer behaviour to change market demands. From this study, it can be concluded that the choice of method depends on the objectives that it is used for.

### **Papers adopting sectoral water management approach**

In recent years, the image classification method has been changed from the traditional pixel-based classification to the image-object classification. In a study in Taiwan (Tan et al, 2017: R.60.2.09), image information extraction and crop interpretation were carried out from the Airborne Digital Scanner (ADS40) image as the experimental data, and comparing the traditional supervised classification, the artificial classification of cadastral-parcel units and the image object classification model. The accuracy of the classification of crops was compared by different methods, and irrigation water was estimated using the cropped area.

Cruz Bautista and Bautista-Olivas (2017: R.60.2.01) presents the evaluation of a semi-empirical model to estimate wetting patterns with drip irrigation. This model uses two equations to estimate the dimensions of the wetting of the soil. It was tested with three soil textures and two horizons, without crops. The performance of the model was evaluated by comparing results obtained in the field with estimated results using model efficiency (ME), root mean square error (RMSE) and mean error (ME) as statistical indicators.

Yoon et al (2017: R.60.2.11) found the highest consecutive 10 day irrigation of rice in Korea was 228 mm. Irrigation is concentrated during transplanting, for about 20 days in the past, but post-mechanization, it was around 10 days. The daily maximum irrigation could be used for

design of conveyance system and the consecutive 10-day irrigation can be used for reservoir storage management. The water balance monitored in this study could be used as basic data for the development of agricultural water resources and establishment of counter-measures to minimize drought risks.

Chang et al (2017: R.60.2.12) contends that the overproduction has resulted in diminished profit from intensive agriculture and depressed prices in Taiwan for decades. High labour and capital outlays lead to the reduction of arable land and the waste of water. Increasing the efficiency of input resources to find more profit for the farmers is imminent. The performance of water management practice of paddy field affects the vulnerability and the adapting capacity for local food security.

The distinct meteorological features of the alpine area in Tibet are large daily temperature difference, strong solar radiation and significant change of air humidity (Xu, et al, 2017: R.60.2.02). In a field experiment, the relationship between atmospheric temperature (T), solar radiation (Rs), relative air humidity (RH) with oat's physiological indicators were investigated to analyze the diurnal variation of the leaf water potential ( $\psi_L$ ), transpiration rate (Tr) and net photosynthetic rate (Pn). The results show that the  $\psi_L$  changed during the different growth stages.

Reddy and Reddy (2017: R.60.2.13) refer to a study by The Water and Land Management and Training Institute (WALAMTARI) in Andhra Pradesh in India on the functioning of 57 Lift Irrigation (LI) Schemes during 2014. They found that 46 were operational and 11 were defunct. It was further revealed that 52% of the schemes faced problem of maintenance severely, 26% schemes moderately and 22% had no problem.

A study in Sri Lanka finds that the productivity levels of most of the irrigation schemes in Sri Lanka are considerably lower than those of the developed Asian countries (De Alwis and Marapana, 2017: R.60.2.15). The study recommended upgrading the water conveyance system in the command area. Establishment of flow monitoring network with measuring devices and communication system is a main task for the irrigation water management. Modified land consolidation practices for reshaping the paddy land also may increase the land productivity and efficiency of farm mechanization reducing with labor utilization and reduction of harvesting losses.

Upadhyaya et al (2017: R.60.2.16) recommends model study to understand the efficiency of irrigation systems. In their study, they combined Hydrus-1D model with calibrated STICS crop growth model to get dynamics in the root zone closer to reality. The experimental site used in the study is the Berambadi (84 km<sup>2</sup>) watershed situated in the South Gundal basin (816 km<sup>2</sup>), which is a part of Kabini basin (7000 km<sup>2</sup>) located in the semi-arid region of southern India.

Yoshida et al (2017: 60.2: R.60.2.18) used a process-based hydrological model to estimate the return ratio of diverted water in a watershed containing extensive areas of irrigated rice. Water-flow in watersheds containing extensive areas of irrigated paddies are complex because of the substantial volumes—and repeated cycling—of water diverted from and returned to streams. The authors applied the model to the Kinu River Basin in Japan, which covers an area of 1,761 km<sup>2</sup>. The estimated return ratios were 70.8%, 63.7%, and 57.4% for the irrigation areas located in the upper, mid, and downstream locations, respectively (17-year average).

Minjares et al (2017: R.60.2.21) calibrated and validated the AquaCrop model developed by FAO under full and deficit irrigation scenarios and applied it for simulating wheat production (grain yield and biomass yield) as a function of water consumption in the Irrigation District No. 018, Colonias Yaquis, Sonora, Mexico.

Marco et al (2017: R.60.2.22) mention that that according to the performance indicators, there is inequality in the development and performance of Irrigation Districts in Mexico. They advise analysis of causes so that investments may be directed towards improving the performance of irrigation districts in order to meet the objectives for which they were created.

The study by Ghahreman and Helmi (2017: R.60.2.24) concludes that due to climate change, growing season will become shorter in study station in the Ghazvin province, Iran by 20 and 30 days for Maize and wheat, respectively. The water limitation for maize crop would be higher than wheat due to more increase of in projected temperature of summer in future, while wheat may not face major challenge in the region in the future. They recommend replacing maize with less water consuming crops in the study region.

Angeles-Hernández et al (2017: R.60.2.26) determined irrigation applied to the crops over 8106 ha belonging to 2412 farmers in two consecutive years to determine the gravity-fed irrigation water productivity in an irrigation district in Alto Rio Lemma, Guanajuato, Mexico. Using the depth of water applied and the irrigated area, technical indicators for the agricultural irrigation water usage levels were deduced. Based on the study results, the authors recommend precise land leveling and irrigation water measurement.

Nahún et al (2017: R.60.2.30) have developed a greenhouse to promote efficient use of water and small-scale farm holdings, with a view to addressing the food deficit with the sustainable use of the water resources in Mexico. The development of integrated systems storage of rainwater, controlled irrigation, and use of small land holdings presents an encouraging scenario for the sustainable management of water and food production. The proposed storage tanks (500 m<sup>3</sup> brick-on-edge-bond cistern) could revolutionize the culture of rainwater storage and boost productive projects in rural and peri-urban areas.

The study by Núñez (2017: R.60.2.06) on virtual water trade related to the four most important crops of Mexico and in a global scenario, without considerations about the origin and destiny of the production, focuses the essentiality of developing a sustainable policy regarding the virtual water trade.

Xie et al (2017: R.60.2.33) advocate the use of High-Efficiency Irrigation Systems (HEIS) such as drip and sprinkler, to tide over the water crisis due to climate change. However, these are energy-intensive systems and the associated high energy cost may play an important role in the adoption decision of HEIS. The authors present the results of a study on the linkages between water and energy in Viet Nam with a focus to understand the feasibility and incentives for farmers to adopt HEIS.

Félix et al (2017: R.60.2.07) used a Stereoscopic Particle Tracking Velocimetry (Stereo-PTV) to determine morpho-dynamic parameters of water drops in a three-dimensional field. The technique was applied to the drops emitted by an isolated impact sprinkler equipped with two nozzles (3.97 and 3.18 mm diameter) and installed at an elevation of 1.65 m above the ground. The authors claim that the experimental information is of great value to improve the predictive capacity of current simulation models in 2D and 3D, as well as to contribute to the knowledge of the physical processes that occur in the formation of drops.

At the end of discussion of this part, the following conclusions might be drawn:

- (a) The WEF nexus method still is limited for its use in integrated water-energy and food project;
- (b) More awareness is needed for the WEF nexus implementation;
- (c) Capacity development programs, in WEF nexus, need to be implemented to enhance its appropriation by various water actors (researchers, stakeholders, managers...).

### Sub-Question 60.3<sup>5</sup>: Water security for growth and development

Water Security is the capacity of the population to safeguard access to adequate quantities of water of acceptable quality for sustaining ecosystem and human health on a watershed basis. It has two major facets to consider, namely, Environmental water security and Social water security. Environmental water security

Environmental water security considers the natural hydrologic cycle, water and climate relationship, especially water in extreme weather events, and the effect of climate change in spatial and temporal distribution of the water. It also includes the water effect in other resources such as flora, fauna, vegetation and soil, and the humans. As can be seen, environmental water has direct impact in social water security because human life and its activities depend on the sustenance and well-being of the natural ecosystem.

According to Park and Park (2017: R.60.3.11), future drought risk can be assessed by reservoir storage rate, because the risk is detected first from agricultural reservoirs in South Korea. Studies about drought, instead RCP (Representative Concentration Pathways), the SSP2 (Shared Socio-economic Pathways) was used, which reflected emission policies, information on social and economic changes, and efforts to reduce emissions of the East Asia, especially China. Drought risk was assessed by agricultural reservoir water storage rate.

Sawatpru and Konyai (2017: R.60.3.17) mentions of Hydrological drought variation along the Yom River in Thailand. The threshold level method was applied to calculate values of the deficit volume and drought duration. In this case the management from potential alternative to managing the river is an example to achieve equitable water allocation along a river.

Chiueh (2017: R.60.3.13) presents a model on water allocation management during drought using socio-economic scenarios in Taiwan. The model attempts to establish the water transfer mechanism and then simulate the welfare effects of different situation. This study hopes to help build a fair and efficient water management mechanism to maintain food security, water resources, economic development, and environmental conservation.

The HEC-HMS model was used and calibrated to represent the surface runoff of the Malacate and Ichupio sub-catchments in the Patzcuaro lake basin in Mexico. The study concluded that support practices and adequate land uses should be implemented in the watersheds of the basin, and in all the deteriorated basins of Mexico. (Prado-Hernández et al: R.60.3.25)

A study in an Irrigation district in Sonora, Mexico (Pulido-Madrigal et al 2017: R.60.3.10) found that the variables responsible for soil salinization are: temperature, evapotranspiration, rainfall, irrigation volume, depth to water table, and concentration of salts in groundwater and irrigation water. Also, because of the global warming coupled with rainfall reductions, the overall agricultural production decreased. To face the problems of global warming, it is necessary to implement strategies and programs to rehabilitate the salt-affected soils, through an increase in irrigation efficiencies, lining of canals and installation of subsurface drainage systems.

#### Social water security

Social water security has three main aspects: administration, economic and sanitation. Water security administration integrates all about legislation on international, national or local levels. It also includes planning, projects execution, operation, evaluation and maintenance of hydraulic systems. Economic water security covers topics of water for energy as water for food and industry. Water security and sanitation is about water degradation, the impact of wastewater on the environment and human health; it also considers the water quality

<sup>5</sup> With inputs from Dr. Gao Zhanyi (China) and Dr. Jesús Chavez Morales (Mexico)

restoration. To analyze water security, some study cases are classified as environmental and social water security even though the division among them is not quite clear.

Some legal, administrative and economic studies at state, basin and specific level for water security were presented during the deliberations of the 23rd Congress.

A paper from World Bank on Water Laws in developing countries, with specific reference to Malaysia (Garthwaite, et al, 2017: R.60.3.02), refers to the importance of water laws analysis for use of water in countries. Some countries already have Water Laws or legal framework for water, from many years ago and nowadays they are making changes on it, to adapt the present challenges. The importance of this legal framework for water must be analyzed for each country to define the sustainable water management, particularly when it comes to agricultural water use.

In a Case Study from Turkey, the authors consider that transfer of operation, maintenance and administration of large irrigation areas to Water User Associations, is a way to assure the security for growth and development of irrigation. Besides, it reduces the cost burden of Operation and Maintenance of the system on the State. Results show that following the transfer of irrigation schemes to the user organizations, significant improvements are recorded in irrigation water fee collection rates and cost reduction in the systems managed by WUAs. (Fayrap and Unlu, 2017: R.60.3.09),

Echoing similar sentiments, another paper mentions that in Mexico the earlier federal government maintained Irrigation Districts were decentralized under the national water commission and their operation was handed over to the WUAs. This encouraged irrigation users in taking the responsibility to operate, maintain, and manage irrigation infrastructure to accomplish the irrigation service to all users under them. The experience of Mexico in the process of transferring the irrigation management to user organizations has been a success and is a bench mark for other countries as a strategy to reduce the economic burden of government and concurrently improve performance of irrigation systems. (Espinosa, et al., 2017: R.60.3.05)

In Africa, the Juba and Shabelle River Basins are shared by Somalia, Ethiopia and Kenya. Available water resources of Juba basin is critical due to planned programmed of Irrigation, water supply and Hydropower projects in Ethiopian upstream part of the basin while there will be an increase of unfulfilled demands of water among the multiple water users of the downstream Basin in Somalia. So far, no agreement has been drawn among the riparian states of the basins while the riparian states upstream of Juba and Shabelle River basins developed a comprehensive master plan for them without any consultation with the downstream country, Somalia, which is directly affected due to water withdrawal at the upstream. It is strongly recommended that the available water resources should be used in efficient and sustainable manner by both upstream and downstream countries through modern Irrigation technology, demand management and supply enhancement) and there should be a consultation and notification of every planned projects in upstream part of the country. There should be a cooperation among riparian states and followed by the principles of International Water Law. (Hussein, 2017: 241; Ali, 2017: R.60.3.15).

Lougangs (rivulets) are ancient water conservancy projects, which are still functioning as major projects for regional irrigation, flood control and drainage in Huzhou City of China. However, the awareness of Lougangs hasn't reached a level that will protect them. A paper demonstrates how overcoming the conflicts between protecting water resource heritage features and the sustainable development of modern society is a major undertaking. (Deng, et al, 2017: R.60.3.03)

A paper has urged development of Technical Guidelines for irrigation, drainage and flood protection in sustainable agricultural projects. The work considers irrigation, drainage and flood protection for agricultural production; it requires stages of pre-investment, investment, administration, operation, maintenance, integral management, and finally post-project evaluation. Establishing these technical guidelines about the requirements of the professional personal on the technical, social, environmental, economic, and commercialization disciplines will guarantee project sustainability. (José María et al., 2017: R.60.3.12).

The paper on food security in Ukraine urges for land reclamation and its productive use for ensuring sustained agricultural production. The authors hope that the strategy of restoration and development of irrigation and drainage in Ukraine for the period up to 2030 is expected to minimize the negative impact of climate change on farming conditions and food security and create the necessary background for its development. (Gadzalo, et. al, 2017: R.60.3.14)

Dam failure may be disastrous in certain cases and cause of distress of various degrees in other cases. In the paper from Mexico on the risk of failure of an earthen dam (Briseño et al 2017: R.60.3.08), the authors talks about the four stages of dam failure risk assessment: identification, estimation, evaluation and risk control. The results enable decision-makers to equitably compare risk among dams and possibly take pre-emptive measures or plan for rescue operation well in advance of the occurrence of the failure.

The authors of a paper dwelling on water security for small agricultural infrastructure in Mexico, aver that there has been an increase in the amount of silt washed to the reservoir, due to changes in land use, causing the water intake to be obstructed, which led to a change from irrigated agriculture to rain-fed agriculture. Thus despite its design goal, the reservoir could not continue giving water security to the planned users of the reservoir water, which affected agriculture. (Íñiguez-Covarrubias, et al. 2017: R.60.3.19)

For the Brantas River basin of the East Java province in Indonesia, an integrated approach of involving the representative stakeholders in development, management and use of water resources at basin level can provide a new standard for the future water management practices in other river basins. The author presents the overall process governing the availability of water with updating the development of master plan at a river basin scale and its significant achievements. Challenges of managing water resources to fulfill the needs of various stakeholders related to technical issues, institutional frameworks and regulatory instruments, can contribute to the future directions to implement the best water management. (Fulazzaky, 2017: R.60.3.04).

The paper on Green Development of Irrigation Districts in Haihe River Basin in China touches upon technical, constructive, and users' role in the management of the Irrigation Districts at basin level. The problems and countermeasures dealt with in are common in many countries. The paper advises adherence to the principle of "ecology first", and carry out construction of supporting facilities and the water-saving reform in large and medium irrigation districts. Besides, it advises for the control of exploitation in groundwater overdraft areas, through the simultaneous promotion of various supportive measures. (You, 2017: R.60.3.07)

Simulation studies estimated elution of PO<sub>4</sub>-P from the Benthic Sediment Layer, and project its effect on the changes of Total P in Saemangeum Reservoir in Korea. A study examined if the reservoir water could be used for agriculture for growth and development. The authors concluded that both freshwater inflow from upstream river basins and hydrodynamic diffusion between the benthic sediment and the reservoir have the greatest influences on the total phosphorous in the Saemangeum Reservoir. (Oh et al, 2017: R.60.3.01).

## Economic water security

Water economy has been analyzed in 3 different papers and covered the following aspects:

A study in Indonesia proposes irrigation water security indicators of: Criticality Ratio using average of annual water/ actual divertible water available; Water Stress Index using average of annual water available or using actual divertible water available; Ratio of Water Storage to Irrigation Area; and River Basin Management Index. The paper on the above-mentioned parameters, as a case study in the Northern part of West Java - Indonesia shows that indicators composed of criticality ratio, water stress index, storage, and river basin management, effectively indicate the irrigation water security stages in the area. (Hatmoko, et al, 2017: R.60.3.20)

The study on irrigation intensity, environmental conditions and crop production in the Rio Grande-Bravo basin in Mexico, may lead to mitigating the impacts of a reduction in irrigation. Shifting irrigation away from the more arid upper basin to the lower basin with lower irrigation requirement, could potentially free up water for other users. The authors caution that such radical reconfiguration of water use in the basin might prove to be disruptive initially and cause strife. But one would also need to recognize the unsustainability of forever increasing levels of water stress. The real choice then is whether to apply painful corrective measures or wait until an even more painful water crisis materializes. (Sisto and Severinov, 2017, R.60.3.18)

A study in Mexico highlights that groundwater aquifers are over-exploited in Mexico for supplying irrigation water for the protected agriculture. The study analyzes the potentiality of roof-top rainwater harvesting and conducting it through gutters and pipes to storage for its later use in irrigation. (Luis et. al., 2017: R.60.3.21)

## Water security and sanitation

Two papers have studied the potential use of unconventional water resources:

Wastewater application in irrigation is likely to increase in future due to shortage of fresh water and abundance of poor quality water. With increase in population, vast amounts of unused domestic effluent have come in the non-conventional water category. A paper from China, concludes that the technological achievements need to be continuously improved to realize guarantee in six technology aspects: zoning for unconventional water irrigation, suitable crop classification, pollution identification, high-efficient irrigation technique, monitoring and evaluation, and integrated application mode. (Wu et al, 2017: R.60.3.16)

The paper on Wastewater filtering through soil treatment in a sugar cane area in Mexico explains that Raw wastewater from the local sugar mill does not fulfill the Mexican quality standards to permit discharging it in natural water bodies. However shallow groundwater quality (< 1 m), used to irrigate the surrounding sugar cane fields, does. They found that infiltration of unacceptable raw water over a 258 ha sugarcane field was able to reduce the pollutant level and brought it within acceptable value so that it could be used in irrigation. (González-Meraz et al, 2017: R.60.3.24)

Irrigation with unconventional water resources should comply with required WHO and FAO regulations.

## Summary and Conclusions

The 23rd ICID Congress, to be held in Mexico from 8 to 14 October 2017, aims at addressing critical challenges faced by irrigated agriculture (low performance, water scarcity, competition for water with urban, industrial and energy sectors, environmental impacts..), on one hand, and in the other the growing need for increasing agricultural production to feed the expected growing population in the future. The theme of this congress has then been chosen as



“Modernizing Irrigation and Drainage for a new Green Revolution”. Two main issues will be addressed in the form of two questions: Question 60 on “Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus”; and Question 61 on “State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings”.

The present report summarized the main issues related to Question 60 and that have been addressed by 86 papers on three sub-themes: (i) Question 60.1: Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture; (ii) Question 60.2: Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops; and (iii) Question 60.3: Water security for growth and development.

The 86 papers discussed issues related to the three questions 60.1, 60.2 and 60.3 on the basis of case studies, research and experiment run at various scales in 27 countries: Afghanistan, Argentina, Australia, Brazil, China, Colombia, Egypt, Finland, Germany, India, Indonesia, Iran, Italy, Japan, Malaysia, Mexico, Pakistan, Russia, Somalia, South Africa, South Korea, Sri Lanka, Thailand, Taiwan, Turkey, Ukraine and Vietnam.

The major conclusions and recommendations are given below for each of the question presented above.

Q.60.1: Emerging issues and challenges of water saving have mainly covered three aspects: (i) improvement of irrigation technology and techniques; (ii) Policy and legal approaches to water save; and (iii) managerial measures and approaches to water save. Authors have concluded that improvement of technology and irrigation techniques contribute effectively to reduce water losses, maximize water saving in agriculture by improving irrigation efficiency and productivity.

Diversified water management measures have been described and proven be efficient for water save from field level to water basin level.

A few papers have addressed the policy and legal approaches related to water save and transfer out of agriculture. Their authors recommended to adopt solutions and strategies such as modernization of irrigation schemes, structural operation reforms, and alternative water resource use in urban area.

Q 60.2: The issues of water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops have been discussed in through three facets: (i) water-energy and food (WEF) nexus approach; (ii) water food print approach; and (iii) water use efficiency through sectoral water management approach. Even though, WEF approach is being progressively adopted by a number of authors in their analysis of the integrated approach of water-energy use efficiency, still this approach is not widely used by managers and stakeholders. There is still a crucial need for awareness and dissemination development of this approach among all water actors including researchers.

Classical sectoral water management methods have proven to be efficient for improving irrigation performance and increase water productivity for different crops.

The Water Footprint methods seem to be efficient for better water management in irrigated areas. These methods are making a good progress in research field while their generalization by water mangers require more extension efforts.

Q 60.3: Water security for growth and development has been discussed by the concerned authors in two aspects: (i) environmental water security; and (ii) social water security.

A number of author have concluded the main problem affecting water security is water scarcity major components are environmental, with climate variability originating different water distribution that produce floods or aridity, and social. Nowadays a growing inter-sectorial competition for water is common, and it makes the water scarcity a more crucial issue.

The social water security component has been analyzed through the following three aspects: (a) water management; (b) water economy; and (c) water and sanitation aspects.

The major conclusions related to these aspects cross with those of the previous studies dealing with integrated water management, irrigation productivity and water saving. Though, a limited number of papers have focused the investigation of water sanitation aspects in conjunction with a potential use of unconventional water resources for irrigation (especially from the quality issue prospects).

As a general conclusion, all the innovations adopted to solve the issues of water productivity and water saving using the various approaches (improved technology and techniques, WEF nexus, water security) will not be efficient if they are not conjugated with transfer and dissemination processes in terms of knowledge and capacity development among all the actors: stakeholders, O&M, water managers, researchers, experts and farmer.

The present report will be enriched by the main conclusions and recommendations that will emerge from the discussions of the three parallel sessions devoted to questions Q60.1, Q60.2 and Q60.3 during the 23rd ICID congress that will be held in Mexico from 8 to 14 of October 2017.

## Acknowledgements

This General Report was prepared in cooperation with and contributions of the Panel Experts (PEs) and Co-chairs as shown below:

Panel Expert / Co-Chair: Mr. Mehrzad Ehsani (Iran) and Dr. Raquel Salazar Moreno (Mexico) Mr. Ian Makin (United Kingdom) and Dr. Mauricio Carrillo García (Mexico); Dr. Gao Zhanyi (China) and Dr. Jesús Chavez Morales (Mexico).

The time and efforts of these PEs and Co-chairs in preparing the summary reports of their respective questions are sincerely acknowledged. Appreciations are also due to numerous authors who contributed their research work by way of papers and to numerous reviewers for their time in timely reviewing the abstracts.

The revision and editing efforts, of the present report, undertaken by Dr Vijay K. Labhsetwar, Director at ICID and Congress coordinator, are also greatly appreciated.

## References

- Alessandro Flammini et al, FAO report on the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative Climate, Energy and Tenure Division (NRC) - FAO, July 2014.
- FAO, The Water-Energy-Food Nexus at FAO, Concept Note, FAO, May 2014.
- Gao Zhanyi and Jesús Chavez Morales, General Report on Question 60.3: "Water Security for Growth and Development", 23rd ICID Congress, platform of August 2017.
- Ian Makin and Mauricio Carrillo García, General Report on Question 60.2: "Understanding Water Productivity, Water and Energy Use Efficiency and Water Footprint of Crops", 23rd ICID Congress, platform of August 2017.
- ICID, Report of the 22nd International Congress on Irrigation and Drainage, Gwangju, Republic of Korea, 14-20 September 2014.
- Mehrzad Ehsani and Raquel Salazar Moreno, General Report on Question 60.1: "Emerging Issues and Challenges of Water Saving, Including Impact of Transferring Water out of Agriculture", 23rd ICID Congress, platform of July 2017.
- OECD, Global Forum on Environment, New Perspectives on the Water-Energy-Food Nexus, Paris, 27-28 November 2014.

# Question 60:

## Productivité de l'eau: réexamen des concepts en matière de "Nexus": l'interconnexion entre l'eau, l'énergie et l'alimentation

### RAPPORT GÉNÉRAL

Prof. Abdelafid DEBBARH<sup>1</sup> (Maroc)  
*Rapporteur Général*

#### Introduction

Les politiques en matière d'eau e d'énergie ainsi que celles relatives à la production vivrière s'influencent mutuellement. L'eau, l'énergie et l'alimentation sont, entre elles, indissociablement liées. Les hausses de productivité de l'eau utilisée dans l'agriculture peuvent permettre de garder des réserves d'eau destinées à d'autres usages tels que ceux pour les services écosystémiques qui, bien souvent, sont ignorés par les pays et les régions avec un taux de demande élevé face à une production faible.

Étant donné que l'interconnexion nexus eau-énergie-alimentation se répercute sur la productivité de l'eau en agriculture, il s'avère nécessaire de revoir le concept de la productivité de l'eau dans son ensemble.

La consommation d'énergie et la viabilité économique de la mesure sont influencées par les différentes mesures entreprises pour l'économie de l'eau telles que: l'amélioration de la gestion d'eau, le fonctionnement efficace en temps réel de l'eau libérée, la conservation des sols et la réalimentation des nappes aquifères, l'utilisation combinée des eaux de surface et eaux souterraines ainsi que le recyclage de l'eau utilisée. Par conséquent, dans le but d'améliorer les services d'irrigation par l'entremise d'une modernisation de l'irrigation et de ses réseaux de drainage, il est nécessaire de réexaminer les concepts de la productivité de l'eau, l'économie d'eau ainsi que de sécurité hydrique sous le prisme de l'interconnexion eau-alimentation-énergie, tout en prenant en considération les défis qui y sont liés ainsi que les opportunités potentielles. La question n.60 est intitulée: productivité de l'eau, réexamen des concepts en matière d'interconnexion nexus entre l'eau, l'énergie et l'alimentation. Ces problématiques sont traitées sous forme de sous-questions à la question n.60.

Ce rapport général présente un résumé des arguments qui ont été traités par les documents relatifs à la question n.60, traitant le thème de "la productivité de l'eau: réexamen des concepts en matière d'interconnexion entre l'eau, l'énergie et l'alimentation." L'augmentation du 60% de la production alimentaire déterminera une augmentation de la consommation d'énergie en agriculture du 84%. Les politiques en matière d'eau et d'énergie ainsi que celles relatives à la production vivrière s'influencent mutuellement.

L'introduction de biocarburants liquides en tant que source de carburant pour le transport a rajouté un nouvel élément de complexité dans le domaine eau-énergie et donc à la connexion Nexus avec l'alimentation. En effet, eau, énergie et alimentation sont indissociablement liées. Les subventions pour augmenter l'utilisation des biocarburants dans le but d'accroître la sécurité de l'énergie pour le transport sont au coût de l'eau pour l'alimentation. Le lien est finalement critique entre les biocarburants et la sécurité hydrique dans la mesure où l'augmentations des cultures pour le carburant rivalisent, à cause des ressources d'eau et de terrain limitées, avec la croissance des produits agricoles, destinés à la consommation humaine.

<sup>1</sup> Vice President, ICID, Professor of Higher Education, 2, Rue Haroun Errachid, Agdal, Rabat, Morocco, E-mail:abdelhafid.debbarh@gmail.com; anafid.ma@gmail.com

En simplifiant, la productivité de l'eau s'identifie avec "une production de culture par unité d'eau utilisée". Se concentre-t-elle sur le fait de "produire plus d'aliments en utilisant la même quantité d'eau" ou bien "de produire la même quantité d'aliments avec une consommation réduite d'eau"? Les hausses de productivité de l'eau, en agriculture, peuvent sécuriser des ressources d'eau pour les destiner à d'autres utilisations telles que celles pour les services écosystémiques. La gestion intégrée du terrain et de l'eau à l'échelle du bassin-versant est le facteur clé qui permettra d'améliorer la productivité de l'eau, tout en assurant une gestion durable des ressources hydriques. Vu que le lien nexus entre eau-énergie et alimentation a une répercussion sur la productivité de l'eau en agriculture, il s'avère nécessaire de réexaminer le concept de la productivité de l'eau dans son ensemble.

Lors des opérations de modernisation des grands systèmes d'irrigation, le revêtement du canal joue un rôle important dans le but de récupérer l'eau qui se perd entre la source et la parcelle. Toutefois, l'on soutient souvent que tel genre d'intervention ne contribue pas, en réalité, à économiser de l'eau car cette dernière, en pénétrant le canal, trouve son chemin vers les eaux souterraines et se rend finalement disponible pour une utilisation plus en aval. Cet argument doit également être soumis à la loupe de la perspective énergétique afin de pouvoir présenter un scénario plus complet.

La consommation d'énergie et la viabilité économique de la mesure sont influencées par les différentes mesures entreprises pour l'économie de l'eau telles que: l'amélioration de la gestion d'eau, le fonctionnement efficace en temps réel de l'eau libérée, la conservation des sols et la réalimentation des nappes aquifères, l'utilisation combinée des eaux de surface et eaux souterraines ainsi que le recyclage de l'eau utilisée. Par conséquent, dans le but d'améliorer les services d'irrigation par l'entremise d'une modernisation de l'irrigation et de ses réseaux de drainage, il est nécessaire de réexaminer les concepts de la productivité de l'eau, l'économie d'eau ainsi que la sécurité hydrique en fonction de l'interconnexion eau-alimentation-énergie, tout en prenant en considération les défis qui y sont liés ainsi que les opportunités potentielles.

Compte-tenu de ce qui précède, les arguments relatifs à la Question n.60 sont traités dans les trois sous-questions suivantes:

- Q. 60.1:** Les nouveaux enjeux et les problématiques engendrées par l'économie d'eau, y compris l'impact causé par le transfert de l'eau en dehors de l'agriculture
- Q. 60.2:** Compréhension au sujet de la productivité de l'eau, de l'efficacité d'utilisation d'eau et d'énergie et "l'empreinte de l'eau" en agriculture
- Q. 60.3:** Sécurité de l'eau pour la croissance et le développement

### **Question 60.1<sup>2</sup>: Les nouveaux enjeux et les problématiques engendrées par l'économie d'eau, y compris l'impact causé par le transfert de l'eau en dehors de l'agriculture.**

Cette question a été traitée par l'entremise de 30 documents en provenance de 16 pays: Australie, Chine, Égypte, Finlande, Allemagne, Inde, Indonésie, Japon, Corée, Mexique, Pakistan, Russie, Afrique du Sud, Sri Lanka, Taiwan et Turquie. Les auteurs ont cherché à examiner et analyser les différents défis posés par l'économie de l'eau et à partager

<sup>2</sup> With inputs from Mr. Mehrzad Ehsani (Iran) and Dr. Raquel Salazar Moreno (Mexico)

l'expérience acquise, de leur part, sur le terrain, lors des recherches de laboratoire et d'études théoriques.

En général, les mesures qui visent à économiser l'eau, dans le domaine agricole, peuvent être classifiées comme s'agissant de mesures techniques et technologiques, politiques et de gestion. En conséquence, l'examen des documents s'est développé par rapport à ces trois thèmes suscités.

### **Investir dans l'amélioration des Techniques d'irrigation et de la Technologie**

L'utilisation de tout type de technologie d'irrigation exige le respect des principes, des lignes directrices et des réglementations en vigueur; dans le cas contraire, la technologie en question ne sera pas en mesure de gérer, efficacement, les eaux d'irrigation. Le comment ces principes seront appliqués dans les différentes régions sera déterminé par les conditions climatiques et celles du terrain, par les ressources hydriques, la main d'œuvre, les équipements, le niveau des connaissances autochtones, le type de produit et surtout les raisons qui ont poussé à l'utilisation de ce genre de technologie avancée.

L'une des raisons pour l'utilisation de cette technologie dans les systèmes d'irrigation est celle de réduire la dispersion d'eau et donc d'améliorer l'efficacité d'irrigation aussi bien au niveau des exploitations agricoles que des plans d'irrigation et donc en contribuant ainsi à économiser les ressources d'eau agricole. Du point de vue de l'équilibre hydrique dans le bassin, l'on considère une partie des pertes d'eau irriguée (ou bien la soi-disant utilisation non consommatrice) comme étant des flux récupérables (ou autrement dit, bénéfiques) au niveau du bassin hydrographique. Par conséquent, à ce niveau, l'amélioration de la technologie n'aura pas d'impact significatif pour ce qui concerne l'économie d'eau. Toutefois pour les agriculteurs, la technologie utilisée pour l'irrigation pourra réellement apporter une amélioration en ce qui concerne l'économie d'eau, au niveau de leurs exploitations et donc entraîner une meilleure productivité et un rendement agricole supérieur.

Les technologies d'irrigation peuvent accroître les pouvoirs de gestion des agriculteurs, dans leurs exploitations agricoles et contribuer à diminuer leurs coûts de gestion liés à la main d'œuvre, à l'énergie et à l'irrigation même. Toutefois, le transfert de technologie n'est pas le seul point important à prendre en considération, lors des efforts mis en œuvre dans le but d'améliorer la productivité et de renforcer l'efficacité d'utilisation de l'eau. Désormais, il faudra mettre suffisamment l'accent sur les programmes orientés au développement des compétences des agriculteurs et de leur main d'œuvre.

#### *Aperçu général des exposés*

Des chercheurs, en provenance de Andhra Pradesh en Inde, ont mesuré l'eau libérée, durant la période des récoltes et l'ont utilisée pour calculer la productivité de l'eau de l'irrigation de surface. Le projet avait pour but également celui de mesurer la productivité de l'eau de l'irrigation souterraine, en utilisant les données rassemblées par l'entremise d'une gestion participative des eaux souterraines. Les conclusions plus importantes de cette étude sont les suivantes: (1) la productivité de l'eau peut être estimée en prenant, comme référence, des cas typiques car l'extension de son application à tous les bassins du projet est irréalisable; toutefois on peut l'améliorer avec l'aide d'outils satellite ou d'instruments ICT (technologie d'information et de communication); (2) l'utilisation des sources d'eau (canaux) au niveau des exploitations agricoles doit être enrichie par l'apport des eaux souterraines, ce qui exige un effort accru de participation de la part des agriculteurs au-delà des améliorations de la technologie par l'entremise de senseurs et d'instruments ICT. (Yoshida et Muddu, 2017:R.60.1.14<sup>3</sup>)

<sup>3</sup> This is paper number referred in the Abstract Volume. The full paper is available in USB

Le document présenté par la Chine introduit un modèle de simulation de la croissance de la végétation en condition de présence d'eau limitée, y compris le module relatif à la phase de

développement, celui relatif au cycle du carbone et celui du cycle d'eau. La documentation a eu pour objectif celui de vérifier la longueur des plantes, durant la période de croissance, la matière sèche et la différence de rendement des récoltes. Le modèle de simulation de croissance a été utilisé pour simuler la phase de la poussée, la masse de matière sèche et le rendement des récoltes, en prenant comme exemple le bassin du fleuve Tuhai et le bassin de Chine du fleuve Majia, et qui a obtenu un résultat idéal, très proche de la réalité. (Liu Jianguang et al., 2017)

À présent, la commission nationale des eaux du Mexique (CONAGUA) a classifié comme étant surexploitées 106 des 653 nappes aquifères. Le Système d'Information pour l'Extraction Volumétrique des Aquifères (SIEVA) développé par l'Institut Mexicain de la Technologie des Eaux (IMTA) donne accès aux données relatives à l'information prévisionnelle sur le volume extrait, alloué et rechargé des aquifères du pays. Toutefois il faut faire face à de multiples difficultés, dans l'utilisation de l'indice de l'énergie, pour le contrôle des extractions. Ceci met en évidence la nécessité de continuer dans l'étude de systèmes de mesure et de contrôle des extractions car il s'agit d'un problème croissant, qui met en danger l'utilisation durable des ressources naturelles d'eau souterraine. (Alberto Gonzalez-Sanchez et al., 2014).

Pour la ville de Dongguan, sur la région côtière de la Chine, les économies en eau pourraient être de l'ordre de 67 M m<sup>3</sup>, avec un potentiel d'économie d'eau en agriculture élevé; toutefois, le prix bas de l'eau n'incite pas à l'économie de l'eau. Les auteurs proposent, pour assurer des économies d'eau, l'emploi de certaines technologies (par exemple, l'utilisation de l'eau de pluie, le contrôle du niveau d'eau automatique, le recyclage des eaux après leur filtration, l'utilisation intégrée de l'eau et des engrais ainsi que l'irrigation par le système d'arrosage et d'égouttement). L'adoption des mesures pour l'économie d'eau ont permis une réduction de consommation d'eau de 300.000 m<sup>3</sup> à seulement 30.000 m<sup>3</sup>, chaque année. (Haili et al., 2017:R.60.1.10).

Le rapport, qui se réfère au District d'Irrigation du Mexique, a comparé le système d'irrigation par gravité avec des systèmes d'irrigation modernes ( système à barrières multiples, irrigation par arrosage et égouttement) en utilisant les indicateurs de productivité d'eau (kg/m<sup>3</sup>), la production d'eau (Mx\$/m<sup>3</sup>), la productivité du terrain (t/ha) ainsi que l'eau économisée (milliers de m<sup>3</sup>). Les auteurs ont mentionné le fait que l'emploi des systèmes d'irrigation à barrières multiples ainsi que le nivellement du terrain ont amené une économie d'à peu près 10 M m<sup>3</sup>d'eau irriguée sur une surface de 7.176 hectares. Toutefois, les petits propriétaires agricoles préfèrent opter pour le système d'irrigation par arrosage et égouttement. Les auteurs ont souligné l'urgence d'atténuer les impacts des changements climatiques imminents, en s'orientant sur la modernisation des systèmes d'irrigation, en tant que choix alternatif stratégique. (Salgado et al. 2017: R.60.1.17).

On s'attend à ce que l'augmentation de la productivité de l'eau au moyen du système de culture du riz pérenne tropical (SALIBU) du Sumatra de l'Ouest (Indonésie) réduise la consommation d'eau d'irrigation avec un facteur qui passe, par an, de 3,5 à 4, en obtenant un rendement plus élevé de la culture de repousses qui monte de 6t/ha à 7-8t/ha. En outre, la période de culture est raccourcie de 20/35 jours ( par rapport aux 120/140 jours à l'origine) amenant ainsi une réduction de consommation d'eau, de la main d'œuvre employée, des semences et du terrain arable. Toutefois, il se vérifie, pour la repousse de riz, un manque d'acceptation de la part des agriculteurs commerçants à cause de la pénurie de bonnes variétés, la maturité non homogène, les maladies et les problèmes d'insecte, le manque de pratiques culturelles

spécifiques locales, un niveau de qualité inférieure du grain et le manque de certitude sur le retour de l'investissement. (Yamaoka et al., 2017: R.60.1.03).

En ce qui concerne l'étude sur Zacatecas (Mexique) le passage de l'irrigation par système de gravité au passage de l'irrigation par égouttement ainsi que la modernisation des infrastructures hydrauliques ont permis de rejoindre un niveau d'efficacité du 95% par rapport au taux précédent du 45%, une économie de consommation d'eau dans la mesure de 1.716 m<sup>3</sup> par hectare et une augmentation de la productivité de l'eau de l'ordre du 50%. Le mesurage volumétrique au niveau de la prise d'eau à la parcelle a eu un impact significatif sur l'eau économisée (de 15 à 25%). (Trinidad et al 2017: R.60.1.08).

### **Approches politiques et juridiques à propos de l'Economie en Eau**

Selon la tendance générale mondiale, tenu compte des ressources d'eau limitées et la compétition accrue entre les différents secteurs, y compris l'industrie, l'environnement et l'agriculture ainsi que le fait d'amener l'eau potable à la population, il est évident que les circonstances actuelles ne favorisent pas le développement de l'agriculture. L'agriculture devrait s'adapter aux ressources d'eau limitées et probablement abandonner progressivement une partie de sa propre part en faveur de la consommation domestique d'eau.

Dans certaines régions du monde, la redistribution d'une partie de l'eau à usage agricole a été entreprise comme une nouvelle politique. Un certain nombre de mesures techniques a été adopté par quelques pays pour limiter le prélèvement de l'eau souterraine de la part des agriculteurs telles que: les instruments de mesurage de l'eau, la distribution de l'eau de façon automatique. Les politiques de ces gouvernements visent à réduire la pression sur les nappes d'eau souterraines et économiser la consommation d'eau en agriculture. Le prix de l'eau peut jouer également un rôle efficace pour réduire l'extraction de l'eau de la part des agriculteurs. En effet, pour la consommation de l'eau, des systèmes tarifaires progressifs ont été mis en place dans le but de décourager les agriculteurs d'accomplir des extractions d'eau trop poussées. D'autres moyens peuvent être adoptés pour amener les agriculteurs à économiser la consommation d'eau par l'entremise de politiques d'encouragement (récompense pour l'économie d'eau) ou bien des politiques axées sur les sanctions (méthodes contraignantes).

Dans les régions arides et semi-arides, modifier ou changer les modèles de culture pour les adapter à une demande d'eau moins élevée fait partie des politiques entreprises par les décideurs afin d'améliorer la gestion des ressources d'eau disponibles. En plus, le développement des capacités et des compétences afin de modifier les méthodes d'irrigation constitue un autre point important dans les stratégies menées par les actionnaires qui sont concernés par le processus d'économie de l'eau.

### *Aperçu général des exposés*

La recherche en Chine a indiqué que promouvoir le changement du système d'irrigation du traditionnel à celui par égouttement n'a pas amené de variations substantielles à la demande ET de production (évapotranspiration). Durant la période d'expansion de la technologie pour l'économie d'eau en irrigation, la mesure réelle de ET a diminué à cause de sa réduction dans les zones non-irriguées. Il avait été ressenti que les changements de la demande de ET, en promouvant la technologie d'irrigation, devraient être pris sérieusement en considération durant son évaluation, ainsi que la gestion et la planification de l'eau agricole. (Han et al 2017: R.60.1.13)

En Corée du Sud, le potentiel supplémentaire de fourniture des réservoirs d'irrigation a été pris en étude afin de vérifier la possibilité de transfert d'eau auprès d'eux pour faire face à une augmentation de la demande. Les résultats ont démontré que 116 réservoirs pourraient

fournir de l'eau à usage domestique tout en donnant satisfaction aux besoins d'irrigation. Étant donné que le modèle de fourniture de l'eau sera modifié au cours de l'année, on s'attend à des changements du plan de fourniture de l'eau et du fonctionnement du réservoir, et l'excédent d'eau sera utilisé pour d'autres usages différents de celui de l'agriculture, et on s'attend à sa contribution sur le bien-être rural. (Yoon et al 2017: R.60.1.11).

Afin de résoudre les litiges pour le partage des eaux qui surgissent entre les différents actionnaires, le Gouvernement du Sri Lanka a récemment pourvu à mettre en place des zones industrielles, dans le secteur rural, afin d'apporter une solution au chômage et réduire le fractionnement des zones rurales. Les conflits surgissent parfois lors du partage des ressources d'eau disponibles aussi bien à l'intérieur d'un secteur que transversalement entre les secteurs. Les auteurs ont conseillé, afin d'assurer la sécurité alimentaire, de desservir les groupes d'usagers de l'eau qui contribuent à l'économie par d'autres moyens, d'aménager leurs besoins par l'économie d'eau obtenue ainsi que par l'amélioration de la productivité obtenue. (Meegastenna and Kamaladasa, 2017: R.60.1.22).

Dans une étude de cas de réformes structurelles et opérationnelles dans le système d'irrigation dans le Haut Jhelum au Pakistan, les auteurs ont ressenti la nécessité de basculer vers des systèmes d'irrigation pressurisés plus efficaces. Ceci permettra de limiter les carences d'irrigation, d'améliorer le terrain irrigué et d'aider à combattre la pénurie alimentaire. Le revêtement en béton avait été suggéré pour le système d'irrigation secondaire et tertiaire. Il est fortement conseillé d'utiliser l'étude détaillée, le UJC et ses structures hydrauliques à décharge augmentée pour mettre au point la reformulation de l'approche qui conduira à la modernisation du système de transfert (Rashid et 2017: R.60.1.30)

Le document de l'Inde témoigne de l'expérience relative à la récolte d'eau pour l'augmentation des ressources d'eau. En considération des différents facteurs politiques, sociaux et économiques, l'utilisation incontrôlée des ressources naturelles pour alimenter une population en rapide augmentation a abouti en une détérioration indésirable du sol et des écosystèmes. Afin de réduire la pression sur les ressources d'eau destinées à la production agricole, les auteurs pensent qu'il faudrait mettre d'avantage l'accent sur la récolte de l'eau de pluie (Gupta et Kapoor 2017: R.60.1.24).

En Egypte, l'un des efforts du gouvernement pour l'économie de l'eau était celui d'introduire le Projet d'amélioration de l'irrigation: IIP, réduction des dispersions d'eau durant le transport, à la fin et à la ferme. Les différentes interventions, toutefois, n'ont pas fonctionné correctement, et ont été abandonnées. En outre, le calendrier d'irrigation entre les agriculteurs est un problème énorme car la règle était celle du "premier arrivé, premier servi". Par conséquent, en effet, il n'y avait pas eu de changement de l'efficacité d'irrigation à la ferme avant et après le projet d'amélioration. (El-Gamal, 2017: R.61.1.04).

De la Chine, il résulte que les objectifs de politique de production agricole ne prennent pas en considération la durabilité de l'action. La consommation d'énergie, durant les opérations à la ferme, démontre que le pompage de l'eau pour l'irrigation est l'un des processus à la ferme consommant le plus d'énergie et représente aussi la cause principale d'émissions en provenance du riz irrigué avec les eaux souterraines. L'étude fournit également la première analyse détaillée des émissions GES (Gaz à effet de serre- Green House Gaz or GHG) causé par le pompage de l'eau souterraine pour l'irrigation, dans le Nord de la Chine. L'auteur retient qu'il s'avèrerait de plus en plus nécessaire de procéder à la réappropriation des ressources d'eau rare pour les transférer de l'agriculture à d'autres secteurs qui ont des rapports d'utilisation d'eau /rendement plus élevés. (Liu et al 2017: R.60.1.05).

Au Mexique, une zone de 3.5 M d'hectares est touchée par le problème de la salinité et par drainage faible. Malgré les bénéfices prouvés, l'étendue du drainage en sous-sol a été de



100.000 hectares en 20 ans (moyenne de 5000 hectares par an). Il a été constaté que le coût de réhabilitation d'un hectare avec des problèmes de salinité et de drainage est de cinq fois inférieur par rapport à celui de rajouter une nouvelle superficie à l'irrigation. La réhabilitation de 60.000 hectares de terrain affecté par les problèmes de salinité et de drainage peuvent contribuer au 5% de la production de maïs planifiée pour la période du 2012 au 2018 et ceci représente un élément important pour assurer la sécurité alimentaire. (Namuche et al.2017: R.60.1.16).

Le rapport de l'Inde présente le scénario à projet conclut relatif à la construction d'une digue en proximité d'une des villes à plus rapide expansion: Nashik, située dans l'état indien de Maharashtra. L'auteur espère que les ressources d'eau seront planifiées, en tenant compte aussi bien de la disponibilité d'eau présente que future et en prenant en considération les besoins actuels et futurs dans tous les domaines. Les solutions possibles présentées par l'auteur sont: a) la mise en place du système de micro-irrigation; b) réemploi dans l'ordre du 65-80% de l'eau sanitaire pour l'irrigation et les centrales thermiques; c) récolte de l'eau de pluie dans les zones urbaines; d) contrôle des réserves d'eau et réduction des pertes; e) mesurage obligatoire pour l'économie d'eau (Belsare, 2017: R.60.1.19).

### **Approches et Mesures Gestionnaires pour l'Economie d'Eau**

Un nombre de documents soumis au congrès mexicain ont abordé la gestion de l'eau ou une combinaison du thème relatif à la gestion de l'eau ainsi que des problématiques de technologie.

La gestion de l'irrigation peut être identifiée comme s'agissant d'une série d'opérations exécutées afin de fournir aux cultures, de façon uniforme, une "quantité suffisante" d'eau sur la base d'un "programme spécifique". Par conséquent, une programmation de l'irrigation intelligente, en équipant les sites, où l'eau est fournie aux agriculteurs, d'instruments de mesure du débit des eaux, et l'emploi des méthodes de fourniture basées sur le volume afin de couvrir le volume total requis par les cultures, représentent les mesures nécessaires pour rejoindre les objectifs de gestion de l'irrigation.

Les objectifs pour obtenir une économie d'eau, dans le domaine de l'agriculture, comprennent un certain nombre de mesures telles que: la réduction du flux de drainage, réduire la pollution des ressources d'eau aussi bien en surface que souterraines, empêcher de fortes baisses du débit des fleuves, éviter tout dégât à l'environnement et fournir aux utilisateurs un accès correct aux ressources d'eau. Donc les pratiques de gestion de l'irrigation, avec pour but, l'utilisation de l'eau de façon optimale et la réduction des flux de drainage, revêtent une grande importance.

Parmi toutes les techniques d'irrigation utilisées par les agriculteurs, dans les régions arides et semi-arides pour réduire la dispersion d'eau, celles qui semblent représenter quelques une des plus populaires et efficaces, parmi eux, sont: l'établissement du calendrier pour la programmation de l'irrigation, l'emploi de bâches en plastique pour maîtriser l'évaporation en provenance du terrain, et la technique d'irrigation par sillon.

#### *Aperçu général des exposés*

Une étude de terrain au Zanzibar a cherché d'évaluer l'effet de trois techniques de gestion d'eau sur la productivité de l'eau pour le riz paddy. Les pratiques étaient constituées par la: submersion continue (CS); alternance d'humidité et de sécheresse (AWD); et la culture du sol saturé sans eau de bassin (SSC). En conclusion, il résulte que la productivité d'eau du riz pouvait être améliorée par l'application des techniques d'économie d'eau (Shaame and Senzanje, 2017: R.60.1.15).

En Finlande, le drainage contrôlé associé à l'irrigation souterraine représente une option pour la conservation de l'eau de pluie, dans le sol, pour la production agricole. L'équipe de recherche a aussi conseillé l'utilisation de cette solution technique en d'autres domaines, sous d'autres circonstances. (Virtanen et al, 2017: R.60.1.26)

La jacinthe d'eau pour le traitement de l'eau de drainage pour l'économie d'eau dans les terrains irrigués est introduite en Egypte là où l'eau de drainage est une ressource publique. Une étude a démontré que la végétation aquatique peut améliorer la qualité de l'eau de drainage si le système d'eau d'irrigation peut répondre à certaines conditions telles que la saison de traitement. (Abou El Ella and El Samman, 2017: R.60.1.21).

Des chercheurs en Turquie ont développé un modèle de drainage contrôlé afin de retenir une certaine quantité d'eau in-situ et pouvoir en bénéficier d'avantage. Beaucoup d'études ont démontré que l'apport capillaire de la nappe d'eau souterraine à faible profondeur pourra diminuer le besoin d'eau pour l'irrigation. Dans l'étude de cas reporté dans le document, la relation entre le niveau de la nappe phréatique et l'eau utilisée pour l'irrigation se détermine au moyen de l'emploi de données annuelles à long terme. Par l'entremise d'une gestion soigneusement planifiée de la nappe phréatique, les plantes peuvent satisfaire leur besoin d'eau si l'eau souterraine n'est pas chargée d'excès de sel. (Fayrap and Toy, 2017: R.60.2.08).

Une étude menée dans la région de Changhua à Taiwan a relevé le besoin d'eau pour les cultures mixtes et a conduit une recherche sur l'impact du pompage de l'eau souterraine, au niveau régional. Il avait été utilisé un modèle dynamique de système pour prendre en considération la chute d'eau de pluie, l'eau d'irrigation et le pompage de l'eau souterraine du côté approvisionnement. Les résultats ont indiqué une contribution du 50%-50% entre l'eau de canalisation et le pompage d'eau souterraine pour couvrir la demande d'eau agricole. (Wu et al. 2017: R.60.1.07).

Au Ghana, dans les programmes d'irrigation reposant sur les réservoirs (UER), une irrigation complémentaire est nécessaire durant la saison des pluies, à cause de la variabilité climatique. Ce besoin d'eau supplémentaire pourrait être couvert en augmentant l'efficacité de l'irrigation grâce à une amélioration du programme d'irrigation. En utilisant le modèle AquaCrop dans le système de la tomate-maïs, pour un certain nombre de fois journalières, l'étude conseille d'ajuster les programmes d'irrigation en fonction des conditions hydrogéologique spécifiques par site et de l'introduction de l'irrigation supplémentaire lors de la saison des pluies. (Sekyi-Annan et al, 2017: R.60.1.04).

Le document de la région du Nord de Victoria en Australie explique combien la région soit avancée pour ce qui concerne l'économie de l'eau qui s'accomplit par l'entremise de projets du programme d'Eau à la ferme (FWP) et qui incluent des activités menées pour améliorer les systèmes d'irrigation actuels avec l'emploi de nouvelles technologies. Un calculateur fournit une estimation des économies d'eau qui s'effectuent au moyen de l'introduction des changements proposés. Les agriculteurs ont confirmé que le nouveau système a engendré une réduction significative de la consommation d'eau par rapport à l'ancien système. (Walters et al 2017: R.60.1.06).

Dans les trois districts d'irrigation dans la région de Sinaloa au Mexique, les économies d'eau ont été réalisées en augmentant les efficacités de prestation lors du transfert, stockage, distribution et de consommation. Les interventions ont visé : a)aux structures de mesurage à la ferme pour relever les volumes d'eau fournis; b) au nivellement du terrain; c) à la programmation de l'irrigation en fonction des variables climatiques et édaphiques; d) au calcul des besoins d'irrigation par culture. L'introduction de ces actions ont mené à la diminution de l'application d'irrigation ; ont augmenté l'efficacité de l'application du 13%. (Flores-Velazquez et al. 2017: R.60.1.20).

Le document du Mexique a analysé la productivité de l'irrigation dans l'aquifère de Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexique, qui a été exploitée pendant plusieurs décades. L'aquifère avait un déficit de 207,1 hm<sup>3</sup>/an reporté en 2009. La chute d'eau de pluie moyenne par an, dans la région, était de 492 mm avec une infiltration estimée de l'ordre de 100 hm<sup>3</sup>/an. En utilisant un modèle de simulation, les auteurs ont calculé la productivité de l'irrigation qui permettra de générer une option de gestion alternative pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation. (Santos Hernández et al. 2017: R.60.1.23)

En Egypte, l'efficacité des Projets d'amélioration de l'Irrigation (IIPS) avait été évaluée, en cherchant d'améliorer les conditions socio-économiques des agriculteurs. Les auteurs conseillent l'introduction du IIP avec l'application d'un nombre de recommandations telles que l'utilisation d'un certain modèle de culture qui puisse rapporter un revenu important à l'agriculteur. (Sayed et al. 2017: R.60.1.27)

## Résultats principaux

Différentes techniques et technologies: huit documents ont présenté les différents aspects des approches technologies et techniques afin d'améliorer l'irrigation et déclencher des économies d'eau; les techniques allaient du canal tronqué pour mesurer le débit d'eau avec application sur le terrain jusqu'à la technologie du contrôle automatique de l'eau pour surveiller le niveau d'eau et les systèmes d'irrigation par égouttement et par arrosage.

L'Institut mexicain de la Technologie des Eaux a développé un système d'information relative à l'extraction volumétrique des aquifères qui permet d'avoir accès aux données qui se réfèrent aux estimations des volumes d'eau des aquifères du pays qui sont extraits, distribués et rechargés.

Les actions principales suggérées par les auteurs pour les économies d'eau sont relative aux technologies qui traitent l'irrigation avec économie d'eau sur le terrain, la technologie d'irrigation par la récolte des eaux pluviales, la technologie pour le contrôle de l'eau automatique, la technologie pour le recyclage de l'eau et la technologie pour le mesurage volumétrique au niveau de la prise d'eau à la parcelle. Ainsi, les dispersions d'eau se réduisaient alors que l'économie d'eau en agriculture était maximisée. En plus on a vérifié un usage efficace du système d'irrigation par l'entremise d'une réduction de l'évaporation tout en augmentant la productivité d'irrigation.

D'autre part, deux études de cas conduites en Chine et en Egypte ont conclu que les technologies sont incapables de réduire les pertes d'eau et qu'elles affaiblissent en partie les effets de l'irrigation par économie d'eau. Une discussion plus approfondie devrait être menée sur ces deux cas lors de la session de présentation.

Gestion de l'eau -réemploi/recyclage de l'eau: Douze rapports ont mis l'accent sur les aspects relatifs à la gestion de l'eau, à la connaissance de comment utiliser moins d'eau pour les cultures spécifiques et de comment réutiliser une partie de l'eau et la recycler. L'idée centrale de la gestion de l'eau est celle d'utiliser un volume minime d'eau requise tout en optimisant son usage. Les recommandations des auteurs visent à l'application des conditions hydrogéologiques spécifiques par site, au terrassement au laser, à l'intégration de l'eau avec les engrais pour la fourniture aux récoltes, l'amélioration de l'efficacité de l'eau, l'activité de drainage et d'irrigation souterraine sous contrôle, le réemploi des eaux de drainage pour faire face aux besoins d'eau, l'utilisation combinée des ressources d'eau en surface et souterraines afin d'améliorer la qualité de l'eau tout en réussissant à compléter les besoins d'eau et en adaptant les programmes d'irrigation.

Politiques nationales et stratégies : Dix rapports ont analysé les différentes politiques nationales ainsi que les stratégies pour l'économie d'eau dans les irrigations agricoles. Certains d'entre eux ont souligné les conflits qui existent entre différents actionnaires pour pouvoir obtenir une fourniture d'eau majeure ainsi que les problèmes entraînés par le transfert de l'eau à secteurs autres que celui de l'agriculture. Les auteurs ont présenté des recommandations relatives aux solutions et stratégies à mettre en place telles que la modernisation des modèles d'irrigation, les réformes structurelles et opérationnelles, la récolte des eaux pluviales dans les zones urbaines et le développement de l'irrigation pressurisée. D'autre part, en Chine, un chercheur avait redoublé l'efficacité de prestation des systèmes d'irrigation pressurisée en termes d'économie d'eau et a suggéré aux décideurs politiques d'entreprendre une évaluation systématique de la prestation de la technologie d'irrigation avant de procéder à l'investissement destiné au développement de l'irrigation pressurisée.

Renforcement du réseau pour le transfert de la technologie: Il vaut la peine de souligner le besoin de renforcer le développement des compétence de gestion, relativement au transfert et à la diffusion des méthodes d'économie d'eau, par l'entremise de professionnels experts aussi bien au sein des gouvernements, des organisations internationales que des agriculteurs. Il est nécessaire de développer et d'introduire des directives appropriées ainsi que les régulations propres aux économies des eaux.

### **Question 60.2<sup>4</sup>: Compréhension sur la productivité de l'eau, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie ainsi que l'empreinte eau des cultures**

Cette sous-question a été traitée par 32 rapports en provenance de 16 pays. Les auteurs ont voulu examiner et analyser les différentes méthodes de gestion de l'eau pour l'agriculture irriguée en suivant trois orientations: l'interconnexion entre eau-énergie et sécurité alimentaire, la méthode de l'empreinte et la méthodologie classique sectorielle de la gestion des eaux.

#### **Interconnexion entre l'eau - l'énergie et l'alimentation (WEF): Contexte**

Selon l'organisation de la FAO, l'interconnexion nexus entre eau, énergie et alimentation signifie que les trois domaines - la sécurité de l'eau, la sécurité de l'énergie et la sécurité alimentaire sont strictement liées et les actions dans un secteur, dans la plupart des cas, ont des répercussions sur l'autre ou sur les deux autres secteurs.

En effet, l'eau, l'énergie et l'alimentation sont essentielles aux êtres humains, à la diminution de la pauvreté et à un développement durable. Les projections mondiales indiquent qu'il y aura, au cours des prochaines décades, une augmentation considérable de la demande en eau douce, énergie et alimentation, en considération de la croissance de la population, du développement économique, l'urbanisation, et la demande croissante de nourriture. Les informations disponibles (FAO) démontrent que l'agriculture pèse pour le 70% sur le total mondial d'extraction d'eau douce, ce qui en fait le plus grand consommateur d'eau. Entretemps, la production agricole et la chaîne logistique consomment le 30% de l'énergie mondiale totale. L'énergie est nécessaire à la production, au transport et à la distribution de la nourriture; elle est également nécessaire pour extraire, pomper, remonter, recueillir, transporter et traiter l'eau.

On prévoit que d'ici l'année 2050, une augmentation de la production du 60% soit nécessaire pour faire face au supplément de demande de nourriture. Selon les prévisions de IEA, la consommation mondiale d'énergie devrait augmenter de presque le 50% d'ici l'année 2035 et du 80% d'ici l'année 2050. La situation sera encore plus critique pour les pays en voie de

4 With inputs from Mr. Ian Makin (United Kingdom) and Dr. Mauricio Carrillo García (Mexico)

développement; en effet, si les extractions mondiales totales d'eau devraient augmenter du 50% d'ici le 2025, ce pourcentage d'augmentation ne devrait pas dépasser le 18% pour les pays en voie de développement.

La consommation d'énergie et la viabilité économique de la mesure sont influencées par les différentes mesures entreprises pour l'économie de l'eau telles que: l'amélioration de la gestion d'eau, le fonctionnement efficace en temps réel de l'eau libérée, la conservation des sols et la réalimentation des nappes aquifères, l'utilisation combinée des eaux de surface et eaux souterraines ainsi que le recyclage de l'eau utilisée. Par conséquent, dans le but d'améliorer les services d'irrigation par l'entremise d'une modernisation de l'irrigation et de ses réseaux de drainage, il est nécessaire de réexaminer les concepts relatifs à productivité de l'eau, à l'économie d'eau et à la sécurité hydrique sous le prisme de l'interconnexion eau-énergie-alimentation.

### Encadrement Conceptuel

La base de l'interconnexion Eau-Énergie-Alimentation est un essai visé à équilibrer les différentes utilisations des ressources de l'écosystème (énergie, eau, terrain, sol et facteurs socio-économiques). Il y a des interactions évidentes entre l'eau, l'énergie et l'alimentation qui peuvent aboutir en synergies ou en compromis entre les différents secteurs ou entre les groupes d'intérêt. Les sollicitations à une approche d'interconnexion comprennent également "l'efficacité économique, l'efficacité de ressource et les options d'amélioration des conditions de vie".

Il est important de comprendre les synergies et les compromis afin de développer des possibilités de réponse pour assurer la durabilité de l'environnement ainsi que le soutien à la vie des peuples. En soulignant ces interdépendances, le concept d'interconnexion Nexus invite à considérer les éléments tels que l'eau, l'énergie et l'alimentation non pas comme des éléments distincts mais comme un ensemble complexe et liés entre eux de façon indissociable. En retour, cette vision permet de mettre en place les politiques plus intégrées et plus rentables, des méthodes de planification, d'application, de contrôle et d'évaluation relativement aux différents secteurs en interconnexion Nexus. En résumé, une approche orientée à l'interconnexion permet d'être disposés à accueillir un large éventail de points de vue ainsi que l'expertise nécessaire tout au long du processus, vise à promouvoir le dialogue entre les différents secteurs et à rechercher les solutions pour répondre aux enjeux en cours avec des efforts collectifs.

Depuis 2011, de nombreuses conférences, laboratoires et rencontres au niveau territorial et international se sont tenues, dans le but de promouvoir l'interconnexion WEF (Water, Energy, Food), en mettant d'avantage l'accent sur la prise de conscience. Les conclusions tirées, lors de la plupart de ces événements, soulignent la nécessité, de la part des décideurs politiques, de développer le dialogue sur les défis relevés après l'adoption du concept d'interconnexion WEF ainsi que sa mise en place au moyen d'investissements en nouveaux projets sur plusieurs niveaux.

Parmi les différents encadrements d'orientation actuellement en vigueur en relation à l'interconnexion WEF, il semble que l'approche amenée par FAO soit la plus appropriée pour ce qui concerne l'énergie-eau intégrées et les projets pour l'alimentation dans le domaine agricole.

Cette étude met en évidence la base des ressources qui incluent aussi bien celles relatives aux ressources sociaux-économiques qu'à celles biophysiques desquelles nous dépendons pour rejoindre les objectifs sociaux, économiques et de l'environnement, en relation à l'eau, l'énergie et l'alimentation. Les interactions prennent place en un scénario guidé par des

facteurs externes d'échelle mondiale, tels que la variation démographique, l'urbanisation, le développement industriel, la modernisation dans l'agriculture, le commerce international et régional, les marchés et les prix, les progrès de la technologie, la diversification des régimes alimentaires et les changements climatiques. Elle tient compte aussi des facteurs internes spécifiques par territoire tels que les structures et les processus de gouvernance, les intérêts directs, les comportements et les valeurs sociales et culturelles.

La gestion de l'interconnexion aide à déterminer les objectifs aussi bien du point de vue territorial que national en relation à l'interconnexion ainsi que les moyen pour les rejoindre par rapport à la base des ressources.

### **Evaluation de l'interconnexion( WEF)**

Dans le cadre de l'approche d'interconnexion Nexus WEF, l'évaluation Nexus s'articule autour d'une méthodologie facilement applicable qui s'appuie sur des indicateurs basés sur les différentes classifications par pays, permettant ainsi une évaluation rapide des interventions possibles par rapport aux objectifs de développement global tels que la sécurité alimentaire et la durabilité de l'utilisation et de la gestion des fournitures d'eau et d'énergie.

L'évaluation d'interconnexion Nexus comprend l'Evidence, le Développement du Scénario et les solutions Nexus. Ces solutions peuvent être appliquées:

- (a) à la planification et l'introduction de nouvelles mesures politiques
- (b) contrôle et évaluation des points suscités.

L'évaluation de l'interconnexion nexus sur le WEF peut être utilisée pour examiner les interconnexions nexus à toute échelle, à condition qu'à ce niveau, les données d'information soient disponibles. Elle peut mettre en évidence les synergies entre les différentes intervention par secteur, dénommées solutions "gagnant-gagnant", en aidant ainsi les actionnaires à développer de nouvelles idées sur plusieurs options, qui, à première vue, pourraient ne pas être évidentes.

Les objectifs concernés pas l'évaluation d'interconnexion nexus peuvent être résumés comme suit:

- (a) fournir une vue d'ensemble de la situation actuelle d'interconnexion en termes de ressources naturelles
- (b) ainsi que leur utilisation en soutien de la société, par l'entremise de l'identification et de la quantification des points d'interconnexion clé nexus.
- (c) application d'instruments spécifiques pour la détermination des informations qui ne sont pas facilement accessibles.
- (d) révision et soumission de propositions indiquant comment les interventions spécifiques d'interconnexion Nexus peuvent être évaluées, et comparaison des performances d'interventions spécifiques, sur la base de l'état de contexte par rapport aux objectifs de durabilité WEF.
- (e) interprétation des résultats de l'évaluation d'interconnexion nexus, contextualisation des interventions possibles ainsi que des relatives possibilités de solution .

Les documentations, acceptées sous la sous- question 60.2, sont classifiées en trois groupes, en fonction de l'approche utilisée: l'approche Nexus, l'approche Empreinte et l'approche de gestion sectorielle de l'eau.

## Rapports qui ont adopté l'approche Nexus d'interconnexion Eau-Énergie-Alimentation

Collado (2017: R.60.2.01) du Mexique indique que la demande d'eau, d'énergie et de nourriture augmentera de façon marquée dans les prochaines décades, sous l'effet de la pression effectuée de la part d'une population en croissance et de la mobilité, du développement économique, de l'urbanisation, des régimes alimentaires plus riches ainsi que les changements culturels et technologiques. Les scénarios de planification nationale indiquent que la production de produits agricoles augmentera de 70% d'ici le 2050 pour alimenter la population nationale avec une prévision d'apport calorique de 3.130 kcal par personne/jour. L'augmentation de la production des produits agricoles devrait provenir pour le 52% des récoltes agricoles, pour le 18% des cultures à haute intensité et pour le 30%, avec l'expansion des terrains arables. On s'attend également à une augmentation de la consommation d'énergie de 50%, en provenance du secteur de l'agriculture et alimentaire et on prévoit également une hausse du volume total d'extraction d'eau destinée à l'irrigation de 11% d'ici le 2050.

Gupta et Gupta (2017: R.60.2.14) retiennent que l'interconnexion Eau-Énergie et Alimentation (WEF) est un concept émergent de niveau international, complexe et à dimensions multiples. Ce concept est, en outre, amplifié par les enjeux sur le changement climatique ainsi que les changements sociaux. Leur rapport prend en considération les différents aspects de l'interconnexion et expose leurs avis en relation aux mesures d'intervention utiles à l'utilisation des ressources de manière efficace et durable.

Hassan et al (2017: R.60.2.35) aborde le sujet de l'interconnexion eau souterraine-énergie à Punjab au Pakistan, en liant l'argument à la sécurité alimentaire et au changement climatique. Suite au changement climatique, la demande d'eau souterraine pour l'irrigation a augmenté. L'abaissement consécutif de l'eau et l'augmentation des coûts de fonctionnement des puits tubulaires. Les auteurs recommandent l'évaluation des effets des changements climatiques sur les ressources d'eau souterraine sous de nouvelles conditions d'environnement afin de pouvoir procéder à une meilleure gestion et planification de cette ressource importante.

Sijapati et al (2017: R.60.2.03) parle de l'expérience sur l'interconnexion eau-alimentation et énergie effectuée en Afghanistan. Les interdépendances entre les différents secteurs sont nombreuses, dynamiques et multidimensionnelles. Une quelconque intervention dans l'un des secteurs a, comme impact, des implications sociales, économiques, et environnementales dans l'autre ou dans les deux autres secteurs. En effet, certains retiennent que la sécurité dans l'un des secteurs ne peut être rejointe sans causer un affaiblissement aux autres. Selon les auteurs, l'eau est le premier secteur de l'interconnexion, le deuxième est celui de l'alimentation, le troisième est celui de l'énergie. Les interconnexions entre ces secteurs sont évidentes et s'adaptent bien à l'Afghanistan.

Shin et al (2017: R.60.2.28) a pris en considération l'interconnexion WEF Nexus ainsi que les données relatives à l'empreinte eau pour déterminer la validité du changement du système de fourniture d'eau basée sur la productivité de l'eau dans la République de Corée. Les auteurs recommandent, afin de générer un revenu, de cultiver sur toute la zone des plantes de valeur élevée mais la surface de culture optimale est calculée sur le taux de la propre autosuffisance alimentaire de riz et d'autres cultures. En conclusion, dans le district de Seowoan, les surfaces de 70 ha de vignes et de 54 ha de riz avaient été jugées comme satisfaisantes en termes d'autosuffisance et le calcul de l'intrant/extrant était de 5,59.

## Rapports qui ont adopté l'approche de l'Empreinte Eau

L'utilisation de l'indicateur de l'Empreinte Eau semble être efficace pour une meilleure gestion de l'eau dans les zones irriguées. Cette méthode est en train de faire de bon progrès dans le champ de la recherche alors que sa généralisation par les gestionnaires des eaux exige des efforts plus intenses.

de Sousa et al (2017:60.2:08) a étudié l'empreinte eau de la coriandre cultivée dans la région aride de Sergipe au Brésil et a conclu que dans le contexte de l'environnement, l'eau est une ressource économique et limitée et sa rareté freine le développement. En ce sens, la gestion de la ressource d'eau au moyen de l'indicateur Empreinte Eau associé au niveau de vulnérabilité et de la disponibilité d'eau revêt une importance fondamentale pour une région déterminée.

Carretero et al (2017:60.2.17) mentionne le fait que l'Empreinte Eau est un indicateur qui prend en considération l'utilisation directe et indirecte de l'eau de la part du consommateur ou du producteur. Le concept de l'Empreinte Eau avait été créé par Hoekstra en 2002, et depuis lors, diffusé par l'entremise du Réseau Empreinte Eau (WFN). Le secteur de l'agriculture est le consommateur majeur de cette ressource. L'Empreinte Eau est un indicateur qui sert à comprendre si la ressource d'eau est utilisée, pour une activité spécifique, de façon efficace, et qui effectue la comparaison entre le volume d'eau dont une culture a réellement besoin avec le volume utilisé pour son irrigation.

Cohen, et al (2017:R.60.2.19) a souligné combien la production alimentaire et la consommation d'énergie soient, entre elles, liées de façon inséparable et a attiré l'attention sur l'interdépendance entre l'utilisation d'eau et d'énergie. Ils ont étudié les empreintes d'eau et d'énergie dans le contexte de la production de lait. Comme mentionné précédemment, l'eau est nécessaire à la production d'énergie et l'énergie est nécessaire pour rendre l'eau disponible. Donc, parmi les solutions plausibles en ce qui concerne la production de nourriture pour l'alimentation des vaches, l'on considère celle de d'augmenter l'efficacité d'irrigation et les efficacités de prestation électro mécaniques de l'équipement de pompage utilisée pour l'irrigation des cultures. Les solutions génétiques pour améliorer l'efficacité de conversion de la nourriture en énergie appartiennent à une vision à long terme; néanmoins, avec les progrès de la science en cette matière, il se pourrait que l'on ait du bétail, de manière plus performante, plus tôt que prévu.

Pannunzio et al (2017: R.60.2.20) de l'Argentine retient qu'un modèle de structure approprié ainsi que des systèmes de gestion de l'irrigation sont des facteurs clé pour la productivité de l'eau d'irrigation. L'expansion continue des pratiques de la part des ouvriers de l'irrigation est essentielle à l'amélioration d'efficacité de l'irrigation. Ils conseillent de mesurer l'empreinte eau à la ferme, qui donnera une indication sur l'efficacité de l'utilisation d'eau pour les cultures irriguées à la ferme.

Chaibandit et al (2017: R.60.2.23) met en relation l'empreinte eau de la canne à sucre dans la Thaïlande de l'Est avec les variables climatiques. Il a été relevé que la corrélation la plus élevée est de 0.708 avec l'eau verte et la successive plus élevée est de 0,707 avec l'eau bleue. L'eau verte est librement fournie par la nature, sous la forme de précipitations de pluie. L'eau bleue est transportée de sa source pour les besoins des cultures. L'eau requise pour diluer la pollution des cultures, comme par exemple les engrais et les herbicides, est l'eau grise. L'objet de l'étude effectuée par Chaibandit et al (2017: R.60.2.23) est celui d'établir le rapport entre l'eau bleue et l'eau verte ainsi que les corrélations avec les variables climatiques de l'empreinte eau de la canne à sucre qui pousse dans la Thaïlande de l'Est.



Le résultat de l'étude peut être utilisé pour préparer les lignes directrices pour la gestion durable des ressources d'eau dans la région orientale et pour tout le pays aussi, en termes d'empreinte d'eau bleue et d'eau verte et grise.

L'étude conduite par Adetoso et al (201: R.60.2.04) sur la canne à sucre dans l'Afrique du Sud parvient aux conclusions suivantes: (1) un paillis épais a réduit l'évapotranspiration, le besoin d'irrigation et la consommation d'eau bleue; (2) les cultures irriguées par égouttement du sous sol ont consommé moins d'eau que celles irriguées avec les systèmes à pivot central; (3) l'estimation d'empreinte eau bleue était presque le double de l'empreinte eau verte. Les résultats démontrent l'envergure qu'amène l'efficacité de l'utilisation d'eau dans les cannes à sucre irriguées en utilisant des systèmes d'irrigation efficaces, en limitant le gaspillage d'évaporation par l'emploi de paillis et par une programmation soignée d'irrigation.

Dans le rapport de Vázquez-Lizárraga et al (2017: R.60.2.25), les auteurs mettent l'accent sur l'importance du modèle de structure pour l'irrigation, sans affaiblir pour autant les autres activités dans un projet d'irrigation au Mexique et confirment que dans la zone prise en étude, l'efficacité d'application de l'eau en surface est de 80%, qui est similaire à l'efficacité de prestation de l'irrigation par arrosage portable et bien de 20 points supérieurs par rapport au système d'irrigation en surface traditionnel. Ils ont reprojété les systèmes d'irrigation sur 300 hectares, en réalisant une modélisation inverse des contrôles d'irrigation et les équations hydrauliques conformes avec la rigueur dans leur solution.

et Choi (2017: R.60.2.29) ont calibré le Modèle Aquacrop version.5.0 afin d'effectuer une simulation sur le rendement du blé, en utilisant la récolte des données sur le terrain obtenues lors des essais expérimentaux conduits durant la période 2004-2010, dans la région centrale du Punjab, au Pakistan. L'étude a démontré qu'afin de bénéficier pleinement des tendances futures climatiques, il est nécessaire de mettre d'avantage l'accent sur une meilleure gestion d'irrigation. Les résultats peuvent aider à choisir la meilleure solution possible pour obtenir un rendement de blé optimal tout en disposant de ressources d'eau limitées.

Roux et al (2017: R.60.2.05) ont pourvu à comparer l'applicabilité des méthodes pour l'Empreinte d'Eau (WF) et ont soutenu qu'il serait bon de promouvoir les récoltes avec un WF soutenable au détriment de celles avec des WF insoutenables. Les gouvernements pourraient accorder des subsides pour les récoltes avec des WF soutenables pour permettre de réduire les prix au détail. Les prochaines études doivent prêter attention aux façons utilisées pour influencer les comportements du consommateur qui amènent des changements dans la demande de marché. Il ressort, de cette étude, que le choix de la méthode dépend des objectifs pour lesquels on l'utilise.

### **Rapports qui ont adopté l'approche de la gestion sectorielle de l'eau**

Les dernières années, la méthode de classification de l'image a subi des changements, en passant de la classification traditionnelle basée sur les pixel à la classification objet-image. Dans une étude à Taiwan (Tan et al, 2017: R.60.2.09), l'extraction de l'information d'image et l'interprétation de la récolte ont été prélevées de l'image au Scanner Digital Airborne (ADS40) comme s'agissant de données expérimentales et en effectuant la comparaison entre la classification traditionnelle contrôlée, la classification artificielle des unités de parcelles cadastrales et le modèle de classification objet-image. L'exactitude de la classification des récoltes était comparée au moyen des différentes méthodes et l'estimation de l'eau d'irrigation avait été effectuée, en utilisant la surface récoltée.

Cruz Bautista and Bautista-Olivas (2017: R.60.2.01) présente l'évaluation d'un modèle semi-empirique afin d'effectuer une estimation des modèles de mouillage avec l'irrigation par égouttement. Ce modèle utilise deux équations pour calculer l'ampleur dimensionnelle du

mouillage du sol. Il avait été testé avec trois types de texture du terrain et deux horizons, sans récoltes. L'efficacité du modèle a été évalué en comparant les résultats obtenus sur le terrain avec ceux qui avaient été estimés, en utilisant, comme indicateurs statistiques, l'efficacité du modèle (ME), la racine de l'erreur moyenne quadratique (RMSE), et l'erreur moyenne (ME).

Yoon et al (2017: R.60.2.11) ont relevé que l'irrigation plus élevée consécutive de riz de 10 jours en Corée était de 228 mm. L'irrigation se concentre lors de la transplantation, de l'ordre de 20 jours par le passé, mais après la mécanisation, elle a été de 10 jours environ. L'irrigation maximale journalière pourrait être utilisée pour le modèle du système de transfert et l'irrigation consécutive de 10 jours peut être utilisée pour la gestion du stockage du réservoir. L'équilibre hydrique relevé par cette étude pourrait être utilisé comme donnée de base pour le développement des ressources de l'eau agricole et la mise en place de contre mesures pour minimiser les risques de sécheresse.

Chang et al (2017: R.60.2.12) soutient que la surproduction de l'agriculture intensive a abouti en une diminution du profit en des prix à la baisse, à Taiwan, pendant des décades. Productivité élevée et les investissements devraient mener à une réduction du terrain arable et à une diminution du gaspillage d'eau. Il devient urgent de pouvoir augmenter le profit des agriculteurs au moyen d'une optimisation de l'utilisation des ressources. Les prestations de la méthode de gestion de l'eau sur les rizières nuisent à la vulnérabilité et à la capacité d'adaptation envers la sécurité alimentaire locale.

Les caractéristiques météorologiques qui distinguent la zone alpine du Tibet sont la grande différence de température du jour, la radiation solaire violente et un changement significatif de l'humidité de l'air (Xu et al 2017: R.60.2.02). Lors d'une expérience menée sur le terrain, on avait vérifié la relation entre la température de l'atmosphère (T), la radiation solaire (Rs), l'humidité d'air relative (RH) avec les indicateurs physiologiques de l'avoine; ceci afin d'analyser la variation diurne du potentiel hydrique foliaire ( $\psi_L$ ) le taux de transpiration ( $(Tr)$ ) et le taux net photosynthétique ( $P_n$ ). Les résultats ont démontré que le  $\psi_L$  subissait des variations durant les différentes phases de croissance.

Reddy and Reddy (2017: R.60.2.13) se réfèrent à une étude effectuée par l'Institut d'Enseignement de Gestion des Eaux et des Sols (WALAMTARI) situé à Andhra Pradesh en Inde relativement au fonctionnement de 57 Modèles d'Irrigation par élévation en 2014. Ils ont relevé que 46 d'entre eux étaient opérationnels alors que 11 étaient désaffectés. Il fut aussi relevé que le 52% des modèles présentaient de graves problèmes d'entretien, 26% des problèmes moyens alors que le 22% n'avaient pas de problème.

Une étude au Sri Lanka a démontré que les niveaux de productivité de la plupart des modèles d'irrigation au Sri Lanka sont considérablement plus bas de ceux qui ont été développés dans les pays asiatiques ((De Alwis and Marapana, 2017: R.60.2.15). L'étude a conseillé de moderniser le système de transfert de l'eau dans la zone de commande. La mise en place d'un réseau de contrôle du flux avec des mécanismes de mesurage et un système de communication constitue la tâche principale pour la gestion de l'eau d'irrigation. Des méthodes de consolidation du terrain modifié pour remodeler les rizières peuvent aussi contribuer à améliorer la productivité du terrain et l'efficacité de la mécanisation à la ferme pourrait permettre de réduire la main d'œuvre ainsi que de minimiser les pertes à la récolte.

Upadhryaya et al (2017: R.60.2.16) recommande l'étude du modèle pour comprendre l'efficacité des systèmes d'irrigation. Dans leur étude, ils ont combiné le modèle Hydrus-1D avec le modèle de croissance de culture calibré STICS afin de parvenir à des dynamiques dans la zone racinaire plus proche de la réalité.

Le site expérimental utilisé pour l'étude est le Berambadi (84 km<sup>2</sup>), bassin versant situé dans le bassin du Gundal du Sud ( 816 km<sup>2</sup>) qui, à son tour, fait partie du bassin de Kabini (7000 km<sup>2</sup>), situé dans la région semi-aride de l'Inde du Sud.

Yoshida et al (2017: R.60.2.18) a utilisé une modélisation hydrologique de processus pour calculer la prévision du ratio de retour de l'eau détournée dans un bassin versant contenant des zones étendues de riz irrigué. Les flux d'eau dans les bassins versants contenant des zones étendues de rizières irriguées sont complexes à cause du volume important - et cycle répété - d'eau détournée en provenance et de retour aux ruisseaux. Les auteurs ont appliqué le modèle au Bassin de la Rivière Kinu au Japon qui couvre une surface de 1.761 km<sup>2</sup>. Les pourcentage de retour estimés étaient respectivement du 70,8%, 63,7% et 57,4% pour les zones irriguées dans les emplacements supérieurs, à la mi hauteur et en aval. (moyenne 17 ans)

Minjares et al (2017: R.60.2.21) ont calibré et validé le modèle AquaCrop développé par FAO en des condition d'irrigation aussi bien complètes que déficitaires et l'ont appliqué pour simuler une production de blé ( rendement en grain et rendement en biomasse), comme une fonction de la consommation d'eau dans le District d'Irrigation n. 01, Colonias Yaquis, Sonora, Mexique.

Marco et al (2017: R.60.2.22) mentionnent le fait que, selon les indicateurs de prestation, il se vérifie une inégalité dans le développement et la prestation des Districts d'irrigation au Mexique. Ils recommandent l'analyse des causes afin que les investissements soient visés à l'amélioration des prestations des districts d'irrigation pour pouvoir rejoindre les objectifs en fonction desquels ils avaient été conçus.

L'étude de Ghahreman et Helmi (2017: R.60.2.24) aboutit à la conclusion qu'en considération des changements climatiques, à la station en étude, dans la province de Ghazyin, en Iran, la saison des cultures sera plus courte de 20 et 30 jours pour respectivement, le maïs et le blé.

La limitation de l'eau pour la culture du maïs devrait être plus élevée par rapport au blé à cause de l'augmentation probable, dans le futur, de la température en été. Au contraire, le blé devrait ne pas faire face, dans le futur, à un problème plus important dans la région. Ils suggèrent donc de remplacer, dans la station en examen, le maïs avec des cultures qui consomment moins d'eau.

Angeles-Hernández et al (2017: R.60.2.26) ont déterminé l'irrigation appliquée aux cultures sur une étendue de 8.106 hectares appartenant à 2.412 agriculteurs, pendant deux années consécutives, afin de calculer la productivité de l'eau pour l'irrigation par gravité dans le district d'irrigation de Alto Rio Lemma, Guanajuato, au Mexique. En mesurant la profondeur de l'eau appliquée ainsi que la zone irriguée, les indicateurs techniques pour les niveaux d'utilisation d'eau destinée à l'irrigation agricole étaient déduits. Sur la base des résultats de l'étude, les auteurs demandent que l'on effectue, de façon précise, le nivellement du sol ainsi que le mesurage de l'eau d'irrigation.

Nahún et al (2017: R.60.2.30) ont développé une serre pour promouvoir l'utilisation appropriée de l'eau et les exploitations agricoles sur petite échelle, dans le but d'essayer de solutionner le déficit alimentaire en pratiquant un usage durable des ressources d'eau au Mexique. Le développement des systèmes intégrés, tels que le stockage des eaux pluviales, l'irrigation contrôlée et l'utilisation de petites exploitations agricoles, présente un scénario encourageant en ce qui concerne la gestion durable de l'eau et de la production alimentaire. Les réservoirs de stockage qui ont été proposés (citerne de 500 m<sup>3</sup> avec bord en brique) pourraient révolutionner la culture du stockage des eaux pluviales ainsi que booster les projets de production dans les milieux ruraux et périurbains.

L'étude conduite par Núñez (2017: R.60.2.06) sur le commerce de l'eau virtuelle avait pris en considération les quatre cultures plus importantes du Mexique et dans un scénario global, sans tenir compte de l'origine et de la destination des productions, s'est concentrée sur la nécessité de développer une politique durable relativement au commerce d'eau virtuelle.

Xie et al (2017: R.60.2.33) préconisent l'utilisation des Systèmes d'Irrigation à Haute Efficacité de prestation (HEIS) tels que ceux par égouttement et arrosage, afin de faire face à la pénurie d'eau à cause des changements climatiques. Toutefois, ces systèmes sont à énergie intensive et les coûts élevés d'énergie, qui y sont associés, peuvent jouer un rôle important lors de la décision pour l'adoption des HEIS. Les auteurs présentent les résultats d'une étude sur les liens entre eau, énergie au Vietnam, avec l'accent sur la compréhension de la faisabilité ainsi que des avantages fiscaux en faveur des agriculteurs pour l'adoption des HEIS.

Félix et al (2017: R.60.2.07) a utilisé la Vélocimétrie par repérage des particules Stéréoscopique (Stéréo-PTV) pour déterminer les paramètres morpho-dynamiques des gouttes d'eau sur un terrain tridimensionnel. La technique a été appliquée pour les gouttes émises par un seul arrosoir isolé équipé de deux buses de vaporisation (du diamètre de 3,97 et 3,18 mm) et installé à une hauteur de 1,65 m au dessus du terrain. Les auteurs affirment que l'information expérimentale est de grande valeur pour ce qui concerne la capacité de prédiction des modèles actuels de simulation en 2D et 3D, et représente également une contribution à la connaissance des processus physiques qui se vérifient lors de la formation des gouttes.

En conclusion de cette partie de la discussion, les points suivants devraient être pris en considération:

- (a) la méthode d'interconnexion Nexus sur le WEF est encore limitée dans son emploi pour ce qui concerne l'intégration eau-énergie et projet alimentaire.
- (b) Il y a besoin de plus de prise de conscience pour l'introduction d'interconnexion Nexus sur le WEF.
- (c) Les programmes de développement des compétences, dans l'interconnexion Nexus WEF, doivent être mis en place afin de relancer son adoption de la part des principaux acteurs dans le domaine des eaux (actionnaires, chercheurs, dirigeants)

### **Question 60.3<sup>5</sup> : Sécurité hydrique pour la croissance et le développement**

La sécurité hydrique s'identifie par la capacité de la population de garantir l'accès à des quantités d'eau appropriées en maintenant une qualité acceptable afin de soutenir l'écosystème et la santé humaine, par bassin hydrographique. Elle entraîne l'évaluation de deux aspects, plus précisément, la sécurité hydrique avec soutenabilité écologique et la sécurité hydrique avec soutenabilité sociale.

La sécurité hydrique avec soutenabilité écologique. Elle prend en considération le cycle hydrologique naturel, la relation entre eau et climat, en particulier l'eau dans le contexte de phénomènes météorologiques extrêmes ainsi que les changements de climat en relation à la répartition de l'eau spatiale et temporelle.

Elle comprend également l'effet de l'eau sur d'autres ressources telles que la flore, la faune, la végétation, le sol et les êtres humains. Comme on peut le constater, l'eau écologique a un impact direct sur la sécurité hydrique avec soutenabilité sociale car la vie humaine ainsi que ses activités dépendent de leur subsistance ainsi que du bien-être de l'écosystème naturel.

5 With inputs from Dr. Gao Zhanyi (China) and Dr. Jesús Chavez Morales (Mexico)

Selon Park and Park (2017 : R.60.3.11), le risque futur de sécheresse peut être évalué par le taux d'entreposage du réservoir, car le risque, dans la Corée du Sud peut être relevé tout d'abord en vérifiant les réservoirs agricoles. Les analyses sur la sécheresse ou plutôt on a utilisé le RCP ( Parcours de Concentration représentative), le SSP2 (Parcours socio-économiques partagés), qui ont reflété les politiques des émissions, l'information sur les changements sociaux et économiques ainsi que les efforts pour la réduction des émissions dans l'Asie Orientale, spécialement en Chine. Le risque de sécheresse avait été évalué par l'entremise du taux d'entreposage d'eau dans les réservoirs agricoles.

Sawatpru and Konyai (2017: R.60.3.17) aborde le sujet de la variation de la sécheresse hydrologique le long du Fleuve Yom en Thaïlande. La méthode du niveau de seuil avait été appliquée de calculer les valeurs du volume déficitaire ainsi que la durée de la sécheresse. En ce cas, l'action de gérer, qui passe d'une alternative potentielle à une gestion du fleuve, devient un exemple pour rejoindre une distribution de l'eau équitable, le long du fleuve.

Chiueh (2017: R.60.3.13) présente un modèle de gestion de distribution de l'eau durant la sécheresse, en utilisant des scénarios sociaux-économiques au Taiwan. Le modèle cherche à établir le mécanisme de transfert de l'eau et ensuite de simuler les retombées sur le bien-être, en situations différentes. L'analyse souhaite aider à mettre en place un mécanisme de gestion de l'eau efficace et correct dans le but de préserver la sécurité alimentaire, le développement économique et la conservation environnementale.

On a utilisé et calibré le modèle HEC-HMS pour représenter le débordement en surface des sous-bassins Malacate et Ichupio dans le bassin du Lac Patzcuaro au Mexique. L'étude a conclu qu'il faudrait appliquer les techniques de support et l'utilisation appropriée du terrain dans les bassins versants et dans les tous les bassins hydrographiques du Mexique.(Prado-Hernández et al: (2017: R.60.3.25)

Une étude dans le district d'irrigation à Sonora au Mexique( Pulido-Madriral et al 2017: R.60.3.10) a relevé que les variables responsables de la salinité du sol sont représentées par: la température, l'évapotranspiration, les précipitations de pluie, le volume d'irrigation, la profondeur à la nappe phréatique ainsi que la concentration des sels dans les eaux d'irrigation et souterraines. En outre, suite au réchauffement planétaire uni à une réduction des pluies, la production agricole totale a diminué. Pour faire face aux problèmes du réchauffement climatique, il est nécessaire de mettre en place des stratégies et des programmes de réhabilitation des terrains affectés par la salinité. par l'entremise d'une amélioration des efficacités de prestation de l'irrigation, le revêtement des canaux, et l'installation des systèmes de drainage souterrains.

### **Sécurité hydrique avec soutenabilité sociale**

La sécurité hydrique sociale tourne autour principalement de trois aspects: administratif, économique et sanitaire. L'administration de la sécurité de l'eau intègre tous les niveaux de la législation du point de vue international, national et territorial. Elle inclut aussi la planification, l'exécution des projets, l'opérativité, l'évaluation et l'entretien des systèmes hydrauliques. L'aspect économique de la sécurité de l'eau couvre les thèmes de l'eau pour l'énergie ainsi que de l'eau pour l'alimentation et l'industrie.

La sécurité de l'eau et l'assainissement se réfèrent à la dégradation de l'eau, à l'impact des eaux usées sur l'environnement et sur la santé humaine; il prend également en considération le rétablissement de la qualité de l'eau. Pour analyser la sécurité de l'eau, certaines études de cas sont classifiées comme étant relatives à la sécurité de l'eau et environnementale et sociale même si la séparation entre ces thèmes n'est pas tout à fait claire.

Des études économiques, administratives et légales au niveau de l'état, du bassin et spécifique ont été présentées lors des délibérations du 23<sup>ème</sup> Congrès.

Un rapport de la Banque Mondiale sur les Lois des Eaux dans les pays en voie de développement, avec référence spécifique à la Malaisie, (Garthwaite, et al, 2017: R.60.3.02) souligne l'importance de l'analyse des législations de l'eau pour la gestion de son utilisation dans les pays. Certains pays possèdent déjà une législation des Eaux ou bien un encadrement légal relatif aux Eaux depuis de nombreuses années et aujourd'hui ils sont en train d'effectuer les modifications, pour faire face aux enjeux en cours. L'importance de cet encadrement légal doit être analysée pour chaque pays afin de définir la gestion durable de l'eau, surtout quand il s'agit de l'utilisation de l'eau pour l'agriculture.

Dans une étude de cas en Turquie, les auteurs considèrent que le transfert aux Associations des usagers de l'eau, du fonctionnement, entretien et administration des grandes zones d'irrigation constitue un moyen pour garantir la sécurité pour la croissance et le développement de l'irrigation. En plus, il permet de réduire le fardeau des coûts de Fonctionnement et Entretien du système, à charge de l'État. Les résultats démontrent qu'après le transfert des systèmes d'irrigation aux organisations des usagers, des améliorations significatives ont été enregistrées dans le taux de cotisation de collecte des eaux et se sont vérifiées des réductions du coût de fonctionnement des systèmes gérés par les WUAs. (Fayrap and Unlu, 2017 : R.60.3.09)

En reconfirmant ces mêmes points de vue, un autre rapport explique qu'au Mexique, le gouvernement fédéral précédent avait soutenu la décentralisation des Districts d'Irrigation sous la commission des eaux nationale et leur fonctionnement avait été transféré aux WUAs. Ceci encouragea les usagers du système d'irrigation à prendre sous leur propre responsabilité, l'opérativité, l'entretien et la gestion de l'infrastructure d'irrigation afin d'effectuer le service d'irrigation à tous les usagers sous leur responsabilité. L'expérience du Mexique de transférer la gestion du service d'irrigation aux organisations des usagers a constitué un succès et représente un exemple pour d'autres pays, pour ce qui concerne la stratégie de réduire le fardeau économique à la charge de l'état, tout en améliorant les prestations des systèmes d'irrigation.(Espinosa, et al., 2017: R.60.3.05)

En Afrique, les Bassins des fleuves Juba et Shabelle sont partagés entre Somalie, Éthiopie et Kenya. Les ressources d'eau disponibles du bassin de Juba sont en conditions critiques à cause des programmes d'irrigation, de la fourniture d'eau et des projets de puissance hydraulique adoptés par le secteur en amont du bassin éthiopien alors qu'il y a une augmentation des demandes d'eau non satisfaites, de la part des nombreux usagers d'eau dans le Bassin en aval en Somalie. Jusqu'à présent, aucun accord n'a été rejoint par les états riverains des bassins bien que les états riverains en amont des bassins des fleuves Juba et Shabelle aient développé un plan général complet pour leurs besoins, sans toutefois entreprendre aucune négociation avec le pays en aval, la Somalie, qui est directement pénalisée par les prélèvements d'eau en amont. Il est fortement recommandé de faire en sorte que les ressources d'eau disponibles soient utilisées de façon efficace et soutenable, aussi bien par les pays en amont qu'en aval (avec l'introduction de technologies d'irrigation modernes, une gestion de la demande et un accroissement de l'offre) et il est également nécessaire d'organiser des consultations et communiquer l'information relative à tout projet planifié de la part du secteur en amont du pays. Une collaboration devrait être mise en place entre les états riverains, en accord aux principes de la législation internationale de l'Eau (Hussein, 2017: 241; Ali, 2017: R.60.3.15).

Les Lougangs (chêneaux) sont des anciens projets de conservation de l'eau, qui fonctionnent encore, dans la ville de Huzhou en Chine, en tant que l'un des projets plus importants pour

l'irrigation des territoires, pour le contrôle des crues et pour le drainage. Toutefois le niveau de sensibilisation pour les Lougangs n'a encore pas rejoint un tel degré qui suffise à les protéger. Un rapport explique que l'un des engagements les plus importants est celui de surmonter les conflits qui surgissent entre la nécessité de protéger le patrimoine des ressources d'eau et un développement soutenable de la société moderne. (Deng, et al, 2017: R.60.3.03)

Un rapport a exhorté à développer les Directives Techniques pour l'irrigation, le drainage et la prévention des inondations, avec des projets agricoles soutenables. Le travail a pris en considération l'irrigation, le drainage et la protection contre les inondations pour la production agricole; il nécessite de phases de pré-investissements, investissements, administration, opérativité, entretien, gestion intégrée et à la fin d'une évaluation post-projet. La mise en place de ces directives techniques couvrant les besoins du personnel professionnel sur les disciplines techniques, sociales, environnementales, économiques et de commercialisation permettra de garantir la viabilité du projet. (José María et al, 2017: R.60.3.12).

Le rapport sur la sécurité alimentaire de l'Ukraine exhorte à la récupération du sol ainsi qu'à son utilisation productrice afin de pouvoir assurer une production agricole soutenable. Les auteurs espèrent que la stratégie visant à la remise en état ainsi qu'au développement de l'irrigation et du drainage, pour la période qui s'étend jusqu'à 2030, devrait permettre de minimiser l'impact négatif des changements climatiques sur les conditions agricoles et sur la sécurité alimentaire et puisse créer la base nécessaire pour son développement. (Gadzalo, et. al, 2017: R.60.3.14)

Le risque d'une rupture de barrage pourrait avoir, dans certains cas, des conséquences catastrophiques, et en d'autres cas, être motif d'inquiétude, à plusieurs degrés. Dans un rapport du Mexique, relatif au risque de rupture d'un barrage en terre, (Briseño et al 2017: R.60.3.08), les auteurs mentionnent les quatre stades pour l'évaluation de risque d'une rupture de barrage: identification, estimation, évaluation et contrôle du risque. Les résultats devraient permettre aux décideurs de comparer équitablement le risque parmi les digues, et éventuellement adopter des mesures préventives ou bien planifier les opérations de secours, bien à l'avance, par rapport au moment où la panne pourrait se vérifier.

Les auteurs d'un rapport se penchent sur la sécurité hydrique pour les petites infrastructures agricoles du Mexique et affirment qu'il s'était vérifié une augmentation de la quantité de limon lavé au réservoir, suite aux changements de l'utilisation du sol, ce qui provoqua une obstruction de l'approvisionnement d'eau et amena à une transition de l'agriculture irriguée à une agriculture pluviale. Ainsi malgré l'objectif de départ, le réservoir ne put continuer à assurer la sécurité hydrique aux usagers du réservoir, ce qui affecta l'agriculture. (Íñiguez-Covarrubias, et al. 2017: R.60.3.19)

Pour ce qui concerne le Bassin du Fleuve Brantas dans la province du Java de l'Est, en Indonésie, une approche intégrée de la part des actionnaires représentatifs dans le domaine du développement, de la gestion et dans l'utilisation des ressources hydriques au niveau des bassins, pourrait donner lieu à un nouveau modèle pour les méthodes futures de gestion de l'eau dans les autres bassins hydrologiques. L'auteur présente le processus général qui régit la disponibilité de l'eau avec une mise à jour du plan général à une échelle de bassin hydrologique ainsi que des résultats plus importants obtenus. Les enjeux dérivant de la gestion des ressources hydriques afin de répondre aux besoins des différents actionnaires, pour ce qui concerne les questions techniques, les encadrements institutionnels ainsi que les instruments juridiques, peuvent apporter une contribution aux directions futures pour l'introduction du meilleur système de gestion des eaux. (Fulazzaky, 2017: R.60.3.04).

Le rapport sur le Développement Vert des districts d'irrigation dans le bassin du fleuve Haihe en Chine, aborde le sujet du rôle technique, constructif et des usagers dans la gestion des Districts d'Irrigation, au niveau des bassins. Les problèmes et les contremesures traitées sont communes à beaucoup d'autres pays. Le Rapport informe de l'adhésion au principe de "l'écologie, d'abord", de la réalisation des infrastructures en support et de la réforme pour l'économie d'eau, dans les districts d'irrigation de moyenne et grande dimension. En outre, il informe du contrôle de l'exploitation des zones des zones découvertes d'eau souterraine, par l'entremise de promotion simultanée de différentes mesures de support. (You, 2017: R.60.3.07)

Des études de simulation ont estimé l'éluion de PO4-P d'une Couche de Sediment de zone Benthique et ont projeté son effet sur les variations du P Total au Réservoir de Saernageum, en Corée .L'étude a examiné si l'eau du réservoir pouvait être utilisée pour l'agriculture, pour la croissance et le développement. Les auteurs ont conclu qu'aussi bien l'apport d'eau douce en provenance des bassins versants en amont que la diffusion hydrodynamique, entre le sédiment benthique et le réservoir, ont les plus grandes influences sur le phosphore total dans le Réservoir Saemangeum. (Oh et al, 2017 R.60.3.01)

### **Sécurité hydrique avec soutenabilité économique**

L'économie de l'eau a été analysée avec trois différents rapports qui ont couvert les aspects suivants:

L'étude en Indonésie propose des indicateurs de sécurité de l'eau représentés par: le Ratio de criticité qui utilise la moyenne d'eau annuelle disponible /eau effectivement déviable disponible; l'Indice de Stress Hydrique qui utilise la moyenne d'eau annuelle disponible ou l'eau effectivement déviable disponible; le Ratio d'entreposage d'eau à la Zone d'Irrigation; et l'Indice de Gestion du Bassin hydrographique. En référence à ces paramètres, en tant qu'étude de cas effectué dans la partie du Nord du Java de l'Ouest en Indonésie, le rapport démontre que les indicateurs composés du ratio de criticité, l'indice de stress hydrique, l'entreposage et la gestion du bassin hydrographique indiquent, de façon efficace, les phases de sécurité d'eau de la zone. (Hatmoko, et al, 2017: R.60.3.20)

L'étude sur l'intensité de l'irrigation, les conditions de l'environnement et la production agricole dans le bassin du Rio Grande-Bravo au Mexique peuvent conduire à atténuer les impacts d'une réduction dans l'irrigation. Détourner l'irrigation du bassin supérieur plus aride au bassin inférieur qui a besoin de moins d'irrigation, pourrait potentiellement libérer de l'eau pour d'autres usagers. Les auteurs signalent qu'une reconfiguration aussi radicale de l'utilisation de l'eau de bassin pourrait se révéler comme étant, au début, perturbatrice et être cause de conflit. D'autre part, il faut reconnaître aussi l'insoutenabilité des degrés toujours croissants du stress hydrique. Le vrai choix est celui de savoir s'il est préférable d'opter pour des mesures de correction contraignantes ou bien attendre jusqu'à ce que se vérifie une crise hydrique encore plus pénibles. (Sisto and Severinov, 2017, R.60.3.18)

Une étude au Mexique souligne le fait que les aquifères souterraines sont surexploitées au Mexique afin de fournir l'eau d'irrigation pour l'agriculture protégée. L'étude analyse la potentialité de la récupération des eaux pluviales du toit, au moyen de gouttières et de canalisations, destinées à son entreposage pour son utilisation successive, dans l'irrigation. (Luis et. al., 2017: R.60.3.21)



## Sécurité hydrique et son assainissement

Deux rapport ont étudié l'utilisation potentielle des ressources hydriques non conventionnelles.

Il est nécessaire de renforcer, à l'avenir, le traitement des eaux usées pour l'irrigation, vue la pénurie d'eau douce et la qualité de l'eau médiocre. Avec l'augmentation de la population, les quantités importantes d'effluents domestiques inutilisés sont entrées dans la catégorie d'eau non-conventionnelle. Selon un rapport de la Chine, les réalisations technologiques doivent être continuellement améliorées afin de parvenir à garantir 6 aspects technologiques: le zonage de l'irrigation d'eau non conventionnelle, la classification des cultures compatibles, identification de la pollution, technique d'irrigation à haute efficacité, contrôle et évaluation, avec un modèle d'application intégrée. (Wu et al, 2017: R.60.3.16)

Le rapport sur le filtrage des eaux usées par le traitement de sol, dans une canne à sucre, explique que les eaux usées Brutes, en provenance de la raffinerie de sucre, ne sont pas conformes aux standards qualitatifs mexicains, pour en permettre le déchargement dans les plans d'eau naturels. Au contraire, la qualité de la nappe phréatique peu profonde (< 1m), utilisée pour l'irrigation des champs de canne à sucre, l'est. Ils ont relevé que l'infiltration des eaux brutes inacceptables sur une extension de champ de canne à sucre de plus de 258 hectares avait été en mesure de réduire le niveau de polluant et l'avait ramené à une valeur acceptable, en en permettant donc l'utilisation pour l'irrigation. (González-Meraz et al, 2017: R.60.3.24)

L'irrigation avec les ressources hydriques non conventionnelles devaient être conformes aux réglementations exigées par WHO et FAO.

## Résumé et Conclusions

Le 23eme Congrès ICID, qui se tiendra au Mexique du 8 au 14 Octobre 2017, a pour objectif celui de relever les défis complexes posés par l'agriculture irriguée ( prestations médiocres, pénurie d'eau, rivalité entre les différents secteurs, urbain, industriel et énergétique pour l'approvisionnement d'eau, répercussions sur l'environnement) d'un côté, et de l'autre, le besoin croissant d'une augmentation de la production agricole afin de pouvoir alimenter une population prévue en croissance pour le future. Le thème de ce congrès choisi est: "Moderniser l'Irrigation et le Drainage pour une nouvelle Révolution Verte".

Les deux problématiques plus importantes seront formulées sur la base de deux questions: Question 60 sur " la Productivité de l'Eau: Révision des Concepts en matière de Nexus, l'interconnexion entre eau, énergie et alimentation" et la question n.61 sur "L'état des connaissances des techniques d'irrigation et des fonctionnalités, en considération des paramètres socio-économiques".

Le présent Rapport a résumé les problématiques plus importantes relatives à la Question 60 et ont été analysées, par le moyen de 86 Documentations, articulées dans les trois sous-chapitres: (i) Sous-Question 60.1: Les nouveaux enjeux et les problématiques engendrés ar l'économie d'eau, y compris l'impact causé par le transfert de l'eau en dehors de l'agriculture. (ii) Sous-Question 60.2 Compréhension sur la productivité de l'eau, sur l'efficacité d'utilisation d'eau et d'énergie et "l'empreinte de l'eau" en agriculture.(iii)Sous-Question 60.3: Sécurité de l'eau pour la croissance et le développement.

Les 86 Documentations ont traité des points relatifs aux trois questions: 60.1,60.2,60.3.sur la base d'études de cas, recherches et expérimentations conduites à différents niveaux dans 27 Pays : Afghanistan, Argentine, Australie, Brésil, Chine, Colombie, Égypte, Finlande, Allemagne, Inde, Indonésie, Iran, Italie, Japon, Malaisie, Mexique, Pakistan, Russie, Somalie, Afrique du Sud, Corée du Sud, Sri Lanka, Thaïlande, Taiwan, Turquie, Ukraine et Vietnam.

Les conclusions principales et les recommandations sont reportées ci-dessous pour chacune des trois questions citées ci-dessus:

Q.60.1: Les nouveaux enjeux et problématiques posées par l'économie d'eau couvrent principalement trois aspects:(i) amélioration des technologies et des techniques d'irrigation; (ii) Approches politiques et légales pour l'économie d'eau; et (iii) approches et mesures de gestion pour l'économie d'eau. Les auteurs ont conclu que l'amélioration des technologies et des techniques d'irrigation peuvent effectivement mener à une réduction de la dispersion d'eau, à optimiser l'économie d'eau en agriculture tout en améliorant la productivité et l'efficacité de l'irrigation.

Des mesures de gestion de l'eau diversifiées ont été décrites et ont été prouvées comme étant efficaces pour l'économie d'eau, du niveau de terrain au niveau du bassin d'eau.

Certains rapports ont traité les approches politiques et juridiques relatives à l'économie d'eau et à son transfert en dehors de l'agriculture. Leurs auteurs ont recommandé l'adoption de solutions et de stratégies telles que la modernisation des modèles d'irrigation, les réformes opérationnelles structurelles et l'utilisation de ressources d'eau alternatives dans la zone urbaine.

Q. 60.2 :Les problématiques de la productivité de l'eau, de l'efficacité de l'utilisation d'eau et d'énergie et l'empreinte eau des cultures ont été discutées autour de trois aspects: (i) approche nexus de l'interconnexion eau-énergie et alimentation (WEF), (ii) approche empreinte eau; et (iii) efficacité de l'utilisation d'eau par l'entremise d'une approche de gestion de l'eau sectorielle. Bien que l'approche WEF soit adoptée progressivement par un certain nombre d'auteurs dans leur analyse de l'approche intégrée de l'efficacité d'utilisation eau-énergie, cette approche n'est toutefois encore pas largement utilisée par les dirigeants et les actionnaires. Il y a encore un vif besoin de prise de conscience et d'une plus ample diffusion de cette approche parmi tous les acteurs concernés par le processus de l'eau, y compris les chercheurs.

Les méthodes classiques de gestion de l'eau sectorielles ont prouvé d'être efficaces pour l'amélioration de prestation de l'irrigation et pour l'augmentation de la productivité de l'eau, dans les différentes cultures.

Les méthodes d'Empreinte Eau semblent être efficaces pour une meilleure gestion des eaux dans les zones irriguées. Ces méthodes ont fait de bon progrès dans le champ de la recherche alors que leur généralisation par les responsables de gestion de l'eau exigent des efforts plus étendus.

Q 60.3: La sécurité de l'eau pour la croissance et le développement a été discutée par les auteurs concernés qui ont traité deux aspects: (i) la sécurité de l'eau dans l'environnement; (ii) sécurité de l'eau sociale.

Un nombre d'auteurs ont conclu que le problème majeur qui affecte la sécurité de l'eau est relatif à la pénurie d'eau dont les facteurs les plus importants sont de l'environnement, avec des changements climatiques à l'origine des différents systèmes de distribution d'eau qui provoquent soit des inondations, soit la sécheresse, et enfin sociaux. De nos jours, une rivalité croissante intersectorielle est commune et qui fait que la pénurie d'eau devient une problématique encore plus critique.

Le facteur de la sécurité d'eau sociale a été analysé suivant les trois aspects suivants: (a) gestion de l'eau; (b) économie d'eau; et (c) les aspects d'assainissement d'eau.

Les conclusions plus importantes relatives à ces aspects se croisent avec ceux des études précédentes traitant la gestion intégrée de l'eau, la productivité de l'irrigation et l'économie

d'eau. Cependant, un nombre limité de documents ont mis en évidence l'analyse sur les aspects liés à l'assainissement de l'eau, en combinaison avec l'utilisation potentielle de ressources d'eau non conventionnelles pour l'irrigation (surtout selon la perspective des standards de qualité).

Comme conclusion générale, toutes les innovations adoptées pour résoudre les problèmes de la productivité de l'eau et de l'économie d'eau, en utilisant les différentes approches (technologies et techniques améliorées, interconnexion nexus WEF, sécurité de l'eau) n'auront pas d'effet efficace si elles ne sont pas combinées avec les processus de transfert et de diffusion en termes de développement des connaissances et des compétences parmi tous les acteurs: O&M, gestionnaires des eaux, chercheurs, experts et agriculteurs.

Ce rapport sera enrichi par les conclusions plus importantes et les recommandations qui ressortiront des discussions lors des trois sessions parallèles, consacrées aux questions Q60.1., Q60.2, 60.3 et qui se tiendront lors du 23eme congrès ICID à Mexico du 8 au 14 Octobre 2017.

## Remerciements

Ce Rapport Général a été préparé en collaboration et avec les contributions d'un Panel d'Experts (PE) et des Coprésidents, comme mentionné ci-dessous:

Panel Experts / Coprésidents: : Mr. Mehrzad Ehsani (Iran) and Dr. Raquel Salaza Moreno (Mexico) Mr. Ian Makin (United Kingdom) and Dr. Mauricio Carrillo García (Mexico); Dr. Gao Zhanyi (China) and Dr. Jesús Chavez Morales (Mexico).

Les remerciements les plus sincères aux PEs et aux Coprésidents pour le temps et les efforts consacrés à la préparation des rapports récapitulatifs sur les questions de leur compétence. Les appréciations sont également adressées aux nombreux auteurs qui ont donné leur contribution sur leur travail de recherche, par l'entremise de leurs articles, ainsi qu'aux nombreux réviseurs pour le temps consacré à l'examen ponctuel des résumés.

Les remerciements les plus vifs à Dr Vijay K. Labhsetwar, Directeur de ICID et coordinateur du Congrès, pour les efforts consacrés à la révision et à la rédaction de ce Rapport.

## Références

- Alessandro Flammini et al, FAO report on the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative Climate, Energy and Tenure Division (NRC) - FAO, July 2014. FAO, The Water-Energy-Food Nexus at FAO, Concept Note, FAO, May 2014.
- Gao Zhanyi and Jesús Chavez Morales, General Report on Question 60.3: "Water Security for Growth and Development", 23rd ICID Congress, platform of August 2017.
- Ian Makin and Mauricio Carrillo García, General Report on Question 60.2: "Understanding Water Productivity, Water and Energy Use Efficiency and Water Footprint of Crops", 23rd ICID Congress, platform of August 2017.
- ICID, Report of the 22nd International Congress on Irrigation and Drainage, Gwangju, Republic of Korea, 14-20 September 2014.
- Mehrzad Ehsani and Raquel Salazar Moreno, General Report on Question 60.1: "Emerging Issues and Challenges of Water Saving, Including Impact of Transferring Water out of Agriculture", 23rd ICID Congress, platform of July 2017.
- OECD, Global Forum on Environment, New Perspectives on the Water-Energy-Food Nexus, Paris, 27-28 November 2014.



## Abstract of Papers received in Response to

### Q.60.1: Emerging issues and challenges of water saving, including impact of transferring water out of agriculture

Les problèmes émergents et les enjeux de l'économie d'eau, y compris l'impact des transferts de l'eau hors de l'agriculture

---

#### INDEX OF ABSTRACT

---

- |                  |  |    |
|------------------|--|----|
| <b>R.60.1.01</b> | <b>Building and Application of Water-limited Vegetation Growth Simulation Model</b><br>Construction Et Application Du Modele De Simulation De Croissance De Vegetation Dans Un Environnement Limite En Eau<br><i>Liu Jiangang, Zhao Yong, Guan Jianzhao, Deng Jun, and Zhou Bo (Beijing)</i>   | 73 |
| <b>R.60.1.02</b> | <b>Mean Annual Irrigation Depth Considering its Long-Term Impact on Soil Fertility</b><br>Etude de la profondeur d'irrigation annuelle moyenne compte tenu de son impact à long terme sur la fertilité du sol<br>Iouri Nikolskii-Gavrilov, Ivan Petrovich Aidarov, Cesareo Landeros-Sanchez, and Victor Vladimirovich Pchylkin (Mexico)                                  | 74 |
| <b>R.60.1.03</b> | <b>Increasing Water Productivity through Applying Tropical Perennial Rice Cropping System (<i>Salibu</i> Technology) in Cdz, Myanmar</b><br>Augmenter la productivité de l'eau a travers l'application tropicale vivace de riziculture système ( <i>Salibu</i> Technology) dans CDZ, Myanmar<br>Kazumi Yamaoka, Khin Mar Htay, Edriman, and Resfa Fitri (Japan)          | 76 |
| <b>R.60.1.04</b> | <b>Irrigation Schedule Systems in Reservoir-Based Irrigation Schemes in the Upper East Region of Ghana</b><br>Planification tout au long de l'annee de l'irrigation pour les systemes de culture dans les regimes d'irrigation a base de reservoir dans l'extreme est du Ghana<br>Ephraim Sekyi-Annan, Bernhard Tischbein, Bernd Diekkrüger, and Asia Khamzina (Germany) | 78 |
| <b>R.60.1.05</b> | <b>Effect of Groundwater Irrigation on Greenhouse-Gas Emissions in North China</b><br>L'effet de l'irrigation des eaux souterraines sur les emissions de gaz a effet de la serre dans la Chine du nord<br><i>Liu Qunchang Yan Qinghong Ren Hejing Xu, and Jingdong (Beijing)</i>   | 80 |

- R.60.1.06 Saving Water in Northern Victoria, Australia Farm Water Program – Objectives, Learnings and Successes** 81  
Économise l'eau dans la victoire du nord, Australie Programme de l'agriculture agricole - objectifs, acquis et réussites  
C. Walters, M. Mcfarlane, G. Mason, C. Nicholson, and D.Lawler (Australia)
- R.60.1.07 Irrigation Water Assessment Model for Mixed Crop Field in Taiwan** 83  
Modele d'évaluation de l'eau d'irrigation pour les cultures mixtes a Taiwan  
R.S.Wu,, P.Y. Chen, J.S. Liu, and F. Hussain (Taiwan)
- R.60.1.08 Infrastructure Modernization to Improve Water Use Efficiency: Challenges for Agriculture Productivity** 85  
Modernisation Des Infrastructures Pour Améliorer L'efficacité D'utilisation De L'eau : Défis Pour La Productivité De L'agriculture  
*González-Trinidad J, Júnez-Ferreira H.E., Pacheco-Guerreo A.I., Bautista-Capetillo C.F., and Chávez-Carlos D. (Mexico)*
- R.60.1.09 Usability of Shallow Groundwater in Irrigated Agriculture: A Case Study from Turkey** 87  
Utilisation De L'eau Souterraine Peu Profonde À L'agriculture Irrigée: Une Étude De Cas De La Turquie  
Aynur Fayrap, and Süleyman Toy (Turkey)
- R.60.1.10 Ecological Type Agriculture Water-Saving Compensation Practice in Dongguan City, China** 88  
Pratique de Rémunération à l'économie de l'eau agricole type écologique a Dongguan, en Chine  
Wang Haili, Zhan Xiaomi, Li Tie, Lü Shun, Liu Leyin, and Huang Yuyan (China)
- R.60.1.11 Water Supply for Agriculture from Irrigation Reservoirs in Korea** 89  
Alimentation en eau pour l'agriculture des réservoirs d'irrigation en Corée  
Kwang-Sik Yoon, Dong-Ho Choi, Seung-Hwan Yoo, Hyun-Kyu Park, and Jae-Han Ko (Korea)
- R.60.1.12 Investigating the Impact of Irrigation Improvement Project on Water Saving** 91  
Étude du projet impact sur l'amélioration de l'irrigation sur l'économie d'eau  
Talaat El-Gamal (Egypt)
- R.60.1.13 Irrigation-Induced Changes in Evapotranspiration Demand of Awati Irrigation District, Northwest China** 92  
Changements Induits Par L'irrigation Par La Demande D'évapotranspiration Du District D'irrigation De Awati, Nord-Ouest De La Chine  
Songjun Han, Di Xu, and Zhiyong Yang (China)

<b>R.60.1.14</b>	<b>Farmers' Participation and Usage of ICT and Remote Sensing in Measuring Water Productivity- A Case of Andhra Pradesh, India</b>	93
	La participation des agricultures et l'utilisation des tic et de laeledetection ans la mesure de la productivité de l'eau - un cas D'Andhra Pradesh, Inde Kazuhiro Yoshida , and Sekhar Muddu (India)	
<b>R.60.1.15</b>	<b>Innovative Water Management Practices on Paddy Rice Water Productivity in Zanzibar</b>	95
	Évaluation de l`effet des pratiques novatrices de gesti de l`eau sur la productivite des Rizieres A Zanzibar <i>Shaame Matta Shaame, and Aidan Senzanje (South Africa)</i>	
<b>R.60.1.16</b>	<b>Evolution of Agricultural Drainage in Mexico Current Status and Prospects</b>	97
	Évolution du drainage agricole au Mexique etat actuel et perspectives José Rodolfo Namuche Vargas, Heber Eleazar Saucedo Rojas, Carlos Fuentes Ruiz, and José Luis Arellano Monterrosa (Mexico)	
<b>R.60.1.17</b>	<b>Production Indicators for Irrigation Modernization Case Study in Chihuahua, México</b>	99
	Les indicateurs de production pour la, odernisation de l'irrigation comme une stratégie de lutte contre les pénuries d'eau et son impact sur l'approvisionnement alimentaire. etude de cas À Chihuahua, México <i>Olvera-Salgado M.D., Bahena-Delgado, G., Ángeles Hernández J. M., Castillo González J.A., Namuche Vargas R., Unland Weiss H.E.K., and Pacheco Hernández P (Mexico)</i>	
<b>R.60.1.18</b>	<b>In-Stream Wetland as a Potential Low Cost Treatment Technology in Rural Areas</b>	101
	Courant De Zones Humides Comme Traitement Potentiel De Faible Cout Technologie Dans Les Zones Rurales Ashraf El Sayed Ismail (Egypt)	
<b>R.60.1.19</b>	<b>Water Use Conflicts and Possible Solutions - A Case Study of Irrigation Projects in Upper Godavari Basin, India</b>	103
	Conflits D'utilisation De L'eau Et Possibles Solutions – Une Étude De Cas De Projets D'irrigation Dans Le Bassin Supérieur De Godavari, Inde Sanjay Belsare (India)	
<b>R.60.1.20</b>	<b>Prospects of Water Saving Through Modernization of Surface Irrigation Systems: The Rigrat Case</b>	104
	Aprendizaje y desafios del ahorro de agua a través de la modernizacion del sistema de riego por gravedad: caso rigrat Jorge Flores-Velazquez, <i>Waldo Ojeda Bastamente, Juan Manuel Angeles Hernández, Mario Alberto Montiel Gutiérrez Y Gustavo Adolfo, and Hinojosa Cuellar (Mexico)</i>	

- R.60.1.21 Water Hyacinth to Treat Agriculture Drainage Water for Water Saving** 105  
 Jacinthe D'eau Pour Traiter Les Eaux De Drainage De L'agriculture Pour Economiser L'eau  
 Salwa M. Aboueella, and Tarek A. El Samman (Egypt)
- R.60.1.22 Water Transfers Out of Agriculture – Current Issues in Sri Lanka** 107  
 Transfert d'eau de l'agriculture - questions actuelles en Sri Lanka  
*Janaki Meegastenna and Badra Kamaladasa (Sri Lanka)*
- R.60.1.23 Water Use Analysis in the Cuauhtemoc Aquifer, Chihuahua, Mexico** 109  
 Analyse D'utilisation De L'eau Dans L'aquifère De Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexique  
 Ana Laura Santos Hernández, Enrique Mejía Saenz, and Jesús Rodríguez Rodríguez (Mexico).
- R.60.1.24 Water Harvesting for Sustainable Land Resource Management in Developing Countries of Asia** 111  
 Récupération De L'eau Pour La Gestion Des Ressources Foncières Durables Dans Les Pays D'Asie En Développement  
 R.K.Gupta, and Pooja Kapoor (India)
- R.60.1.25 Application of the Volumetric Extraction Information System for Aquifers (Sieva) in the State of Zacatecas, Mexico** 112  
 Application du système d'information sur l'extraction volumétrique pour les aquifers (sieva) dans l'état de zacatecas, Mexique  
 Alberto Gonzalez-Sanchez, Benjamin De Leon-Mojarro, and arturogonzalez-Casillas (Mexico)
- R.60.1.26 Controlled Drainage and Sub-Irrigation – An Option to Save Water in Crop Production in Finland** 114  
 Le drainage contrôlé et l'irrigation souterraine – une option pour conserver de l'eau dans la production agricole en Finlande  
 Seija Virtanen, Jaana Uusi-Kämpä, and kari Ylivainio (Finland)
- R.60.1.27 Options and Difficulties to Optimze Water Use under Improved Irrigation Projects (IIPS)** 116  
 Options et difficultés pour optimiser l'utilisation de l'eau dans des projets d'irrigation améliorés (IIPS)  
 Eman Sayed, Nehal Adel, Waleed Abou El Hassan, and T. Watanabe (Egypt)
- R.60.1.28 Evolution & Value of Yellow River Irrigation Area in Ningxia** 118  
 Evolution & valeur de la zone d'irrigation du fleuve jaune à Ningxia  
 GAO Lihui·CHEN Ning·Ding Kunlun· and LI Ruoxi1 (China)



- R.60.1.29 Delineation of Recharge and Catchment Areas: Case Study on Tamiang-Langsa River Basin System in Aceh Province, Indonesia** 119  
Délimitation des zones de recharge et de bassin versant: étude de cas sur le système du bassin fluvial de Tamiang-Langsa dans la province de l'aceh, Indonésie  
Dede Rohmat, Herryan Kendra, Suardi Natasaputra, and Faizal Rohmat (Indonesia)
- R.60.1.30 Improving Irrigation Water Management by Modernization of Structural and Operational Reforms** 121  
L'amélioration de la gestion de l'eau en irrigation par la modernisation des réformes structurelles et opérationnelles  
Muhammad Usman Rashid, Noman Amjad Raja, and Muhammad Latif (Pakistan)
- R.60.1.31 Multi-Sensor Probes as Tools for Water and N- Management under Drip Irrigation** 123  
Sondes Multi-Capteurs Comme Outils Pour La Gestion D'eau Et De L'azote (N) Dans Le Cadre D'irrigation Goutte A Goutte  
Mccann, I.R., Starr, J.L., Timlin, D.J., Dalton, M.R., and Buss, P (Kuwait)



## Building and Application of Water-limited Vegetation Growth Simulation Model

### Construction et Application du Modèle de Simulation de Croissance de Végétation dans un Environnement Limité en Eau

Liu Jiangan<sup>1,2</sup>, Zhao Yong<sup>1,3</sup>, Guan Jianzhao<sup>1</sup>, Deng Jun<sup>1,2</sup>, Zhou Bo<sup>1,2</sup>

#### ABSTRACT

The application of Vegetation Growth Simulation Model in water resources field has attracted more and more interest among the researchers.

This paper introduces a water-limited vegetation growth simulation model, which is built based on the physiological principle of vegetation and Water Resources Allocation and Cycle Model (WACM), a generalized water resources allocation model. The model consists of a developmental stage module, a carbon cycle module and a water cycle module, is a common model applicable to various crops. This paper verifies the lengths of plants during growing period, the mass of dry matter, and the variation range of crop yields by referring literature.

The model simulates the mass of dry matter and the yields of some crops under water-limited condition in Tuhai River and Majia River Basin in China. The simulation shows an ideal result close to reality.

**KEY WORDS:** Water-limited, vegetation growth simulation model, model building and application, Tuhai River and Majia River Basin.

#### RÉSUMÉ

L'application du modèle de Simulation de croissance de la végétation dans le domaine des ressources eau a suscité un intérêt croissant parmi les chercheurs.

Cet article présente un modèle de simulation de croissance de végétation dans un environnement pauvre en eau, qui est construit sur la base d'un principe physiologique de la végétation et de l'Allocation des ressources et de modèle de cycle en Eau (WACM), un modèle d'affectation de ressources en eau généralisé. Le modèle se compose d'un module de stade de développement, un module de cycle du carbone et un module de cycle de l'eau, est un modèle commun applicable à différentes cultures. Cet article vérifie la longueur des plantes au cours de la période, la masse de matière sèche et la gamme de variation des rendements de plus en plus en se référant à la littérature.

Le modèle simule la masse de matière sèche et le rendement de certaines cultures sous condition limitée dans l'eau dans la rivière Tuhai et bassin de la rivière Majia en Chine. La simulation montre un résultat idéal proche de la réalité.

**Mots-clés :** Rareté de l'eau, modèle de simulation de la croissance de la végétation, modèle de construction et application, rivière Tuhai et bassin Majia

<sup>1</sup> China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing, 100038;

<sup>2</sup> Research Center on Flood and Drought Disaster Reduction of Ministry of Water Resource, Beijing, 100038

<sup>3</sup> State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing, 100038

## Mean Annual Irrigation Depth Considering Its Long-Term Impact on Soil Fertility

### Etude De La Profondeur D'irrigation Annuelle Moyenne Compte Tenu de Son Impact à Long Terme sur la Fertilité du Sol

Iouri Nikolskii-Gavrilov<sup>1</sup>, Ivan Petrovich Aidarov<sup>2</sup>, Cesareo Landeros-Sanchez<sup>3</sup>,  
Victor Vladimirovich Pchylkin<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Irrigation modifies soil properties by different ways. The most studied effects are related to soil salinity or soil contamination due to the poor quality of irrigation water or the side effects, such as C. It is supposed that impact of fresh water irrigation on soil always is positive. However, some publications claim that long-term freshwater irrigation can cause negative impact on soil fertility in different climatic zones even if there is no hydraulic or wind erosion of soil. The objective of the present study is to compare some modal regional properties of irrigated agricultural and non-irrigated virgin soils in different climatic zones of Mexico and to conclude how current practices of irrigation influence these properties.

All selected soils are located in geomorphologically homogeneous flat lands with less than 1% slope. It was observed that the impact on soils of existing irrigation practices (basically gravity irrigation) is positive, in general, in arid regions and it is negative (related to deterioration of soil fertility) in semi-arid, semi-humid and tropical humid zones of Mexico due to annual leaching of organic matter and exchangeable calcium, principally. It means that the irrigation depth in some zones may be excessive for soil improvement or even soil conservation. Therefore, the mean annual average irrigation depth should be determined not only from a traditional point of view of water needs of agricultural crops, but also considering the need of conservation or improvement of soil as a natural resource.

This requires some reduction of mean annual irrigation depths in regions with semi-arid, semi-humid and tropical humid climate in order to reduce deep water percolation through soil profiles. The method of assessment of mean annual irrigation depths considering long-term soil conservation or improvement is proposed. In order to prevent some possible reduction of agricultural crops productivity, it is necessary to improve irrigation technology which can significantly reduce the intensity of water deep percolation in soil profile maintaining soil moisture at the proper level.

**KEY WORDS:** water regime, soil properties, fertility, radiative climatic index.

#### RESUME

L'irrigation modifie les propriétés du sol de différentes manières. Les effets les plus étudiés sont liés à la salinité du sol ou à la contamination du sol en raison de la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation mais aussi en raison des effets secondaires tels que la montée de la nappe phréatique. Il est convenu généralement que l'irrigation des eaux douces exerce un impact positif sur le sol. Quelques publications montrent que l'irrigation à long terme en eau

1 Colegio de Postgraduados Campus Montecillo Mexico, nikolski@colpos.mx. Corresponding author.

2 Russian Academy of Sciences Russia, ivan@aidarov.net

3 Colegio de Postgraduados Campus Veracruz Mexico, clandero@colpos.mx

4 Russian State Agrarian University Russia, vpchelkin@cln.net

douce peut exercer un impact négatif sur la fertilité du sol dans différentes zones climatiques même s'il n'y a pas d'érosion hydraulique ou éolienne du sol. Donc, l'étude actuelle vise à comparer certaines propriétés régionales modales des sols vierges de l'agriculture irriguée et non irriguée dans différentes zones climatiques du Mexique et à conclure comment les pratiques actuelles d'irrigation exercent un impact sur ces propriétés.

Tous les sols retenus se trouvaient dans les terrains géomorphologiquement homogènes avec des pentes inférieures à 1%. Il a été observé que l'impact sur les sols irrigués utilisant des pratiques existantes (essentiellement l'irrigation par gravité) était positif, en général, dans les régions arides. Au même temps, l'impact était négatif (liée à la détérioration de la fertilité du sol) dans les zones humides semi-arides, semi-humides et tropicales humides du Mexique en raison principalement du lessivage annuel de la matière organique et du calcium échangeable. Cela signifie que la profondeur d'irrigation est excessive pour l'amélioration du sol ou même, pour la conservation du sol. Par conséquent, la profondeur annuelle d'irrigation moyenne devrait être déterminée non seulement d'un point de vue traditionnel (besoins d'eau des cultures agricoles), mais aussi en tenant en compte le besoin de conservation ou d'amélioration du sol en tant que ressource naturelle.

Cela nécessite une réduction des profondeurs d'irrigation annuelles moyennes dans les régions ayant des climats semi-arides, semi-humides et tropicaux humides, afin de réduire la percolation des eaux profondes à travers les profils du sol. En conséquence, on propose une nouvelle méthode d'évaluation des profondeurs d'irrigation annuelles moyennes considérant la conservation ou l'amélioration du sol à long terme. Afin de prévenir une réduction éventuelle de la productivité des cultures agricoles, il est nécessaire d'améliorer les techniques d'irrigation qui peuvent réduire de manière significative l'intensité de la percolation de l'eau profonde dans le profil du sol pour maintenir l'humidité du sol à un niveau approprié.

**Mots-clés :** Régime d'eau, propriétés du sol, fertilité, l'indice climatique radiatif.

## Increasing Water Productivity Through Applying Tropical Perennial Rice Cropping System (Salibu Technology) In CdZ, Myanmar

Augmenter La Productivité De L'eau À Travers L'application Tropicale Vivace De Riziculture Système (Salibu Technology) Dans CdZ, Myanmar

Kazumi Yamaoka<sup>1</sup>, Khin Mar Htay<sup>2</sup>, Edriman<sup>3</sup> and Resfa Fitri<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Rice is a monocarpic annual plant. However, in tropical areas it can survive as a perennial plant and produce ratoon crop grains over the generations. It is known that Japonica and Javanica in *Oryza sativa* subspecies has stronger characteristics as a perennial plant than Indica in the same subspecies and African varieties in the *Oryza glaberrima* species.

The Central Dry Zone (CDZ) covers more than 54,000km<sup>2</sup>, encompassing 58 townships and approximately 36% of Myanmar's population. Substantial amount of rice is produced in irrigated paddy fields along the edges of CDZ. However, water use efficiency of the irrigated rice is low and is expected to become worse along with in climate change. Tropical perennial rice cropping system (SALIBU technology) is suggested for solving this issue.

This ratooning system developed in West Sumatra allows harvesting rice 3.5 to 4 times annually, realizing a higher yield of ratoon crop as well as main crop. The benefits of rice ratooning are shortening the period for crop maturity and saving water, labour, seed and topsoil. This technology is not well known among scientists; however, the government of Indonesia has started a program to spread this farming system to all over the county since January 2017.

JIRCAS, DAR in Myanmar and IPB-FEM in Indonesia have started a research collaboration on "Improvement of irrigation water productivity for paddy rice production by means of SALIBU ratoon technology in CDZ, Myanmar." A preliminary study under the pot cultivation proved that a popular local variety namely *Thee Htat Yin* performed in yield 9.1 t/ha by ratoon crop while 5.3 t/ha by main crop. It also shows that the ratoon scores much higher number of tillers, panicle per hill and biomass weight than main crop while the number of spikelet per panicle, weight of 1000 grains and percentage of filled grains are lower.

**KEY WORDS:** Ratoon Crop, Perennial Rice, Field Capacity, Water Productivity, Triangle Research Cooperation.

### RÉSUMÉ

Le riz est cultivé comme plante annuelle monocarpique. Toutefois, dans les régions tropicales il peut survivre comme une plante vivace, afin qu'elle puisse continuer à produire des céréales

1 Senior Researcher, Japan International Research Center for Agricultural Sciences (JIRCAS), 1-1 Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki-ken, 305-8686 Japan, E-mail: kyamaoka@affrc.go.jp/kaz59@fmail.plala.or.jp

2 Deputy Director, Department of Agricultural Research (DAR), Ministry of Agriculture, Livestock and Irrigation, Yezin, Naypyitaw, Myanmar, Email: khinmarhtay2007@gmail.com

3 Visiting Research Fellow, Faculty of Economics and Management, Bogor Agricultural University (IPB-FEM), Jl. Kamper, IPB Dramage Campus, Bogor, West Java, Indonesia, Email: erdimantanjung@gmail.com

4 Lecturer, Faculty of Economics and Management, Bogor Agricultural University, Jl. Kamper, IPB Dramage Campus, Bogor, West Java, Indonesia, Email: rfitri2@gmail.com

de culture de repousses au fil des générations. On sait que Japonica et Javanica chez *Oryza sativa* sous-espèce possède des caractéristiques plus forts comme une plante vivace que Indica de la même sous-espèce et variétés africaines dans les espèces du genre *Oryza glaberrima*. Coupes successives est une méthode de récolte d'une culture qui laisse les racines et les parties inférieures de la plante de croître les repousses ou que la récolte de chaume. Coupes successives est considéré comme un système d'agriculture établie dans certaines cultures comme la canne à sucre, banane et le sorgho avec un rendement raisonnable, tandis que le riz coupes successives est considéré comme une récolte supplémentaire juste à cause de son faible rendement en général allant de 20 à 50 % de sa récolte principale.

La Zone sèche centrale (CDZ) couvre plus de 54 000 km<sup>2</sup>, englobant des 58 cantons et environ 36 % de la population du Myanmar. Des périodes de sécheresse au cours de la saison des pluies en CDZ sont fréquentes, mais leurs intensités varient dans le temps et géographiquement. Une quantité substantielle de la production de riz est générée dans les rizières irriguées le long des bords des CDZ. Toutefois, de l'efficacité de la production de riz irrigué reste faible et devrait s'aggraver le long avec dans le changement climatique. Plus de riz récolte par goutte d'eau, c'est-à-dire augmentation de la productivité de l'eau, est un point essentiel de cette région. Tropicale vivace riziculture de système (Sassi technology) est suggérée pour résoudre cette question.

Ce système bien développé dans l'ouest de Sumatra en Indonésie permet de récolter du grain de riz 3.5 à 4 fois par an et réalise un rendement supérieur de repousses comme culture principale sous le tropical ou subtropical, climat winterless ainsi que l'état des rizières irrigables tout au long de l'année, mais moins de volume d'eau par une saison de récolte, que ce soit en surface ou souterraines. Les avantages du riz coupes successives vont non seulement raccourcir la période de maturité des cultures mais aussi sauver diverses ressources comme l'eau, du travail, semences et terre végétale ainsi que les coûts y afférents en raison de la préparation facultatifs de semis et de la terre et la période raccourcie pour la culture. Cette technologie n'est pas bien connue chez les scientifiques, cependant, le gouvernement indonésien a commencé un programme visant à répandre ce système d'élevage à travers le comté depuis janvier 2017.

JIRCAS, DAR au Myanmar et IPB-FEM en Indonésie ont commencé une collaboration de recherche sur « L'amélioration de la productivité de l'eau d'irrigation pour la production de riz paddy au moyen de la technologie de repousses Sassi dans CDZ, Myanmar. » Une étude préliminaire en vertu de la culture de pot s'est avéré qu'une variété populaire locale à savoir Thee Htat Yin interprété avec un rendement 9.1 t/ha par repousses tandis que 5,3 t/ha en culture principale. Il montre aussi que les scores de repousses beaucoup plus grand nombre de talles, panicule par hill et la biomasse de poids que la culture principale tandis que le nombre d'épillets par panicule, poids de 1000 grains et le pourcentage de grains remplis sont plus faibles.

Le projet de recherche a publié des expériences sur le terrain dans les domaines de l'essai de DAR pour une étude plus précise sur la tropicale vivace riziculture système et la productivité de l'eau. Ce système peut contribuer à la réalisation d'une nouvelle révolution verte en termes d'augmentation de la production et économie des ressources mondiales.

**Mots clés:** Repousses Crop, riz vivace, capacité au champ, la productivité de l'eau, Triangle recherche coopération.

## Irrigation Schedule Systems in Reservoir-Based Irrigation Schemes in The Upper East Region of Ghana

Planification Tout Au Long De L'année De L'irrigation Pour Les Systèmes De Culture Dans Les Régimes D'irrigation À Base De Réservoir Dans L'extrême Est Du Ghana

Ephraim Sekyi-Annan<sup>1</sup>, Bernhard Tischbein<sup>2</sup>, Bernd Diekkrüger<sup>3</sup> and Asia Khamzina<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Improving the irrigation management in semi-arid regions of Sub-Saharan Africa is crucial due to the increasing variability in rainfall coupled with uncertainties of the current performance of irrigation schemes. This study in reservoir-based irrigation schemes in the Upper East region of Ghana (UER) aims at improving the traditional, dry season irrigation practices and assessing the potential for introducing supplemental irrigation in the rainy season. Measurements of meteorological, soil and groundwater parameters, irrigation water inputs, crop management and yields were conducted for two rainy and dry seasons in 2014-2016 in the prevalent cropping system of a small-scale and a medium-scale irrigation schemes. The FAO AquaCrop model was used (i) to assess the appropriateness of traditional water management in the typical tomato-maize rotational systems, (ii) to develop an improved irrigation schedule for the dry season cultivation of tomato, and (iii) to determine the requirement for supplemental irrigation of maize in the rainy season under different climate scenarios.

The analysis of 1998-2014 time series revealed a high temporal variability in rainfall and frequent dry spells lasting for 2-16 days. The supplemental irrigation requirement for maize in the extreme climate scenario (low rainfall and frequent dry spells) ranged between 107 and 175 mm, whereas for the periods of high rainfall and rare dry spells it ranged between 88-89 mm.

The results of the experiment revealed that irrigated crop production might be feasible in the small- and medium-scale schemes all year round, by using water saved in the dry season tomato cropping for supplemental irrigation of maize in the rainy season.

**KEY WORDS:** Tomato; Supplemental irrigation; AquaCrop model, Climate change, Irrigation scheduling, Rainfall variability.

### RÉSUMÉ

L'amélioration de la gestion de l'irrigation dans les régions semi-arides de l'Afrique subsaharienne est cruciale en raison d'accroissement de la variabilité des précipitations couplée avec les incertitudes relative à la performance actuelle des systèmes d'irrigation. Cette étude dans les systèmes d'irrigation à base de réservoir dans la région de l'extrême Est du Ghana vise à améliorer les pratiques traditionnelles d'irrigation de la saison sèche et à évaluer la possibilité d'introduction du régime d'irrigation supplémentaire au cours de la saison des pluies. Des données météorologiques, de sols et d'eaux souterraines, d'apports

1 Doctoral Student, Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, Genscherallee 3, 53113, Bonn, Germany; Email: sekyiannan@yahoo.com

2 Senior Researcher, Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, Genscherallee 3, 53113, Bonn, Germany; Email: uls203@uni-bonn.de

3 Professor, Department of Geography, University of Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany; Email: b.diekkrueger@uni-bonn.de

4 Professor, Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, 145 Anam-Ro, Seongbuk-Gu, Seoul 02841, Korea; Email: asia\_khamzina@korea.ac.kr



d'irrigation, de gestion des cultures et des rendements ont été collectées pendant deux saisons pluvieuses et sèches (2014-2016) dans les systèmes culturels courants sous les régimes d'irrigation à petite et moyenne échelles. Le modèle AquaCrop de la FAO a été utilisé pour (i) évaluer l'efficacité de la gestion traditionnelle de l'eau dans la rotation maïs-tomate, (ii) développer un régime d'irrigation améliorée pour la culture de la tomate en contre-saison, et (iii) déterminer les besoins en eaux pour l'irrigation supplémentaire du maïs en saison pluvieuse sous différents scénarios climatiques.

L'analyse des séries temporelles (1998-2014) a révélé une forte variabilité des précipitations et de fréquentes poches de sécheresse allant de 2 à 16 jours. La demande en eaux du régime d'irrigation supplémentaire pour le maïs sous le scénario climatique extrême (i.e. faibles précipitations et fréquentes poches de sécheresse) a varié entre 107 et 175 mm, alors que pour le scénario de forte précipitations et de rare poches de sécheresse, elle a fluctué entre 88-89 mm.

La quantité totale d'eaux d'irrigation requise pour la culture de la tomate au cours de la contre-saison a été évaluée entre 21 et 67 mm par événement d'irrigation, correspondant à 584-2,559 mm pour toute la saison sèche. En régime amélioré, la quantité totale d'eau d'irrigation requise pour la culture de la tomate a été estimée entre 38 et 52 mm par événement d'irrigation, soit 566 à 900 mm. Le régime d'irrigation améliorée aurait entraîné une augmentation d'environ 5% du rendement de la tomate en économisant 130-1,325 mm d'eau, ce qui serait autrement perdue par percolation et évaporation. Par conséquent, en tenant compte uniquement des demandes en eau d'irrigation de la culture, la culture irriguée serait réalisable sous les régimes d'irrigation à petites et moyennes échelles durant toute l'année en utilisant la quantité d'eau économisée de la culture de la tomate en contre-saison pour assurer l'irrigation supplémentaire du maïs en saison des pluies.

## Effect of Groundwater Irrigation on Greenhouse-Gas Emissions in North China

### L'effet De L'irrigation Des Eaux Souterraines Sur Les Émissions De Gaz À Effet De La Serre Dans La Chine Du Nord

Liu Qunchang, Yan Qinghong, Ren Hejing, and Xu Jingdong<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

China is the world's largest emitter of greenhouse gases (GHGs) and the agricultural sector in China is responsible for 17–20% of annual emissions and 63% of total freshwater use. Groundwater use for irrigated agriculture in China has increased vastly over the last three decades. Groundwater abstraction in China has increased rapidly from 10 km<sup>3</sup>yr<sup>-1</sup> in the 1950s to more than 100 km<sup>3</sup>yr<sup>-1</sup> in the 2000s, such that roughly 70% of the irrigated area in North China is now groundwater-fed. Groundwater irrigation consumes considerable energy as well as water resources across the China; however, to date this source of GHG emissions in North China and elsewhere has been relatively neglected. We derive the detailed estimate of GHG emissions from groundwater pumping for irrigation in North China. The results show emissions of 14.96 Mt CO<sub>2</sub>e, account for more than 2% of the national total. Groundwater abstraction represents an important source of GHG emissions that has been rapidly increasing and which at present is largely unregulated. Water scarcity in North China is already driving policies to improve water conservation. These results suggest that significant potential exists to promote the co-benefits of water and energy saving in order to meet national planning targets.

KEY WORDS: Groundwater, irrigation, greenhouse-gas emissions, the North China.

#### RESUME

La Chine est le plus grand émetteur mondial de gaz à effet de serre (GES) et le secteur agricole en Chine est responsable de 17-20% des émissions annuelles et de 63% de l'utilisation totale d'eau douce. L'utilisation des eaux souterraines pour l'agriculture irriguée en Chine a considérablement augmenté au cours des trois dernières décennies. L'abstraction des eaux souterraines en Chine a augmenté rapidement de 10 km<sup>3</sup> par an dans les années 1950 à plus de 100 km<sup>3</sup> par an dans les années 2000, de sorte qu'environ 70% de la superficie irriguée du nord de la Chine est maintenant alimentée par des eaux souterraines. L'irrigation des eaux souterraines consomme une énergie considérable ainsi que des ressources en eau à travers la Chine; Cependant, à ce jour, cette source d'émissions de GES dans le nord de la Chine et ailleurs a été relativement négligée. Nous tirons l'estimation détaillée des émissions de GES provenant du pompage des eaux souterraines pour l'irrigation en Chine du Nord. Les résultats montrent des émissions de 14,96 Mt CO<sub>2</sub>e, représentent plus de 2% du total national. L'abstraction des eaux souterraines représente une source importante d'émissions de GES qui augmente rapidement et qui n'est pas actuellement réglementée. La pénurie d'eau dans le nord de la Chine conduit déjà des politiques à améliorer la conservation de l'eau. Ces résultats suggèrent qu'il existe un potentiel important pour promouvoir les avantages partagés de l'eau et de l'économie d'énergie, afin de respecter les objectifs de planification nationaux.

**Mots-clés:** les eaux souterraines, l'irrigation, l'émission de gaz à effet de serre, La Chine du Nord.

<sup>1</sup> China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China.

## Saving Water In Northern Victoria, Australia Farm Water Program – Objectives, Learnings and Successes

Économise L'Eau Dans La Victorie Du Nord, Australie  
Programme De L'agriculture Agricole - Objectifs, Acquis Et Réussites

C. Walters<sup>1</sup>, M. McFarlane<sup>2</sup>, G. Mason<sup>3</sup>, C. Nicholson<sup>4</sup>, D. Lawler<sup>5</sup>

### ABSTRACT.

Irrigation systems across northern Victoria, Australia are undergoing massive change with the regional delivery system upgraded to minimise inefficiencies, elimination of redundant infrastructure, and modernised with automated remote controlled structures. This has resulted in improved service delivery of irrigation available on-demand, with consistent larger flows. Landowners have upgraded the existing systems and have introduced new technologies, which have improved production and water use efficiency. In order to make these improvements, many irrigators have taken advantage of Government funding that has been available through the Farm Water Program, a consortium of State and regional Victorian partners. Since its inception in 2010, the Program has successfully completed 622 projects with improved irrigation practices saving more than 80,000 megalitres of water across 37,000 hectares of irrigated land. A key component of the Program is the use of the water market to transfer some of the water savings to Government for use by the Environmental Water Holder to provide environmental benefits to river and wetland health, with the remainder staying on-farm for productivity benefits. The consortium approach has resulted in a broad range of views and priorities, coming together to develop and manage the Program to ensure that the aims and objectives of the community and regional groups are aligned with Government priorities. The Farm Water Program has been very successful in achieving improved water use efficiency while making significant environmental improvements to individual properties, and wider regional and State benefit.

**KEY WORDS:** irrigation, sustainability, environmental water, farm water, efficiency.

### RESUME.

Les systèmes d'irrigation dans le nord de Victoria, en Australie, subissent des changements massifs avec le système de livraison régional amélioré pour minimiser les inefficiences, l'élimination des infrastructures redondante set modernisé avec des structures télécommandées automatisées. Cela a entraîné une amélioration de la prestation des services d'irrigation disponible à la demande, avec des flux plus importants et cohérents. Les propriétaires foncier sont amélioré les systèmes existant séton introduit de nouvelles technologies, qui ont amélioré la production et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Afin de faire ces améliorations, de nombreux irrigateurs ont profité du financement du gouvernement qui a

- 
- 1 Sustainable Irrigation Program Manager, GB CMA, 168 Welsford Street, Shepparton, Victoria, Australia 3630, email carlw@gbcma.vic.gov.au, Tel: +61 03 58227700
  - 2 Farm Water Program Manager, GB CMA, 168 Welsford Street, Shepparton, Victoria, Australia 3630, email meganm@gbcma.vic.gov.au
  - 3 Gillian Mason Consulting, 10 Canobolas Place, Port Macquarie NSW AUSTRALIA 2444 email gillianmasonconsulting@gmail.com
  - 4 Farm Water Program Senior Contracts & Inspections Officer, GB CMA, 168 Welsford Street, Shepparton, Victoria, Australia 3630 email chrisjn@gbcma.vic.gov.au
  - 5 Farm Water Program Senior Contracts & Inspections Officer, GB CMA, 168 Welsford Street, Shepparton, Victoria, Australia 3630 email davidl@gbcma.vic.gov.au

été offert par l'intermédiaire du Farm Water Program, un consortium de partenaires étatiques et régionaux. Depuis sa création en 2010, le programme a complété avec succès 622 projets avec des pratiques d'irrigation améliorées, sauvant plus de 80 000 mégalitres d'eau sur 37 000 hectares de terres irriguées. Un élément clé du programme est l'utilisation du marché de l'eau pour transférer certaines des économies d'eau au gouvernement à l'intention du titulaire de l'eau environnementale afin de fournir des avantages environnementaux pour la santé des rivières et des zones humides, le restant à la ferme pour des bénéfices de productivité. L'approche du consortium a abouti à un large éventail de points de vue et de priorités, qui se conjuguent pour développer et gérer le programme afin de s'assurer que les buts et les objectifs de la communauté et des groupes régionaux sont alignés sur les priorités du gouvernement. Le programme Farm Water a réussi à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau tout en apportant des améliorations environnementales significatives aux propriétés individuelles et à des avantages régionaux et étatiques plus larges.

**Mots-clés:** irrigation, durabilité, environnement de l'eau, eau de la ferme, efficacité

## Irrigation Water Assessment Model For Mixed Crop Field In Taiwan

### Modèle D'évaluation De L'eau D'irrigation Pour Les Cultures Mixtes À Taiwan

R.S.Wu<sup>1</sup>, P.Y. Chen<sup>2</sup>, J.S. Liu<sup>3</sup>, F. Hussain<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Taiwan's agricultural water use accounts 70% of total nation's water consumption of which paddy field irrigation have the largest proportion. When drought occurs, the allocation and utilization of water usage become an important issue. Moreover, the problem of poor water quality in existing irrigation system discourages farmers to use the irrigation water. As a result, all sectors; agriculture, industry and people's livelihood, often utilize groundwater pumping to replenish water resources. Among all, the agricultural water use accounts for the largest amount of groundwater pumping, and farmers' wells location and operations make this system complicated. This study explores two issues, one is to identify agricultural water requirement for mixed crops, and the other is to investigate the impact of groundwater pumping on the regional groundwater level. In general, the irrigation channel water intake and groundwater intake depends on the crop planting condition, such as crops planting ratio and the growth stage of crops. Farmers choose to irrigate crops with water extracted from irrigation channel or pumped groundwater. System dynamic model was used to establish irrigation water management model for mixed cropping fields (paddy rice and upland) in central Taiwan under three different scenarios of cropped area proportions. The model combination was considered with rainfall, irrigated water and groundwater pumping in the supply side. The model simulation was validated using observed and simulated results of outflow ( $R^2=0.79$ ) and the simulated results of three scenarios indicated the contribution of 50% - 50% of channel water and groundwater pumping to fulfill the crop water demand. Farmers were using more pumping water depth due to better groundwater quality, convenient use of pumping system, to control weeds germination in the early stage of paddy rice field, easiness in irrigation of upland crop through groundwater pumping and inequitable distribution of channel water.

**KEY WORDS:** System dynamic model; Mixed Crop; Irrigation system; Groundwater Pumping, Taiwan.

#### RÉSUMÉ

L'utilisation de l'eau agricole compte pour 70 % de de la consommation d'eau totale de la nation, l'irrigation des champs de rizière a la plus grande proportion. En cas de sécheresse, l'allocation et l'utilisation de la consommation d'eau devient un enjeu important. En outre, le problème de la qualité médiocre de l'eau dans le système d'irrigation existant décourage les agriculteurs d'utiliser l'eau d'irrigation. En conséquence, tous les secteurs ; l'agriculture, de l'industrie et de moyens de subsistance du peuple, utilisent souvent des eaux souterraines de pompage pour reconstituer les ressources en eau. Entre tous, l'eau agricole utilise la plus grande quantité des eaux de pompage souterraines, et les opérations et l'emplacement de puits de paysans font que ce système est compliqué. Cette étude examine deux questions, l'une est l'identification des besoins en eau agricole pour les cultures mixtes, et l'autre est

1 Professor, Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan.

2 Graduate Student, Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan.

3 PhD Candidate, Department of Civil Engineering, National Central University. Assitant Researcher, Information Division, Agricultural Engineering Research Center, Taiwan.

4 PhD Candidate, Department of Civil Engineering, National Central University, Taiwan. Lab Engineer, PMAS-Arid Agriculture Univeristy Rawalpindi, Pakistan

étude de l'impact des eaux de pompage souterraines sur le niveau des eaux souterraines régionales. En général, la prise d'eau de canaux d'irrigation et des eaux souterraines dépend de la condition de la récolte, telles que le ratio de cultures de plantation et le stade de croissance des cultures. Les agriculteurs choisissent d'irriguer les cultures avec de l'eau extraite du canal d'irrigation ou de pompage des eaux souterraines. Le modèle a servi à établir le modèle de gestion de l'eau d'irrigation pour mixte champs cultures (riz paddy et des hautes terres) dans le centre de Taïwan selon trois scénarios différents des proportions de la zone recadrée. La combinaison du modèle a été considérée avec la pluie, l'eau irriguée et les eaux de pompage souterraines du côté de l'approvisionnement. La simulation du modèle a été validée à partir des résultats observés et simulés de sortie ( $R^2 = 0,79$ ) et les résultats simulés des trois scénarios indiquent la contribution de 50 % - 50 % d'eau du canal et les eaux souterraines de pompage afin de satisfaire la demande en eau agricole. Les agriculteurs utilisaient plus de profondeur d'eau de pompage en raison de la meilleure qualité des eaux souterraines, l'utilisation pratique du système, pour contrôler les mauvaises herbes au stade précoce de germination du champ de riz paddy, la facilité d'irrigation des cultures des hautes terres par le biais de pompage d'eau souterraine et la distribution inéquitable d'eau du canal.

**Mots clés :** Modèle dynamique du système ; Cultures mixtes ; Système d'irrigation ; Eaux souterraines de pompage, Taiwan

## Infrastructure Modernization to Improve Water use Efficiency: Challenges for Agriculture Productivity

Modernisation Des Infrastructures Pour Améliorer L'efficacité  
D'utilisation De L'eau : Défis Pour La Productivité De L'agriculture

González-Trinidad J.1; Júnez-Ferreira H.E.2; Pacheco-Guerreo A.I.3;  
Bautista-Capetillo C.F.4; Chávez-Carlos D.

### ABSTRACT

Increasing world population brings about resource scarcity, pollution, erosion, and deforestation. In agriculture sector, crop production represents a challenge to food industry, since the climatic conditions are drastically influencing the soil moisture status needed to satisfy crop water requirements. There has been an increasing competition on the water use between the croplands producers and the urban users; because of that, reservoirs that were designed to food production now are destined to human water supply. To counter this effect, a modernization of the hydraulic networks used in agriculture has been applied, achieving efficiencies of about 95%. But the corresponding produce may not always find entry into the kitchen where traditional crops (crops of corn, beans and more) are preferred. In order to maximize the available water for an irrigation module, the infrastructure should be operated looking for a more sustainable water management. This research presents an experience in the Leonardo Reynoso irrigation module, Zacatecas, Mexico. The monitoring variables were: (1) volumetric delivered water for each agricultural plot intake, and (2) water productivity for several crops. The gravity irrigation predominated with global efficiencies of about 45%, the change from this method to drip irrigation and the modernization of hydraulic infrastructure allowed achieving a global efficiency of 95%, with an increase of food production contributing in this way to the green revolution. The main crop was corn with a covered surface of about 937.79 ha, representing 70.15% of total land, with an applied depth water of 378 mm and a volume of 3,784 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. If the latter value is compared with the 5,500 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> needed before the modernization, a saving of 1,716 m<sup>3</sup>/ha is obtained. This saving can be explained by the drip irrigation and the frequency of irrigation. The water productivity of corn increased from 0.91 kg/m<sup>3</sup> to 3.20 kg/m<sup>3</sup>; the cultivation of chilies presented a similar behavior increasing from 0.31 kg/m<sup>3</sup> to 0.83 kg/m<sup>3</sup>. These significant differences can be attributed to an effective management of the hydraulic networks, the application of water to each agricultural parcel, as well as the awareness of the farmers to change the approach of crop production, working with a new productive reconversion using less amount of water. Before the modernization, the total estimated water volume to irrigate the agriculture land was 10.2 Mm<sup>3</sup>, whereas with the volumetric delivered water approach, the volumes were reduced to 6.1 Mm<sup>3</sup>, saving around 4.0 Mm<sup>3</sup>. It is concluded that the impact of modernization accompanied with an effective operation, allows increasing significantly the crop efficiency and productivity. Notwithstanding, nowadays a controlled distribution of water is carried out. Future research should contemplate the free water demand accompanied with the use of geographical information systems (GIS) for contributing to the module operation.

**KEY WORDS:** Water productivity, modernization.

- 
- 1 Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", E-mail: jgonza@uaz.edu.mx
  - 2 Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", E-mail: hejunez@uaz.edu.mx
  - 3 Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", E-mail: anuard.pacheco@uaz.edu.mx
  - 4 Universidad Autónoma de Zacatecas "Francisco García Salinas", E-mail: baucap@uaz.edu.mx

## RÉSUMÉ

L'augmentation de la population mondiale provoque la déforestation, la pollution, l'érosion et la rareté des ressources. Dans le secteur de l'agriculture, la production agricole représente un défi pour l'industrie alimentaire, étant donné que les conditions climatiques influent considérablement sur le statut de l'humidité du sol nécessaire pour répondre aux besoins en eau des cultures. Il y a eu une concurrence croissante sur l'utilisation de l'eau entre les producteurs de terres cultivées et les utilisateurs urbains ; à cause de cela, les réservoirs qui étaient destinés à la production alimentaire sont destinés à l'approvisionnement domestique en eau. Pour contrer cet effet, une modernisation des réseaux hydrauliques utilisés dans l'agriculture a été appliquée, réalisant des économies d'environ 95 %. Mais le produit correspondant ne peut toujours faire son entrée dans la cuisine où les cultures traditionnelles (cultures de maïs, haricots, etc.) sont préférées. Afin de maximiser l'eau disponible pour un module d'irrigation, l'infrastructure doit être opérée à la recherche d'une gestion plus durable de l'eau. Cette recherche présente une expérience dans le module d'irrigation Leonardo Reynoso, Zacatecas, Mexique. Les variables de contrôle sont : (1) volumétrie eau distribuée pour chaque parcelle agricole d'entrée et (2) la productivité de l'eau pour plusieurs cultures. L'irrigation par gravité prédomine avec un rendement global d'environ 45 %, le changement de cette méthode au goutte à goutte d'irrigation et de la modernisation de l'infrastructure hydraulique permis d'atteindre un rendement global de 95 %, with an augmentation de la production alimentaire, contribuant ainsi à la révolution verte. La culture principale était de maïs avec une surface couverte d'environ 937.79 ha, soit 70,15 % de la superficie totale, avec une eau de profondeur appliquée de 378 mm et un volume de 3 784 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Si la valeur précédente est comparée au 5 500 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> requis avant la modernisation, une économie de 1 716 m<sup>3</sup>/ha est réalisée. Cette économie peut s'expliquer par l'irrigation goutte à goutte et la fréquence de l'irrigation. La productivité de l'eau du maïs a augmenté de 0,91 kg/m<sup>3</sup> à 3,20 kg/m<sup>3</sup> ; la culture des piments présente un comportement similaire, augmentant de 0,31 kg/m<sup>3</sup> à 0,83 kg/m<sup>3</sup>. Ces différences importantes peuvent être attribuées à une gestion efficace des réseaux hydrauliques, la demande d'eau pour chaque parcelle agricole, ainsi que la sensibilisation des agriculteurs à changer l'approche de la production agricole, travaillant avec une nouvelle reconversion productive en utilisant moins de quantité de l'eau. Avant la modernisation, le volume estimatif total de l'eau pour irriguer les terres agricoles était 10.2 Mm<sup>3</sup>, tandis que l'approche de l'eau distribuée volumétrique, les volumes ont été réduits à 6.1 Mm<sup>3</sup>, économiser environ 4,0 Mm<sup>3</sup>. On en conclut que l'impact de la modernisation accompagnée d'une opération efficace, permet à augmenter considérablement l'efficacité de la récolte et la productivité. Malgré tout, de nos jours une distribution contrôlée de l'eau est effectuée. Les recherches futures devraient contempler la demande en eau libre accompagnée de l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) pour projeter le fonctionnement du module.

**Mots clés :** Productivité de l'eau, modernisation.



## Usability of Shallow Groundwater in Irrigated Agriculture: A Case Study from Turkey

Utilisation De L'eau Souterraine Peu Profonde À L'agriculture Irrigée:  
Une Étude De Cas De La Turquie

Aynur Fayrap<sup>1</sup>, Süleyman Toy

### ABSTRACT

Controlled drainage saves part of the consumptive use through the capillary rise from shallow water tables. However while using groundwater, monitoring water table level (WTL) during irrigation season is required to become aware of its continued availability. Ground water conditions can best be analysed by plotting ground water data on maps. WTL maps (WTMs) are prepared for some typical conditions e.g. the lowest or highest WTL dependent time and location. In LWTM, the areas with WT at a depth between 0 and 1.00 m indicate that ground water is in the plant root zone in all year. In the present study, relationship between ground water level and irrigation water quantity (IWQ) tried to be determined using LWTMs and yearly amount of IWQ between 1992 and 2009 water years in Erzincan irrigation project area. The monthly data taken from 112 observation wells are used to draw LWTM to determine the interaction between WTL and IWQ, and then the long-term data were analysed using Pearson Correlation test and SPSSWIN 10.0 software. Statistical inferences indicated that shallow ground water is potentially valuable source of additional water supply to meet crop water requirements in Erzincan irrigation area.

**KEY WORDS:** Shallow Groundwater, Water Saving, Water table, Irrigation Practices, SPSSWIN.

### RESUME

Le drainage contrôlé économise une partie de l'utilisation consommatrice à travers l'ascension capillaire à partir des nappes peu profondes. Cependant, lors de l'utilisation des eaux souterraines, il est nécessaire de surveiller le niveau de la nappe phréatique (WTL) pendant la saison d'irrigation pour prendre conscience de sa disponibilité continue. Les conditions de l'eau souterraine peuvent être mieux analysées en traçant sur les cartes les données relatives aux eaux souterraines. Les cartes WTL (WTM) sont préparées pour certaines conditions typiques, par exp. le temps et le lieu dépendant de WTL le plus bas ou le plus élevé. Dans LWTM, les zones avec WT à une profondeur comprise entre 0 et 1,00 m indiquent que l'eau souterraine se trouve dans la zone racinaire de la plante toute l'année. Dans la présente étude, la relation entre le niveau des eaux souterraines et la quantité d'eau d'irrigation (IWQ) a tenté d'être déterminée à l'aide de LWTM et de la quantité annuelle d'IWQ entre 1992 et 2009 dans la zone du projet d'irrigation Erzincan. Les données mensuelles tirées de 112 puits d'observation servent à dessiner LWTM pour déterminer l'interaction entre WTL et IWQ, puis les données à long terme ont été analysées à l'aide du test Pearson Correlation et du logiciel SPSSWIN 10.0. Les conclusions statistiques indiquent que les eaux souterraines peu profondes sont une source potentiellement précieuse d'approvisionnement en eau supplémentaire pour répondre aux besoins en eau agricole dans la zone d'irrigation d'Erzincan.

**Mots-clés :** Eaux souterraines peu profondes, économie d'eau, nappe phréatique, pratiques d'irrigation, SPSSWIN.

<sup>1</sup> General Directorate of State Hydraulic Works, Dept of Operation and Maintenance, Section of Irrigation and Drainage. 06100, Yucetete- Ankara/Turkey, E-mail:aynurf@di.gov.tr

## Ecological Type Agriculture Water-Saving Compensation Practice In Dongguan City, China

Pratique De Rémunération À L'économie De L'eau Agricole Type Écologique A Dongguan, En Chine

Wang Haili<sup>1</sup>, Zhan Xiaomi, Li Tie, LÜ Shun, Liu Leyin and Huang Yuyan

### ABSTRACT

For rainfall concentration and pollution induced water shortage in Dongguan of China, the rainwater collecting and water recycling project has been constructed. A series of water-saving irrigation measures have been adopted to saving agriculture water for ecological water. At the same time, the surface source pollution is reduced, so the ecological environment is improved. Funds for the project are provided by the government. With agriculture water turned into ecological water, the ecological type agriculture water saving compensation mode has been formed. Practice has proved that, this mode has the benefits of saving water 60%-90%, increasing product 12.6%-18%, relieving the problems of rainfall concentration, sewage irrigation and drainage, achieving clean irrigation, reducing environmental pollution, and improving the water efficiency.

**KEY WORDS:** Ecological type agriculture water-saving technology, Clean irrigation, Rain collection Project, Water recycling, Water saving compensation, Water right transfer, Pollution induced water shortage areas, Dongguan of China.

### RESUME

Pour la concentration des précipitations et la pénurie d'eau causée par la pollution à Dongguan en Chine, le projet a été mené pour la collecte des eaux de pluie et le recyclage de l'eau. Une série de mesures d'irrigation économisant l'eau ont été adoptées pour économiser l'eau agricole pour l'eau écologique. En même temps, la pollution de la source de surface est réduite, de sorte que l'environnement écologique est amélioré. Les fonds pour le projet sont fournis par le gouvernement. Avec le changement de l'eau agricole en eau écologique, on a formé le mode de rémunération économisant l'eau du type écologique. La pratique a prouvé que, ce mode a les avantages d'économiser l'eau de 60% à 90%, en augmentant le produit de 12,6% à 18%, en réduisant les problèmes de concentration des précipitations, d'irrigation et de drainage des eaux usées, d'irrigation propre, de la réduction de la pollution de l'environnement et de l'amélioration de l'efficacité de l'eau.

**Mots-clés :** Pratique de rémunération à l'économie de l'eau agricole type écologique, irrigation propre, projet de collecte des eaux de pluie, recyclage de l'eau, rémunération de l'eau, transfert du droit de l'eau, zones de pénurie d'eau causée par la pollution, Dongguan en Chine.

<sup>1</sup> Professor senior engineer in Agricultural Soil and Water Engineering, Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangdong Provincial Key Laboratory of Hydrodynamics, P.O. Box510635, Guangzhou, China, Email:364283880@qq.com.

## Water Supply For Agriculture From Irrigation Reservoirs In Korea

Alimentation En Eau Pour L'agriculture Des Réservoirs D'irrigation En Corée

Kwang-Sik Yoon<sup>1</sup>, Dong-Ho Choi<sup>2</sup>, Seung-Hwan Yoo<sup>3</sup>, Hyun-kyu Park<sup>4</sup>, Jae-Han Ko<sup>5</sup>

### ABSTRACT

Non-agricultural use of irrigation reservoirs is limited; only 45 out of 3,377 reservoirs managed by Korean rural community corporation (KRC) supplied industrial water, domestic water, and golf course irrigation water. In recent years, the storage capacity of about 100 large irrigation reservoirs was increased by raising the height of the dam to supply environment flow (EF) as a part of Four Major Rivers Restoration Project in Korea. The operation data of 2013-2016 showed that about 20% of the total supply was EF, which was supplied throughout the year, indicating that the operation of irrigation reservoirs was different from the past. Supplementary domestic water supply potential of agricultural reservoirs managed by KRC was investigated. Water quality of 141 reservoirs met the criteria of domestic water source with less than 4 ppm COD. Water balance analysis was conducted for ten year frequency of drought on the reservoir water. Results showed that 116 reservoirs were eligible for domestic water supply while satisfying irrigation water supply even in drought period. Saving irrigation while increasing irrigation efficiency is recommended to acquire extra storage for domestic water supply in rural area where supply of water is susceptible to climate change. In recent years, there has been a change in the use of water due to the supply of non-agricultural purpose from irrigation reservoirs. In order to supply irrigation and domestic or environmental water in the future, water usage forecasting should be more precise and water distributed efficiently between agricultural and non-agricultural sectors while responding more actively to changes in usage.

**KEY WORDS:** Irrigation, reservoir, domestic water, environmental flow, non-agricultural use.

### RESUME

L'utilisation non agricole des réservoirs d'irrigation est limitée; seulement 45 des 3 377 réservoirs gérés par la Société coréenne de la communauté rurale (KRC) ont fourni de l'eau d'irrigation industrielle, de l'eau domestique et de l'eau de golf. Au cours des dernières années, la capacité de stockage d'environ 100 grands réservoirs d'irrigation a été augmentée en élevant la hauteur du barrage pour alimenter le débit de l'environnement (EF) dans le cadre de Quatre principaux projets de restauration des rivières en Corée. Les données d'exploitation de 2013-2016 ont montré qu'environ 20% de l'offre totale était EF, qui a été fournie tout au long de l'année, indiquant que l'exploitation des réservoirs d'irrigation était différente du passé. Le potentiel secondaire d'approvisionnement en eau domestique des réservoirs agricoles gérés par le KRC a été étudié. La qualité de l'eau de 141 réservoirs répondait aux

- 1 Professor, Rural & Bio-Systems Eng. Dept. Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea; E-mail:ksyoon@jnu.ac.kr
- 2 Researcher, Climate and Agroecology Division, National of Agricultural Science, Wanju, Republic of Korea; E-mail: cdho8245@korea.kr
- 3 Professor, Rural & Bio-Systems Eng. Dept. Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea; E-mail:yoosh15@chonnam.ac.kr
- 4 Graduate student, Rural & Bio-Systems Eng. Dept. Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea; E-mail:weasel8828@naver.com
- 5 Deputy director, Korean Rural Community Corporation, Naju, Republic of Korea; E-mail:1960260@ekr.or.kr

critères de la source d'eau domestique avec moins de 4 ppm de DCO. L'analyse du bilan hydrique a été effectuée sur l'eau du réservoir pour une fréquence de sécheresse de dix ans. Les résultats ont montré que 116 réservoirs étaient admissibles à l'approvisionnement en eau domestique tout en satisfaisant l'approvisionnement en eau d'irrigation même pendant la période de sécheresse. L'économie d'irrigation tout en augmentant l'efficacité de l'irrigation est recommandée pour acquérir un stockage supplémentaire pour l'approvisionnement en eau domestique dans les zones rurales où l'approvisionnement en eau est affectée par le changement climatique. Au cours des dernières années, l'utilisation de l'eau a changé en raison de l'offre de l'eau pour but non agricole provenant des réservoirs d'irrigation. Afin de fournir de l'irrigation et des eaux domestiques à l'avenir, les prévisions d'utilisation de l'eau devraient être plus précises et l'eau devraient être distribuée efficacement entre les secteurs agricole et non agricole tout en répondant plus activement aux changements d'utilisation.

**Mots-clés:** Irrigation, réservoir, eau domestique, débit de l'environnement, utilisation non agricole.

## Investigating the Impact of Irrigation Improvement Project on Water Saving

Étude Du Projet Impact Sur L'Amélioration De L'Irrigation Sur L'Économie D'Eau

Talaat El-Gamal<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Although the implementation of Irrigation Improvement Project (IIP) in Egypt was associated with a big hope of water saving, the evaluation programme did not confirm the fulfilment of such expectation, and there was no significant change in the water supply at the head of the improved command areas.

This study aims to check the reasons behind the inability of IIP to save water by analyzing different water saving elements, and the ability of IIP to influence each element. The investigation included losses from water distribution system and the effect of IIP on irrigation practices and water use.

The study illustrated that IIP has positively affected the conveyance losses. However, these losses were minor. The major losses were downstream the lifting points, where the contribution of IIP was limited. The achievement of water saving requires real change of water management strategies that could encourage the rational use of water.

### RÉSUMÉ

Le projet d'amélioration de l'irrigation, depuis son origine, était fortement associé à l'économie d'eau prévue. Après la mise en œuvre, le programme d'évaluation n'a pas accepté de telles attentes. Cette étude vise à vérifier les raisons de l'échec des projets d'amélioration de l'irrigation pour économiser de l'eau en analysant différents facteurs d'économie d'eau. L'ampleur des différents éléments de perte d'eau sera discutée et la capacité du projet d'amélioration à influencer chaque élément sera évaluée. L'enquête comprenait des pertes du système de distribution d'eau et l'effet du projet d'amélioration sur les pratiques d'irrigation et l'utilisation de l'eau. L'étude a montré que les pertes par le système de distribution d'eau étaient mineures. Les pertes majeures ont été en aval des points de levage, où la contribution du projet d'amélioration était limitée. La réalisation des économies d'eau nécessite un changement réel des stratégies de gestion de l'eau qui pourraient favoriser l'utilisation rationnelle de l'eau et pourraient diminuer les débits d'échappement des extrémités de la queue.

<sup>1</sup> Associate Professor, Water Management Research Institute, National Water Research Center, Ministry of Water Resources and Irrigation Tel: (202) 42189563 Fax: (202) 42189561 e-mail elgamalt@yahoo.com&elgamalt@gmail.com

## Irrigation-Induced Changes in Evapotranspiration Demand of Awati Irrigation District, Northwest China

Changements Induits Par L'irrigation Par La Demande D'évapotranspiration Du District D'irrigation De Awati, Nord-Ouest De La Chine

Songjun Han <sup>1</sup>, Di Xu <sup>1</sup>, Zhiyong Yang <sup>1</sup>

### ABSTRACT

The evapotranspiration demand of Awati irrigation district has changed with irrigation development. During the first period of traditional irrigation expansion from 1980 to 1997, irrigation water withdrawal increased from  $1.20 \times 10^9 \text{ m}^3$  in 1980 to its maximum,  $2.03 \times 10^9 \text{ m}^3$ , in 1997, and the gross irrigation amount increased from  $2.23 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  to  $3.19 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  during the same period. But reference crop evapotranspiration ( $ET_0$ ) decreased from 1147 mm to 992 mm as irrigation intensity enhanced. Since the second period of water-saving irrigation extension began in 1998, the gross irrigation amount decreased to  $1.28 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  in 2012. Evapotranspiration from non-irrigated areas has decreased, whereas  $ET_0$  has been increasing accordingly, to 1057 mm in 2012. The increasing evapotranspiration demand increases the irrigation water requirement, which partly weakens the effects of water-saving irrigation. Evapotranspiration from the non-irrigated areas, which is usually regarded as non-beneficial, could help stabilize evapotranspiration demand. Findings show that irrigation-induced changes in evapotranspiration demand should be seriously considered when evaluating water-saving strategies in irrigation districts in arid areas.

**KEY WORDS:** Irrigation efficiency; evapotranspiration demand; water-saving irrigation; complementary relationship.

### RESUME

La demande d'évapotranspiration du district d'irrigation de Awati a changé avec le développement de l'irrigation. Au cours de la première période d'expansion de l'irrigation traditionnelle de 1980 à 1997, le prélèvement des eaux d'irrigation est passé de  $1,20 \times 10^9 \text{ m}^3$  en 1980 à son maximum,  $2,03 \times 10^9 \text{ m}^3$ , en 1997 et le montant brut de l'irrigation est passé de  $2,23 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  à  $3,19 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  durant la même période. Mais l'évapotranspiration de cultures de référence ( $ET_0$ ) a diminué de 1 147 mm à 992 mm comme l'intensité d'irrigation a été améliorée. Depuis la deuxième période de prolongation d'irrigation économisant l'eau a commencé en 1998, le montant brut de l'irrigation a diminué à  $1,28 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  en 2012. L'évapotranspiration des zones non irriguées a diminué, tandis que  $ET_0$  a augmenté en conséquence, à 1 057 mm en 2012. La demande croissante d'évapotranspiration augmente les besoins en eau d'irrigation, qui affaiblit en partie les effets de l'irrigation économisant l'eau. L'évapotranspiration des zones non irriguées, qui est généralement considérée comme non bénéfique, pourrait aider à stabiliser la demande de l'évapotranspiration. Les résultats montrent que les changements induits par l'irrigation dans la demande d'évapotranspiration devraient être sérieusement envisagés lors de l'évaluation des stratégies d'économie d'eau dans les districts d'irrigation dans les zones arides.

**Mots-clés :** efficacité d'irrigation ; demande de l'évapotranspiration ; économisant l'eau irrigation ; rapport de complémentarité.

<sup>1</sup> State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China

## Farmers' Participation and Usage of ICT and Remote Sensing in Measuring Water Productivity - A Case of Andhra Pradesh, India

La Participation Des Agricultures Et L'utilisation Des TIC Et De La Teledetection Dans La Mesure De La Productivité De L'eau - Un Cas D'andhra Pradesh, Inde

Kazuhiro Yoshida<sup>1</sup>, Sekhar Muddu<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The composite indicator water productivity can capture the extent to which improvements in water delivery, agronomic practices, and institutional arrangements, may succeed. It is necessary to increase the adaptability, relevance, and understanding of water productivity to make it a viable tool for better design and management of irrigation projects. To achieve this, water productivity needs to be practical, measurable, and meaningful to the farmers. Increased water efficiency motivated by behavioral change will require motivations and incentives, including irrigation modernization and expansion, besides improvement of water management supported by the government. These will motivate the farmers to use water efficiently and allow water managers to re-allocate water savings to higher productivity.

The authors relate the farmers' engagement in agriculture activities with water productivity by introducing their collaborative water management activities. Further, the authors note the importance of farmers' involvement in water productivity by defining it simply, demystifying it, and linking it directly with farmers' profits.

This paper introduces the case of projects in Andhra Pradesh, India, which has various elements in irrigated agriculture, including farmers' participation and presents the methodology of ground measurement and approaches used to achieve water productivity. The project installed cut throat flumes with calibrated scales for assessing the water releases from the main sluice of the reservoir of minor irrigation tanks. The water releases during the cropping season were measured. Statistically few good data sets of water releases were used for estimating water productivity from surface irrigation. The project estimated water productivity from groundwater irrigation as well, using data collected through participatory groundwater management.

The main summary points from the case study for future projects are:

- (1) Though water productivity is being estimated in sample cases, widespread application across all tanks of the project remains infeasible, but can be improved through satellite and ICT tools.
- (2) Water use sources (canals) at the individual farm level needs to be supplemented from groundwater, which requires enhanced participatory efforts by farmers apart from technological improvements with sensors and ICT tools.

**KEY WORDS:** Water productivity, farmers' participation, ICT, remote sensing, India.

1 Senior Irrigation Specialist, Water in Agriculture Global Solution Group, The World Bank, E-mail: kyoshida1@worldbank.org

2 Professor, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Science. E mail: sekhar.muddu@gmail.com

## RESUME

L'indicateur composite de la productivité de l'eau peut déterminer dans quelle mesure les améliorations apportées à l'approvisionnement en eau, les pratiques agronomiques et les arrangements institutionnels peuvent réussir. Il est nécessaire d'accroître l'adaptabilité, la pertinence et la compréhension de la productivité de l'eau pour en faire un outil viable pour une meilleure conception et gestion des projets d'irrigation. Pour ce but, la productivité de l'eau doit être pratique, mesurable et significative pour les agriculteurs. L'augmentation de l'efficacité de l'eau motivée par le changement de comportement nécessitera des motivations et des primes, y compris la modernisation et l'expansion de l'irrigation, en plus de l'amélioration de la gestion de l'eau soutenue par le gouvernement. Cela motivera les agriculteurs à utiliser l'eau efficacement et permettra aux gestionnaires de l'eau de réaffecter des économies d'eau à une productivité plus élevée.

Les auteurs racontent l'engagement des agriculteurs dans les activités agricoles avec la productivité de l'eau en introduisant leurs activités collaboratives de gestion de l'eau. En outre, les auteurs remarquent l'importance de l'importance des agriculteurs dans la productivité de l'eau en le définissant simplement, en le démystifiant et en le reliant directement aux bénéfices des agriculteurs.

Cet article présente le cas de projets à Andhra Pradesh, en Inde, qui a divers éléments dans l'agriculture irriguée, y compris la participation des agriculteurs; et présente la méthodologie de mesure du sol et les approches utilisées pour atteindre la productivité de l'eau. Le projet a installé des canaux coupe-gorges avec des écailles étalonnées pour évaluer les décharges d'eau de l'écluse principale du réservoir de réservoirs d'irrigation mineurs. Les décharges d'eau pendant la saison de culture ont été mesurées. Statistiquement, peu de bonnes séries de données de rejets d'eau ont été utilisés pour estimer la productivité de l'eau à partir de l'irrigation superficielle. Le projet a également estimé la productivité de l'eau à partir de l'irrigation des eaux souterraines, en utilisant les données recueillies grâce à la gestion participative des eaux souterraines.

Les principaux points résumés de l'étude de cas pour les projets futurs sont les suivants:

- (1) Bien que la productivité de l'eau soit estimée dans des cas exemplaires, une application répandue dans tous les réservoirs du projet reste impossible, mais peut être améliorée grâce à des outils satellitaires et ICT.
- (2) Les sources d'utilisation de l'eau (canaux) au niveau de la ferme individuelle doivent être complétées par les eaux souterraines, ce qui nécessite des efforts participatifs accrus des agriculteurs en dehors des améliorations technologiques avec les capteurs et les outils ICT.

**Mots-clés:** la productivité de l'eau, la participation des agriculteurs, l'ICT, la télédétection, L'Inde.



## Innovative Water Management Practices on Paddy Rice Water Productivity in Zanzibar

### Évaluation De L'Effet Des Pratiques Novatrices De Gestion De L'Eau Sur La Productivité Des Rizieres A Zanzibar

Shaame Matta Shaame<sup>1</sup> and Aidan Senzanje<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Paddy rice production consumes in excess of 2000 mm per season. As competition for scarce water resources increases, it is important that less water is used in agriculture, especially in rice paddy production. This study reported herein sought to evaluate the effect of three different innovative water management techniques on paddy rice water productivity in Zanzibar. The practices evaluated were; the standard practice of continuous submergence (CS), alternating wetting and drying (AWD), and saturated soil culture without ponded water (SSC). Experiments to test these practices were undertaken at two sites, with predominantly sandy soils having percolation rates in the range 15.1 to 29.2 mm/day over two irrigation seasons. Crop water requirements were between 1859 to 2323 mm during the short rain season (Vuli) and 1736 to 2200 mm during the long rain season (Masika). The total water supplied (comprising irrigation and rainfall) was in the range of 47 – 57% and 60 – 76% of crop water requirements during the short and long rain seasons, respectively. The high water requirements were due to high percolation rates, use of late maturing rice varieties and higher evapotranspiration rates. Rice yields under the three water practices ranged from 4.0 to 5.6 t/ha, with the highest yields under CS practice at an average of 4.8 t/ha. There were no significant differences in rice yield between AWD and SSC practices. Total water inputs (irrigation + rainfall) were 1300 – 1716 mm under CS, 660 – 1252 mm under AWD and 559 – 806 mm under SSC practice. Total water productivity (irrigation + rainfall) ranged from 0.27 to 0.43 kg/m<sup>3</sup> under CS, 0.32 to 0.64 kg/m<sup>3</sup> under AWD and 0.50 to 0.73 kg/m<sup>3</sup> under SSC practice. Water saving practices such as AWD and SSC reduce the amount of water use and hence increase water productivity. Such practices should be promoted in rice producing areas. Realistically though, it would be somewhat difficult for smallholder farmers, in places like Zanzibar, to apply some of these techniques because of problems associated with water supply and control.

**KEY WORDS:** alternate wetting and drying, continuous submerged, saturated soil culture, water productivity, water requirement.

#### RÉSUMÉ

La production de riz irrigué consomme plus de 2000 mm d'eau par saison. Comme la concurrence pour les ressources en eau augmente, il est important que moins d'eau soit utilisée par l'agriculture, en particulier pour la production de riz irrigué. Cette étude a porté sur l'évaluation de l'effet de trois différentes techniques novatrices de gestion de l'eau sur la productivité du riz à Zanzibar. Les pratiques évaluées étaient : la pratique standard de la submersion continue (CS), l'alternance de mouillages et de séchage (AWD), et la culture sur sol saturé sans inondation (SSC). Ces pratiques ont été testées pour deux sites, avec des sols principalement sablonneux qui avaient des taux de percolation dans la fourchette de 15,1 à 29,2 mm/jour, à Zanzibar pendant deux saisons d'irrigation. Les besoins en eau des

1 Kizimbani Agricultural Training Institute, P.O.Box 610, Zanzibar

2 Bioresources Engineering Programme, University of KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa.  
E-mail: SenzanjeA@ukzn.ac.za Senzanje@gmail.com

cultures étaient de 1859 à 2323 mm pendant la courte saison des pluies (Vuli) et de 1736 à 2200 mm pendant la longue saison des pluies (Masika). L'eau totale fournie (comprenant l'irrigation et les précipitations) était de l'ordre de 47 à 57% et de 60 à 76% des besoins en eau des cultures pendant les saisons de pluie courte et longue, respectivement. Les besoins élevés en eau étaient dus à des taux élevés de percolation, à l'utilisation de variétés de riz à maturation tardive et à des taux d'évapotranspiration plus élevés. Les rendements en riz dans les trois pratiques hydriques ont varié de 4,0 à 5,6 t/ha, les rendements les plus élevés ayant été obtenus selon la pratique de la CS avec une moyenne de 4,8 t/ha. Il n'y a pas eu de différences significatives dans le rendement du riz entre les pratiques AWD et de SSC. Les apports totaux en eau (irrigation + précipitations) étaient de 1300 – 1716 mm sous CS, 660 – 1252 mm sous AWD et 559 – 806 mm sous la pratique de SSC. La productivité totale de l'eau (irrigation + précipitations) a varié de 0,27 à 0,43 kg/m<sup>3</sup> sous CS, de 0,32 à 0,64 kg/m<sup>3</sup> sous AWD et de 0,50 à 0,73 kg/m<sup>3</sup> dans le cadre de la pratique SSC. Les pratiques d'économie d'eau telles que AWD et SSC réduisent la quantité d'eau utilisée et augmentent donc la productivité de l'eau. Ces pratiques devraient être promues dans les zones productrices de riz. De façon réaliste, il serait cependant quelque peu difficile pour les petits exploitants agricoles, dans des endroits comme Zanzibar, d'appliquer certaines de ces techniques en raison des problèmes liés à l'approvisionnement en eau.

## Evolution of Agricultural Drainage in Mexico Current Status and Prospects

### Évolution Du Drainage Agricole Au Mexique État Actuel Et Perspectives

José Rodolfo Namuche Vargas<sup>1</sup>, Heber Eleazar Saucedo Rojas<sup>2</sup>,  
Carlos Fuentes Ruiz<sup>3</sup>, and José Luis Arellano Monterrosa<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Agricultural drainage controls soil salts and excess soil water and provides a favorable crop root zone environment for plants to thrive and produce. It makes a social impact by attracting farmers in agricultural activity. In Mexico, the irrigated area is approximately 6 500 000 ha, by surface and groundwater. Close to 3 550 000 ha are located in Irrigation Districts and 2 950 000 ha in small irrigation works of the Irrigation Units, from which they are irrigated mainly with groundwater and small storage and diversion dams. Of the total surface irrigated area, approximately 500 000 ha have salinity and drainage problems. The humid tropics cover about 46 000 000 ha, of which 7 500 000 have agricultural potential and are located on the plains and deltas of the Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Pánuco, Usumacinta rivers and on the coast of Chiapas. One of the main constraints to its use is the susceptibility to flooding. In the humid tropics there is an area of 300 000 ha with shallow water table. The Mexican Institute of Water Technology has developed, adapted and transferred subsurface drainage technologies since 1992. In the arid and semi-arid zones with the aim of rehabilitating physically and chemically degraded soils. In the arid and semi-arid zones there is currently a subsurface drained area of about 100 000 ha and in tropical areas 5 000 ha, agricultural production has increased by at least 50%.

It should be noted that the cost of rehabilitating one hectare with salinity and drainage problems in Mexico is one-fifth of that of adding a new hectare to irrigation. With a rate of increase of the salinity and drainage problems of 10 000 ha/year, not to intensify the level of the actions, the decrease of the agricultural productivity can be propitiated in up to 25% of the surface under irrigation. The rehabilitation of 60 000 ha of soil affected by salinity and drainage problems through land drainage can contribute to 5% of the maize production target for the period 2012-2018. Compliance with Action Line "Installing parcel drainage in irrigation districts" of the National Water Program 2014-2018, and thus be an important element in achieving food security.

**KEY WORDS:** Arid and semi-arid zones, tropical zones, salinity, moisture soil regime.

#### RÉSUMÉ

Le drainage agricole est l'un des investissements les plus rentables dans la modernisation et la réhabilitation des infrastructures hydro-agricoles, car il a un retour sur investissement moyen à court terme. Les avantages directs des processus de transfert de l'eau dans le sol qui permettent de réduire les niveaux d'eau souterraine et de réduire les problèmes de salinité,

- 1 Water Technologist. Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: rnamuche@tlaloc.imta.mx. & Corresponding author.
- 2 Pollution and Agricultural Drainage Submanager. Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: hsaucedo@tlaloc.imta.mx.
- 3 Water Technologist. Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: cfuentes@tlaloc.imta.mx.
- 4 Irrigation Specialist. National Water Commission. Insurgentes Sur 2416 Col. Copilco El Bajo, Delegación Coyoacán, México D.F. 04340. E-mail: jose.arellanoa@conagua.gob.mx.

donnent une augmentation significative des rendements des cultures; le drainage agricole présente des avantages du type social en encourageant les agriculteurs à être enracinés dans l'activité agricole. Il a également un impact direct sur l'amélioration des conditions du sol pour l'extraction des cultures dans les zones agricoles. Au Mexique, la superficie d'irrigation avec les eaux de surface et souterraines avec des infrastructures hydro-agricoles est d'environ 6 500 000 ha, réparties dans 3 550 000 ha dans les périmètres irrigués et 2 950 000 ha dans les petites unités d'irrigation, lesquelles sont irriguées principalement avec des eaux souterraines et de petits barrages de stockage et de dérivation. Sur la surface totale sous irrigation, environ 500 000 ha ont des problèmes de salinité et de drainage. Les tropiques humides couvrent environ 46 000 000 ha, dont 7 500 000 ont un potentiel agricole et sont situés sur les plaines et les deltas des rivières Papaloapan, Coatzacoalcos, Grijalva, Pánuco, Usumacinta et sur la côte du Chiapas. L'une des principales contraintes à son utilisation est la susceptibilité aux inondations. Dans les zones tropicales humides, il y a une surface de 300 000 ha avec des nappes peu profondes et de drainage déficient. L'Institut Mexicain de Technologie de l'Eau a développé, adapté et transféré des technologies de drainage souterraines depuis 1992, avec le but de réhabiliter les sols affectés par la salinité, la sodicité et l'irrigation peu profonde des eaux souterraines. Aussi, dans les zones tropicales dans le but de contrôler le régime d'humidité des sols en raison des pluies intenses et de l'irrigation pour permettre l'évacuation des excès d'eau. Dans les deux cas, la contribution de l'eau par ascension capillaire aux racines est privilégiée. Dans les zones arides et semi-arides, il existe actuellement une zone de drainage souterraine d'environ 100 000 ha et dans les zones tropicales 5 000 ha, la production agricole a augmenté d'au moins 50% par rapport aux terrains sans drainage.

Il convient de noter que le coût de la réhabilitation d'un hectare avec des problèmes de salinité et de drainage au Mexique est cinq fois inférieur à un hectare d'irrigation. Avec un taux d'augmentation des problèmes de salinité et de drainage de 10 000 ha / an, pour ne pas intensifier le niveau des actions, la diminution de la productivité agricole peut être propulsée jusqu'à 25% de la surface irriguée. La réhabilitation de 60 000 ha des sols affectés par des sels et des problèmes de drainage interne peut contribuer à 5% de l'objectif de production de maïs pour la période 2012-2018. La ligne d'action «Installation du drainage des parcelles dans les périmètres irrigués» du programme national pour l'eau 2014-2018 constitue donc un élément important dans la réalisation de la sécurité alimentaire.

**Mots clés :** Zones arides et semi-arides, zones tropicales, salinité, régime d'humidité des sols.

## Production Indicators for Irrigation Modernization Case Study in Chihuahua, México

Les Indicateurs De Production Pour La Modernisation De L'irrigation Comme Une Stratégie De Lutte Contre Les Pénuries D'eau Et Son Impact Sur L'approvisionnement Alimentaire. Étude De Cas À Chihuahua, México

Olvera-Salgado M.D.<sup>1</sup>, Bahena-Delgado, G.<sup>2</sup>, Ángeles Hernández J. M.<sup>3</sup>, Castillo González J.A.<sup>4</sup>, Namuche Vargas R.<sup>5</sup>, Unland Weiss H.E.K.<sup>6</sup>, Pacheco Hernández P<sup>7</sup>

### ABSTRACT

Mexico has around 6.5 million hectares (M ha) of irrigated agricultural lands. In this area 54% is covered by 86 irrigation districts (ID) with irrigation infrastructures making it possible to initiate gravity-fed irrigation. ID No. 005 Delicias, Chihuahua in northwestern Mexico, is divided into 12 irrigation sections, one of which was selected for a case study to identify the effect irrigation modernization on water resources and crop production. Two scenarios were analyzed: the "Before" Scenario, prior to the irrigation modernization in 2003 when irrigation primarily consisted of gravity-fed systems, and the "After" Scenario in the growing cycle 2012-2013, where fields were irrigated with high-tech systems such as multi-gate, sprinkler and drip systems. The necessary information was obtained directly from the farmers active in one of the irrigation sections under study, and was based on a comparative analysis of farm pairs (26 farms with gravity-fed vs 26 farms with modernized hi-tech irrigation systems) all growing similar crops. A research tool was designed to obtain a list of activities carried out by the farmers to produce their crops. The results show marginal savings of approximately 63,454,000 m<sup>3</sup> of water and a production of 124,662 tons of agricultural products obtained from a total cropped area of 890 hectares. The crops were: Peanuts, Alfalfa, Rye Grass, Pecans, Sorghum for forage, fodder corn, and jalapeno peppers, representing approximately 23% of the financial investment made in the whole irrigation district and 11% of the modernized crop surface in Irrigation Section No. 4 where the study was carried out. Furthermore, increases in the ratio of net income to volume of water applied (\$/ m<sup>3</sup>) ranging between 17%, 7%, and more than 200% were obtained for multi-gate, sprinkler and drip irrigation systems, respectively. Regarding the parcel size and type of landownership, a more efficient water use was achieved for the "ejido" type (parcel sizes from 5 to 10 ha) while a poor use of water was observed for the larger size parcels common in private property type land ownership (20 to 50 ha) The different plot sizes when categorized by type of land ownership and irrigation system, resulted in differences in the study area, where smaller plot sizes were associated with the ejidos (6.55 ha average plot size) as well as a predominance of multi-gate irrigation system, while plots with private property land ownership had implemented three types of irrigation systems, ranging from multi-gate systems installed in the smaller plots to more modernized irrigation systems for the larger cultivated plots.

**KEY WORDS:** water savings, irrigation modernization, yield, productivity.

- 1 Water Technologist. Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: dolvera@tlaloc.imta.mx . <sup>4</sup>Corresponding author.
- 2 Professor-researcher, school of studies top of Xalostoc. University autonomous of the State of Morelos Park Industrial Cuautla, C. P. 62715. E-mail: gbahena20@yahoo.com.mx
- 3 Water Technologist. Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550.

## RESUME

Le Mexique a environ 6,5 millions d'hectares (M ha) de terres agricoles irriguées. Dans ce domaine, 54% sont couverts par 86 districts d'irrigation (ID) avec des infrastructures d'irrigation permettant d'initier l'irrigation alimentée par la gravité. ID n° 005 Delicias, Chihuahua, au nord-ouest du Mexique, est divisé en 12 sections d'irrigation, dont l'une a été sélectionnée pour une étude de cas afin d'identifier l'effet de la modernisation de l'irrigation sur les ressources en eau et la production végétale. Deux scénarios ont été analysés: le scénario «Avant», avant la modernisation de l'irrigation en 2003, lorsque l'irrigation consistait principalement de systèmes alimentés par gravité; et le scénario «Après» dans le cycle de croissance 2012-2013, où les champs ont été irrigués avec des la systèmes haute technologie tels que les systèmes multi-portes, l'arrosage et le goutte à goutte. L'information nécessaire a été obtenue directement auprès des agriculteurs actifs dans l'une des sections d'irrigation sous l'analyse et a reposé sur une analyse comparative des paires de ferme (26 fermes alimentées par la gravité par rapport à 26 fermes avec des systèmes d'irrigation modernisés à haute technologie) tous cultivant les mêmes récoltes. Un outil de recherche a été conçu pour obtenir une liste des activités menées par les agriculteurs pour produire leurs récoltes. Les résultats montrent des économies marginales d'environ 63 454 000 m<sup>3</sup> d'eau et une production de 124 662 tonnes de produits agricoles obtenus d'une superficie cultivée totale de 890 hectares. Les cultures étaient: les cacahuètes, la luzerne, l'ivraie vivace, les pecans, le sorgho pour le fourrage, le maïs fourrage et les piments jalapeño, représentant environ 23% des investissements financiers réalisés dans l'ensemble du district d'irrigation et 11% de la superficie de la culture modernisée en Irrigation Section No. 4 où l'étude a été réalisée. En outre, des augmentations du ratio du revenu net au volume d'eau appliqué (\$ / m<sup>3</sup>) compris entre 17%, 7% et plus de 200% ont été obtenues respectivement pour les systèmes multi-portes, l'arrosage et l'irrigation par goutte à goutte. En ce qui concerne la taille du parcelle et le type de propriété foncière, une utilisation de l'eau plus efficace a été réalisée pour le type «ejido» (des parcelles de dimensions de 5 à 10 ha) alors qu'une mauvaise utilisation de l'eau a été observée pour les parcelles de plus grande taille, commun dans le type de propriété privée (de 20 à 50 ha). Quand les différentes tailles des parcelles sont classées selon le type de propriété foncière et le système d'irrigation, ils ont entraîné des différences dans la zone d'étude, où des plus petites dimensions ont été associées aux ejidos (taille moyenne de parcelle de 6,55 ha) ainsi qu'à une La prédominance du système d'irrigation multi-portes, tandis que les parcelles d'une propriété foncière privée ont mis en place trois types de systèmes d'irrigation, allant des systèmes multi-portes installés dans les petites parcelles à des systèmes d'irrigation plus modernisés pour les grandes parcelles cultivées.

**Mots clés:** les économies d'eau, la modernisation de l'irrigation, le rendement, la productivité.

## In-Stream Wetland as a Potential Low Cost Treatment Technology in Rural Areas

Courant de zones humides comme traitement potentiel de faible coût  
Technologie dans les Zones Rurales

Ashraf El Sayed Ismail<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The countries of the Middle East and North Africa region have 5% of the world's population but have less than 1% of the world's renewable fresh water. The region is one of the driest in the world and poorly endowed with natural freshwater supplies. The annual per-capita water availability in 1960 was about 1550 m<sup>3</sup> and has fallen by 40% to about 650 m<sup>3</sup> today and it is expected to be about 450 m<sup>3</sup> in 2025.

Wastewater treatment in the Egyptian rural areas as many other countries lags far behind potable water supply. Only urban centers and some larger rural villages possess wastewater treatment facilities. Economics of scale makes conventional wastewater treatment cost prohibitive in smaller more dispersed rural settlements. Domestic wastewater is typically discharged directly or indirectly to drainage canals. This practice has contributed to widespread degradation of drainage water quality, thus negatively affecting the reuse of drainage water plans in Egypt. Several treatment alternatives that vary in efficiency and cost are available. The natural wastewater treatment requires relatively low capital investment when flat land is available at reasonable price. Among the natural treatment systems, in-stream wetland has high potential for application in rural areas of Egypt where the treatment process takes place within the drain. Thus, it needs much less land, easily maintained, can adsorb shock loads with relatively less capital and operational cost. All these features have made in-stream wetland very attractive option for rural communities. Pilot studies in the Nile Delta drain system were conducted to demonstrate the technical feasibility of the in-stream study and adopt the design criteria suited for the Egyptian environment. One pilot area was selected among several potential sites in the Nile Delta using multi-criteria analysis. Baseline studies have been conducted to collect the data/information required for the design of in-stream wetlands. The studies included intensive water quality monitoring program, hydraulic characteristics, physical survey, socioeconomic survey, developing public awareness program and others related activities.

The HEC-RAS modeling system is used for calculation of water surface profiles for steady gradually varied flows of the selected drain. MATLAB software is used to develop an external transport module to simulate the convection, advection, diffusion and decay of different pollutants. A group of 25 numerical runs in a matrix are simulated to test the impact of physical interventions on drain surface water profile, detention time and pollutants removal efficiency. The baselines studies show that the self-purification capacity of the selected drain without physical engineering intervention varies within a narrow range from 29% to 37% for BOD removal with treatment of detention time 6 to 8 hours. The proposed system could have detention time up to 68 hours by using limited physical intervention as sedimentation trap, weir and baffles. Simulation of the different design alternatives indicate that removal efficiency of such system can achieve 60% of BOD and 70% of TSS. Introducing aquatic plant would improve the removal efficiency especially for nutrients and pathogens. The performance of the in-stream wetland treatment system under Egyptian similar conditions is expected to be equivalent to the advanced primary to secondary conventional treatment.

<sup>1</sup> Deputy Director, Drainage Research Institute, National Water Research Center, Egypt, Member, ICID Working Group on Sustainable Drainage, Drainage Research Institute, e-mail: ashssayed@hotmail.com

**KEY WORDS:** Drainage water reuse, natural treatment system, water quality modeling

## RÉSUMÉ

Les pays de la région Moyen-Orient et Afrique du Nord ont 5 % de la population mondiale, mais ne disposent que de moins de 1 % de l'eau douce renouvelable dans le monde. La région est l'un des plus arides du monde et est mal dotée de réserves d'eau douce naturelles. La disponibilité en eau annuelle par habitant en 1960 était d'environ 1 550 m<sup>3</sup> et a chuté de 40 % à environ 650 m<sup>3</sup> aujourd'hui et il devrait atteindre environ 450 m<sup>3</sup> en 2025.

Le traitement des eaux usées dans les zones rurales égyptiennes comme dans beaucoup d'autres pays est loin derrière l'approvisionnement en eau potable. Seuls les centres urbains et quelques gros villages ruraux possèdent des installations de traitement des eaux usées. L'économie d'échelle rend le coût de l'épuration conventionnelle prohibitif dans les petites agglomérations rurales plus dispersées. Les eaux usées domestiques sont généralement déchargées directement ou indirectement dans les canaux de drainage. Cette pratique a contribué à la dégradation généralisée de la qualité de l'eau de drainage, ayant ainsi une incidence négative sur la réutilisation des plans d'eau de drainage en Égypte. Il existe plusieurs alternatives de traitement qui varient en efficacité et en coût. L'épuration naturelle nécessite un investissement relativement faible en capital lorsque le terrain plat est disponible à prix raisonnable. Parmi les systèmes de traitement naturel, les courants de zones humides ont un potentiel élevé pour l'application dans les zones rurales de l'Égypte où le processus de traitement s'effectue dans le drainage. Ainsi, il faut beaucoup moins de terres, il est facile à maintenir, et peut adsorber les charges de choc avec relativement moins de capital et un coût opérationnel moindre. Toutes ces caractéristiques ont rendues les zones humides très attrayantes pour les communautés rurales. Des études pilotes dans le système de vidange du Delta du Nil ont été menées afin de démontrer la faisabilité technique de l'étude et adopter les critères de conception adaptés à l'environnement égyptien. Une zone pilote a été sélectionnée parmi plusieurs sites potentiels dans le Delta du Nil à l'aide d'une analyse multicritères. Les études préliminaires ont été menées afin de recueillir les données et les informations requises pour la conception des flux dans les zones humides. Les études comprenaient un programme de suivi intensif de la qualité de l'eau, les caractéristiques hydrauliques, un relevé physique, une enquête socioéconomique, l'élaboration de programme et d'autres activités liées à la sensibilisation du public.

Le système de modélisation de HEC-RAS est utilisé pour le calcul des profils de surface de l'eau pour des écoulements graduellement variés réguliers du drain sélectionné. Le logiciel MATLAB est utilisé pour développer un module de transport externe pour simuler la convection, l'advection, la diffusion et la décomposition des polluants différents. Un groupe de 25 pistes numériques dans une matrice sont simulées pour tester l'impact des interventions physiques sur le profil de vidange de l'eau de surface, l'efficacité du temps de détention et de l'élimination des polluants. Les lignes de base des études montrent que la capacité d'auto-épuration du drain sélectionné sans intervention de l'ingénierie physique varie dans une fourchette étroite de 29 % à 37 % pour l'élimination de la BOD avec un traitement de 6 à 8 heures de détention. Le système proposé pourrait avoir un temps de détention jusqu'à 68 heures en utilisant une intervention physique limitée comme les chicanes, un déversoir et un piège de sédimentation ; La simulation des alternatives différentes de conception indique que l'efficacité d'élimination d'un tel système peut atteindre 60 % de BOD et 70 % de TSS. L'introduction de plantes aquatiques permettrait d'améliorer l'efficacité de traitement particulier pour les éléments nutritifs et agents pathogènes. La performance du système de traitement en courant de zones humides dans des conditions semblables en Égypte devrait être équivalente du traitement primaire avancé aux classiques secondaires.

**MOTS CLÉS :** Réutilisation de l'eau de drainage, système de traitement naturel, modélisation de la qualité de l'eau



## Water Use Conflicts and Possible Solutions - A Case Study of Irrigation Projects in Upper Godavari Basin, India

### Conflicts D'utilisation De L'eau Et Possibles Solutions - Une Étude De Cas De Projets D'irrigation Dans Le Bassin Supérieur De Godavari, Inde

Sanjay Belsare<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

This Paper presents post-project scenario and of Gangapur and Darna irrigation projects in Upper Godavari basin near the city Nashik in Maharashtra. It has been experiencing conflicts, as more than 80% of the 25 TMC<sup>2</sup> water available for irrigating about 0.1 million hectares (M Ha) has to be diverted for non irrigation purposes resulting rise in conflicts on water use and water regulation for irrigation in the basin. Upstream utilization and pollution also add to the dimension of the problem.

Water regulation policy and resource allocation are required to be reviewed to avoid water use conflicts like- restoration of irrigation potential at the cost of non irrigation users by adopting the means to improve conveyance efficiency as well as shifting from conventional irrigation methods to micro irrigation system thereby improving application efficiency ,Recycling of sewage water after treatment for irrigation. Regulatory policies regarding maximum limits for diversion of water for purposes other than the original purpose of the project needs to be formulated in view of food and energy security along with drinking water availability. Demand side interventions to optimize use of water will also help in resolving conflicts. Stakeholder's participation and judicial distribution of water among irrigation and non irrigation purpose will be crucial for resolution of conflicts.

#### RÉSUMÉ

Cet article présente le scénario d'après le projet et des projets d'irrigation de Médéric et Darna dans le bassin supérieur de Godavari près de la ville de Nashik dans le Maharashtra. Elle connaît des conflits, comme plus de 80 % de 25 TMC<sup>3</sup> d'eau disponibles pour irriguer environ 0,1 millions d'hectares (M) a dû être détourné à des fins d'irrigation non résultant de montée dans les conflits sur l'utilisation de l'eau et le règlement sur l'eau pour l'irrigation dans le bassin. La pollution et l'utilisation en amont ajoutent également à la dimension du problème. Le règlement politique de l'Eau et l'affectation des ressources devront être revus pour éviter que l'utilisation de l'eau ne créent des conflits similaires-restauration d'irrigation potentielle au détriment des utilisateurs non irrigation en adoptant les moyens d'améliorer l'efficacité de transport ainsi que transfert de méthodes d'irrigation conventionnelle au système de micro irrigation, améliorant ainsi l'efficacité de l'application, recyclage des eaux usées après traitement pour l'irrigation. Les politiques de réglementation concernant les limites maximales de détournement des eaux à des fins autres que l'objectif initial du projet doit être formulées en vue de la sécurité alimentaire et énergétique ainsi que de la disponibilité de l'eau potable. Les interventions du côté de la demande visant à optimiser l'utilisation de l'eau aidera également à résoudre les conflits. La participation des intervenants et la distribution judiciaire de l'eau entre les objectifs d'irrigation et de non-irrigation sera cruciale pour la résolution des conflits.

<sup>1</sup> Superintending Engineer and Deputy Secretary, Water Resources Department, Govt. of Maharashtra, India

<sup>2</sup> TMC = Thousand Million Cubic Feet; 1 foot = 0.3048 m

<sup>3</sup> TMC = 1000 millions de pieds cubes ; 1 pied = 0,3048 m

## Prospects of Water Saving through Modernization of Surface Irrigation Systems: The Rigrat Case

Aprendizaje Y Desafíos Del Ahorro De Agua A Través De La Modernización Del Sistema De Riego Por Gravedad: Caso Rigrat

Jorge Flores-Velazquez<sup>1</sup>, Waldo Ojeda Bastamente<sup>1</sup>, Juan Manuel Angeles Hernández<sup>1</sup>, Mario Alberto Montiel Gutiérrez<sup>1</sup> Gustavo Adolfo Hinojosa Cuellar<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Technological advances in the application of irrigation water in Mexico favors the sustained production of crops; however, scenarios persist that make water management and handling the challenge of institutions in the 21st century. In irrigation agriculture there are developments such as irrigation automata, drones and access to information from the local micro-meteorology, which show their potential in activities of the agricultural sector. Nevertheless, it is true that the majority of irrigation users still apply water to plants in an empirical way and without awareness of the amount of water the crop needs, much less of the water that is contributed. To mitigate this impact, one of the challenges is the implementation of a Technified Gravity Irrigation Program (RIGRAT, for its Spanish acronym), which purports to have a system for collecting water by volume and not by surface area. Prior to this, it will be necessary to establish the culture of measurement and water saving based on adapting technology to the irrigation system. With the saving of water, new challenges arise about its use, especially when it is reaching the agricultural frontier, and even more so if the water is for another use. The objective of this paper is to analyze the conceptual contributions that the RIGRAT has brought and, consequently, to propose alternatives to generate real water savings, the transfer of water to the agricultural sector, and the possibility of new uses outside of it.

### RÉSUMÉ

Les progrès technologiques réalisés dans l'application de l'irrigation de l'eau au Mexique favorise la production durable des cultures ; toutefois, des scénarios persistant rendent la gestion de l'eau et le défi des institutions au XXI<sup>e</sup> siècle. Dans l'agriculture d'irrigation il y a des évolutions telles que les automates d'irrigation, les drones et l'accès à l'information de la micro-météorologie locale, qui montrent leur potentiel dans les activités du secteur agricole. Néanmoins, il est vrai que la majorité des utilisateurs d'irrigation pulvérisent encore l'eau sur les plantes de façon empirique et sans prise de conscience de la quantité d'eau dont la culture a besoin, beaucoup moins de l'eau qui est apporté. Pour atténuer cet impact, l'un des défis est l'implémentation d'un Programme d'Irrigation Moderne par Gravité (RIGRAT, pour son acronyme espagnol), qui a pour but d'avoir un système de collecte de l'eau en volume et non par surface. Avant cela, il sera nécessaire d'établir la culture de la mesure et basé sur la technologie de s'adapter au système d'irrigation pour économiser l'eau. Avec l'économie d'eau, les nouveaux défis se posent sur son utilisation, surtout quand cela atteint la frontière agricole et plus encore si l'eau est pour un autre usage. L'objectif de cet article est d'analyser la contribution conceptuelle apporté par RIGRAT et, par conséquent, afin de proposer des alternatives pour générer des économies d'eau réelle, le transfert de l'eau pour le secteur agricole et la possibilité de nouvelles utilisation en dehors de celle-ci.

1 Mexican Institute of Water Technology. Irrigation Engineering Expert. Paseo Cuauhnahuac 8532. Porgreso. 62550. Jiutepec, Morelos, Mexico. Jorge\_flores@tlaloc.imta.mx

2 National Water Commission. Hydraulic Facilities Head. Insurgentes sur, CDMX.

## Water Hyacinth to Treat Agriculture Drainage Water for Water Saving

### Jacinthe D'eau Pour Traiter Les Eaux De Drainage De L'agriculture Pour Economiser L'eau

Salwa M. Abou Elella<sup>1</sup> and Tarek A. El Samman<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Wastewater is a potential water source in Egypt which will increase as the population grows. In the past decades, the Ministry of Water Resources and Irrigation in Egypt (MWRI) advocated reusing drainage water through mixing it with fresh water.

The objectives of this paper is to study the improvement in the water quality of linked open drains of various categories and keep it within the permissible limits according to Egyptian law before mixing with canal fresh water; and second objective is to set up simplified criterions for the application of in-stream treatment for watercourse.

Field work was done to study the effect of water hyacinth on water quality conditions for El Zanydrain and its branch in the Western Delta of the River Nile, monthly during the period from June 2015 to December 2015. Water hyacinth was collected in 5 reaches, two with 1000 m reach in the main drain and three 500 m reaches one in each branch drain. The drain water surfaces were almost 100 % covered with water hyacinth (*Eichorniacrassipes*) during the 7 months field testing period.

The results revealed that ecological systems with aquatic weeds can improve the quality of drainage water if the system can meet certain conditions relative to type of weeds. The dissolved oxygen content in the wetlands increased to a limited degree. The pilot wetland systems showed significantly reduced ammonia  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$  and some heavy metals as Cu, Zn, Mn, Fe, and Pb. The results indicate that the removal efficiency of heavy metals (Fe, Mn and Pb) by water hyacinth recorded from June to December, was about 100 % for Fe, Mn, Pb and Zn in August and October respectively. Based on the drainage water quality analysis of El Zany drain and its branches, it is shown that most of water quality in El Zany drain and its branches meet the standards for the direct reuse of drainage water in the study area in irrigation except ammonia.

**KEY WORDS:** Water hyacinth, in-stream wetland, reuse, water quality, Drain.

#### RÉSUMÉ

Le traitement des eaux usées est une source potentielle de l'eau en Egypte qui augmentera à mesure que la population s'accroît. Au cours des dernières décennies, le ministère des ressources en eau et l'Irrigation en Egypte (MREI) a préconisé de réutiliser l'eau de drainage par mélange avec l'eau douce.

Les objectifs de cette étude sont l'étude de l'amélioration de la qualité des eaux d'égouts ouverts liés de catégories diverses et le maintien dans les limites acceptables selon la loi égyptienne avant de les mélanger à l'eau douce de canal ; et le deuxième objectif est de mettre en place des critères simplifiés pour l'application du traitement de cours pour les cours d'eau.

1 Professor, Channel Maintenance Research Institute, National Water Research Center, Delta Barrage, P.O. Box 13621, Egypt. salwaabouellella@yahoo.com

2 Professor, Channel Maintenance Research Institute, National Water Research Center, Delta Barrage, P.O. Box 13621, Egypt. tareksamman@yahoo.com

Le travail sur le terrain a été fait pour étudier l'effet de la jacinthe d'eau sur les conditions de qualité de l'eau d'El Zanydrain et sa branche dans le Delta occidental du Nil, tous les mois au cours de la période de juin 2015 à décembre 2015. La jacinthe d'eau était recueillie dans 5 tronçons, deux avec 1000 m de portée dans la canalisation principale et trois de 500 m atteignent une à chaque vidange de la direction générale. La surface de l'eau de vidange était presque 100 % recouverte de jacinthe d'eau (*Eichorniacrassipes*) au cours de la période de test sur champ de 7 mois.

Les résultats ont révélé que des systèmes écologiques des mauvaises herbes aquatiques peuvent améliorer la qualité des eaux de drainage si le système peut répondre à certaines conditions relatives au type de mauvaises herbes. La teneur en oxygène dissous dans les zones humides a augmenté jusqu'à un certain point. Les systèmes de zones humides pilote a montré significativement réduit ammoniacque  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$  et certains métaux lourds comme le Cu, Zn, Mn, Fe et Pb. Les résultats indiquent que l'efficacité d'élimination des métaux lourds (Fe, Mn et Pb) par la jacinthe d'eau enregistrés entre juin et décembre, était d'environ 100 % de Fe, Mn, Pb et Zn en août et octobre respectivement. Basé sur l'analyse de qualité de l'eau de drainage de vidange El Zany et ses branches, on montre que la plupart de la qualité de l'eau de l'égout de El Zany et de ses branches respectent les normes pour la réutilisation directe des eaux de drainage dans la zone d'étude dans l'irrigation sauf l'ammoniac.

**Mots clés :** Jacinthe d'eau, en amont des zones humides, réutilisation, qualité de l'eau, égoutter.

## Water Transfers out of Agriculture – Current issues in Sri Lanka

### Transferts D'eau Hors De L'agriculture – Questions Actuelles Au Sri Lanka

Janaki Meegastenna<sup>1</sup> and Badra Kamaladasa<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

In the global scenario, in many countries where water is a scarce resource, substantial quantity has to be transferred to other emerging sectors from irrigated agriculture creating limitations on food production. Concerns have been expressed on water scarcity in Sri Lanka resulting from increased demands both within the irrigated agriculture sector and other competing sector such as domestic, industrial and environmental. To achieve the development goals on food security, we have to increase irrigation extents or intensities or both. Although the country's overall status on available water resources is quite satisfactory, spatial and temporal variations in supply and demand do occur due to higher space-time variability of rainfall.

Irrigation projects in the dry zone were normally planned for 100% cropping during wet season and around 50% cropping in the dry season. The population in these irrigation settlements has increased substantially over the years with the third or fourth generation now living in those early settlements. Agriculture is the main livelihood for them that warrants either an increase of area under cultivation or an increase in the cropping intensities or both. Government initiated some industrial zones to be located in the rural sector as a solution for unemployment and fragmentation of agricultural lands. Inland fishing is also an emerging sector which has been developed with the patronage of the government funding. Under these circumstances, conflicts do arise at times in sharing the available water resource within the sector as well as between the sectors. Objective of this paper is to discuss the issues among different sectors and explain the responsibilities of stakeholder organizations, institutional strength, weakness, and short comings in the current procedures and propose suitable arrangements to develop water sharing guidelines and mechanisms in future.

**KEY WORDS:** Sectoral water demand, water sharing conflicts, stake holders, cropping intensity, expanding agriculture.

#### RÉSUMÉ

Dans le scénario global, dans de nombreux pays où l'eau est une ressource rare, une quantité importante doit être transférée à d'autres secteurs émergents de l'agriculture irriguée, créant des restrictions sur la production alimentaire. Des préoccupations ont été exprimées quant à la pénurie d'eau au Sri Lanka résultant de demandes accrues tant dans le secteur de l'agriculture irriguée et les autres en concurrence telles que domestiques, industrielles et environnemental. Pour atteindre les objectifs de développement sur la sécurité alimentaire, nous devons augmenter les degrés de l'irrigation, son intensité ou les deux. Bien que la situation générale du pays concernant les ressources en eau disponibles est tout à fait satisfaisante, les variations spatiales et temporelles dans l'offre et la demande se produisent en raison de la variabilité spatio-temporelle plus importante des précipitations.

Des projets d'irrigation dans la zone sèche étaient normalement prévues pour 100 % de culture pendant la saison des pluies et environ 50 % de culture pendant la saison sèche. La population dans ces implantations d'irrigation a considérablement augmenté au cours

1 Director of Irrigation (Flood Protection and Disaster Management), Irrigation Department of Sri Lanka  
2 Consultant to the Ministry of Irrigation and Water Resources Management, Former Director General of Irrigation, Sri Lanka

des années avec la troisième ou quatrième génération qui vit maintenant à ces premiers établissements. L'agriculture est le principal moyen de subsistance pour eux que les mandats, soit une augmentation de la superficie cultivée, soit une augmentation de l'intensité culturale ou les deux. Le gouvernement a entrepris que certaines zones industrielles seraient situées dans le secteur rural en tant que solution contre le chômage et la fragmentation des terres agricoles. La pêche continentale est également un secteur émergent qui a été développé sous le patronage du financement du gouvernement. Dans ces circonstances, les conflits surviennent parfois dans le partage de la ressource en eau disponible au sein du secteur, ainsi qu'entre les secteurs. L'objectif de cet article est de discuter les questions entre différents secteurs et d'expliquer les responsabilités des organismes d'intervenants, une force institutionnelle, faiblesse et lacunes dans les procédures actuelles et de proposer toutes dispositions utiles pour développer des lignes directrices et des mécanismes de partage d'eau à l'avenir.

**Mots clés :** Demande d'eau sectorielle, eau, partage des conflits, parties prenantes, recadrage intensité, expansion de l'agriculture.

## Water Use Analysis in the Cuauhtemoc Aquifer, Chihuahua, Mexico

Analyse D'utilisation De L'eau Dans L'aquifère De Cuauhtemoc, Chihuahua, Mexique

Ana Laura Santos Hernández<sup>1</sup>, Enrique Mejía Saenz<sup>2</sup> and Jesús Rodríguez Rodríguez<sup>3</sup>.

### ABSTRACT

In Mexico, 1,471 watersheds and 653 aquifers have been identified. Sources of surface water are minimal in Chihuahua because of its low rainfall, which results into the largest use of groundwater. Cuauhtemoc aquifer in Chihuahua has been exploited for several decades, mainly for water supply in agriculture. This aquifer extraction has been greater than the replenishment causing large decline in groundwater table. In 2012, 1,317 irrigation units were supplied by 1,818 total uses, covering an area of 55,555 ha. The planted agricultural area was 54,133 ha and it was quantified through field trips, use of GIS and remote sensing techniques; 92% of the water used in this area is from groundwater resources. The cultivated area is mainly covered by two crops: corn (87.0% of total harvested area and 84.1% of water used by volume) and apples (11.9% of harvested area and 15% of water used). Using an updated simulation model for the aquifer analysis, it was found that the aquifer was overexploited in the year 2012 and, if this continues, the decline in the static level in thirty years will double the mean depth, going from 90 m to 170 m in average. As a result of the analysis and a water balance, it was proposed to implement a management plan in two stages: a) the first stage consists on adjusting the extracted volume to the concessional volume, respecting the aquifer closure zones and not allowing the granting of new concessions, at this stage the reduction of agricultural area will be carried out, going from 54,133 ha (353 hm<sup>3</sup>/year) to 29,000 ha (189 hm<sup>3</sup>/year), reducing corn from 47,107 to 25,100 ha, apples from 6,459 to 3,650 ha and other crops from 567 to 250 ha. b) to achieve a balance between extraction and natural recharge in the second stage, it is necessary to reduce extraction by cancelling concessions, so it will be necessary to reduce the agricultural area from 29,000 to 12,670 ha (87 hm<sup>3</sup>/year), where corn will decrease from 25,100 ha to 8,860 ha, apple is maintained in 3,650 ha and other crops are reduced from 250 ha to 160 ha. Since this decrease will be made on concessional volumes (authorized by CONAGUA), it will be necessary to compensate users for the reduction of such volumes.

**KEY WORDS:** Cuauhtemoc aquifer, water balance, overexploitation.

### RÉSUMÉ

Au Mexique, 1 471 bassins hydrographiques et 653 aquifères ont été identifiés. Les sources des eaux de surface sont minimales à Chihuahua en raison des faibles précipitations, ce qui se traduit par une plus grande utilisation des eaux souterraines. L'aquifère de Cuauhtemoc à Chihuahua a été exploitée pendant plusieurs décennies, principalement pour l'approvisionnement en eau dans l'agriculture. Cette extraction de l'aquifère a été supérieure à la reconstitution, provoquant le déclin de la nappe phréatique. En 2012, 1 317 unités d'irrigation ont été approvisionnées par 1 818 utilisations au total, couvrant une superficie de 55 555 ha. La superficie agricole plantée était de 54 133 ha et cela a été quantifié par le biais de visites sur le terrain, l'utilisation des SIG et des techniques de télédétection ; 92 %

1 PhD student in Water Sciences, Colegio de Postgraduados, Carretera Mexico-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de Mexico, Mexico. E-mail: alsantoshernandez@gmail.com

2 Research Professor, Colegio de Postgraduados, Carretera Mexico-Texcoco km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de Mexico, Mexico. E-mail: mejiasae@colpos.com

3 Research Professor and Education Secretary, Colegio Mexicano de Especialistas en Recursos Naturales, AC., Callejon de las Flores No. 8, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de Mexico, Mexico. E-mail: jesusrdriguez2004@hotmail.com

de l'eau utilisée dans ce domaine provient de ressources en eau souterraine. La terre arable est principalement couverte par deux cultures : maïs (87,0 % de la superficie récoltée et 84,1 % de l'eau utilisée en volume) et pommes (11,9 % de la superficie récoltée et 15 % de l'eau utilisée). En utilisant un modèle de simulation mis à jour pour l'analyse de l'aquifère, il a été constaté que l'aquifère a été surexploité en 2012 et, si cela continue, la baisse du niveau statique en trente ans va doubler la profondeur moyenne, passant de 90 m à 170 m en moyenne. À la suite de l'analyse et d'un bilan hydrique, il a été proposé de mettre en œuvre un plan de gestion en deux étapes : a) la première étape consiste à ajuster le volume extrait au volume concessionnel, concernant les zones de fermeture aquifère et ne permettant pas l'octroi de nouvelles concessions, à ce stade de la réduction de la superficie agricole s'effectuera, passant de 54 133 ha (353 hm<sup>3</sup>/an) à 29 000 ha (189 hm<sup>3</sup>/an) , la réduction de maïs de 47 107 à 25 100 ha, les pommes de 6 459 à 3 650 ha et autre les cultures de 567 à 250 ha. b) pour parvenir à un équilibre entre l'extraction et la recharge naturelle dans un deuxième temps, il est nécessaire de réduire l'extraction en annulant des concessions, de sorte qu'il sera nécessaire de réduire la superficie agricole de 29 000 à 12 670 ha (87 hm<sup>3</sup>/an), où le maïs sera ramené de 25 100 ha à 8 860 ha, la pomme est maintenue à 3 650 ha et autres cultures sont réduits de 250 ha de 160 ha. Étant donné que cette diminution se fera sur des volumes concessionnels (autorisées par CONAGUA), il sera nécessaire compenser la réduction des volumes de ces utilisateurs.

**Mots clés :** Aquifère de Cuauhtemoc, bilan hydrique, surexploitation.



## Water Harvesting for Sustainable Land Resource Management in Developing Countries of Asia

### Récupération De L'eau Pour La Gestion Des Ressources Foncières Durables Dans Les Pays D'asie En Développement

R.K.Gupta<sup>1</sup> and Pooja Kapoor<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Worldwide, 40% of population has agriculture as their main occupation ranging from 5% of the developed countries to 67% in developing countries.

Worldwide, agriculture accounts for 70% of all water consumption. With growth in global population at the rate of 1.11 % per annum, the demand for food is also increasing progressively. There is also a large difference in profile practicing agriculture land owners to workers. Thus, conscious efforts are being aimed at producing more food with less water through improvements in irrigation methods and technologies. The author in this paper aims to assess the productivity levels in various socio-economic settings and the infrastructure requirements that can contribute towards increasing productivity of food in developing countries. The paper is based on primary and secondary data and field visits to various geographies in Asia and Africa.

**KEY WORDS:** Water harvesting, Water use, Rainwater management, Storage structures, Developing countries.

#### RÉSUMÉ

Dans le monde, 40 % de la population a l'agriculture comme occupation principale allant de 5 % dans les pays développés à 67 % dans les pays en développement.

Dans le monde entier, l'agriculture représente 70 % de toute l'eau consommée. Avec une croissance de la population mondiale au taux de 1,11 % par an, la demande alimentaire augmente progressivement. Il y a aussi une grande différence dans le profil pratiquant des propriétaires terriens de l'agriculture aux travailleurs. Ainsi, des efforts conscients visent à produire plus de nourriture avec moins d'eau grâce à l'amélioration des méthodes et des technologies d'irrigation. L'auteur du présent document vise à évaluer les niveaux de productivité dans différents contextes socioéconomiques et les exigences d'infrastructure qui peuvent contribuer à accroître la productivité de la nourriture dans les pays en développement. Le livre est basé sur des données primaires et secondaires et des visites sur le terrain en diverses zones géographiques en Asie et en Afrique.

**Mots clés :** Récupération des eaux pluviales, consommation d'eau, de gestion de l'eau de pluie, de structures de stockage, les pays en développement.

1 Chairman-cum-Managing Director, WAPCOS Limited, 5th Floor, Kailash Building 26, Kasturba Gandhi Marg, New Delhi – 110001, Tel No. +91-11-23313131

2 Head (Business Development), WAPCOS Limited, 904, Kailash Building 26, Kasturba Gandhi Marg, New Delhi – 110001, E-mail: poojak9@yahoo.com, Tel No. +91-11-23326646, +91-8800331773

## Application of the Volumetric Extraction Information System for Aquifers (Sieva) in the State of Zacatecas, Mexico

### Application Du Système D'information Sur L'extraction Volumétrique Pour Les Aquifers (Sieva) Dans L'état De Zacatecas, Mexique

Alberto Gonzalez-Sanchez<sup>1</sup>, Benjamin de Leon-Mojarro and Arturo Gonzalez-Casillas

#### ABSTRACT

Aquifers in Mexico contribute 35% of the water used in agriculture each year, and 39% of water used for other consumptive uses. Therefore, their optimum and sustainable utilization is extremely important. Currently, the National Water Commission (CONAGUA) classifies as overexploited 106 out of 653 aquifers, with extraction exceeding the recharge. Several measures and policies to control and monitor the problem were started by the Federal Government in the last decade, with a view to establishing groundwater extraction limits. However, the current extractions at the well level are mostly unknown, mainly due to the lack of equipment for volumetric consumption measurement and the shortage of technical staff to collect the data. To address this problem, the Mexican Institute of Water Technology (IMTA) developed the Volumetric Extraction Information System for Aquifers (SIEVA), which allows to access the estimated information of the extracted, allocated and recharged volume from the country's aquifers. The SIEVA system includes the possibility of comparing the allocated volume against the volume extracted at the well level, using several mechanisms to determine the volume extracted, such as the remote data acquisition, or the estimation by the operating time of the pumping system, or the use of energy index (kWh/m<sup>3</sup>) and electric energy consumption. The SIEVA system shows the information in a geo-referenced interface, grouping the calculations from the well level, through the aquifer and basin level, to the national level. The SIEVA has been applied for monitoring the extractions of a sample consisting of 80 wells in the state of Zacatecas, Mexico, which has allowed to calculate diverse indicators related to the wells' capacity extraction, such as the average level of attrition in the pumping systems, the reduction of electromechanical efficiency, the behavior of the energy index and, particularly, the over-exploitation level of the allocated volume. The results indicate that the SIEVA system could be a good support tool for decision-making in Mexico's aquifer operation policies.

**KEY WORDS:** Groundwater extractions, energy index, pumping systems, irrigation units.

#### RÉSUMÉ

Les aquifères au Mexique apportent chaque année 35% de l'eau utilisée dans l'agriculture et 39% de l'eau utilisée pour d'autres utilisations de consommation, de sorte que leur utilisation optimale et durable est extrêmement importante. À l'heure actuelle, la Commission nationale de l'eau (CONAGUA) classe en tant que surexploités 106 aquifères des 653 aquifères, avec des volumes d'extraction supérieurs à ceux de la recharge d'eau. Plusieurs mesures et politiques visant à contrôler et à surveiller le problème ont été instrumentées par le gouvernement fédéral au cours de la dernière décennie, telles que l'étude de la disponibilité et de la capacité de recharge dans les aquifères et l'établissement de limites d'extraction. Cependant, les extractions actuelles au niveau du puits restent parfois inconnues, principalement en raison du manque d'équipement pour la mesure de la consommation volumique et de la pénurie de personnel technique pour recueillir les données. En ce qui concerne ce problème, l'Institut

<sup>1</sup> Researcher at Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnahuac No. 8532 Col. Progreso. C.P. 62389, Jiutepec, Morelos, México; E-mail: alberto\_gonzalez@tlaloc.imta.mx

mexicain de la technologie de l'eau (IMTA) a développé le Système d'information sur l'extraction volumétrique pour les aquifères (SIEVA), qui permet d'accéder aux informations estimées du volume extrait, alloué et rechargé des aquifères du pays. Le système SIEVA comprend la possibilité de comparer le volume alloué au volume extrait au niveau du puits, en utilisant plusieurs mécanismes pour déterminer le volume extrait, tel que l'acquisition de données à distance, ou l'estimation par le temps de fonctionnement du système de pompage, ou l'utilisation de l'indice d'énergie (kWh / m<sup>3</sup>) et la consommation d'énergie électrique. Le système SIEVA montre l'information dans une interface géo référencée, regroupant les calculs du niveau du puits, au niveau de l'aquifère et du bassin, au niveau national. Le SIEVA a été appliqué pour surveiller les extractions d'un échantillon composé de 80 puits dans l'état de Zacatecas, au Mexique, qui a permis de calculer divers indicateurs liés à l'extraction de la capacité des puits, tels que le niveau moyen d'attrition dans les systèmes de pompage, la réduction de l'efficacité électromécanique, le comportement de l'indice d'énergie et, en particulier, le niveau de surexploitation du volume alloué. Les résultats indiquent que, malgré le fait que la mise en œuvre massive du SIEVA est encore en cours, ce système est un outil de soutien pour la prise de décision dans les politiques de l'exploitation des aquifères au Mexique.

**Mots clés :** Extraction d'eau souterraine, indice de l'énergie, systèmes de pompage, unités d'irrigation.

## Controlled Drainage and Sub-Irrigation – An Option to Save Water in Crop Production in Finland

Le Drainage Contrôlé Et L'irrigation Souterraine – Une Option Pour Conserver De L'eau Dans La Production Agricole En Finlande

Seija Virtanen<sup>1</sup>, Jaana Uusi-Kämpä and Kari Ylivainio

### ABSTRACT

In humid areas like Finland, the annual precipitation exceeds evaporation. Therefore, efficient land drainage is necessary for cultivation. However, during the dry growing period the water deficit may restrict crop growth, thereby occasionally necessitating irrigation. In our study we compared conventional subsurface pipe drainage (D), controlled drainage (CD) and sub-irrigation (CDI) in three fields in an 18.4 ha experimental area in Söderfjärden, Finland during 2010-2015. In that region the average long-term air temperature, precipitation and evaporation during the period of June-August were 14.9 °C, 180 mm and 349 mm, respectively. The runoff from CD and CDI fields was regulated with control wells, and CDI was sub-irrigated when groundwater dropped below the regulation level. The lateral flow of groundwater between the fields and seepage to the main drain was prevented by vertical plastic sheets reaching impermeable subsoil. Subsurface pipes were installed at a depth of 1.1 m, with spacing of 20 to 40 m. The fields were cultivated uniformly and all the farming operations were identical in all the fields excepting that the water management treatments were different in the three fields. The groundwater table, runoff and soil moisture were monitored continuously in the lowest part of the field, and groundwater was observed biweekly at two other places of the field. Grain yields of barley (*Hordeum vulgare*) and spring wheat (*Triticum aestivum*) were determined. Water deficit was calculated on the basis of the water balance of the fields during the water regulation period. In the sub-irrigated field, the water deficit was alleviated by sub-irrigation by an average of 50 mm in comparison to the conventional subsurface pipe drainage. During a summer (2015) when sub-irrigation was not possible due to lack of irrigation water, the controlled drainage alleviated the water deficit by 25 mm. Soil moisture at a depth of 70 cm was higher and the water table was markedly higher in the sub-irrigated field than in the other fields during the regulation period. Grain yield was higher in CDI compared to D in a summer during which evaporation roughly corresponded to the long-term average values. The summers were wet and supposedly factors other than water deficit had a stronger impact on yields in other summers. Controlled drainage together with sub-irrigation is an option for storing water for crop production. The technical solution used in this study may also be useful elsewhere in other circumstances.

**KEY WORDS:** Drainage, Controlled drainage, Sub-Irrigation

### RÉSUMÉ

Dans les régions humides comme la Finlande, la précipitation annuelle dépasse l'évaporation. En conséquence le drainage du terrain est nécessaire pour la cultivation. Néanmoins, pendant la période de la cultivation sèche l'irrigation peut être nécessaire à cause du déficit de l'eau qui restreint le développement de la production agricole. Cette recherche met en comparaison le drainage par un tube conventionnel souterraine (D), le drainage souterrain contrôlé (CD) et l'irrigation souterraine (CDI) dans trois domaines dedans une région expérimentale de

<sup>1</sup> Doctor of soil science and executive director of Drainage Foundation sr, Simonkatu 12 B 25, 00100 Helsinki, Finland. [www.tukisaatio.fi](http://www.tukisaatio.fi). [Seija.virtanen@tukisaatio.fi](mailto:Seija.virtanen@tukisaatio.fi).

18.4 ha à Söderfjärden, en Finlande pendant 2010-2015. Pendant les mois de juin à août la température moyenne de longue échelle de la région était celui de 14.9 °C, la précipitation celui de 180 mm et l'évaporation celui de 349 mm. Le trop-plein des domaines de CD et celui de CDI étaient réglés avec des puits de contrôle, et le CDI était contrôlé avec l'irrigation souterraine lorsque le niveau de l'eau souterraine diminue sous le niveau de la régulation. Le flux latéral de l'eau souterraine entre les domaines et l'infiltration à l'égout principal étaient empêchés par feuilles en plastique qui atteignaient le sous-sol imperméable. Les tubes souterrains étaient installés à la profondeur de 1.1m, avec 20 à 40 m d'espacement entre les tubes. Les domaines étaient cultivés dans une manière uniforme, uniquement la gérance de l'eau était différente entre eux. La nappe phréatique souterraine, le trop-plein et l'humidité de la terre étaient surveillés continuellement dans le niveau le plus bas des domaines, et l'eau souterraine était observé bimensuellement dans deux autres lieux des domaines. Les rendements du grain de l'orge (*Hordeum vulgare*) et le blé de printemps (*Triticum aestivum*) étaient déterminés. Le déficit de l'eau était calculé avec le balancement de l'eau des domaines pendant la période de la régulation. Dans le domaine de l'irrigation souterraine, le déficit de l'eau était ralenti par l'irrigation souterraine. Le niveau moyen du ralentissement était celui de 50 mm en comparaison du drainage par un tube conventionnel souterraine. Puisque l'irrigation souterraine n'était pas possible pendant l'été 2015 en raison de l'insuffisance de l'eau de l'irrigation, le niveau du ralentissement était celui de 25 mm. L'humidité de la terre à la profondeur de 70 cm était élevée et la nappe phréatique était nettement élevée dans le domaine de l'irrigation souterraine en comparaison des autres domaines. Le rendement du grain était élevé dans le CDI en comparaison du D pendant l'été où le niveau de l'évaporation correspondait à l'évaporation moyenne de longue échelle. Les étés étaient humides supposément les autres facteurs influençaient les rendements plus fortement pendant les autres étés. La combinaison du drainage contrôlé et l'irrigation souterraine offre une option pour conserver de l'eau pour dans la production agricole. La solution technique utilisé ici peut aussi être utile ailleurs.

## Options and Difficulties to Optimize Water use Under Improved Irrigation Projects (IIPS)

### Options Et Difficultés Pour Optimiser L'utilisation De L'eau Dans Des Projets D'irrigation Améliorés (IIPS)

Eman Sayed<sup>1</sup>, Nehal Adel<sup>2</sup>, Waleed Abou El Hassan<sup>3</sup> and T. Watanabe<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Optimization of the limited water resources through irrigation improvement programs in Egypt is important due to a very limited water resources. Therefore, the main objective of this study is to evaluate whether the proposed irrigation practices was effective, how implementation differed from planning, and how the improved system was coping with water scarcity conditions in Delta Egypt.

The study shows that the farmers' responsibility for efficient water management has been displaced to hypothetical prospects, e.g. extra supplies from reuse of agricultural drainage. This mainly used officially and un-officially to cover shortage of water resources during summer season to meet crops demand. However, this practice needs environmental assessment to avoid health hazards. Study also shows no equity in water distribution along irrigation canals due to severe shortage of water resources. This shortage led to unstable inflow of water into canals, neither rotational system nor continuous flow, especially during the high water demand period in summer. Under shortage of water resources, farmers have to know crops, and their yield response, efficiency of water use, actual irrigation applications, and current on-farm water-efficiency levels to adapt with drought. Therefore, the government of Egypt started to implement contract farming system to harmonize crop patterns. So, farmers in developed communities should adopt this system of indirect water management. To benefit from the system, it is necessary to determine the optimum crop distribution per unit area of different crops for obtaining maximum yields.

**KEY WORDS:** Efficient use, Irrigation improvement, Reuse drainage water, Egypt

#### RÉSUMÉ

Optimisation des ressources en eau limitées grâce à des programmes d'amélioration de l'irrigation en Egypte Devient essentiel en raison des ressources en eau très limitées. Une série de projets d'irrigation pour économiser l'eau appliquée et maximiser chaque baisse ont été mises en place pour réduire la demande d'eau et rationaliser l'irrigation à différents niveaux de 1993 à ce jour ; Par conséquent, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer si les pratiques d'irrigation proposées étaient efficaces .

Comment la mise en œuvre différait de la planification et comment le système amélioré faisait face aux conditions de pénurie d'eau dans delta de l'Egypte du L'étude montre que

- 1 Dr. Eng. at the Ministry of Water Resources and Irrigation (MWRI), Cornish El Nile Street, Giza, Egypt; Email: eman\_sayed@hotmail.com
- 2 Dr. Eng. at the Ministry of Water Resources and Irrigation (MWRI), Cornish El Nile Street, Giza, Egypt; Email: nehal@mwri.gov.eg
- 3 Associate Professor, WMRI, National Water Research Center, Delta Barrage, Qalubia, 13621-5, Egypt, Email: waleed-hassan@live.com
- 4 Professor, Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Sakyo-ku-, Kyoto 6068501, Japan; E-mail: nabe@kais.kyoto-u.ac.jp

la responsabilité des agriculteurs pour une gestion efficace de l'eau a été déplacée vers des perspectives hypothétiques, par exemple

Les fournitures supplémentaires provenant de la réutilisation du drainage agricole. Cela a principalement été utilisé officiellement et non officiellement pour couvrir la pénurie de ressources en eau pendant la saison estivale pour répondre à la demande des cultures. Cependant, cette pratique nécessite une évaluation environnementale pour éviter les risques pour la santé.

L'étude montre également qu'il n'y a pas d'équité dans la distribution de l'eau le long des canaux d'irrigation en raison d'une grave pénurie de ressources en eau. Cette pénurie a conduit à l'afflux d'eau instable dans les canaux, ni le système de rotation ni le flux continu, en particulier pendant la période de forte demande d'eau en été.

En raison de la pénurie de ressources en eau, les agriculteurs doivent connaître les cultures, leur rendement, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, les applications réelles d'irrigation et les niveaux actuels d'efficacité de l'eau à la ferme pour s'adapter à la sécheresse. Par conséquent, le gouvernement de l'Égypte a commencé à mettre en œuvre un système d'agriculture contractuelle pour harmoniser les tendances. Ce nouveau système attendu pour répondre aux récoltes pour une production plus élevée résulte de différentes pratiques de gestion telles que la gestion efficace de l'eau. Ainsi, les agriculteurs des communautés développées devraient adopter avec ces améliorations qui s'inscrivent dans la gestion de leur système. Par conséquent, il est nécessaire de déterminer la répartition optimale des cultures par unité de surface de différentes cultures pour obtenir des rendements maximaux.

## Evolution and Value of Yellow River Irrigation Area in Ningxia

### Evolution & Valeur De La Zone D'irrigation Du Fleuve Jaune À Ningxia

GAO Lihui<sup>1</sup>; CHEN Ning<sup>2</sup>; Ding Kunlun<sup>1</sup>; LI Ruoxi<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

With a long history, Yellow River Irrigation in Ningxia Province could be traced back to Qin and Han dynasties. It has experienced various vicissitudes of its in-depth development and is still in use today, thus making the irrigation project one of the only remained four famous ancient irrigation areas in China. Qin, Han and other 12 ancient canal systems which were excavated in the past dynasties are still performing their function and benefiting tens of thousands of people today after great changes of more than 2000 years. The unique natural conditions, abundant experiences in water control, water usage and water management had been accumulated by governors and working. The maintenance of those ancient canals was mainly carried out by local people under official government. Water governors hired those excellent people with a favorable treatment and heavy penalties. Income and expense on irrigation works obeyed the rule of from the people, with the people. During the exploitation of Yellow River Irrigation Area, the working people in Ningxia Province created whole set experiences in improving original saline soil and preventing soil secondary salinization. Many brilliant diverting technologies are still in use, reflecting the scientificity of construction and site selection at that time and letting the development of the irrigation area to a great success. These crisscrossed canals in Ningxia plain have a total length of 1284km, an area of 5,510,000 mu and are honored as ancient irrigation canal museum of China.

**KEY WORDS:** Irrigation, Yellow River, Ningxia, history, culture.

#### RÉSUMÉ

Avec une longue histoire, l'irrigation du Fleuve Jaune dans la Province de Ningxia peut être retracée aux dynasties Qin et Han. Elle a connu diverses vicissitudes de son développement en profondeur et est encore en usage aujourd'hui, ce qui rend l'irrigation du projet un des seuls restants des 4 zones célèbres d'irrigation antique en Chine. Qin, Han et autres 12 réseaux de canaux anciens qui ont été creusés sous les dynasties passées remplissent toujours leur fonction et bénéficient de dizaines de milliers de modifications aujourd'hui après des changements de plus de 2000 ans. Les conditions naturelles uniques, les expériences abondantes de contrôle hydraulique, la consommation et la gestion de l'eau avaient été accumulés par les gouverneurs. Le maintien de ces anciens canaux a été principalement réalisé par la population locale sous le gouvernement officiel. Les gouverneurs d'eau embauchaient ces formidables personnes avec un traitement favorable et de lourdes peines. Les revenus et dépenses sur les travaux d'irrigation obéissent à la règle des gens, avec les gens. Au cours de l'exploitation de la zone d'irrigation du fleuve jaune, le peuple travailleur dans la Province de Ningxia a créé un ensemble entier d'expériences dans l'amélioration des sols salins original et empêchant la salinisation du sol secondaire. Plusieurs technologies de détournements brillantes sont encore en usage, reflétant la scientificité de la construction et l'emplacement de choix à ce moment-là et permettant le développement de la zone d'irrigation à un grand succès. Ces canaux entrecroisés dans la plaine de Ningxia ont une longueur totale de 1 284km, une superficie de 5 510 000 mu et sont honorés comme le canal d'irrigation antique du Musée de la Chine.

**Mots clés :** Irrigation, fleuve jaune, Ningxia, histoire, culture.

1 China Institute of Water Resources and Hydropower Research, China, E-mail: lihui.gao@qq.com

2 CNCID, E-mail: huining1215@163.com



## Delineation of Recharge and Catchment Areas: Case Study on Tamiang-Langsa River Basin System in Aceh Province, Indonesia

Délimitation Des Zones de Recharge et de Bassin Versant: Étude de cas sur le Système du Bassin Fluvial de Tamiang-Langsa dans la Province de L'aceh, Indonésie

Dede Rohmat<sup>1</sup>, Herryan Kendra<sup>2</sup>, Suardi Natasaputra<sup>3</sup>, Faizal Rohmat<sup>4</sup>

### ABSTRACT

As the rural areas in Indonesia are identified with irrigation areas, the conveyance of irrigation water could also be utilized as the energy source for micro-hydro power plants, as an alternative energy source. The challenge of building micro-hydro power plants is on ensuring a reliable water flow. This water reliability could only be fulfilled if the water supply availability from upstream water sources were ensured. Therefore, delineating recharge and catchment areas are very important as the fundamental steps on ensuring sustainable water and renewable energy availability and promoting rural economic development.

The purpose of this study is to present a case study of a delineated recharge and catchment area of the Tamiang-Langsa River Basin System. This area of study is in Aceh Province, Indonesia, is predominantly a rural area. The Tamiang-Langsa is typical of the river basin systems in Indonesia. This case study also covered reliable water discharge and its fluctuation, water allocation, power generation potential out of the allocated water, as well as number of the servable household out of the generated power from micro-hydro plant in the river basin system. Under a pessimistic assumption, the minimum and maximum energy generated ranged from 367.6 kW to 919 kW with energy head of 4 to 10 meters, respectively. These values could supply 817 to 2042 households. These values have a possibility of increasing the energy output with the increase of water quantity and continuity, which is reliant on the sustainability of recharge and catchment area. Among the characteristics of sustainable recharge and catchment area are the preservation of the area size and quality, legal protection, and conservation.

**KEY WORDS:** Recharge areas, catchment areas, irrigation areas, micro-hydro, water sustainability, energy sustainability.

### RESUME

Ainsi que les régions rurales en Indonésie sont identifiées avec les régions d'irrigation, le transport de l'eau d'irrigation pourrait également être utilisé comme la source d'énergie pour les microcentrales hydroélectriques en tant que source d'énergie alternative. Pour relever le défi de la construction de microcentrales hydroélectriques, il faut assurer un débit d'eau fiable. Cette fiabilité de l'eau pourrait être satisfaite quand la disponibilité de l'approvisionnement en eau des sources d'eau en amont est assurée. Par conséquent, la délimitation des zones de recharge et de bassin versant est très importante en tant que mesures fondamentales pour assurer une disponibilité durable de l'eau et des énergies renouvelables et promouvoir le développement économique rural.

1 Professor, Indonesia University of Education; Indonesia, E-mail: dederoamat64@gmail.com

2 Water Resources Professional; Indonesia E-mail: herryan.aec@gmail.com

3 Secretary of Citarum River Basin System Water Management Coordination Board; Indonesia E-mail: mruchimat\_03@yahoo.com

4 Ph.D. Candidate; Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University; USA; E-mail: faizal@rams.colostate.edu

Cette étude vise à présenter une étude de cas d'une zone de recharge délimitée et d'un bassin versant du système du bassin fluvial de Tamiang-Langsa. Ce domaine d'étude qui se trouve dans la province d'Aceh, en Indonésie, est principalement une zone rurale. Le Tamiang-Langsa est typique des systèmes du bassin fluvial en Indonésie. Cette étude de cas a également porté sur le débit d'eau fiable et ses variations, l'allocation de l'eau, le potentiel de production d'électricité à partir de l'eau allouée, ainsi que le nombre de ménages servis par l'électricité générée par une microcentrale hydroélectrique dans le système de bassin fluvial. Dans le cadre d'une hypothèse pessimiste, l'énergie minimale et maximale générée variait de 367,6 kW à 919 kW avec une tête d'énergie de 4 à 10 mètres, respectivement. Ces valeurs pourraient fournir l'électricité à environ 817 à 2042 ménages. Ces valeurs ont la possibilité d'augmenter la production d'énergie avec l'augmentation de la quantité et de la continuité de l'eau, qui repose sur la durabilité de la zone de recharge et de bassin versant. Parmi les caractéristiques de la recharge durable et du bassin versant, il s'agit de la préservation de la taille et de la qualité de la zone, de la protection juridique et de la conservation.

**Mots-clés :** Zones de recharge, les bassins versants, les zones d'irrigation, les microcentrales hydroélectriques, la durabilité de l'eau, la durabilité énergétique.

## Improving Irrigation Water Management by Modernization of Structural and Operational Reforms

### L'amélioration De La Gestion De L'eau En Irrigation Par La Modernisation Des Réformes Structurelles Et Opérationnelles

Muhammad Usman Rashid<sup>1</sup>, Noman Amjad Raja<sup>2</sup> And Muhammad Latif<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

A modernization approach was developed to improve irrigation water management in alluvial channels. The approach includes structural and operational interventions. As a case study Upper Jhelum Canal (UJC), off-taking from Mangla Dam on Jhelum River Pakistan, was selected. The 1<sup>st</sup> step includes analysis of present structural and farm parameters and identification of the problems, which need addressing. The 2<sup>nd</sup> step includes suggesting modernization framework.

The main Upper Jhelum Canal (UJC) has problems of inadequate free board, channel widening, bank erosion and excessive silt deposition, and has lost much of its capacity to carry the design discharge. The original bed width to depth (B/D) ratio was 20:1, which was later found as high as 55:1, mainly due to silt deposition and widened section. The analysis suggested actions to increase carrying capacity to 420.51 m<sup>3</sup>/s from the current 252 m<sup>3</sup>/s for more hydropower generation and agriculture benefits. Several secondary and tertiary channels of UJC system needed improvement for which concrete lining was proposed to enhance conveyance efficiency.

The current efficiency of UJC irrigation system is around 0 – 45 % due to practicing inefficient basin, furrow and border irrigation, which need to be replaced with more efficient pressurized irrigation system. Lack of funds, market and knowledge are the main reasons for continuation of surface irrigation methods. The comparison of land and water productivity of different countries indicated that Pakistan's figures were very low. Therefore, sustainable and judicious implementation of pressurized irrigation on large scale is of utmost important to fulfil the future demands. The irrigation water productivity can be enhanced by optimizing the cropping pattern by growing more high value and high yielding crops considering the land suitability. The capacity building of farming community was also recommended on large scale. Therefore, to meet the future demands the modernization of UJC conveyance system and adoption of pressurized irrigation system along with growing of high value crops is the way forward.

**KEY WORDS:** Irrigation management, modernization, alluvial channel, pressurized irrigation system, Upper Jhelum Canal.

#### RESUME

Une approche de modernisation a été développée pour améliorer la gestion de l'eau d'irrigation dans les canaux alluviaux. L'approche comprend des interventions structurelles et opérationnelles. En cas d'étude du canal Haut - Jhelum (UJC), l'on a sélectionné le

- 1 Associate Professor in Department of Civil Engineering, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan: e-mail: usman.rashid@umt.edu.pk, Tel: +92 300 4722029, Fax: +92 42 35184789
- 2 Lecturer in Department of Civil Engineering, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan: e-mail: nouman.raja@umt.edu.pk, Fax: +92 42 35184789
- 3 Professor in Department of Civil Engineering, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan: e-mail: muhammad.latif@umt.edu.pk, Fax: +92 42 35184789

prélèvement du barrage de Mangla sur la rivière Jhelum au Pakistan. Le premier étape comprend l'analyse des paramètres structurels et agricoles actuels et l'identification des problèmes, qui nécessitent un traitement. Le 2ème étape comprend suggérer un cadre de modernisation.

Le canal principal du Haut-Jhelum (UJC) a des problèmes de plateau gratuit inadéquat, d'élargissement des canaux, d'érosion des bancs et de dépôts de bourbe excessifs, et a perdu beaucoup de sa capacité à transporter la décharge de conception. Le rapport de largeur et de profondeur du lit d'origine (B / D) était de 20 : 1, ce qui a été trouvé plus haut que 55: 1, principalement en raison du dépôt de limon et de la section élargie. L'analyse a suggéré des actions visant à augmenter la capacité de charge à 420,51 m<sup>3</sup> / s de l'actuel 252 m<sup>3</sup> / s pour générer plus de puissance hydroélectrique et des avantages agricoles. Plusieurs canaux secondaires et tertiaires du système UJC nécessitaient une amélioration pour laquelle une doublure en béton était proposée pour améliorer l'efficacité du transport.

L'efficacité actuelle du système d'irrigation UJC est de 0 à 45% en raison de l'inefficacité du bassin, du sillon et de l'irrigation frontalière, qui doit être remplacé par un système d'irrigation sous pression plus efficace. Le manque de fonds, de marché et de connaissances sont les principales raisons de la poursuite des méthodes d'irrigation de surface. La comparaison de la productivité des terres et de l'eau des différents pays a indiqué que les chiffres du Pakistan étaient très bas. Par conséquent, la mise en œuvre durable et judicieuse de l'irrigation sous pression à grande échelle est primordiale pour répondre aux exigences futures. La productivité de l'eau d'irrigation peut être améliorée en optimisant le modèle de culture en augmentant les cultures à haut valeur et à haut rendement en tenant compte de la pertinence de la terre. Le renforcement des capacités de la communauté agricole a également été recommandé à grande échelle. Par conséquent, pour répondre aux besoins du futur, la modernisation du système de transport UJC et l'adoption d'un système d'irrigation sous pression ainsi que la croissance des cultures de grande valeur est la voie à suivre.

**Mots-clés:** la gestion de l'irrigation, la modernisation, le canal alluvial, le système d'irrigation sous pression, le canal Haut Jhelum.

## Multi-Sensor Probes as Tools for Water and N- Management Under Drip Irrigation

Sondes Multi-Capteurs Comme Outils Pour La Gestion D'eau Et De L'azote (N)  
Dans Le Cadre D'irrigation Goutte A Goutte

McCann, I.R.<sup>1</sup>, Starr, J.L.<sup>2</sup>, Timlin, D.J.<sup>2</sup>, Dalton, M.R.<sup>3</sup> and Buss, P.<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The nitrogen content of soil water is a major determinant of electrical conductivity in water of low natural salinity. A recently developed Multi-sensor Capacitance Probe (MCP) that operates at two different frequencies (TriSCAN®)<sup>4</sup> was designed to simultaneously measure volumetric soil water content (VWC) and a value related to electrical conductivity termed "volumetric ion content" (VIC). The MCPs were evaluated in mulched drip irrigated watermelon in Delaware in 2005-2006. MCPs were installed into a growth bed with two replications of two N fertigation treatments. Near-continuous measurements of VWC and VIC showed that the sensors responded to both irrigation and fertigation. Using the measurements in a relative sense, trends in water and N contents that were useful in crop management decisions were identified. The irrigation was expressed in millimetres (mm), assuming that the volume of water applied by the drip tape uniformly rewetted the soil under the mulch.

The VIC responses were more complex as water moving through soil can wash salts along with it. The measured average daily VIC values from two different levels expressed as a percentage of the daily average on the day before each fertigation, were derived. Increases in fertilizer application rates were observed as increased VIC values, but the level of increase was not necessarily proportional. The response of the probe located under the higher in-season fertigation rate of 56 kg N/ha was lower following the lower rate 28 kg N/ha post-season fertigation. Similarly, the response of the probe located under the lower in-season fertigation rate was higher following the higher rate postseason fertigation. Also shown is a false colour representation of a planar transect through the soil in between two of the probes. This was viewed as both still images and as a video which showed sensible movement of both water and fertilizer throughout the soil profile.

Based on these results, TriSCAN MCPs can be useful as both an irrigation and N management tool. Growers could likely use the relative changes in VIC to help decide when to fertigate, and the trends in VWC to help them to manage irrigations to prevent nitrogen leaching. The graph trends and 2-D transect representations revealed information that would not have been apparent otherwise.

**KEY WORDS:** irrigation scheduling, fertigation, nitrogen, capacitance, leaching, 2D.

### RESUME

La teneur en azote de l'eau du sol est un principal facteur déterminant la conductivité électrique de l'eau à faible salinité naturelle. Une sonde de capacitance multi-capteurs (MCP) récemment développée qui fonctionne à deux fréquences différentes (TriSCAN®) a été conçue pour calculer simultanément la teneur volumique en eau du sol (VWC) et une valeur liée à la conductivité électrique appelée «teneur en ions volumétriques» (VIC). Les

1 Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait

2 ARS USDA, Beltsville, Maryland, USA

3 Sentek Pty. Ltd., Adelaide South Australia, (mdalton@sentek.com.au)

4 **Note: Mention of a trade name here and elsewhere is not an endorsement of the product.**

MCP ont été évaluées dans la pastèque irriguée par goutte recouvert de paillis à Delaware en 2005-2006. Les MCP ont été installées dans un lit de croissance avec deux répliques de deux traitements de fertigation d'azote (N). Les mesures quasi continues de VWC et VIC ont montré que les capteurs réagissaient à la fois à l'irrigation et à la fertigation. En utilisant les mesures dans un sens relatif, les tendances de l'eau et des contenus de N utiles aux décisions de gestion agricole ont été identifiées. L'irrigation a été exprimée en millimètres (mm), en supposant que le volume d'eau appliqué par le goutte à goutte a uniformément réhumidifié le sol sous le paillis.

Les réponses de la VIC étaient plus complexes lorsque l'eau traversant le sol pouvait laver les sels avec elle. Les valeurs VIC journalières moyennes mesurées de deux niveaux différents exprimés en pourcentage de la moyenne quotidienne la veille de chaque fertigation ont été dérivées. Les augmentations des taux d'application des engrais ont été observées comme une augmentation des valeurs de VIC, mais le niveau d'augmentation n'était pas nécessairement proportionnel. La réponse de la sonde située sous le taux de fertigation plus élevé en saison de 56 kg N / ha a été plus faible suite au taux inférieur de 28 kg N / ha après la saison de fertigation. De même, la réponse de la sonde située sous le taux de fertigation inférieur en saison a été plus élevée suite à la fertigation post-saison de taux supérieur. On peut également montrer une fausse représentation des couleurs d'un transect planaire à travers le sol entre deux sondes. Cela a été considéré comme des images fixes et comme une vidéo qui a montré un mouvement sensible de l'eau et des engrais tout au long du profil du sol.

Sur la base de ces résultats, les MCP TriSCAN peuvent être utiles à la fois comme outil d'irrigation et de gestion d'azote (N). Les producteurs pourraient probablement utiliser les changements relatifs au VIC pour aider à décider quand fertiger, et les tendances au VWC pour les aider à gérer les irrigations afin de prévenir la lessivage de l'azote. Les tendances du graphique et les représentations transect 2-D ont révélé des informations qui n'auraient pas été apparentes autrement.

**Mots-clés :** Planification de l'irrigation, fertigation, azote, capacitance, lessivage, 2D.

## Abstract of Papers received in Response to

### Q.60.2: **Understanding water productivity, water and energy use efficiency and water footprint of crops**

Compréhension de la productivité de l'eau, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie et l'empreinte hydrique des cultures

---

#### INDEX OF ABSTRACT

---

<b>R.60.2.01</b>	<b>An Appraisal of the Water-Energy-Food Nexus in Mexico</b> Evaluation Du Lien Entre Eau-Energie-Alimentation Au Mexique Jaime Collado (Mexico)	131
<b>R.60.2.02</b>	<b>Relationship between Physiological Indicators of Oat and Meteorological Factor in Tibet's Alpine Pastoral Areas</b> Relation entre Indicateurs Physiologiques D'avoine et Facteur Meteorologique dans les Zones Pastorales Alpines de Tibet Bing Xu, Pengcheng Tang, Delong Tian, and Zekun Li (China)	132
<b>R.60.2.03</b>	<b>Water, Food and Energy Nexus: Experiences from Afghanistan</b> Liens Entre L'eau, L'alimentation et L'energie: Expérience Acquise en Afghanistan Suman Sijapati, Masoom Hamdard, and Fahimullah Ziaee (Afghanistan)	134
<b>R.60.2.04</b>	<b>Management Practices and the Water Footprint of Irrigated Sugarcane Production in South Africa</b> Pratiques agricole et empreinte de l'eau de la production de canne a sucre irriguee en afrique du sud A.A. Adetoso, A. Singels, A.L. Paraskevopoulos, and H. Jordaan (South Africa)	136
<b>R.60.2.05</b>	<b>Comparing the Usefulness and Applicability of Water Footprint Methodologies</b> Comparaison De L'utilite Et De L'applicabilite Des Methodes D'empreinte Sur L'eau Betsie Le Roux, Michael Van Der Laan, Mark Gush, and Keith L Bristow (South Africa)	138
<b>R.60.2.06</b>	<b>Estimation of the Virtual Water of some Mexican Crops: an Approach to Manage Water in Trades</b> Estimation De L'eau Virtuelle De Certaines Cultures Mexicanes: Une Approche De Gestion De L'eau Dans Les Commerces Edgar Vázquez Núñez (Mexico)	139

- R.60.2.07 3d Morpho-Dynamic Analysis of the Rainfall emitted by an Agricultural Sprinkler using the Stereo-Ptv Technique** 140  
Analyse 3d Morphodynamique De La Precipitation Emise Par Un Asperseur Agricole Avec La Technique Stereo-Ptv  
Félix-Félix J.R., Salinas-Tapia H., Bautista-Capetillo C., García-Aragón J., and Playán E. (Mexico)
- R.60.2.08 Water Footprint of Coriander Culture (Coriandrum Sativum L.) in the Dry Region of Sergipe** 142  
L'empreinte D'eau De La Culture De Coriandre (Coriandrum Sativum L.) Dans La Region Seche De Sergipe  
Inajá Francisco De Sousa, José Murilho Farias Bomfim, and Antenor De Oliveira Aguiar Netto (Brazil)
- R.60.2.09 Irrigation Water Requirement of Complicated Agricultural Land by Using of Airborne Digital Sensors Image** 144  
Exigence D'eau D'irrigation Des Terres Agricoles Compliquées En Utilisant Des Images Numeriques Aeriennes  
Chih-Hung Tan, Hsiang-Yi Hsu, Chia-Sheng Hsu, and Li Chen (Taiwan)
- R.60.2.10 Semi-Empirical Model to Estimate Wetting Patterns under drip Irrigation** 146  
Le modèle semi-empirique pour estimer l'irrigation au schema de mouillage sunderdrip  
F.Cruz-Bautista, and A.L. Bautista-Olivas (Mexico).
- R.60.2.11 Water Balance of Paddy Fields in Korea** 148  
Bilan en eau des champs de paddy en corée  
Kwang-Sik Yoon, Dong-Ho Choi, Seung-Hwan Yoo, and Hyun-Kyu Park (Korea)
- R.60.2.12 Productivity and Efficiency Analysis of Paddy Rice Management Practices under Conservation Agriculture in Taiwan** 149  
L'analyse de la productivité et de l'efficacité des pratiques de gestion du riz de paddy en agriculture de conservation a Taiwan  
Yu-Chuan Chang, Shih-WenChou, Chun-E. Kan, and Sheng HsinHsieh (Taiwan)
- R.60.2.13 Lift Irrigation Schemes need Uplifting: Lessons from 57 Lift Irrigation Schemes in Andhra Pradesh, India** 151  
Projets D'irrigation Par L'elevation D'eau Exigent L'elevation: Leçons Tires De 57 Projets D'irrigation Par L'elevation D'eau A Andhra Pradesh, En Inde  
K. Yella Reddy, and L. Narayan Reddy (India)
- R.60.2.14 Water-Energy-Food Nexus in Irrigation Management** 153  
Liaison-l'eau-energie-alimentation pour faconner la survie future et des innovations sur la gestion de l'irrigation  
R.K.Gupta, and Amit Gupta (India)



- R.60.2.15 Achieving Higher System Efficiency and Productivity in Major and Medium Irrigation Schemes in Sri Lanka** 154  
Atteindre une efficacité supérieure de système et de productivité aux plans d'irrigation grands et moyens en Sri Lanka  
S.M.D.L.K. De Alwis, and N.M.N.C. Marapana (Sri Lanka)
- R.60.2.16 Modeling Water Budget for Groundwater Irrigated Semi-Arid Systems in India** 156  
Le modelage du budget de l'eau pour les systèmes semi-arid en Inde irrigés en eau souterraine  
D. Upadhyaya, M. Sekhar, and M. Sudhakar Rao (India)
- R.60.2.17 Blue and Green Water Footprint Evaluation for Five Crops in the Irrigation District 023 San Juan Del Río** 158  
Évaluation de l'empreinte hydrique bleue et verte de cinq cultures dans le district d'irrigation 023 San Juan del Río  
[Eduardo Alexis Cervantes Carretero, Marlene Lagunas Herrera, Raquel Barajas Lemus, and Mario López Pérez] (Mexico)
- R.60.2.18 Evaluation of Return Ratios for Irrigation Water using a Watershed Hydrological Model** 160  
L'évaluation des rapports de retour pour l'eau d'irrigation utilisant un modèle hydrologique de bassin hydrographique, avec des représentations détaillées du détournement et de la répartition de l'eau  
Takeo Yoshida, Mariko Miyajima Koji Morita, Kaoru Murayama Norio Nawa and Takao Masumoto (Japan)
- R.60.2.19 From Water Foot Print to Energy Foot Print** 162  
De l'empreinte en eau à l'empreinte en énergie  
Ignacio Sanchez Cohen, G. Delgado Ramirez, G. Esquivel Arriaga, and P. Bueno Hurtado (Mexico)
- R.60.2.20 Design and Management of Drip Irrigated Valencia Oranges (Citrus Sinensis Osbeck) in Orán, Argentina** 164  
Conception et gestion d'irrigation au goutte à goutte des oranges de Valence (Citrus Sinensis Osbeck) à Orán, Argentine  
A. Pannunzio, E. A. Holzapfel, P. Teixeira Soria, J. Tuma, F. Dufour, and G. Demarco (Argentina)
- R.60.2.21 Assessment of Aquacrop Model for Simulating Wheat Production under Different Irrigation Scenarios in Sonora, México.** 166  
Évaluation du Modèle Aquacrop pour Simuler la Production de Blé Dans Différents Scénarios d'irrigation à Sonora, au Mexique  
Minjares J.L., Obregón G.A., Felix J.A., and Luis Alonso López Wiley (Mexico)

- R.60.2.22 Performance Indicators to Support Mexican Public Policy in the Hydro Agricultural Sector** 168  
Indicateurs de Rendement pour Soutenir les Politiques Publiques Mexicaines dans le Secteur Hydro-Agricole  
Parra C. Marco A., Argueta S. Jorge A., and Colchero G. Jorge (Mexico)
- R.60.2.23 Correlations of Water Footprint and Climatic Variables of Sugarcane in Eastern Thailand** 170  
Correlations de L’empreinte sur l’eau et des Variables Climatiques de Canne a Sucre Dans le Nord-Est de la Thaïlande  
Khanittha Chaibandit, Supasit Konyai, and Khanita Kamwilaisak (Thailand)
- R.60.2.24 Projection of Irrigation Requirement and Virtual Water of Wheat and Maize under RCP Climate Change Scenarios (Case Study: Ghazvin Region, Iran)** 172  
Scenarios de Changement de Projection des Besoins de L’irrigation et l’eau Virtuelle de Ble et de Maïs Sous Climat Rcp (Etude de cas : Region de Ghazvin, Iran)  
Nozar Ghahremanand, and Mehdi Helmi (Iran)
- R.60.2.25 Technical Improvement of Surface Irrigation in Nayarit State, Mexico** 174  
Technicisation de l’irrigation gravitaire dans l’état de nayarit, Mexique  
Jesús Enrique Vázquez-Lizárraga, Felipe Zataráin, and Carlos Fuentes (Mexico)
- R.60.2.26 Irrigation Water Productivity of Wheat & Barley in ID 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, Mexico.** 176  
Productivite de l’eau d’irrigation de ble & Orge dans L’id 011 Alto Rio Lerma, Guanajuato, Mexique  
Juan Manuel Angeles-Hernández; Helene Unland Weiss; Vertario Trejo Segura, and María Dolores Olvera Salgado (Mexico)
- R.60.2.27 Carbon Footprint of Hose Reel Sprinkler and Annual Dripline Irrigation: Case Studies in Northern Italy** 178  
Etude comparative de l’empreinte carbone entre l’irrigation par enrouleur et l’irrigation annuelle par dripline/lignes de goutteurs. etudes de cas en Italie du nord  
Antonio Guiso, Graziano Ghinassi , and Paolo Spugnoli (Italy)
- R.60.2.28 Analysis of the Adequacy of Water Supply for Field Crops in Paddy Fields Considering WEF Nexus in Republic of Korea** 180  
Analyse de L’adéquation de L’approvisionnement en eau pour les Champ de Cultures dans les Rizières, Considérant les Relations eau-Énergies-Nourriture en République de Corée  
Ankook Shin, Seokman Kang , and haedo Kim (Korea)

<b>R.60.2.29</b>	<b>Climate Change Effects on Yield and Water Footprints of Wheat in the Central Punjab, Pakistan</b> Effets du Changement Climatique sur les Empreintes de l'eau et le Rendement du Blé Dans le Centre du Pendjab, Pakistan Ahmad Mirza Junaid, and Kyung-Sook Choi (Korea)	182
<b>R.60.2.30</b>	<b>Greenhouses Equipped with a Rainwater Harvesting and Intermittent Irrigation System</b> Les serres equipes d'un système de la collecte d'eau de pluie et d'un système d'irrigation intermittente García V. Nahún, H. Gómez L. Luis, and Y Barrios D. J. Natividad (Mexico)	184
<b>R.60.2.31</b>	<b>Water and Energy Efficiencies in Tomato Production</b> Efficacites de d'eau et de L'énergie dans la Production de Tomate Raquel Salazar Moren, and Abraham Rojano Aguilar (Mexico)	186
<b>R.60.2.32</b>	<b>Pumping Plants Selection for Wells in Depleted Aquifers</b> Selection des stations de pompage pour les puits dans les aquifres epuises Mauricio Carrillo-García, Yessica A. Gómez-Pérez, Humberto I. Navarro-Gómez, Jorge V. Prado-Hernández, and Roberto Arellano-Choca	188
<b>R.60.2.33</b>	<b>Quantifying Water and Energy Linkages in Irrigation for Improved Resource Utilization in Vietnam</b> Quantification de l'eau et des Liens de L'énergie dans L'irrigation pour L'utilisation des Ressources Améliorées au Vietnam Hua Xie, Van Manh Nguyen, Claudia Ringler, Yasmin Siddiqi, and Sanath Ranawana (USA)	190
<b>R.60.2.34</b>	<b>From Water Foot Print to Energy Foot Print</b> De l'énergie de l'eau a l'énergie empreinte Ignacio Sanchez Cohen, G. Delgado Ramirez, G. Esquivel Arriaga, and P. Bueno Hurtado (Mexico)	192
<b>R.60.2.35</b>	<b>Food Security Challenges under Climatic Changes and Ground-water-Energy Nexus- Case Study of Punjab-Pakistan</b> Problèmes de sécurité alimentaire en vertu des changements climatiques » et des eaux souterraines-energie nexus-etude de cas du Punjab-Pakistan Ghulam Zakir Hassan, Faiz Raza Hassan, and Ghulam Shabir (Pakistan)	194



## An Appraisal of the Water-Energy-Food Nexus in Mexico

### Évaluation Du Lien Entre Eau-Energie-Alimentation Au Mexique

Jaime Collado<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

International projections indicate that the demand for water, energy and food will increase sharply in the coming decades under the pressures from population growth and mobility, economic development, urbanization, diets enrichment, and cultural and technological changes. At present, the agricultural, forestry and fishery production uses 76.72% of the total water abstracted in Mexico; the energy generation uses water in different ways, and the primary food production employs 3.14% of the total energy consumed, although throughout the food supply chain the energy use increases up to 15%, according to the best estimates. The national planning scenarios indicate that food production will increase by 70% to feed the national population by 2050 with the expected calorie intake of 3,130 kcal/person/day. This growth of food production would come from a 52% increase in agricultural yields, 18% of higher crop intensity, and 30% due to the expansion of arable land. It is also expected a 50% growth in energy consumption for the agricultural and food sector, and it is projected that the total volume of water abstractions for irrigation would rise around 11% by 2050.

**KEY WORDS:** Water-energy-food nexus, irrigation, water abstraction and use.

#### RÉSUMÉ

Les projections internationales indiquent que la demande en eau, en énergie et en nourriture augmentera fortement au cours des prochaines décennies sous la pression de la croissance démographique et de la mobilité, du développement économique, de l'urbanisation, de l'enrichissement des régimes alimentaires et des changements culturels et technologiques. À l'heure actuelle, la production agricole, forestière et halieutique utilise 76,72% de l'eau totale extraite au Mexique; selon les meilleures estimations, la production d'énergie utilise l'eau de différentes manières, et la production alimentaire primaire emploie 3.14% de l'énergie totale consommée, bien que dans l'ensemble de la chaîne alimentaire la consommation d'énergie augmente jusqu'à 15%. Les scénarios de planification nationale indiquent que la production alimentaire augmentera de 70% pour nourrir la population nationale d'ici 2050 avec l'apport calorique attendu de 3.130 kcal/personne/jour. Cette croissance de la production alimentaire proviendrait d'une augmentation de 52% des rendements agricoles, de 18% de l'intensité des cultures et de 30% par l'expansion des terres arables. On s'attend également à une croissance de 50% de la consommation d'énergie par le secteur agricole et alimentaire, et on prévoit que le volume total de captage d'eau pour l'irrigation augmenterait autour de 11% d'ici 2050.

**Mot-clés :** Lien entre eau-énergie-alimentation, irrigation, captage d'eau et usage d'eau.

<sup>1</sup> Treasurer, MXCID; collado.jaime@gmail.com

## Relationship between Physiological Indicators of Oat and Meteorological Factor in Tibet's Alpine Pastoral Areas

### Relation Entre Indicateurs Physiologiques D'avoine Et Facteur Meteorologique Dans Les Zones Pastorales Alpines De Tibet

Bing Xu<sup>1</sup>, Pengcheng Tang<sup>1</sup>, Delong Tian<sup>1</sup>, Zekun Li<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

The meteorological characteristics are large daily temperature difference, strong solar radiation and significant change of air humidity in the alpine area of Tibet. According to these features, the field experiment was conducted to analyze the diurnal variation of the leaf water potential ( $\psi_L$ ), transpiration rate ( $Tr$ ) and net photosynthetic rate ( $P_n$ ). The relationship between meteorological factors such as atmospheric temperature ( $T$ ), solar radiation ( $R_s$ ), relative air humidity ( $RH$ ) with oat's physiological indicators were investigated with the corresponding regression models. The results show that the daily oat's  $\psi_L$  changed during the different growth stages. The daily oat's change curve  $\psi_L$  show 'V-type' in the seeding and heading stages, and the lowest value appeared at 5:00(Beijing time, 24-hour clock) and 16:00 respectively. However, oat's  $\psi_L$  show 'W-type' in the jointing and tillering stages in which the lowest value both appeared in the morning and afternoon. The maximum fluctuation of  $\psi_L$  can reach 6 MPa in a day. The variation tendency of oat's  $P_n$  was basically consistent without fixed peaks and troughs model at different growth stages. As show in the results,  $P_n$  presented a decreasing tendency in a day. The  $P_n$  on the morning was higher than it on the afternoon and the peak appeared between 9:00 and 10:00 at one day. The maximum of  $P_n$  at the seeding stage, tillering stage, jointing stage and heading stage were 10.56, 9.91, 10.01 and 9.01  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectively. The  $Tr$  of oat at the seeding stage was obviously less than that at the tillering stage, jointing stage and heading stage. The  $Tr$  presented double-peak curves and midday depression at the seeding and heading stage. Different from the current research about grass, the variation tendency about  $Tr$  of oat at the tillering stage and jointing stage is "Multi-peak" type without distinct midday depression and parabolic tendency. Based on the regression analysis, the correlation coefficients between meteorological factors and oat's four physiological indicators are:  $T > RH > R_s$ ;  $RH > R_s > T$ ;  $T > RH > R_s$ , respectively for  $\psi_L$ ,  $Tr$  and  $P_n$ . By multiple regression analysis between the data of oat's physiological indexes and comprehensive factors, the  $\psi_L$ ,  $Tr$  and  $P_n$  of oat in alpine region can be predicted under condition of adequate water supply. These results are useful to understand the hydrologic cycle of the irrigated grass, and determine the scientific irrigation schedule to improve water use efficiency of grass in the alpine area.

**KEY WORDS:** Alpine area of Tibet, oat, physiological indicator, meteorological factor

#### RESUME

Les caractéristiques météorologiques sont la grande différence de température quotidienne, le fort rayonnement solaire et le changement significatif de l'humidité de l'air dans la région alpine du Tibet. Selon ces caractéristiques, l'expérience de terrain a été menée pour analyser la variation diurne du potentiel hydrique foliaire ( $\psi_L$ ), le taux de transpiration ( $Tr$ ) et le taux net de photosynthèse ( $P_n$ ). La relation entre les facteurs météorologiques tels que la température atmosphérique ( $T$ ), le rayonnement

<sup>1</sup> Institute of Water Resources for Pastoral Area, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Hohhot, 010020, China. Email: tangpc1988@163.com

solaire ( $R_s$ ), l'humidité relative de l'air (HR) avec les indicateurs physiologiques de l'avoine a été étudiée avec les modèles de régression correspondants. Les résultats montrent que le  $\psi_L$  de l'avoine quotidienne a changé au cours des différentes étapes de croissance. La courbe de variation quotidienne de l'avoine  $\psi_L$  montre «V-type» dans les étapes d'ensemencement et de l'épiaison, et la valeur la plus basse est apparue à 5h00 (heure de Pékin, horloge de 24 heures) et 16h00 respectivement. Cependant, les  $\psi_L$  de l'avoine montrent «W-type» dans les étapes l'étape de jonction et de tallage dans lesquelles la valeur la plus basse apparaît le matin et l'après-midi. La fluctuation maximale de  $\psi_L$  peut atteindre 6 MPa par jour. La tendance à la variation du Pn d'avoine était essentiellement constante sans modèle de pics et de creux fixes à différents stades de croissance. Comme présenté dans les résultats, Pn a présenté une tendance à la baisse d'une journée.

Le Pn de la matinée était plus élevé que l'après-midi et le pic apparaissait entre 9h00 et 10h00 d'une journée. Le maximum de Pn au stade de l'ensemencement, au stade de tallage, à l'étape de jonction et au stade de l'épiaison était de 10,56, 9,91, 10,01 et 9,01  $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectivement. Le Tr de l'avoine au stade de l'ensemencement était évidemment inférieur à celui de la phase de tallage, de l'étape de jonction et du stade de l'épiaison. Le Tr a présenté des courbes à double pic et une dépression de midi au stade de l'ensemencement et du stade de l'épiaison. Différente de la recherche actuelle sur l'herbe, la tendance à la variation de Tr de l'avoine au stade du tallage et à l'étape d'assemblage est du type «Multi-peak» sans dépression intense et tendance parabolique. Sur la base de l'analyse de régression, les coefficients de corrélation entre les facteurs météorologiques et les quatre indicateurs physiologiques de l'avoine sont:  $T > RH > R_s$ ;  $RH > R_s > T$ ;  $T > RH > R_s$ , respectivement pour  $\psi_L$ , Tr et Pn. Par analyse de régression multiple entre les données des indices physiologiques de l'avoine et des facteurs globaux, les  $\psi_L$ , Tr et Pn d'avoine dans la région alpine peuvent être prédits dans le cadre d'un approvisionnement en eau adéquat. Ces résultats sont utiles pour comprendre le cycle hydrologique de l'herbe irriguée et déterminer la planification scientifique d'irrigation pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la région alpine.

Mots-clés : Région alpine du Tibet, avoine, indicateur physiologique, facteur météorologique.

## Water, Food and Energy Nexus: Experiences from Afghanistan

Liens entre L'eau, L'alimentation et L'énergie: Expérience Acquise en Afghanistan

Suman Sijapati<sup>1</sup>, Masoom Hamdard<sup>2</sup> and Fahimullah Ziaee<sup>3</sup>

### ABSTRACT

This paper investigates the various processes around the use and production of water, food and energy in the context of Afghanistan. It first presents the current scenario of the country in terms of these three sectors. Then, it analyses the linkages between these different domains and tries to identify the gaps.

The paper also provides a brief introduction to the nexus approach and tries to actually apply it for Afghanistan in order to develop the nexus framework that outlines its key features, challenges and interfaces. This framework clearly identifies the overlap in these three domains and the related trade-offs. It outlines how the specific features of the water sector of Afghanistan like growing water stress, dependency on groundwater, closed basins, water right issues, etc. interfaces with features of food security like growing food demand, declining cropland, intensive food production, changing food preferences, etc. and also with specific features of the energy sector like energy shortage, external dependency and underutilization of potential. It also outlines the country specific challenges and provides pointers for systematic integration of the different processes for ensuring efficient use of available resources in the country and producing synergy among the three sectors.

The paper has also reviewed the recently drafted National Irrigation Policy that tries to follow the nexus approach. It analyses the three specific focuses of the new policy, namely: (i) the rehabilitation, modernization and expansion of irrigated lands, particularly in informal irrigation; (ii) improvement in productivity of land and water resources use; and (iii) strengthening the legal and institutional framework, and the capacity of stakeholders. The positive reflections from the application of the nexus approach in drafting this policy and the synergies attempted in the process has also been outlined in this paper.

**KEY WORDS:** Water-Food-Energy nexus, irrigation, synergy, Afghanistan.

### RESUME

Cet article étudie les différents processus autour de l'utilisation et de la production d'eau, de nourriture et d'énergie dans le contexte de l'Afghanistan. Il présente d'abord le scénario actuel du pays en ce qui concerne ces trois secteurs. Ensuite, il analyse les liens entre ces différents domaines et essaie d'identifier les lacunes.

Le document fournit également une brève introduction à l'approche de lien et tente de l'appliquer réellement pour l'Afghanistan afin de développer le cadre de lien pour le pays qui présente ses principales caractéristiques, défis et interfaces. Ce cadre identifie clairement le chevauchement dans ces trois domaines et les compromis connexes. Il décrit comment les caractéristiques spécifiques du secteur de l'eau de l'Afghanistan comme le stress croissant de l'eau, la dépendance à l'égard des eaux souterraines, des bassins fermés, des problèmes

1 Chief Technical Advisor of the FAO Project on Capacity Development of Irrigation Directorate

2 Senior Irrigation Advisor to the Office of the Deputy Minister of Irrigation and Natural Resources.

3 Deputy Minister of Irrigation and Natural Resources of the Ministry of Agriculture, Irrigation and Livestock of the Islamic Republic of Afghanistan.



liés à droits de l'eau, etc. constituent des interfaces avec les caractéristiques de la sécurité alimentaire, comme la demande alimentaire croissante, la baisse des terres cultivées, la production alimentaire intensive, la transformation des préférences alimentaires, etc., ainsi que les caractéristiques spécifiques du secteur de l'énergie, comme la pénurie d'énergie, la dépendance externe et la sous-exploitation du potentiel. Il décrit également les défis propres à chaque pays et fournit des indications pour l'intégration systématique des différents processus pour assurer une utilisation efficace des ressources disponibles dans le pays et produire des synergies entre les trois secteurs.

Le document a également examiné la politique nationale d'irrigation récemment rédigée qui a également essayé de suivre l'approche de lien. Il analyse les trois préoccupations précises de la nouvelle politique, à savoir: (i) la réhabilitation, la modernisation et l'expansion des terres irriguées, en particulier dans l'irrigation informelle; (ii) l'amélioration de la productivité de l'utilisation des terres et des ressources en eau; et (iii) le renforcement du cadre juridique et institutionnel et de la capacité des parties prenantes. Les réflexions positives de l'application de l'approche de lien dans la rédaction de cette politique et les synergies tentées dans le processus ont également été décrites dans ce document.

**Mots clés :** Liens entre l'eau-l'alimentation-l'énergie, irrigation, synergie, Afghanistan.

## Management Practices and the Water Footprint of Irrigated Sugarcane Production in South Africa

Pratiques Agricole et Empreinte de L'eau de la Production de Canne a Sucre Irrigee En Afrique Du Sud

A.A. Adetoso<sup>1</sup>, A. Singels<sup>2,3,4</sup>, A.L. Paraskevopoulos<sup>2</sup> and H. Jordaan<sup>1</sup>

### ABSTRACT

South Africa is a water scarce country with a number of sectors competing for the available freshwater resource. Significant amounts of water are used in the agricultural sector to produce food, feed, and fibre to meet the ever-increasing demands. About 60 percent of fresh water in South Africa is used by irrigated agriculture, making it the largest single user of water. This study aims to quantify the water footprint of irrigated sugarcane at the farm level, with particular emphasis on the impact of irrigation systems and mulching practices on water footprint estimates. The MyCanesim system and weather data for the period 1970 to 1999 were used to simulate the water balance and crop growth of irrigated sugarcane growing at Malelane (25°28'0"S, 31°31'0"E) South Africa. Water footprint estimates were calculated using simulated crop water use and yields.

Crops growing with a thick mulch cover consumed slightly less green water, irrespective of irrigation system. However, blue water consumption for crops grown with a thick mulch cover was substantially lower than those grown with a light mulch cover. The difference was larger for centre-pivot irrigated sugarcane than for subsurface drip irrigated sugarcane. The blue and total (blue plus green) water footprint values for crops grown with a thick mulch cover was only marginally lower than those grown with the light mulch cover.

Blue water consumed by subsurface irrigated crops was lower (between 994 and 1260 m<sup>3</sup>/ha) than that of centre-pivot irrigated crops, due to its higher application efficiency. The green water footprint for the two irrigation systems did not differ much, while blue water footprint for subsurface drip irrigated sugarcane was between 8 to 10 m<sup>3</sup>/t lower than for centre pivot irrigated sugarcane.

The findings support the notion that water use efficiency of sugarcane production can be improved, and its water footprints reduced, by implementing more efficient irrigation systems, by covering the soil with a thick mulch cover to limit wasteful evaporation, and by implementing effective irrigation scheduling.

**KEY WORDS:** Water footprint, sugarcane, sustainable water use, crop model, irrigation, crop water use, evapotranspiration.

1 Department of Agricultural Economics, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa, E-mail: toshorr@gmail.com

2 South African Sugarcane Research Institute, Mount Edgecombe, South Africa

3 Department of Plant and Soil Science, University of Pretoria, South Africa

4 School of Agriculture, Earth and Environmental Sciences, University of Kwazulu-Natal, Pietermaritzburg, South Africa

## RESUME

L'Afrique du Sud est un pays qui manque d'eau et un certain nombre de secteurs font concurrence pour la ressource d'eau douce disponible. Des quantités importantes d'eau sont utilisées dans le secteur agricole pour produire de la nourriture, des aliments et des fibres pour répondre aux demandes toujours croissantes. Environ 60% de l'eau douce en Afrique du Sud est utilisée par l'agriculture irriguée, ce qui en fait le plus grand utilisateur unique d'eau. Cette étude vise à quantifier l'empreinte hydrique de la canne à sucre irriguée au niveau de la ferme, en mettant particulièrement l'accent sur l'impact des systèmes d'irrigation et les pratiques de paillage sur les estimations de l'empreinte hydrique. Le système MyCanesim et les données météorologiques pour la période 1970 à 1999 ont été utilisés pour simuler le bilan hydrique et la croissance des cultures de canne à sucre irriguée à Malelane (25 ° 28'0 «S, 31 ° 31'0» E) en Afrique du Sud. Les estimations de l'empreinte hydrique ont été calculées en utilisant l'utilisation simulée d'eau et les rendements des cultures.

Les cultures qui poussent avec une couverture épaisse de paillis ont consommé un peu moins d'eau verte, quel que soit le système d'irrigation. Cependant, la consommation d'eau bleue pour les cultures cultivées avec une couverture épaisse de paillis était nettement inférieure à celle cultivée avec un couvercle de paillis léger. La différence était plus grande pour la canne à sucre irriguée à pivot central que pour la canne à sucre irriguée par goutte de subsurface. Les valeurs d'empreinte hydrique bleue et totale (bleu plus vert) pour les cultures cultivées avec un couvercle épuré de paillis étaient légèrement inférieures à celles cultivées avec la couverture légère du paillis.

L'eau bleue consommée par les cultures irriguées souterraines était plus faible (entre 994 et 1260 m<sup>3</sup> / ha) que celle des cultures irriguées à pivot central, en raison de son efficacité d'application plus élevée. L'empreinte de l'eau verte pour les deux systèmes d'irrigation n'a pas varié considérablement, tandis que l'empreinte de l'eau bleue pour la canne à sucre irriguée par goutte de subsurface était comprise entre 8 et 10 m<sup>3</sup> / t plus bas que pour la canne à sucre irriguée au pivot central.

Le sol peu profond avait une utilisation de l'eau de récolte verte et bleue sensiblement plus faible et avait des valeurs d'empreinte d'eau similaires à celles du sol profond, pour les deux systèmes d'irrigation.

Les résultats montrent en outre que, pour un environnement semi-aride comme Malelane (précipitations annuelles moyennes d'environ 580 mm), l'empreinte de l'eau bleue pour la production de canne à sucre était presque deux fois plus grande que l'empreinte d'eau verte, allant de 50 à 60 m<sup>3</sup> / t, comparé à environ 36 à 37 m<sup>3</sup> / t.

Les valeurs d'empreinte d'eau totale et bleue estimées dans cette étude sont beaucoup plus faibles que celles rapportées dans d'autres études. Les raisons sont que les rendements simulés étaient sensiblement supérieurs aux rendements réels et que l'application simulée d'irrigation était plus efficace que l'irrigation réelle.

Les résultats confirment que l'efficacité de l'utilisation de l'eau de la production de canne à sucre peut être améliorée et que ses empreintes d'eau ont diminué en mettant en place des systèmes d'irrigation plus efficaces en recouvrant le sol avec un couvercle de paillis épais pour limiter l'évaporation inutile et en mettant en œuvre un programme d'irrigation efficace.

**Mots-clés:** empreinte hydrique, canne à sucre, utilisation durable de l'eau, modèle de culture, irrigation, utilisation de l'eau végétale, évapotranspiration.

## Comparing the Usefulness and Applicability of Water Footprint Methodologies

Comparaison de L'utilite et de L'applicabilite des Methodes D'empreinte sur L'eau

Betsie le Roux<sup>1</sup>, Michael van der Laan<sup>1</sup>, Mark Gush<sup>2</sup>, Keith L Bristow<sup>1,3</sup>

### ABSTRACT

The lack of sustainability of water resources threatens food security in many places worldwide. In this paper, different water footprint methodologies are investigated for their ability to improve water management practices at different scales, and to encourage consumer behaviour towards more sustainable water use. Methodology according to the Water Footprint Network, Life Cycle Assessment and hydrology-based approaches were assessed. A fundamental viewpoint is defined and the knowledge hierarchy used to better understand the approaches and the information they generate. It was concluded that the Water Footprint Network methodology is most useful to a catchment manager, mostly due to its quantitative nature, which can be applied to compare both blue and green water consumption and availability. None of the methodologies, however, provide a single metric that can be used to raise consumer awareness through a product label. Currently, it is not possible to incorporate all the complexities associated with water use management into a single undisputable score that can be used to inform consumers so they make wise decisions that will contribute to achieving sustainable water use.

**KEY WORDS:** Sustainable water use, Knowledge hierarchy, Water Footprint Network, Life Cycle Assessment, Hydrological-based.

### RÉSUMÉ

Le manque de durabilité des ressources en eau menace la sécurité alimentaire dans de nombreux endroits dans le monde entier. Dans cet article, différentes méthodologies d'empreinte de l'eau sont étudiées pour leur capacité à améliorer les pratiques de gestion de l'eau à différentes échelles et encourager les comportements des consommateurs vers une utilisation plus rationnelle de l'eau. La méthodologie selon le Water Footprint Network, l'évaluation du Cycle de vie et les approches axées sur l'hydrologie ont été évalués. Un point de vue fondamental est défini et la hiérarchie des connaissances permettant de mieux comprendre les approches et les informations générées. Il a été conclu que la méthodologie Water Footprint Network est très utile pour un chef de bassin, principalement en raison de sa nature quantitative, qui peut être appliquée pour comparer la consommation à la fois d'eau bleue et verte et sa disponibilité. Aucune des méthodologies, cependant, ne fournit une mesure simple qui peut servir à sensibiliser les consommateurs à travers l'étiquette d'un produit. Actuellement, il n'est pas possible d'incorporer toutes les complexités liées à l'eau utilisent gestion en un score unique incontestable qui peut être utilisé pour informer les consommateurs afin qu'ils prennent des décisions éclairées qui contribueront à la réalisation d'utilisation durable de l'eau.

**Mots clés :** Utilisation de l'eau durable, hiérarchie des connaissances, Water Footprint Network, Life Cycle Assessment, axée sur les hydrologiques.

1 University of Pretoria: Department of Plant and Soil Sciences, Private Bag X20, Hatfield 0028, SA

2 CSIR Natural Resources & Environment Division, PO Box 320, Stellenbosch, 7599, SA

3 CSIRO Agriculture & Food, PMB Aitkenvale, Townsville, QLD 4814, Australia

## Estimation of the Virtual Water of Some Mexican Crops: An Approach to Manage Water in Trades

Estimation De L'eau Virtuelle De Certaines Cultures Mexicanes:  
Une Approche de Gestion De L'eau Dans Les Commerces

Edgar Vázquez Núñez<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The water that is used in the production process of a commodity is called the 'virtual water' contained in the commodity (Hoekstra and Hung, 2004).

International trade of commodities brings along international flows of virtual water. The objective of this work is to quantify the volumes of virtual water flows for the four most important cultivars in Mexico during the period 2005 – 2016 and the net flow water trade in international terms, showed as a multinational water balance. The basic approach is to multiply international crop trade flows (ton yr<sup>-1</sup>) by their associated virtual water content (m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>). The estimations were done for the four most important crops in Mexico i.e., maize, wheat, sorghum and barley; the results show that the global volume of crop-related international virtual water flows for those crops was -15 Mm<sup>3</sup> yr<sup>-1</sup> in average over the period 2005-2016. This result confirms that Mexico is an importer of virtual water.

**KEY WORDS:** Virtual Water, Crops, Water Trade, Sustainability.

### RESUME

L'eau utilisée dans le processus de production d'une marchandise est appelée «eau virtuelle» contenue dans la marchandise (Hoekstra et Hung, 2004).

Le commerce international des marchandises apporte des flux internationaux d'eau virtuelle. Ce travail vise à quantifier les volumes de débit d'eau virtuels des quatre cultivars les plus importants au Mexique au cours de la période 2005-2015 et le commerce d'eau de flux net en termes internationaux, en tant que bilan hydrologique multinational. L'approche de base est de multiplier les flux commerciaux des cultures internationales (tonnes y-1) par leur contenu d'eau virtuel associé (m<sup>3</sup> ton<sup>-1</sup>). Les estimations ont été faites pour les quatre cultures les plus importantes au Mexique, c'est-à-dire le maïs, le blé, le sorgho et l'orge; Les résultats montrent que le volume global des flux d'eau virtuels internationaux liés aux cultures pour ces cultures était de -15 Mm<sup>3</sup> an-1 en moyenne lors de la période de 2005-2016. Ce résultat confirme que le Mexique est un importateur d'eau virtuelle.

**Mots-clés :** Eau virtuelle, cultures, commerce de l'eau, durabilité

<sup>1</sup> Department of Chemical, Electronic and Biomedical Engg. Division of Sciences and Engg. University of Guanajuato. Loma del Bosque 103, Lomas de Campestre MX37150, León, México. and also ESD Expert Net Germany – India - Mexico- South Africa, supported by Engagement Global on behalf of Federal Ministry for Economic Cooperation and Development; E-mail: edgar.vazquez@ugto.mx

## 3D Morpho-Dynamic Analysis of the Rainfall Emitted by an Agricultural Sprinkler using the Stereo-PTV Technique

### Analyse 3D Morphodynamique de la Précipitation Émise par un Asperseur Agricole avec la Technique Stereo-PTV

Félix-Félix J.R.<sup>1</sup>, Salinas-Tapia H.<sup>2</sup>, Bautista-Capetillo C.<sup>3</sup>,  
García-Aragón J.<sup>2</sup> and Playán E.<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

The efficiency of sprinkler irrigation systems is associated to the characteristics of water drops. A detail analysis of the movement of water droplets often requires experimentation with advanced techniques to characterize their geometric and kinematic parameters. Drop measurements are required to calibrate irrigation models, and therefore to predict sprinkler precipitation patterns and ultimately irrigation performance. In this work, Stereoscopic Particle Tracking Velocimetry (Stereo-PTV) was used to determine morpho-dynamic parameters of water drops in a three-dimensional field. The technique was applied to the drops emitted by an isolated impact sprinkler equipped with two nozzles (3.97 and 3.18 mm in diameter) and installed at an elevation of 1.65 m above the ground. Experiments were performed under no-wind conditions. Observations were made at distances of 3, 6, 9 and 12 m from the sprinkler, which was operated at a pressure of 200 kPa. Results provided a perspective of droplet velocity in its components ( and ). Drop trajectory exhibited a curvilinear behavior in a three-dimensional system due to the rotation of the sprinkler around its vertical axis. The third orthogonal velocity component ( ) increased with the distance from the sprinkler, showing a maximum value of 1.5 ms<sup>-1</sup> at the distal zone of the wetted radius. However, ballistic theory (the most common approach to sprinkler irrigation modeling) considers that, under no-wind conditions, drops have a curvilinear motion in a two-dimensional plane. In addition, ballistic theory assumes drops as independent solid spheres. Nevertheless, drop morphology characterization indicated that drop shape changed from a sphere to an ellipsoid along its flight path. This may affect the correct estimation of the aerodynamic drag force, since it is mainly determined by drop shape. This information is of great value to improve the predictive capacity of current simulation models in 2D and 3D, as well as to contribute to the knowledge of the physical processes that occur in the formation of drops.

**KEY WORDS:** Stereo-PTV technique, drop shape, drop dynamics, drag force.

#### RÉSUMÉ

L'efficacité des systèmes d'irrigation par aspersion est toujours associée aux caractéristiques cinématiques des gouttes d'eau émises par un asperseur. Une analyse détaillée du mouvement des gouttelettes d'eau nécessite souvent une expérimentation avec techniques avancées pour caractériser leurs paramètres géométriques et cinématiques. Ces mesures de goutte sont essentielles pour calibrer les modèles de l'irrigation par aspersion et, par conséquent, pour prédire la distribution spatiale de l'eau appliquée et finalement la performance d'irrigation.

- 1 Doctoral student, Inter-American Water Resources Center, Universidad Autónoma del Estado de Mexico, Carr. Toluca-Ixtlahuaca km. 14.5 San Cayetano de Morelos, Toluca Estado de México.
- 2 Professor, Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Carr. Toluca-Ixtlahuaca km. 14.5 San Cayetano de Morelos, Toluca Estado de México.
- 3 Professor, Maestría en Ingeniería Aplicada Orientación Recursos Hidráulicos, Universidad Autónoma de Zacatecas. Avda. Ramón López Velarde, 801. Zacatecas, Zacatecas, México.
- 4 Research Professor, Departamento Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei, CSIC. P. O. Box 13034, 50080 Zaragoza, Spain.

Dans ce travail, la technique « Stereoscopic Particle Tracking Velocimetry » (Stereo-PTV) a été utilisée pour déterminer les paramètres morpho-dynamiques des gouttes d'eau dans un champ tridimensionnel. La technique a été appliquée aux gouttes émises par un asperseur isolé équipé de deux buses (3,97 et 3,18 mm de diamètre) et installé à une hauteur de 1,65 m du sol. Les expériences ont été menées dans des conditions de non-vent, et à des distances de 3, 6, 9 et 12 m de l'asperseur, qui a fonctionné à une pression de 200 kPa. Les résultats ont donné une perspective de la vitesse des gouttelettes dans leurs trois composantes ( $v_x$ ,  $v_y$  et  $v_z$ ). La trajectoire de la goutte a montré un comportement curviligne dans un système tridimensionnel en raison de la rotation de l'asperseur sur son axe vertical. La troisième composante de vitesse ( $v_z$ ) a augmenté avec la distance à l'asperseur, montrant une valeur maximale de  $1,5 \text{ m s}^{-1}$  dans la zone distale. Cependant, la théorie balistique (qui représente l'approche la plus utilisée dans la modélisation de l'irrigation par aspersion) considère que, dans des conditions sans vent, les gouttes ont un mouvement curviligne dans un plan bidimensionnel. En outre, la théorie balistique suppose les gouttes comme sphères solides indépendantes. Néanmoins, la caractérisation de la morphologie des gouttes indique que la forme de la goutte change d'une sphère à un ellipsoïde le long de sa trajectoire de vol. Ce qui peut affecter l'estimation correcte de la force de résistance aérodynamique, puisque la force est déterminée principalement par la forme de la goutte. Cette information est d'une grande valeur pour améliorer la capacité prédictive des modèles de simulation actuels en 2D et 3D, ainsi que pour contribuer à la connaissance des processus physiques qui se produisent dans la formation de gouttes.

**Mots-clés :** Technique stéréo-PTV, forme de goutte, dynamique de goutte, force de résistance.

## Water Footprint of Coriander Culture (*Coriandrum Sativum L.*) in the Dry Region of Sergipe

L'empreinte D'eau De La Culture De Coriandre (*Coriandrum Sativum L.*) Dans La Region Seche De Sergipe

Inajá Francisco de Sousa<sup>1</sup>, José Murilho Farias Bomfim<sup>2</sup>, Antenor de Oliveira Aguiar Netto<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The rationalization of water use in agriculture is not only through the adoption of certain efficient systems, but also through the use of rational strategies that minimize waste and reduce environmental impacts. The production of irrigated coriander (*Coriandrum sativum L.*) is an activity characterized by the cost of production per cultivated hectare. In this context, the accounting of the water footprint allows the efficient decision making in relation to the water management in order to properly allocate the available resources for the given culture. This work aims at determining the Water Footprints (WF): green, blue and gray of coriander culture in the dry region of the State of Sergipe. The WF analysis was based on data from the cultivar Tabocas produced at the Hortaliças Vida Verde Company, located in the city of Itabaiana / SE. The data analyzed refer to the years 2013 to 2015 during the winter, spring, summer and fall seasons.

The obtained results indicated values for each season: winter (WFgreen 62%, WFblue 36% and WFgray 2%); Spring (WFgreen 5%, WFblue 94% and WFgray 1%) summer (WFgreen 6%, WFblue 93% and WFgray 1%) and autumn (WFgreen 18%, WFblue 81% and WFgray 1%) having the average participation of WFblue (81%), followed by WFgreen (17%) and WFgray (2%) in the contribution of the total water footprint to irrigated coriander. The highest percentage was obtained from WFblue, which corresponds to the intensive use of the irrigation system. While the lower percentage obtained in WFgray corresponded to the low use of synthetic fertilizers. The application of these indicators in the company will contribute to positive actions in order to understand the challenges related to water consumption.

**KEY WORDS:** Horticulture. Management of water use. Water Footprint.

### RÉSUMÉ

La rationalisation de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture est non seulement par l'adoption de certains systèmes efficaces, mais aussi grâce à l'utilisation de stratégies rationnelles qui réduisent au minimum les déchets et les impacts sur l'environnement. La production de la coriandre irriguée (*Coriandrum sativum L.*) est une activité caractérisée par le coût de production par hectare cultivé. Dans ce contexte, la comptabilité de l'empreinte d'eau permet la prise de décision efficace par rapport à la gestion de l'eau afin d'allouer les ressources disponibles à la culture mentionnée. Ce travail vise à déterminer les empreintes d'eau (WF): culture de la coriandre verte bleue et grise dans la région sèche de l'État de Sergipe. L'analyse de WF s'était basée sur les données de la production de Tabocas cultivée au Vida Verde Company, situé dans la ville de Itabaiana / SE. Les données analysées font référence aux années de 2013 à 2015 au cours des saisons d'hiver, de printemps, d'été et d'automne.

<sup>1</sup> Dr. Department of Agronomic Engineering- Federal University of Sergipe- UFS- São Cristóvão, Sergipe, Brazil. inajafrancisco@gmail.com; antenor.ufs@gmail.com

<sup>2</sup> Msc. In Development and Environment - Prodema / UFS - murilofarias@hotmail.com



Les résultats obtenus indiquent les valeurs pour chaque saison: l'hiver (WFverte 62%, WFbleue 36% et WFgrise 2%); le printemps (WFverte 5% WFbleue 94% et 1% WFgrise), l'été (WFverte 6% WFbleue 93% et WFgrise 1%) et l'automne (18% WFverte WFbleue 81% et WFgrise 1%) ayant la participation moyenne de WFbleue ( 81%), suivie par WFverte (17%) et WFgrise (2%) dans la contribution de l'empreinte d'eau à la coriandre irriguée. Le pourcentage le plus élevé a été obtenu à partir de WFbleue, ce qui correspond à l'utilisation intensive du système d'irrigation. Alors que le pourcentage inférieur obtenu à partir de WFgrise correspond à la faible utilisation des engrais synthétiques. L'application de ces indicateurs dans l'entreprise contribuera aux actions positives afin de comprendre les défis liés à la consommation d'eau.

**Mots-clés :** Horticulture, gestion de l'utilisation de l'eau. empreinte d'eau.

## Irrigation Water Requirement of Complicated Agricultural Land by Using of Airborne Digital Sensors Image

Exigence D'eau D'irrigation Des Terres Agricoles Compliquées en Utilisant Des Images Numeriques Aeriennes

Chih-Hung Tan<sup>1</sup>, Hsiang-Yi Hsu, Chia-Sheng Hsu and Li Chen

### ABSTRACT

As the impact of global climate change increasing, rainfall tends to be extreme and rainfall days decrease in Taiwan. However, the frequency of heavy rainfall increases. In the agricultural irrigation area adjacent to urban areas, crop types and water demand need to be more accurately controlled to balance agricultural, industry and domestic water usage. It is particularly complicate in areas nearby the metropolitan. There may be different crop growing on a field so as the water demand is different. It is necessary to accurately distinguish among the crops, so that the water demand can be calculated accurately. Therefore the water supply can accurately meet the demand of crops and save excess water resources.

In recent years, the image classification method has been changed from the traditional pixel-based classification to the image-object classification. Compared with traditional pixel-based method, the object-based classification can reduce the salt and pepper effect significantly, also greatly simplify the amount of data required for analysis. In order to obtain better spectral recognition result, most of image information is described by colour, texture and shape to enhance image recognition results. In this study, image information extraction and crop interpretation were carried out from the Airborne Digital Scanner (ADS40) image as the experimental data, and comparing the traditional supervised classification, the artificial classification of cadastral-parcel units and the image object classification model. The accuracy of the classification of crops was compared by different methods, and irrigation water was estimated using the crop acreage.

The results showed that the three image classification methods could achieve the overall accuracy of higher than 80%, and the object-based classification was the highest, reaching 88.68%. In the study area, the daily water demand of the crops was 2,586 m<sup>3</sup> per day, and the difference between the methods was about 4 ~ 5%.

**KEY WORDS:** Object-based Image Classification, Airborne Digital Scanner, Irrigation Water Demand.

### RESUME

À mesure que l'impact du changement climatique mondial augmente, les précipitations tendent à être extrêmes et les jours de pluie diminuent à Taiwan. Cependant, la fréquence des fortes pluies augmente. Dans la zone d'irrigation agricole adjacente aux zones urbaines, les types de cultures et la demande en eau doivent être mieux contrôlés pour équilibrer l'utilisation des ressources agricoles, industrielles et domestiques. Il est particulièrement compliqué dans les zones situées à proximité du métropolitain. Il peut y avoir une culture différente dans un champ, de sorte que la demande d'eau est différente. Il est nécessaire de distinguer avec précision les cultures, de sorte que la demande en eau puisse être calculée avec précision. Par conséquent, l'approvisionnement en eau peut répondre avec précision à la demande des cultures et économiser les excédents de ressources en eau.

<sup>1</sup> Director and Senior Researcher, Agricultural Engineering Research Center, Chungli, Taoyuan 320, Taiwan.; E-mail: chtan@aerc.org.tw

Au cours des dernières années, la méthode de classification de l'image a été modifiée du classement par pixel traditionnel à la classification image-objet. Par rapport à la méthode traditionnelle basée sur les pixels, la classification basée sur l'objet peut réduire considérablement les effets sel et poivre, simplifiant également considérablement la quantité de données requises pour l'analyse. Afin d'obtenir un meilleur résultat de reconnaissance spectrale, la plupart des informations d'image sont décrites par la couleur, la texture et la forme pour améliorer les résultats de la reconnaissance d'image. Dans cette étude, l'extraction de l'information sur l'image et l'interprétation des cultures ont été réalisées à partir de l'image numérique aérienne (ADS40) comme données expérimentales, en comparant la classification traditionnelle supervisée, la classification artificielle des unités de parcelle cadastrale et le modèle de classification des objets d'image. L'exactitude de la classification des cultures a été comparée par différentes méthodes, et l'eau d'irrigation a été estimée en utilisant la superficie cultivée.

Les résultats ont montré que les trois méthodes de classification d'image pouvaient atteindre une précision globale supérieure à 80%, et la classification basée sur l'objet était la plus élevée, atteignant 88,68%. Dans la zone d'étude, la demande quotidienne d'eau des cultures était de 2 586 m<sup>3</sup> par jour, et la différence entre les méthodes était d'environ 4 à 5%.

**Mots clés :** Classification Image-Objet, image numérique aérienne (ADS40), Demande en eau d'irrigation.

## Semi-Empirical Model to Estimate Wetting Patterns under Drip Irrigation

Le Modèle Semi-Empirique Pour Estimer L'irrigation au  
Schema de Mouillage Sunderdrip

F.Cruz-Bautista<sup>1</sup>, A.L. Bautista-Olivas<sup>2</sup>.

### ABSTRACT

This article presents the evaluation of a semi-empirical model to estimate wetting patterns with drip irrigation. This model uses two equations to estimate the dimensions of the wetting of the soil. It was tested with three soil textures and two horizons, without crops. The performance of the model was evaluated by comparing results obtained in the field with estimated results using model efficiency (ME), root mean square error (RMSE) and mean error (ME) as statistical indicators. The statistical comparisons resulted in a reliability of 85 and 88% and a standard error of 1.8 to 1.08 cm, with respect to the two equations, when using the model to predict the dimensions of the wetted area with drip irrigation and sandy, sandy loam and clay loam soils. The best results were obtained with sandy loam soil and emitter discharges of 2 and 4 liters per hour. An acceptable fit was obtained between the observed and simulated wetting dimensions.

This reflects the suitability of this type of model for designing and managing localized irrigation systems. The dimension of the wetted soil volume that is formed with these irrigation systems is of great practical importance to their design and management, considering that the depth and diameter should coincide with the plants' root systems and the spacing between emitters.

**KEY WORDS:** Trickle Irrigation, Wetting Pattern, Soil moisture, Simulation.

### RESUME

Cet article présente l'évaluation d'un modèle semi-empirique pour estimer les schémas de mouillage avec l'irrigation par goutte. Ce modèle utilise deux équations pour estimer les dimensions du mouillage du sol. Il a été testé avec trois textures de sol et deux horizons, sans cultures. La performance du modèle a été évaluée en comparant les résultats obtenus dans le champ aux résultats estimés en utilisant l'efficacité du modèle (ME), l'erreur de valeur moyenne quadratique (RMSE) et l'erreur moyenne (ME) en tant qu'indicateurs statistiques. Les comparaisons statistiques ont entraîné une fiabilité de 85 % et 88 % et une erreur standard de 1,8 à 1,08 cm, par rapport aux deux équations, lorsque l'on utilise le modèle pour prédire les dimensions de la zone humide avec l'irrigation par goutte et les sols sableux, les marne sablonneuses et les sols limoneux en argile. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec les marne sablonneuses et des rejets d'émetteurs de 2 et 4 litres par heure. Un ajustement acceptable a été obtenu entre les dimensions de mouillage observées et simulées. Cela reflète l'adéquation de ce type de modèle pour la conception et la gestion des systèmes d'irrigation localisés. La dimension du volume de sol mouillé qui est formé avec ces systèmes

1 Professor-Researcher, Department of Agriculture and Livestock, University of Sonora, Mexico. E-mail: fidencio.cruz@unison.mx.

2 Professor-Researcher, Department of Agriculture and Livestock, University of Sonora, Mexico.

d'irrigation revêt une grande importance pratique pour leur conception et leur gestion, étant donné que la profondeur et le diamètre doivent coïncider avec les systèmes racines des plantes et l'espacement entre les émetteurs.

**Mots-clés:** l'irrigation au goutte à goutte, le modèle de mouillage, l'humidité des sols, la simulation.

## Water Balance of Paddy Fields in Korea

### Bilan En Eau Des Champs De Paddy En Corée

Kwang-Sik Yoon<sup>11</sup>, Dong-Ho Choi , Seung-Hwan Yoo, Hyun-kyu Park

#### ABSTRACT

The water balance of the experimental paddy fields has been monitored from May 1, 1994, to September 30, 2012. The monitoring results showed annual precipitation of 614 to 1,224 mm (average 907 mm), irrigation 536 to 1,092 mm (average 792 mm), and drainage 504 to 854 mm (average 784 mm). The estimated evapotranspiration was 618 to 721mm (average 653 mm). Inflow (precipitation plus irrigation) to the paddy field totalled 1,446 to 1,844 mm, and 44 percent of this was lost to surface drainage. The unmeasured amount of inflow water was from 47 to 262 mm when the water balance has calculated during the study period. The irrigation amount to the study site was moderate when compared to those of other studies conducted in Korea, which ranged from 490 mm ~ 1498 mm. The monthly irrigation amount was 112.6±18.5 mm in May, 228.8±26.9 mm in June, 185.2±25.3 in July, 188.0±26.5 mm in August, 77.1±22.5 mm in September, and the highest amount supplied in June. Daily irrigation amount ranged from 1 to 58 mm and 5 to 10mm per day irrigated most frequently. The maximum irrigation amount on the 10 consecutive days was above 200mm, which could be useful information for reservoir operation. The water balance and irrigation amount monitored in this study could be used as basic data for design and operation of irrigation systems in Korea.

**KEY WORDS:** Irrigation, Drainage, Requirement, Actual Use, Field monitoring.

#### RESUME

Le bilan en eau des rizières expérimentales a été contrôlé du 1er mai 1994 au 30 septembre 2012. Les résultats de la surveillance ont montré une précipitation annuelle de 614 à 1.224 mm (moyenne 907 mm), l'irrigation de 536 à 1 922 mm (moyenne 792 mm) et drainage de 504 à 854 mm (moyenne 784 mm). L'évapotranspiration estimée était de 618 à 721 mm (moyenne de 653 mm). Les débits (précipitations et irrigation) au riz ont totalisé de 1 446 à 1 844 mm, et 44% de ces derniers ont été perdus en raison du drainage superficiel. La quantité non mesurée de débit d'eau était de 47 à 262 mm lorsque le bilan en eau a été calculé pendant la période d'étude. La quantité d'irrigation au site d'étude était modérée par rapport à celles d'autres études menées en Corée, qui variait de 490 mm à 1498 mm. La quantité mensuelle d'irrigation était de 112,6 ± 18,5 mm en mai, 228,8 ± 26,9 mm en juin, 185,2 ± 25,3 en juillet, 188,0 ± 26,5 mm en août, 77,1 ± 22,5 mm en septembre. La quantité la plus élevée était fournie en juin. Le volume d'irrigation quotidien variait de 1 à 58 mm et de 5 à 10 mm par jour irrigué le plus souvent. La quantité d'irrigation maximale pendant les 10 jours consécutifs était supérieure à 200 mm, ce qui pourrait être une information utile pour le fonctionnement du réservoir. Le bilan en eau et la quantité d'irrigation surveillée dans cette étude pourraient être utilisées comme données de base pour la conception et l'exploitation des systèmes d'irrigation en Corée.

**Mots-clés :** Irrigation, drainage, exigence, utilisation réelle, surveillance sur le terrain.

<sup>11</sup> Professor, Rural & Bio-Systems Engineering Dept. Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea; E-mail: ksyoon@jnu.ac.kr

## Productivity and Efficiency Analysis of Paddy Rice Management Practices Under Conservation Agriculture in Taiwan

### L'analyse De La Productivité Et De L'efficacité Des Pratiques De Gestion Du Riz De Paddy En Agriculture De Conservation À Taiwan

Yu-Chuan Chang<sup>1</sup>, Shih-Wen Chou<sup>2</sup>, Chun-E. Kan<sup>3</sup> and Sheng Hsin Hsieh<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

In order to adapt the current water management practices to extreme weather events and to economic growth in Taiwan, a field experiment was conducted to evaluate the effect of different water management practices on crop productivity and water storage capacity. The results revealed that the shallow intermittent irrigation (SII) increased potential yield of rice during the dry season, and deep water intermittent irrigation (DII) increased effective rainfall and percolation during rainy season. Further, the results from evaluating productivity and water storage capacity point out that SII water management can save input resources in first cropping season, while DII provided more water storage capacity in second cropping season.

It is concluded that in Taiwan, water-saving irrigation practices can be applied with high potential yield during the first cropping season when the crop can efficiently raise input resource productivity by the promotion of System of Rice Intensification (SRI). On the other hand, instead of having farmers operate their paddy fields without controlling water in the second cropping season, when plenty of water is available in rivers, farmers should be encouraged and subsidized by the government to sustain their paddy fields as shallow retention ponds through deep water management practices in that season.

**KEY WORDS:** System of rice intensification, deep water management practice, intermittent irrigation, farmer water management practice.

#### RESUME

Afin d'adapter les pratiques actuelles de gestion de l'eau aux événements météorologiques extrêmes et à la croissance économique à Taiwan, une expérience sur le terrain a été réalisée pour évaluer l'effet de différentes pratiques de gestion de l'eau sur la productivité des cultures et la capacité de stockage de l'eau. Les résultats ont révélé que l'irrigation intermittente peu profonde (SII) a augmenté le rendement potentiel du riz pendant la saison sèche, et l'irrigation intermittente en eaux profondes (DII) a augmenté les précipitations effectives et la percolation effectives pendant la saison des pluies. En outre, les résultats de l'évaluation de la productivité et de la capacité de stockage de l'eau soulignent que la gestion de l'eau SII peut économiser les ressources d'entrée lors de la première saison de culture, tandis que DII a fourni plus de capacité de stockage d'eau à la deuxième saison de culture.

- 1 Professor, Department of Tourism and Leisure Management, Hsing Wu University, No. 101, Sec.1, Fenliao Rd., LinKou Township, New Taipei City 24442, Taiwan; E-mail: e06033@gmail.com
- 2 Chairman, Chi-Seng Water Management and Development Found, 3F, No. 18, Lane 90, Sec. 6, Mincyuan East Rd., Taipei 11465, Taiwan
- 3 Managing Director, Chi-Seng Water Management and Development Found, 3F, No. 18, Lane 90, Sec. 6, Mincyuan East Rd., Taipei 11465, Taiwan
- 4 Director, Department of Irrigation and Engineering, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, R.O.C.

On conclut que, à Taïwan, les pratiques d'irrigation économisant l'eau peuvent être appliquées avec un rendement potentiel élevé pendant la première saison de culture lorsque la culture peut augmenter efficacement la productivité des ressources d'entrée grâce à la promotion du Système d'Intensification du Riz (SRI). D'autre part, au lieu d'avoir des agriculteurs à exploiter leurs rizières sans contrôler l'eau pendant la deuxième saison de culture, lorsque beaucoup d'eau est disponible dans les rivières, les agriculteurs devraient être encouragés et subventionnés par le gouvernement pour soutenir leurs rizières en tant que bassins de rétention peu profonds à l'aide des pratiques de gestion des eaux profondes durant cette saison.

**Mots-clés:** le système d'intensification du riz, la pratique de gestion des eaux profondes, irrigation intermittente, pratique de gestion de l'eau des agriculteurs.



## Lift Irrigation Schemes Need Uplifting: Lessons from 57 Lift Irrigation Schemes In Andhra Pradesh, India

Projets D'irrigation Par L'elevation D'eau Exigent L'elevation: Leçons Tirées De 57 Projets D'irrigation Par L'elevation D'eau À Andhra Pradesh, En Inde

K. Yella Reddy<sup>1</sup> and L. Narayan Reddy<sup>2</sup>

### ABSTRACT

'Andhra Pradesh State Irrigation Development Corporation (APSIDC)' was established in 1974 for harnessing the land and water potential of the upland areas which cannot be irrigated by gravity flow. The APSIDC had commissioned 1,876 lift irrigation (LI) schemes up to 2013 and created irrigation potential of 0.1052 million acre (0.042 million ha). The schemes with the installed capacity of pump sets above 75 HP (Category A) will get free power supply for 16 h a day and the schemes with less than 75 HP (Category B) will get free power for 7 h a day only. APSIDC maintains the scheme for one year after commissioning and establishes Farmers Associations (FAs) and equip it to take over. After transfer of the schemes to FAs, it was noticed that a large number of schemes over a period of time have either become defunct or plagued with numerous problems.

The Water and Land Management and Training Institute (WALAMTARI) has undertaken a comprehensive study of the functioning of LI Schemes, covering 57 of them during 2014. Out of the schemes studied, 46 were operational and 11 were defunct. Out of the 46 functioning schemes, 41 (89%) had operators and 16 (35%) had electricians. Only 17 schemes (37%) entered into Annual Maintenance Contract (AMC) with the agencies. An analysis shows that 52% of the schemes faced problem of maintenance severely, 26% schemes moderately and 22% had no problem.

All defunct schemes complained of irregular power supply and voltage fluctuations, which caused burning of motors and transformers. Three-fourth of the schemes were defunct due to using obsolete machinery or not repairing them. Non-cooperation among farmers was also a reason for non-functioning of 64% schemes.

Recommendations for improving the performance of LI schemes include i) Establishing 'Monitoring Cell' at district level, ii) Extending Support Organizations (SOs) services for longer period, iii) Quality power supply, iv) Promotion of Micro Irrigation, v) Compulsory AMC of all schemes, vi) Introduction of asset management plans and vii) Regular elections for FAs and strengthening.

**KEY WORDS:** Lift Irrigation schemes, Farmers Associations, Irrigation Potential, Power Consumption, Defunct Schemes.

### RESUME

La «Société de développement de l'irrigation de l'État d'Andhra Pradesh (APSIDC)» a été créée en 1974 pour exploiter le potentiel terrestre et hydrique des zones de hautes terres qui ne peuvent pas être irriguées par l'irrigation gravitaire. L'APSIDC avait commandé 1 876 projets d'irrigation par l'élévation d'eau (LI) jusqu'en 2013 et a créé un potentiel d'irrigation de 0,1052 millions d'acre (0,042 million d'hectares de terre). Les systèmes ayant la capacité

1 Director (A&R) and 2 Director General, WALAMTARI, Hyderabad, India. E Mail id: yellark@gmail.com

installée des ensembles de pompes supérieure à 75 HP (catégorie A) obtiendront une alimentation électrique gratuite de 16 h par jour et les systèmes ayant la capacité de moins de 75 HP (catégorie B) recevront une alimentation gratuite pendant 7 h par jour seulement. L'APSIDC maintient le programme pendant un an après la mise en service et établit les Associations des fermiers (FA) et les équipes pour prendre le relais. Après le transfert des projets aux Associations des fermiers (FA), il a été remarqué que sur une période de temps un grand nombre de projets étaient devenus anciens ou rencontraient de nombreux problèmes.

L'Institut de gestion de l'eau et du sol (WALAMTARI) a entrepris une étude approfondie du fonctionnement des systèmes LI, couvrant 57 d'entre eux en 2014. Sur les projets étudiés, 46 étaient opérationnels et 11 étaient devenus anciens. Sur les 46 projets de fonctionnement, 41 (89%) avaient des opérateurs et 16 (35%) avaient des électriciens. Seuls 17 projets (37%) ont conclu un contrat de maintenance annuel (AMC) avec les agences. Une analyse montre que 52% des projets ont eu un problème grave de maintenance, 26% ont un problème modéré et 22% n'ont eu aucun problème.

Tous les anciens systèmes se plaignaient d'une alimentation électrique irrégulière et de variations de tension, ce qui a causé la combustion de moteurs et de transformateurs. Trois quarts des projets ont devenus anciens en raison de l'utilisation de machines obsolètes ou de la non-réparation de celles-ci. La non-coopération entre les agriculteurs était également une raison de non-fonctionnement de 64% des projets.

Les recommandations pour l'amélioration des performances des systèmes LI comprennent i) Établissement de la «Cellule de surveillance» au niveau du district, ii) Rendre les services aux organisations de soutien (SO) pour une période plus longue, iii) Fourniture d'énergie de qualité, iv) Promotion de la micro-irrigation, v) AMC obligatoire de tous les projets, vi) Introduction de plans de gestion des biens et vii) Élections régulières pour les Associations des fermiers et renforcement.

**Mots-clés :** Systèmes d'irrigation par l'élévation d'eau, Associations des fermiers, potentiel d'irrigation, consommation d'énergie, anciens projets.

## Water-Energy-Food Nexus in Irrigation Management

### Liaison Entre Eau-Energie-Alimentation Dans la Gestion D'irrigation

R.K.Gupta<sup>1</sup> and Amit Gupta<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The Water-Energy-Food (WEF) nexus is an emerging international, complex and multidimensional concept. This is compounded with challenges of climate change and social changes. The important components of the latter are population growth, globalization, economic growth, urbanization, growing inequalities, and social discontent. These issues exert tremendous pressure on water, energy, and food resources, presenting communities with an increasing number of trade-offs and potential conflicts among these resources that have complex interactions. The demands for water, energy, and food are estimated to increase by 40%, 50% and 35%, respectively, by year 2030. Addressing the WEF nexus in a sustainable manner has therefore become one of the most critical global environmental challenges of today. This paper examines various facets of this nexus and discusses their consideration on suitable intervention measures for efficient and sustainable resource utilization.

**KEY WORDS:** irrigation management, interventions, innovations, crop management strategies, water efficient crops.

#### RESUME

Le lien entre l'Eau et l'Energie-Alimentation (WEF) est un concept multidimensionnel complexe émergeant dans la communauté internationale, composé de défis du changement climatique et des changements sociaux, y compris la croissance de la population, la mondialisation, la croissance économique, l'urbanisation, les inégalités croissantes et le mécontentement social. Ces problèmes exercent une pression énorme sur l'eau, l'énergie et les ressources alimentaires, en présentant aux communautés un nombre croissant de compromis et des conflits potentiels entre ces ressources qui ont des interactions complexes. Les besoins en eau, en énergie et en nourriture devraient augmenter de 40%, 50% et 35%, respectivement, d'ici l'an 2030. S'attaquer au lien du EEA/WEF de manière durable est donc devenu l'un des défis environnementaux mondiaux les plus importants aujourd'hui, le besoin d'une heure. Ce rapport étudie diverses facettes de ce lien et discute de leur examen concernant les mesures d'intervention appropriées pour une utilisation efficace et durable des ressources.

**Mots clés :** Gestion d'irrigation, interventions, innovations, stratégies de gestion agricole, cultures économes en eau.

1 Chairman-cum-Managing Director, WAPCOS Limited, 5<sup>th</sup> Floor, Kailash Building, 26, Kasturba Gandhi Marg, New Delhi, India, E-mail: [cmd@wapcos.co.in](mailto:cmd@wapcos.co.in), Tel: 011 - 23313502

2 Chief Engineer, WAPCOS Limited, Plot No: 76C, Sector-18, Institutional area, Gurgaon, India, E-mail: [amg@wapcos.co.in](mailto:amg@wapcos.co.in), Tel: +91-124-2399830

## Achieving Higher System Efficiency and Productivity in Major and Medium Irrigation Schemes in Sri Lanka

Atteindre Une Efficacite Superieur De Systeme Et De Productivite Aux Plans D'irrigation Grands Et Moyens En Sri Lanka

S.M.D.L.K. De Alwis<sup>1</sup> and N.M.N.C. Marapana<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The high population growth and technology modernization are demanding resources for maintaining basic living conditions in Sri Lanka. This study revealed that the productivity levels of most of the irrigation schemes in Sri Lanka are considerably lower than those of the developed Asian countries. In Sri Lanka, irrigated land covers more than 750,000 ha under major, medium and minor irrigation schemes in dry zone, intermediate zone and wet zone respectively. Performance assessment made during the study by using three performance indicators, reflects that the rice yield vary drastically in each zone having a range of 3.26 MT/ha to 9.78 MT/ha. The water duty in irrigation schemes varies highly reflecting an unacceptable water consumption rate even during the favourable weather conditions ranging in average values from 0.91 m to 1.98 m in water depth.

Sri Lanka already initiated revising water sector policies including irrigation sector to enhance the productivity of land, water and crop to meet objectives setup under the Nationally Determined Contributions (NDCs) for climate change adaptation. The study recommends introducing modern planning, management and structural interventions (MIWRM, 2014) for the development of irrigation system coupled with existing good practices in the irrigation sector. As per the recommendations of the study, 80 major and medium irrigation schemes have been selected to test the new model of development with Joint Action Plans (JAPs) to improve the system efficiencies and enhance the productivity.

Economic analysis done for the project revealed that B: C ratio and IRR are acceptable (1.36 and 13.67%, respectively, at 10% discount rate). The main goal of the project is improving irrigation infrastructure for 72,882 ha of irrigable lands benefiting 97,832 families. Concurrently developing of irrigation canals, farm roads and advancing farm products with value added mechanism and marketing facilities are also planned.

**KEY WORDS:** Productivity, contributions, modernization, techniques, performances.

### RESUME

La forte croissance démographique et la modernisation de la technologie exigent des ressources pour maintenir des conditions élémentaires de vie au Sri Lanka. Cette étude a révélé que les niveaux de productivité de la plupart des régimes d'irrigation au Sri Lanka sont largement inférieurs à ceux des pays développés d'Asie. Au Sri Lanka, les terres irriguées couvre plus de 750 000 ha de plans d'irrigation grands, moyens et légers en zone sèche, zone intermédiaire et humide respectivement. L'évaluation de la performance effectuée au cours de l'étude à l'aide de trois indicateurs de performance, montre que le rendement de riz varie considérablement dans chaque zone d'une portée de 3,26 MT/ha à 9,78 TM/ha. L'obligation de l'eau dans les réseaux d'irrigation varie fortement qui fait apparaître un taux de

<sup>1</sup> Additional Secretary (Water Resources Management), Ministry of Irrigation and Water Resources Management, Sri Lanka

<sup>2</sup> Assistant Director (Environment), Ministry of Irrigation and Water Resources Management, Sri Lanka.

consommation d'eau inacceptable même pendant les conditions météorologiques favorables variant dans des valeurs moyennes de 0,91 m à 1,98 m en profondeur de l'eau.

Le Sri Lanka a déjà entrepris des révisions des politiques du secteur de l'eau, y compris le secteur de l'irrigation pour accroître la productivité des terres, de l'eau et de la culture pour répondre aux objectifs visés sous les contributions déterminées au niveau nationale (NDCs) pour l'adaptation au changement climatique. L'étude recommande l'introduction de la planification, de la gestion et des interventions structurelles modernes (MIWRM, 2014) pour le développement du système d'irrigation couplé avec des bonnes pratiques existantes dans le secteur de l'irrigation. Conformément aux recommandations de l'étude, 80 grands et moyens réseaux d'irrigation ont été sélectionnés pour tester le nouveau modèle de développement avec les Plans d'Action conjointes (JAPs) pour améliorer l'efficacité du système et progresser la productivité.

L'analyse économique effectuée pour le projet a révélé que le rapport B : C et IRR sont acceptables (1,36 et 13,67 %, respectivement, au taux de remise de 10 %). L'objectif principal du projet est d'améliorer l'infrastructure d'irrigation pour 72 882 ha de terres irrigables qui bénéficient 97 832 familles. Au même temps, le développement des canaux d'irrigation, des routes agricoles et des produits de ferme en progression avec un mécanisme de valeur ajoutée et la commercialisation des installations sont également prévus.

**Mots-clés:** la productivité, les cotisations, la modernisation, les techniques, les performances.

## Modeling Water Budget for Groundwater Irrigated Semi-Arid Systems in India

### Le Modelage Du Budget De L'eau Pour Les Systèmes Semi-Arid En Inde Irrigés En Eau Souterraine

D. Upadhyaya, M. Sekhar, M. Sudhakar Rao <sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Water productivity and improved irrigation efficiency are important in groundwater irrigated systems in India due to declining groundwater levels and impacts to ecosystem. In the present work, we present a simple yet a novel approach to analyse the crop-water productivity (CWP) using soil moisture (SM) sensing and applying models to understand processes in vadose zone. The complex processes in vadose zone need knowledge of water transport and interaction of water with the growing crop. In this study we use Hydrus\_1D to simulate water transport which solves Richards' equation but considers crop as a static growth parameter. Hence STICS model was coupled to input more realistic crop growth parameters during simulations.

The SM observation from Hydra Probe are matched with Hydrus\_1D to get an idea about irrigation happening at the field site. During good rainfall year 2014 the Hydrus\_1D was calibrated under no irrigation scenario. Since there was less rain during 2015 and 2016 the model was run and the SM deficit between observed and simulated gave an idea about irrigation at the site. Well yield data and electricity data given total quantity of water extracted on that day. SM was used to calculate irrigation applied every day and the area of application which is very difficult to find. The presented approach is a step towards understanding improved agricultural water management, increasing irrigation efficiency, protecting ground water resources and overall moving towards the government policy of "more crop per drop".

**KEY WORDS:** Soil Moisture, Crop water productivity, Hydra Probe, Soil Moisture deficit, Hydrus\_1d, STICS, irrigation quantity, area under irrigation.

#### RÉSUMÉ

La productivité de l'eau et l'efficacité améliorée de l'irrigation sont importantes dans les systèmes irrigués des eaux souterraines en Inde en raison de la baisse des niveaux d'eau souterraine et des conséquences sur l'écosystème. Dans ce travail, nous présentons une approche simple mais novatrice pour analyser la productivité de la culture-eau (CWP) en utilisant la détection de l'humidité du sol (SM) et l'application de modèles pour comprendre les processus dans la zone vadose. Les processus complexes dans la zone vadose ont besoin de la connaissance sur le transport de l'eau et l'interaction de l'eau avec la culture en croissance. Dans cette étude, nous utilisons Hydrus\_1D pour simuler le transport de l'eau qui résout l'équation de Richards mais qui considère la culture comme un paramètre de croissance statique. Par conséquent, le modèle STICS a été couplé pour entrer des paramètres de croissance des cultures plus réalistes au cours des simulations.

L'observation SM de la sonde Hydra correspond à Hydrus\_1D pour avoir une idée de l'irrigation sur le terrain. Pendant la bonne pluviométrie de l'année 2014, Hydrus\_1D a été étalonné dans un scénario sans irrigation. Comme il y avait moins de pluie en 2015 et 2016, le modèle a

<sup>1</sup> The authors are, respectively, the Ph. D. scholar and research staff in the Depart of Civil Engg., Indian Institute of Science, Bangalore, 560012, India

été exécuté et le déficit de SM entre l'observé et le simulé a donné une idée de l'irrigation sur le site. Des données sur le rendement des puits et des données sur l'électricité, compte tenu de la quantité totale d'eau extraite ce jour-là. Le SM a été utilisé pour calculer l'irrigation appliquée tous les jours et la zone d'application qui est très difficile à trouver. L'approche présentée est une étape vers la compréhension de la gestion l'améliorée de l'eau agricole, l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation, la protection des ressources en eaux souterraines et l'évolution générale vers la politique gouvernementale de «plus de récolte par goutte».

Mots clés: l'humidité des sols, la productivité de l'eau des cultures, la sonde Hydra, le déficit d'humidité des sols, hydrus\_1d, STICS, la quantité d'irrigation, le zone sous irrigation.

## Blue and Green Water Footprint Evaluation for Five Crops in the Irrigation District 023 San Juan Del Río

### Évaluation De L'empreinte Hydrique Bleue Et Verte De Cinq Cultures Dans Le District D'irrigation 023 San Juan Del Río

Eduardo Alexis Cervantes Carretero<sup>1</sup>, Marlene Lagunas Herrera<sup>2</sup>,  
Raquel Barajas Lemus<sup>1</sup> and Mario López Pérez<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Water is the most valuable resource in the world, but is used in an unsustainable manner. In Mexico, the need for an efficient use of water has risen, and it is through planning and management that water security and sustainability can be achieved. To know where we're standing and which direction we should focus our efforts we can use an indicator that measures the volume of water used to produce goods and services: The Water Footprint.

Water Footprint is an indicator that considers the direct and indirect use of water by a consumer or a producer. The Water Footprint concept was created by Dr. Arjen Y. Hoekstra in 2002, and since then spread by Water Footprint Network (WFN). The agricultural sector is the major consumer of this resource (77% of the total amount extracted (DOF, 2014)).

In most cases, this is due to current irrigation practices that use more water than necessary, such as flood irrigation, as a consequence of the lack of technification and an efficient conduction and distribution not yet achieved. For these reasons, the need to quantify the water used in irrigation districts has arrived with the objective of promoting an efficient use in such volumes compared to the real water requirement of each crop, which is given by the Water Footprint. An example of this is presented in the current article, where the calculus for the Blue and the Green Water Footprint is shown for five crops in the Irrigation District 023 San Juan del Río.

**KEY WORDS:** Water Footprint, Irrigation District, Efficient Use.

#### RÉSUMÉ

L'eau est la ressource la plus précieuse de la planète, elle est essentielle à toutes les formes de vie. Cependant, au cours des ces dernières années, dans le monde entier, on l'a utilisé de façon intenable. Au Mexique, la nécessité de prendre des mesures qui assurent l'utilisation efficace de l'eau a vu le jour; et c'est grâce à des outils de planification et de gestion qu'on pourra assurer la sécurité et le développement durable du secteur hydrique du Mexique. Pour savoir où on est et où on doit diriger les efforts, on peut utiliser un indicateur qui mesure le volume d'eau utilisé pour produire des biens et des services: L'empreinte hydrique (EH).

L'empreinte hydrique est un indicateur qui tient compte de l'utilisation directe et indirecte de l'eau par un consommateur ou un producteur. Le concept d'empreinte hydrique a été créé par le Dr. Arjen Y. Hoekstra en 2002 et, depuis lors, diffusé par Water Footprint Network (WFN). Le secteur agricole est le principal consommateur de cette ressource (77% du total extrait (DOF, 2014)).

1 Mexican Institute of Water Technology, Water Specialist, alexis\_cervantes@tlaloc.imta.mx, rachelbarajas7@gmail.com, mariolopezperez@tlaloc.imta.mx, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec, Morelos, México.

2 Technological Institute and of Superior Studies of Monterrey, Bachelor student, marlagherr@gmail.com, Autopista del Sol km. 104, Xochitepec, Morelos, México.



Dans la plupart des cas, cela est dû à des pratiques d'irrigation qui utilisent plus d'eau que nécessaire, comme par exemple l'irrigation par inondation, comme une conséquence de la manque d'une conduction et d'une distribution efficaces, aussi bien que la manque de modernisation de l'irrigation. Pour ces raisons, on a besoin de quantifier l'eau utilisée dans les districts d'irrigation, avec l'objectif de promouvoir une utilisation efficace de ces volumes d'eau par rapport à l'exigence réel d'eau de chaque culture agricole, qui est donné par l'empreinte hydrique. Un exemple de cela est exposé dans cet article, où le calcul de l'Empreinte Hydrique Bleue et Verte est présenté pour cinq cultures dans le district d'irrigation 023 San Juan del Río.

## Evaluation of Return Ratios for Irrigation Water Using a Watershed Hydrological Model

L'évaluation Des Rapports De Retour Pour L'eau D'irrigation Utilisant Un Modèle Hydrologique De Bassin Hydrographique, Avec Des Représentations Détaillées Du Détournement Et De La Répartition De L'eau

Takeo Yoshida<sup>1</sup>, Mariko Miyajima<sup>2</sup>, Koji Morita<sup>2</sup>, Kaoru Murayama<sup>2</sup>,  
Norio Nawa<sup>1</sup> and Takao Masumoto<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Water-flow in watersheds containing extensive areas of irrigated paddies are complex because of the substantial volumes—and repeated cycling—of water diverted from and returned to streams. Quantifying the return flow is essential for managing low-flow conditions of streams; however, our understanding of return flow is still limited owing to a lack of continuous observations of streamflow draining from irrigated areas and the difficulty of separating the stream flow into precipitation- and irrigation-derived components. We used a process-based hydrological model to estimate the return ratio of diverted water in a watershed containing extensive areas of irrigated rice. The average estimated return ratios were 70.8%, 63.7%, and 57.4% for the upper, middle, and lower irrigation areas, respectively, over a 17-year simulation period. The differences in return ratio between the three areas were explained by differences in the amount of water supplied to each area. With constant and sufficient water supply, the return ratios were relatively high with little variability between years, reflecting a low motivation of farmers to conserve water. Conversely, when water supply was more limited, the return ratios were lower and variable and tended to be more closely linked to the amount of water supplied, indicating that farmers were compelled to conserve water.

**KEY WORDS:** Irrigated paddies, Return flow, Watershed.

### RESUME

Le débit d'eau dans les bassins hydrographiques contenant de vastes étendues de rizières irriguées est complexe, en raison des volumes substantiels - et du cyclisme répété - de l'eau détournée et renvoyée vers les cours d'eau. La quantification du flux de retour est essentielle pour gérer les conditions d'écoulement à faible débit. Cependant, notre compréhension du flux de retour est encore limitée à cause de l'absence d'observations continues du drainage des cours d'eau dans les zones irriguées et de la difficulté de séparer le flux dans les composants dérivés de la précipitation et de l'irrigation. Nous avons utilisé un modèle hydrologique basé sur les procédés pour estimer le rapport de retour de l'eau détournée dans un bassin versant contenant de vastes étendues de riz irrigué. Les taux de rendement moyens estimés étaient de 70,8%, 63,7% et 57,4% pour les zones d'irrigation supérieure, moyenne et inférieure, respectivement, sur une période de simulation de 17 ans. Les différences parmi les taux de retour entre les trois zones ont été expliquées par des différences dans la quantité d'eau fournie dans chaque zone. Avec un approvisionnement en eau constant et suffisant, les rapports de retour étaient relativement élevés avec une faible variabilité entre les années, ce qui reflète une faible motivation parmi les agriculteurs pour conserver l'eau. À l'inverse,

<sup>1</sup> Regional Resources Department, Institute for Rural Engineering, NARO, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, Japan; E-mail: takeoys@affrc.go.jp

<sup>2</sup> Sansui Consultant Co. Ltd., Japan

lorsque l'approvisionnement en eau était plus limité, les taux de retour étaient plus faibles et plus variables et avaient tendance à être plus étroitement liés à la quantité d'eau fournie, indiquant que les agriculteurs étaient contraints de conserver l'eau.

**Mots-clés:** les rizières, le flux de retour, le bassin versant.

## From Water Foot Print to Energy Foot Print

### De L' Empreinte En Eau À L'empreinte En Énergie

Ignacio Sanchez Cohen<sup>1</sup>, G. Delgado Ramirez<sup>2</sup>, G. Esquivel Arriaga<sup>3</sup> and P. Bueno Hurtado<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

The water footprint of a country is defined as the total volume of water that is used to produce the goods and services consumed by its inhabitants. Nevertheless, to produce a unit of any product, energy is required and also to make available any amount of water energy is required as well. Here applies the physical concept of Energy Returned on Energy Invested (EROEI) which is the ratio between energy delivered versus energy required to deliver that energy. When this ratio is less than one the system becomes an "energy sink". In this paper we focuses on determining the energy footprint based on the blue water footprint of a dairy product in an extensive and intensive milk production system of northern Mexico that accounts for more than 250,000 cows and it is characterized for a high aridity index where evaporation exceeds ten times the annual average precipitation. Even though the EROEI concept applied here considers two types of energy: hydraulic expressed in kWhr (power /mechanical) and that of calories expressed in Kilocalories (considered as potential energy), the index may not be customized to discuss its value around the unit directly. Is up to the purpose of its use to set the optimal values considering that one kWhr = 859.845 kilocalories = 3.6 MJ. It is worth to mention that the water table is depleting on average at a rate of 2 m per year. Alternatives to improve this energy use includes increasing the irrigation efficiency, to maintain the pumping equipment and to change to less water demanding crops. Even though the EROEI concept applied here considers two types of energy: hydraulic expressed in kWhr (power /mechanical) and that of calories expressed in Kilocalories (considered as potential energy), the index may not be customized to discuss its value around the unit directly. Is up to the purpose of its use to set the optimal values considering that one kWhr = 859.845 kilocalories = 3.6 MJ. It is worth to mention that the water table is depleting on average at a rate of 2 m per year. Alternatives to improve this energy use includes increasing the irrigation efficiency, to maintain the pumping equipment and to change to less water demanding crops.

**KEY WORDS:** Water, energy, milk, system.

#### RESUME

L'empreinte en eau d'un pays est définie comme le volume total d'eau utilisé dans la production des biens et des services consommés par ses habitants. Néanmoins, pour produire une unité de produit, une énergie est nécessaire et pour mettre à disposition toute quantité de l'énergie, l'eau est également requise. Ici, s'applique le concept physique de l'Energie retournée sur l'Energie investie (EROEI) qui est le rapport entre l'énergie livrée par rapport à l'énergie nécessaire pour fournir cette énergie. Lorsque ce taux est inférieur à un, le système devient un «puits énergétique». Dans cet article, nous nous concentrons sur la détermination de l'empreinte en énergie basée sur l'empreinte en eau bleue d'un produit laitier dans un vaste et intensif système de production de lait au nord du Mexique qui représente plus de 250 000 vaches et se caractérise par un indice d'aridité élevé où l'évaporation dépasse dix fois la

<sup>1</sup> Researchers at the National Centre for Disciplinary Research on Water, Soil, plant and Atmosphere. National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research of Mexico

précipitation moyenne annuelle. Même si le concept EROEI appliqué ici considère deux types d'énergie: hydraulique exprimée en kWhr (puissance / mécanique) et calories exprimées en Kilocalories (considérée comme énergie potentielle), l'indice ne peut pas être personnalisé pour discuter directement de sa valeur autour de l'unité . Il vise à définir les valeurs optimales en considérant qu'un kWhr = 859,845 kilocalories = 3,6 MJ. Il convient de mentionner que la nappe phréatique épuise en moyenne au taux de 2 m par an. Des solutions alternatives pour améliorer cette consommation d'énergie comprennent l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation, le maintien du matériel de pompage et la modification apportée pour utiliser des cultures exigeant moins d'eau.

**Mots-clés:** Eau, énergie, lait, système.

## Design and Management of Drip Irrigated Valencia Oranges (*Citrus Sinensis* Osbeck) in Orán, Argentina

Conception Et Gestion D'irrigation Au Goutte À Goutte Des Oranges De Valence (*Citrus Sinensis* Osbeck) À Orán, Argentine

A. Pannunzio<sup>1</sup>, E. A. Holzapfel<sup>2</sup>, P. Teixeira Soria<sup>3</sup>, J. Tuma<sup>4</sup>, F. Dufour<sup>5</sup> and G. Demarco<sup>6</sup>

### ABSTRACT

Sound design procedures, efficient irrigation systems, proper management and operation of irrigation systems, and qualified and trained irrigation staff, are tools to improve crop water use efficiency. A seven-year experiment was conducted in Orán, Salta, Argentina, in a commercial crop of 270 ha of Valencia Orange. The soils of the area are composed of 9 % clay, 48 % silt and 43 % sand with one meter root depth. The objective is to measure the "on-farm water footprint", to know the water needed to produce each kg of fresh fruit. The crop was irrigated with a supplemental drip irrigation system. The drip system included two drip irrigation tubes per orange row, with 2,3 drippers each 75 cm. The system is fed with superficial water of an irrigation canal coming from de Blanco River. Rainfall regime is monsoon type, with about 1.000 mm per year of orographic-rainfalls concentrated in summer. It is usual to have rainfalls in the upper part of the basin, while the crop needed irrigation, but the high concentration of sediments impeded the economic filtration of the water for drip irrigation purposes.

Even though oranges require irrigation in some periods of spring and summer while some deficits occur, the irrigation system can't be operated when the has up to 26.860 p.p.m. of suspended solids, as we measured. The filtration system included a decantation pool in which an important proportion of sediments are decanted. After that stage, there is an automatic disk filtration systems with a venturi injector and a water meter, with which the daily irrigated volume is measured. The orange yield was 28,69; 31,70; 38,31; 42,81; 41,44, 41,60 and 46,71tons per ha from 2010 to 2016 respectively. Total blue, green and grey water used was 819, 715, 873, 454, 934, 961 and 902 mm for 2010 to 2016. As a result, the on-farm water footprint was 285, 225, 228, 106, 225, 231 and 193 litres of water per kg of Valencia Orange produced from 2010 to 2016.

**KEY WORDS:** irrigation, design, water management, water footprint, Valencia orange.

### RÉSUMÉ

De saines procédures de conception, des systèmes d'irrigation efficaces, une bonne gestion et opération des systèmes d'irrigation et un personnel de l'irrigation formé et qualifié sont des outils pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans la culture. Une expérience de sept ans a été menée à Orán, Salta, en Argentine, dans

1 Head Professor, University of Buenos Aires, Av. San Martin 4500, Buenos Aires, Argentina. Mobile: +549-11-5422-3000, Email: pannunzio@agro.uba.ar

2 Professor, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería. Casilla 537, Chillán, Chile, Mobile: +56-981290583, Email: eholzapf@udec.cl

3 Professor, University of Buenos Aires, Av. San Martin 4500, Buenos Aires, Argentina. Mobile: +549-11-6209-3000, Email: teixeira@agro.uba.ar

4 Eng, Ramón Tuma S.A., Ruta Provincial 50, Orán, Colonia Ayuí, Salta Argentina, Mobile: +549- 3878-53-1223, Email: javiertuma@hotmail.com

5 University of Buenos Aires, Av. San Martin 4500, Buenos Aires, Argentina, Email: dufour@agro.uba.ar

6 University of Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, Email: demarco@agro.uba.ar

une culture commerciale de 270 ha d'Orange de Valence. Les sols de la région sont composés de 9 % d'argile, 48 % de limon et 43 % de sable avec un mètre de profondeur de racine. L'objectif est de mesurer « l'empreinte de l'eau à la ferme », à savoir l'eau nécessaire pour produire chaque kg de fruits frais. La récolte a été irriguée par un système d'irrigation en goutte à goutte supplémentaire. Le système de goutte à goutte comprenait deux tubes d'irrigation goutte à goutte par la ligne orange, avec 2,3 goutteurs chacun 75 cm. Le système est alimenté avec de l'eau superficielle d'un canal d'irrigation provenant de la rivière de Blanco. Le régime pluvieux est de type mousson, avec environ 1 000 mm par an de pluies orographiques concentrées sur l'été. Il est habituel d'avoir des pluies dans la partie supérieure du bassin, tandis que la récolte avait besoin d'irrigation, mais la forte concentration des sédiments entravait la filtration économique de l'eau aux fins d'irrigation goutte à goutte. Même si les oranges nécessitent d'irrigation dans certaines périodes de printemps et en été, tandis que certains déficits se produisent, le système d'irrigation ne fonctionne pas lorsque l'a jusqu'à 26.860 p.p.m. de solides en suspension, comme nous avons mesuré. Le système de filtration inclus un bassin de décantation dans lesquels une proportion importante des sédiments sont décantés. Après cette étape, il y a un disque automatique des systèmes de filtration avec un injecteur venturi et un compteur d'eau, avec laquelle le quotidien irriguée volume est mesuré. Le rendement en orange était de 28,69; 31,70; 38,31; 42,81; 41,44, 41,60 et 46,71 tonnes par ha de 2010 à 2016 respectivement. Le total en eau bleue, verte et grise utilisées était de 819, 715, 873, 454, 934, 961 et 902 mm pour 2010-2016. Ainsi, l'empreinte de l'eau à la ferme était de 285, 225, 228, 106, 225, 231 et 193 litres d'eau par kg d'Orange Valencia produites entre 2010 et 2016.

**Mots clés :** conception, gestion de l'eau, empreinte sur l'eau, irrigation, orange de Valence.

## Assessment of Aquacrop Model for Simulating Wheat Production under different Irrigation Scenarios in Sonora, México

Évaluation Du Modèle Aquacrop Pour Simuler La Production De Blé Dans Différents Scénarios D'Irrigation À Sonora, Au Mexique

Minjares J.L.<sup>1</sup>, Obregon G.A.<sup>2</sup>, Felix J.A.<sup>3</sup> and Luis Alonso López Wiley<sup>4</sup>

### ABSTRACT

Water demand for irrigated agriculture, municipal and industrial consumption is increasing against limited fresh water resources in Sonora, Mexico. According to the SRES-A2 scenario, the annual precipitation will decrease by 21.26% and the annual temperature will increase in 3.57°C in this area. The less than 40% efficient irrigated agriculture in this region is the largest water user ( $\approx 85\%$ ) and is therefore under high pressure to increase water productivity. The goal of this research was to calibrate and validate the AquaCrop model developed by FAO under full and deficit irrigation scenarios and to apply it for simulating wheat production as a function of water consumption in Sonora, México. Field observations from a commercial cultivar planted during the agricultural year 2015-2016 and climatic data gathered from a local climatic station were used to calibrate and evaluate model performance in simulating canopy cover (CC), biomass production (B), harvest index (IC), water use efficiency (EA), and crop evapotranspiration ( $ET_c$ ). Irrigation field strategies were divided in: full irrigation scenario (4 irrigations), and deficit irrigation scenario (3 irrigations) with the purpose to introduce water stress at the end of the crop cycle.

For model calibration, field data from the full scenario were used. Model outputs were compared with field observations and statistical indicators for root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient (EF<sub>c</sub>), Willmott's index of agreement (d) and Pearson correlation coefficient (r) were obtained. Statistics for canopy cover RMSE (% CC) = 5.9,  $EF_{cc} = 0.98$ ,  $d_{cc} = 0.99$  and  $r = 0.99$  and for water use efficiency RMSE (mm water) = 15.1,  $EF_w = 0.85$ ,  $d_w = 0.96$  and  $r = 0.93$  suggest that the model prediction is excellent under non-stressed water scenarios. Statistics obtained from the comparison of observed and simulated results under water deficit scenario also suggest that the model prediction is good under moderate water stress conditions. Observed harvest index ( $HI_o$ ) was 51% and the simulated  $HI_s = 48\%$ . Simulated ET water productivity under the water stress scenario was 2.11 kg (yield) per m<sup>3</sup> water evapotranspired slightly superior to the full scenario. Results obtained in this research suggest good model reliability.

**KEY WORDS:** Aquacrop, water efficiency, Sonora.

- 1 Coordinador de Distritos de Riego, OCNO, Conagua, Hidalgo y Sinaloa, Ciudad Obregón, Sonora, México, E-mail: jose.minjares@conagua.gob.mx , Tel: +52-6441270223.
- 2 Gerente de Unidades de Riego, Conagua, Av. Insurgentes Sur No. 2416, Piso 7 Ala Poniente, Col. Copilco El Bajo, Delegación Coyoacán, CP 04340, México, D.F, E-mail: gustavo.obregon@conagua.gob.mx Tel: +52-555174 41 52.
- 3 Coordinador del programa RIGRAT en Sonora, SMH, Calle Miguel Hidalgo S/N, Vicam, Sonora, Mexico, E-mail: joseangel58@hotmail.com, Tel:+52-6623005760.
- 4 Especialista Técnico del programa RIGRAT en Sonora, SMH, Calle Miguel Hidalgo S/N, Vicam, Sonora, Mexico, E-mail: luis.lwiley@gmail.com, Tel:+52-6681301134



## RESUME

La demande en eau pour l'agriculture irriguée, la consommation municipale et industrielle augmente par rapport aux ressources limitées en eau douce à Sonora, au Mexique. Selon le scénario SRES-A2, les précipitations annuelles diminueront de 21,26% et la température annuelle augmentera de 3,57° C dans cette zone. L'agriculture irriguée de moins de 40% dans cette région est le plus grand utilisateur d'eau ( $\approx 85\%$ ) et reste donc dans les conditions de pression élevée d'augmenter la productivité de l'eau. L'objectif de cette recherche était d'étalonner et de valider le modèle AquaCrop développé par la FAO dans les scénarios d'irrigation complets et déficients et de l'appliquer pour simuler la production de blé en fonction de la consommation d'eau à Sonora, au Mexique. Les observations sur le terrain d'un cultivar commercial planté au cours de l'année agricole 2015-2016 et les données climatiques recueillies à partir d'une station climatique locale ont été utilisées pour étalonner et évaluer les performances du modèle dans la simulation du couvert forestier (CC), de la production de biomasse (B), de l'indice de récolte (IC), l'efficacité de l'utilisation de l'eau (EA) et l'évapotranspiration des cultures (ETc). Les stratégies de terrain d'irrigation ont été divisées en: scénario d'irrigation complet (4 irrigations) et scénario d'irrigation déficitaire (3 irrigations) dans le but d'introduire le stress hydrique à la fin du cycle de récolte.

Pour l'étalonnage du modèle, les données de terrain du scénario complet ont été utilisées. Les résultats des modèles ont été comparés aux observations de terrain et aux indicateurs statistiques pour l'erreur quadratique moyenne (RMSE), le coefficient d'efficacité du modèle Nash-Sutcliffe (EFc), l'indice d'accord de Willmott (d) et le coefficient de corrélation de Pearson (R). Les statistiques pour le couvert forestier RMSE (% CC) = 5,9, EFcc = 0,98, dcc = 0,99 et r = 0,99 et pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau RMSE (mm d'eau) = 15,1, EFw = 0,85, dw = 0,96 et r = 0,93 constatent que la prévision du modèle est excellente dans les scénarios d'eau sans stress. Les statistiques obtenues à partir de la comparaison des résultats observés et simulés dans un scénario de déficit hydrique constatent également que la prédiction du modèle est bonne dans les conditions de stress hydrique modérées. L'indice de récolte observé (Hlo) était de 51% et les HI simulés était de 48%. La productivité de l'eau ET simulée dans le scénario de stress hydrique était de 2,11 kg (rendement) par m<sup>3</sup> d'eau évaporée légèrement supérieure au scénario complet. Les résultats obtenus dans cette recherche proposent une bonne fiabilité du modèle.

**Mots-clés :** Aquacrop, efficacité de l'eau, Sonora.

## Performance Indicators to Support Mexican Public Policy in the Hydroagricultural Sector

### Indicateurs De Rendement Pour Soutenir Les Politiques Publiques Mexicaines Dans Le Secteur Hydro-Agricole

Parra C. Marco A.<sup>1</sup>, Argueta S. Jorge A.<sup>2</sup>and Colchero G. Jorge<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Agriculture in Mexico faces major challenges of water scarcity, pollution, aquifer overexploitation, climate variability and change, and competition with non-agricultural sectors. The Agricultural Sector uses 77% of the total volume of consumptive water on 7.2 million hectares with irrigation infrastructure, 3.3 million of which are located in 86 irrigation districts (IDs).

IDs are located in arid and semi-arid areas, where the possibility of increasing the area under irrigation is very limited, so it is essential to make an efficient use of the water resources to face the problem of scarcity and uncertainty in the availability of water for irrigation. In this regard, the monitoring and evaluation of the performance of the management of irrigation areas is crucial in an environment of greater competition for finite resources such as water, soil, and energy. This paper presents an analysis of the spatial and temporal variation of several performance indicators of the irrigation districts in the country. Said indicators are very useful for monitoring and evaluating the performance of hydro-agricultural programs of the National Water Commission.

Historical series of agricultural production volumes and of water used in the irrigation districts during 27 agricultural years (1989-1990 to 2015-2016), were used. The studied performance indicators were estimated both spatially and temporally.

One of the performance indicators of irrigation areas most widely used is the indicator of water productivity, which varies depending on the source of supply, main crops, climatic conditions, system of on-farm irrigation, on land characteristics, and on the distribution network, among other factors. In the analyzed time period, water productivity in Irrigation Districts has increased from 1.37 kg /m<sup>3</sup> to 1.85 kg /m<sup>3</sup>, which represents a 35.0% increase. Other physical and economic indicators of the order of 33.9 ton/ha, \$ 5.65 /m<sup>3</sup> and 47,000 \$/ ha have been obtained.

**KEY WORDS:** Irrigation systems, Performance indicators, Mexico, irrigation public policy.

#### RÉSUMÉ

L'agriculture au Mexique fait face à des défis majeurs de la rareté de l'eau, la pollution, la surexploitation de l'aquifère, la variabilité du climat et les changements et la concurrence avec les secteurs non agricoles. Le secteur agricole utilise 77 % du volume total d'eau consommée sur 7,2 millions d'hectares avec l'infrastructure d'irrigation, 3,3 millions qui se trouvent dans 86 districts d'irrigation (ID).

1 Deputy Director General for Hydrological Infrastructure. National Water Commission. Insurgentes sur 2416 Col. Copilco el Bajo, Coyoacán, Mexico City, 04340, E-mail: marco.parra@conagua.gob.mx

2 Deputy Operations Manager of the National Irrigation Districts. National Water Commission. Insurgentessur Col. Copilco bass, Coyoacán, Mexico City, 04340, E-mail: jorge.argueta@conagua.gob.mx

3 Project head of Irrigation planning and Supervision. National Water Commission. Insurgentes sur 2416 Col. Copilco el Bajo, Coyoacán, Mexico City, 04340, E-mail: jorge.colchero@conagua.gob.mx

Les ID se trouvent dans des zones arides et semi-arides, où la possibilité d'augmenter la superficie irriguée est très limitée, il est donc essentiel de faire une utilisation efficace des ressources en eau pour faire face au problème de rareté et d'incertitude dans la disponibilité d'eau pour l'irrigation. À cet égard, le suivi et l'évaluation de la performance de la gestion des zones d'irrigation est cruciale dans un contexte de concurrence accrue pour les ressources limitées comme l'eau, le sol et l'énergie. Cet article présente une analyse de la variation spatiale et temporelle de plusieurs indicateurs de performance des districts d'irrigation du pays. Ces indicateurs sont très utiles pour suivre et évaluer le rendement des programmes hydro agricoles de la Commission nationale de l'eau.

La série historique des volumes de production agricole et de l'eau utilisée dans les districts d'irrigation pendant 27 ans agricoles (1989-1990 à 2015-2016), ont été utilisés. Les indicateurs de performance étudiés ont été estimées spatialement et temporellement.

L'un des indicateurs de performance des zones d'irrigation le plus largement utilisés est l'indicateur de la productivité de l'eau, qui varie en fonction de la source d'approvisionnement, les principales cultures, les conditions climatiques, système d'irrigation à la ferme, sur les caractéristiques de la terre et sur le réseau de distribution, entre autres facteurs. Durant la période analysée, la productivité de l'eau dans les Districts d'Irrigation a augmenté de 1,37 kg/m<sup>3</sup> à 1,85 kg/m<sup>3</sup>, ce qui représente une augmentation de 35,0 %. Les autres indicateurs physiques et économiques de l'ordre de 33,9 tonnes / ha, 5,65 \$ / m<sup>3</sup> et 47 000 \$/ ha ont été obtenus.

**Mots clés :** Systèmes d'irrigation, Performance indicateurs, Mexique, politiques publiques d'irrigation.

## Correlations of Water Footprint and Climatic Variables of Sugarcane in Eastern Thailand

### Corrélations De L'empreinte Sur L'eau Et Des Variables Climatiques De Canne À Sucre Dans Le Nord-Est De La Thaïlande

Khanittha Chaibandit<sup>1</sup>, Supasit Konyai<sup>2</sup> and Khanita Kamwilaisak<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Despite the high precipitation in the eastern region of Thailand, its topographic drawback make its water resources scarce. Four sugar factories in the region require good supply of sugarcane which is the cause of ever increasing sugarcane planting in the areas. For sustainability and effectiveness of water resource management in relation to sugarcane production, its water footprints (WFs) were investigated. By using the data of cane growing during 2013-2014, we found the average total WF of 178.3 m<sup>3</sup>/ton of cane and green, blue, and grey WF of 129.6, 17.6, and 31.1 m<sup>3</sup>/ton, respectively. The very low blue to green WF ratio indicates it is beneficial of sugarcane planting in the East. Since other water use sectors are more important than sugarcane, cane planting areas cannot be extended. By comparing to northern region and the global planting, total and blue WF of the East are the least but its grey WF is the largest. We found correlations of WFs and climatic variables including rainfall, maximum and minimum temperature. The very low mean ratio of  $WF_{blue}$  to  $WF_{green}$  (0.14) highlights reasonable depth and frequency of rainfall of the region. The lowest of  $WF_{blue}$  to  $WF_{green}$  ratio is of Chanthaburi where it has the highest rainfall of 2969.8 mm. Good correlation of WFs with climatic variables are  $WF_{green}$  with rainfall (0.708),  $WF_{blue}$  with maximum temperature (0.707), and  $WF_{grey}$  with maximum temperature (-0.637).

**KEY WORDS:** Sugarcane, Water footprint, Eastern Thailand, Water management.

#### RÉSUMÉ

Malgré les fortes précipitations dans la région orientale de la Thaïlande, son inconvénient topographique rend ses ressources en eau limitées. Quatre usines sucrières dans la région nécessitent un bon approvisionnement en canne à sucre, qui est la cause de plus en plus de plantations de canne à sucre dans la région. Pour la durabilité et l'efficacité de la gestion des ressources en eau en ce qui concerne la production de canne à sucre, son empreintes de de l'eau (WF) a été étudiée. En utilisant les données de croissance de la canne en 2013-2014, nous avons trouvé le WF total moyen de 178,3 m<sup>3</sup> / tonne de canne à sucre et de vert, bleu et gris WF de 129,6, 17,6 et 31,1 m<sup>3</sup> / tonne, respectivement. Le ratio très faible du WF bleu sur le vert indique que les plantations de canne à sucre sont bénéfiques dans l'est. Les autres domaines d'utilisation de l'eau étant plus importants que la canne à sucre, des zones de plantation de canne ne peuvent être prolongées. Si vous comparez à la région du Nord et la plantation global, WF total et bleu de l'est sont au minimum, mais sa WF gris est le plus important. Nous avons trouvé des corrélations entre WF et les variables climatiques, y compris les précipitations, températures maximales et minimales. Le ratio moyen très faible de WF bleu à WF vert (0,14) met en évidence une profondeur raisonnable et la fréquence des précipitations de la région. Le ratio le plus bas WFbleu à WFvert est à Chanthaburi,

1 PhD. student in Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand.

2 Asst. Prof. in Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand, E-mail: supako@kku.ac.th

3 Asst. Prof. in Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand.

où il a les précipitations les plus élevées sont de 2 969,8 mm. La bonne corrélation du WF avec variables climatiques est WFvert avec des précipitations (0.708), WFbleu à température maximale (0.707) et WFgris à température maximale (-0.637).

**Mots clés** : Canne à sucre, gestion de l'eau de l'empreinte, nord-est de la Thaïlande, l'eau.

## Projection of Irrigation Requirement and Virtual Water of Wheat and Maize Under RCP Climate Change Scenarios (Case Study: Ghazvin Region, Iran)†

Scenarios De Changement De Projection Des Besoins De L'irrigation  
Et L'eau Virtuelle De Ble Et De Maïs Sous Climat RCP (Etude De Cas :  
Region De Ghazvin, Iran)

Nozar Ghahreman<sup>1</sup>, and Mehdi Helmi

### ABSTRACT

The aim of this research is projection of climate change impacts on Irrigation Water Requirement (IWR) and water used to produce per unit of crop, or Virtual water content (VW) of two major crops of wheat and maize in Ghazvin province, Iran. Study consists two sections. In part one, trend analysis of meteorological variables was performed to detect the climate change in baseline period. In second part, the irrigation water requirement of two crops under RCP scenarios (IPCC Fifth Assessment Report) during period of 2010-2100 for the only station in the region having long record of data, i.e. Ghazvin station was determined. For this purpose, the changes in length of growing season based on GDD values were estimated. By choosing new date of sowing, temperature, rainfall and evapotranspiration (ET) during projected growing season were determined. Finally, the irrigation water requirement was calculated by deducting effective rainfall from evapotranspiration. The climate projections of EC-EARTH global climate model which were dynamically downscaled and calibrated using observed data were used in this study. After calibrating, the changes of temperature, precipitation, crop evapotranspiration and length of growing period of two crops were worked out using different dates of sowing. The results of study showed that the amount of temperature and evapotranspiration would increase in study station. The growing season would become shorter in study station 15 and 40 days for wheat and maize respectively. Evapotranspiration of wheat would increase 45 and 115 mm in RCP 4.5 and 8.5 scenarios by 2100. Corresponding raise of ET for maize is projected to be 155 and 200 mm for those scenarios respectively. Considering the future climatic conditions of the region, temperature and precipitation changes together can cause negative effects on crops yield and higher VW.

**KEY WORDS:** Climate Change, RCP scenario, Irrigation requirement, Iran.

### RÉSUMÉ

Le but de cette recherche est la projection des impacts du changement climatique sur l'exigence de l'eau d'irrigation (IWR) et de l'eau utilisée pour produire par unité de culture, ou de teneur en eau virtuelle (VW) des deux principales cultures de blé et de maïs dans la province de Ghazvin, Iran. L'étude se compose de deux sections. Dans la première partie, l'analyse des tendances des variables météorologiques a été effectuée afin de détecter les changements climatiques pour la période de référence. Dans la deuxième partie, les besoins en eau d'irrigation de deux cultures dans le cadre de scénarios de RCP (cinquième rapport d'évaluation de l'IPCC) au cours de la période de 2010-2100 pour la seule station dans la région de long enregistrement de données, c'est-à-dire Station de Ghazvin a été déterminée. À cette fin, les variations de longueur de la saison de croissance basée sur les valeurs de GDD ont été estimées. En choisissant la nouvelle date de semis, la température, des précipitations et l'évapotranspiration (ET) au cours de la saison de croissance projeté ont été

1 Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran, nghahreman@ut.ac.ir

2 MSc Graduate of Agrometeorology, University of Tehran, Iran

déterminées. Enfin, les besoins en eau d'irrigation a été calculée en déduisant la pluie efficace d'évapotranspiration. Les projections climatiques du modèle climatique mondial EC-EARTH qui ont été réduites dynamiquement et étalonnées à l'aide des données observées ont été utilisées dans cette étude. Après le calibrage, les changements de température, précipitations, recadrer évapotranspiration et durée de la période de croissance des deux cultures ont été élaborées à l'aide de différentes dates de semis. Les résultats de l'étude ont montré que la quantité de température et de l'évapotranspiration augmenteraient dans la station de l'étude. La saison de croissance deviendrait plus courte dans la station d'étude 15 et 40 pour le blé et le maïs respectivement. L'évapotranspiration de blé augmenterait 45 et 115 mm de RCP 4,5 et 8,5 scénarios de 2100. L'augmentation correspondante de ET pour le maïs devrait pour être respectivement 155 et 200 mm pour ces scénarios. Si l'on considère les futures conditions climatiques de la région, les changements de température et de précipitations ensemble peuvent causer des effets négatifs sur le rendement de cultures et VW plus élevé.

**Mots clés :** Changement climatique, scénario RCP, exigence de l'Irrigation, Iran.

## Technical Improvement of Surface Irrigation in Nayarit State, Mexico

### Technicisation De L'irrigation Gravitaire Dans L'état De Nayarit, Mexique

Jesús Enrique Vázquez-Lizárraga<sup>1</sup>, Felipe Zataráin<sup>2</sup> and Carlos Fuentes<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Of the total irrigated area of 116,230 ha in Nayarit state, Mexico; 52,717 ha is in the irrigation district (ID) 043, and the rest are in 401 small IDs, situated in the hydrologic-administrative regions North Pacific and Lerma-Santiago-Pacific. The irrigated area will increase by 43,000 ha with the Centenario canal Project. Mexican government, through National Water Commission (CONAGUA) has carried out the improved surface irrigation project (RIGRAT), with the objective of increasing the irrigation application efficiency in the plots. The RIGRAT is based on several studies using modeling tools and hydrodynamic soil characterization methodologies. The studies have shown that an adequate surface irrigation design allows high water application efficiencies. The first stage of the technical improvement of surface irrigation in the state of Nayarit has contemplated the incorporation of 2,000 ha to the RIGRAT project, located in the irrigation module on the right bank of the Santiago river. The main crops in this area are sugar cane, rice, grass, banana, corn and mango. In order to elaborate the designs of irrigation, the main activities of topographic surveys, hydrodynamic characterization of soils and inverse mathematical modeling were done. Potential results are exemplified by a plot of 34 ha planted with banana. With a flow of 34 l s<sup>-1</sup>, the modification in the design implied a reduction of the irrigation time of 21 to 15 days. In the case of the right bank of the Santiago river, technically superior fixed gravity irrigation is also an option for the farmer who acquires the services of a portable sprinkler irrigation system to irrigate his parcel. For sprinkler irrigation, users rent equipment and the approximate cost is 100 usd/ha/irrigation. This is a substantial percentage of production costs and sometimes crops are cultivated in water deficit due to the lack of resources of the farmer. The efficiencies achieved with gravity irrigation are of the same order of magnitude as those of portable sprinkler irrigation with costs equivalent to 10 percent. These results have motivated the consideration of a second stage of the project which contemplates similar action on another 4,000 ha.

**Keyword:** tropical crops, soil hydraulic properties, surface irrigation design.

#### RÉSUMÉ

La superficie irriguée dans l'état de Nayarit, au Mexique, situé sur les régions hydrologique-administratives du Pacifique Nord et Lerma-Santiago-Pacifique est de 116.230 ha, dont 52.717 ha appartiennent au périmètre irrigué 043 « État de Nayarit » et le reste à 401 petites unités d'irrigation réparties sur le territoire de l'état. La surface sera augmentée avec la construction du canal « Centenaire » qui permettra l'intégration de 43.000 ha supplémentaire à l'irrigation. En général, comme le reste du pays, dans l'état de Nayarit prédomine l'irrigation gravitaire avec de faible efficacité d'application de l'eau. Le gouvernement fédéral mexicain à travers de la Commission Nationale de l'Eau (CONAGUA, appelée par son acronyme espagnol) a mis en œuvre dans le pays le projet d'Irrigation Gravitaire Technicisée (RIGRAT, appelée par son acronyme spagnol) afin d'accroître l'efficacité de l'application de l'irrigation dans les parcelles. Le projet RIGRAT est basé sur plusieurs études utilisant des outils de modélisation et de méthodologies de caractérisation hydrodynamique des sols dans lesquels il a été

1 Comisión Nacional del Agua. Av. Insurgentes 1050 Oriente, Col. Menchaca, Tepic, Nayarit, C.P. 63150. E mail: [jesus.vazquezli@conagua.gob.mx](mailto:jesus.vazquezli@conagua.gob.mx)

2 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac Núm. 8532 Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550. E mail: [zatarainf@gmail.com](mailto:zatarainf@gmail.com); [cbfuentesr@gmail.com](mailto:cbfuentesr@gmail.com)



démontré que la conception appropriée de l'irrigation est essentielle pour une application efficace de l'eau. Une première étape de la modernisation de l'irrigation dans l'état de Nayarit a commencé avec 2.000 ha. Cette surface est située dans un module d'irrigation sur la rive droite de la rivière Santiago et les principales cultures sont la canne à sucre, le riz, le pâturage, les bananes, le maïs et la mangue. Pour développer des conceptions d'irrigation ont été faites les principales activités de topographie, caractérisation hydrodynamique du sol et la modélisation mathématique inverse sur des données de test d'irrigation menées à cet effet. Les résultats potentiels sont illustrés sur une parcelle de 34 hectares avec la culture de la banane. Avec un débit de 37 ls-1, la modification de la conception a permis une diminution du temps d'arrosage de 21 à 15 jours. Dans le cas de la rive droite de la rivière Santiago l'irrigation gravitaire technicisée s'érige également comme une option pour l'agriculteur qui acquiert les services d'un système d'aspersion portable pour irriguer sa parcelle. Dans ce module d'irrigation, les usagers de l'eau louent des systèmes portables d'irrigation pressurisés dont le coût est d'environ 100 usd/ha/arrosage, ce qui signifie un pourcentage important des coûts de production et parfois les cultures sont cultivées dans le déficit en eau par manque de ressources de la part de l'agriculteur. L'efficacité de l'application obtenue avec l'irrigation gravitaire est du même ordre de grandeur que celle des systèmes portables mais avec un 10% des coûts de ces systèmes. Ces résultats ont motivé la mise en œuvre d'une deuxième étape du projet portant sur la modernisation d'une surface supplémentaire de 4.000 ha et même considérer que l'irrigation gravitaire est recommandé pour des usagers de l'eau qui ne disposent pas d'autres systèmes d'irrigation et que par conséquent ils doivent payer le loyer des systèmes d'irrigation par aspersion portables.

**Mots clés:** les cultures tropicales, les propriétés hydrauliques du sol, la conception de l'irrigation gravitaire.

## Irrigation Water Productivity of Wheat and Barley in ID<sup>1</sup> 011 Alto Río Lerma, Guanajuato, Mexico

Productivite De L'eau D'irrigation De Ble & Orge Dans  
L'ID 011 Alto Rio Lerma, Guanajuato, Mexique

Juan Manuel Angeles-Hernández<sup>2</sup>; Helene Unland Weiss<sup>3</sup>; Vertario Trejo Segura<sup>4</sup>  
María Dolores Olvera Salgado<sup>5</sup>

### ABSTRACT

Crop water productivity (WP) is a key factor for evaluating water use efficiency in food production. In order to improve the WP, one has to increase the crop yield or reduce the irrigation water losses. In Mexico, more than 90% of the irrigated crops is watered using gravity-fed irrigation, which is not very efficient. Considering the large scale use of gravity-fed irrigation, the Mexican government, through its National Water Commission, has implemented and is following up on a technically improved gravity irrigation (RIGRAT) which stipulates a more rational irrigation water utilization on the plot level and above all, generating a culture focused on water savings. For successfully adopting this method, it is important to quantify the applied irrigation depths and crop yields to determine WP. During the present study, irrigation water depths applied to the crops planted in a total area of 8,106 ha, corresponding to 2,412 farmers organized in eight Irrigation Users Civil Associations were determined for the Fall-Winter seasons in the agricultural years 2014-2015 and 2015-2016. More than 700 measurements were taken to determine average irrigation flow and volumes of water supplied to each field plot to quantify the gravity-fed irrigation water productivity (WP). From these measurements, technical indicators for the agricultural irrigation water usage levels were deduced.

Study results show that for the agricultural year 2014-2015, an area of 5,916 ha of wheat and barley, representing 94.4% of the total cropped area had a cumulative irrigation depth of 690.4 mm applied with 3.2 irrigation events on average, producing a mean yield of 5.4 tons/ha for wheat and barley and a WP of 0.80 kg/m<sup>3</sup>. Similarly, for the agricultural year 2015-2016, and for the same two crops, the WP was 0.89 kg/m<sup>3</sup>. The conclusions resulting from this study allow us to realize the importance of applying lower irrigation depths while at the same time improving crop yields to produce more with a reduced irrigation water usage.

**KEY WORDS:** Irrigation depth, crop yield, gravity-fed irrigation.

### RÉSUMÉ

La productivité de l'eau agricole (WP : Water Productivity) est un facteur clé pour évaluer l'efficacité d'utilisation de l'eau dans la production alimentaire. Afin d'améliorer le WP, il faut augmenter le rendement des cultures ou de réduire les pertes d'eau d'irrigation. Au Mexique, plus de 90 % des cultures irriguées sont arrosées à l'aide de l'irrigation gravitaire, qui n'est pas très efficace. Compte tenu de l'utilisation à grande échelle de l'irrigation gravitaire, le

1 ID stands for Irrigation District.

2 Water Technologist.Mexican Institute of Water Technology (IMTA).PaseoCuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: jangeles@tlaloc.imta.mx. &Corresponding autor.

3 Water Technologist.Mexican Institute of Water Technology (IMTA).Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: [helene@tlaloc.imta.mx](mailto:helene@tlaloc.imta.mx).

4 National Water Commission, Irrigation District 011, in Alto Río Lerma, Guanajuato.

5 Water Technologist.Mexican Institute of Water Technology (IMTA).PaseoCuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México. 62550. E-mail: [dolvera@tlaloc.imta.mx](mailto:dolvera@tlaloc.imta.mx).

gouvernement mexicain, par l'intermédiaire de sa Commission nationale de l'Eau, a mis en place et assure le suivi d'une irrigation de gravité améliorée techniquement (RIGRAT) qui prévoit une utilisation plus rationnelle de l'eau d'irrigation sur l'échelle de la parcelle, et surtout, générant une culture axée sur les économies d'eau. Pour l'adoption réussie de cette méthode, il est important de quantifier les profondeurs d'irrigation appliquée et des rendements de récolte pour déterminer le WP. Au cours de la présente étude, profondeur de l'eau d'irrigation appliquée aux cultures plantées sur une superficie totale de 8 106 ha, correspondant à 2 412 agriculteurs organisés en huit Associations civiles de Irrigation utilisateurs ont été déterminées pour les saisons automne-hiver en agricole 2014-2015 et 2015-2016. Plus de 700 mesures ont été prises afin de déterminer le débit moyen d'irrigation et les volumes d'eau fournis à chaque parcelle de terrain pour quantifier la productivité de l'eau d'irrigation gravitaire WP). De ces mesures, les indicateurs techniques pour les niveaux d'utilisation de l'eau d'irrigation agricole ont été déduites.

Résultats de l'étude montrent que pour la campagne agricole 2014-2015, une superficie de 5 916 ha de blé et d'orge, soit 94,4 % du total recadrée zone avait une profondeur cumulative d'irrigation de 690,4 mm appliqué avec 3,2 événements d'irrigation en moyenne, produisant un rendement moyen de 5,4 tonnes / ha pour le blé et l'orge et un WP de 0,80 kg/m<sup>3</sup>. De même, pour les cultures agricoles année 2015-2016 et pour les deux mêmes le WP était de 0,89 kg/m<sup>3</sup>. Les conclusions de cette étude nous permettent de réaliser l'importance de l'application des bas-fonds d'irrigation tout en même temps améliorer les rendements des cultures pour produire plus avec une consommation d'eau d'irrigation réduite.

**Mots clés** : Profondeur de l'irrigation, le rendement des cultures, irrigation gravitaire.

## Carbon Footprint of Hose Reel Sprinkler and Annual Dripline Irrigation: Case Studies in Northern Italy

Etude Comparative De L'empreinte Carbone Entre L'irrigation Par  
Enrouleur Et L'irrigation Annuelle Par Dripline/Lignes De Goutteurs.  
Etudes De Cas En Italie Du Nord

Antonio Guiso<sup>1</sup>, Graziano Ghinassi and Paolo Spugnoli

### ABSTRACT

Production of equipment and devices and their use for irrigation entails release of large amount of greenhouse gases (GHG). This paper illustrates the GHG emitted by hose reel sprinkler and drip irrigations, used in the same farm, on the same crop and under the same conditions during a three year case study. Based upon recorded field data, Carbon Footprint (CF) under actual conditions is assessed, making use of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology, according to ISO international standard 14067. Annual laterals 22 mm Ø diameter, and a reel machine with pipe 400 m long and 100 mm Ø external diameter equipped with big rain gun, have been used in the farm during the investigated irrigation seasons. In this study, the m<sup>3</sup> of supplied irrigation water, the cultivated ha, and the yield per ha are selected as functional units. Analysis was carried out using the software Simapro, with the support of the Ecoinvent Database. Under the specific conditions of the case study, the Global Warming Potential (GWP) of irrigation using annual driplines is generally higher than the GWP under gun sprinkler reel machine. The outputs from this case study confirm that the impact of annual driplines is primarily affected by the short lifetime of the laterals, while the lower GWP of the hose reel gun sprinkler depends on both longer lifetime and higher working capacity, the latter given as irrigated area per year. It must be noted that positive impact due to recoverable material at the end of the economical lifetime of each system, is not considered in this paper.

**KEY WORDS:** LCA; Environmental Impacts; Carbon Footprint; hose reel; dripline.

### RÉSUMÉ

Une grande quantité de gaz à effet de serre (GES) est libérée à des fins d'irrigation, depuis la production d'équipements et d'appareils à l'utilisation sur le terrain. Cet article illustre le GES émis par les irrigations par enrouleur et par lignes de goutteurs, tous deux utilisés sur la même exploitation, la même récolte et dans les mêmes conditions sur une période de trois ans. Sur la base des données enregistrées sur le terrain, l'empreinte carbone (EC) dans les conditions réelles est évaluée en utilisant la méthodologie de l'évaluation du cycle de vie (LCA), selon la norme internationale ISO 14067. Des lignes annuelles de goutteurs d'un diamètre de 22 mm Ø et un enrouleur d'irrigation munis d'un tuyau de 400 m de long, d'un diamètre extérieur de 100 mm Ø et équipé d'un canon ont été utilisés sur l'exploitation au cours des saisons d'irrigation étudiées. Dans cette étude, le m<sup>3</sup> d'eau d'irrigation fournie, les hectares cultivés et le rendement par hectare ont été sélectionnés comme unités fonctionnelles. L'analyse a été menée à l'aide du logiciel Simapro, avec le support de la base de données Ecoinvent. Dans les conditions spécifiques de cette étude, le Potentiel de réchauffement global (PRG) de l'irrigation annuelle par lignes de goutteurs est généralement plus élevé que celui de l'irrigation par canons enrouleurs. Les résultats de cette étude confirment que l'impact de l'irrigation annuelle par lignes de goutteurs est principalement affecté par la courte durée de vie de ses

<sup>1</sup> PhD, Gestione dei Sistemi Agrari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi di Firenze (GESAAF).  
Piazzale delle Cascine 15, 50144 Firenze; E-mail: antonio.guiso@unifi.it

lignes, tandis que l'impact à faible PRG de l'irrigation par canon enrouleur dépend à la fois d'une durée de vie supérieure et d'une capacité de travail plus élevée, celle-ci étant donnée comme zone irriguée par an. Il faut souligner que l'impact positif dû au matériel récupérable à la fin du cycle de vie des systèmes respectifs n'est pas pris en compte dans cet article. L'irrigation par lignes de goutteurs est généralement considérée comme ayant un faible impact environnemental puisqu'elle fonctionne sous basse pression et faible décharge. Cet aspect est d'autant plus marqué lorsque la comparaison est faite avec l'irrigation par aspersion sous haute pression de l'enrouleur et lorsque l'on considère seulement la phase d'utilisation sur le terrain. Suivant les conditions dans lesquelles s'est effectuée cette étude, l'impact total des lignes annuelles de goutteurs, considérant à la fois de la phase de production et la phase d'utilisation, est très semblable voire supérieur à celui de l'enrouleur. Les résultats de cette étude de cas sur trois ans suggèrent la nécessité d'une approche différente et plus complète de l'évaluation de l'impact environnemental de l'irrigation.

## Analysis of the Adequacy of Water Supply for Field Crops in Paddy Fields Considering WEF Nexus in Republic of Korea

Analyse De L'adéquation De L'approvisionnement En Eau Pour Les Champ De Cultures Dans Les Rizières, Considérant Les Relations Eau-Énergies-Nourriture En République De Corée

Ankook Shin<sup>1</sup>, Seokman Kang<sup>2</sup> and Haedo Kim<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Korea's agricultural water supply system has been developed mainly based on rice paddy field. However, in recent years, there has been an increase in the cultivation of other crops in rice fields due to the change in the paradigm of farming. As a result, the beneficiary area of existing irrigation facilities is decreasing. Nevertheless, the use of agricultural water and energy by practices has not decreased, and the production of crops has been steadily decreasing compared to the amount of resources used. It can be said that it is necessary to introduce measures to induce efficient use of water resources and energy by changing the water supply system for water supply for field crops in paddy fields and to improve the productivity of agricultural crops.

In this research, we try to consider WEF Nexus to derive the validity of the change of water supply system based on the water productivity. First, the water footprint database was used to estimate the amount of water resources used for agriculture. Energy was calculated based on the power consumption of the pump station per farming area used to supply water for crops. Food resources were based on the production of crop produced per farming area. Based on this, we analyzed W-E-F in the current water supply system. Then, we analyzed W-E-F when water was supplied to other crops in paddy fields, and evaluated the two cases in a comparative manner.

It is expected that it will be possible to finally derive the adequacy of the water supply of the field crop in the paddy field and use it as basic data for changing the domestic water supply system.

**KEY WORDS:** WEF Nexus, water productivity, water supply system, water footprint.

### RÉSUMÉ

Le système d'approvisionnement en eau agricole de la Corée a été développé principalement sur la base des champs de riz paddy. Cependant, ces dernières années, il y a eu une augmentation des autres cultures dans les champs de riz en raison du changement dans le paradigme de l'agriculture. En conséquence, la zone bénéficiaire des installations d'irrigation existantes est en baisse. Néanmoins, l'utilisation de l'eau agricole et de l'énergie par ces pratiques n'a pas diminué, et la production des cultures a régulièrement diminué par rapport à la quantité de ressources utilisées. On peut dire qu'il est nécessaire d'introduire des mesures pour introduire une utilisation efficace des ressources en eau et d'énergie en changeant le

- 1 Associate Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, #870 Haeon-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Korea, E-mail: 2070161@ekr.or.kr, Tel: +82-31-400-1642
- 2 Principal Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, #870 Haeon-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Korea, E-mail: smkang@ekr.or.kr, Tel: +82-31-400-1725
- 3 Senior Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, #870 Haeon-ro, Sangnok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, Korea, E-mail: searoad@ekr.or.kr, Tel: +82-31-400-1864

système d'approvisionnement en eau pour l'approvisionnement en eau pour les cultures de plein champ dans les rizières et d'améliorer la productivité des cultures agricoles.

Dans cette étude, nous essayons de considérer les relations Eau-Énergie-Nourriture pour établir la validité de la modification du système d'approvisionnement en eau sur la base de la productivité de l'eau. Tout d'abord, la base de données de l'empreinte de l'eau a été utilisée pour estimer la quantité des ressources en eau utilisées pour l'agriculture. L'énergie a été calculée selon la consommation électrique de la station de pompage par élevage aquacole utilisée pour fournir de l'eau pour les cultures. Les ressources alimentaires étaient basées sur la production de cultures produites par l'élevage aquacole. Sur cette base, nous avons analysé le rapport Eau-Énergie-Nourriture dans le système actuel d'approvisionnement en eau. Ensuite, nous avons analysé le rapport Eau-Énergie-Nourriture lorsque l'eau a été fournie à d'autres cultures dans les rizières et évalué les deux cas de façon comparative.

Il est prévu qu'il sera possible pour enfin dériver l'adéquation de l'approvisionnement en eau de la récolte du champ dans la rizière et l'utilisez comme données de base pour changer le système d'approvisionnement en eau.

**Mots clés :** Relations Eau-Énergie-Nourriture, productivité eau, aqueduc, empreinte sur l'eau.

## Climate Change Effects on Yield and Water Footprints of Wheat in the Central Punjab, Pakistan

Effets Du Changement Climatique Sur Les Empreintes De L'eau Et Le Rendement Du Blé Dans Le Centre Du Pendjab, Pakistan

Ahmad Mirza Junaid<sup>1</sup>, Kyung-Sook Choi<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The wheat production system of Pakistan is under constant threat to produce more, in order to meet the rapidly growing domestic food demands. On the other hand, hostile climatic conditions, increased frequency of droughts and floods coupled with the rainfall variations, induced due to climate change are further aggravating the severity of the issue. This study was aimed to interpret the plausible climate change impacts over wheat yield in the district Faisalabad, Punjab, Pakistan. The AquaCrop Model v 5.0 was calibrated to simulate the wheat yield by using the field data collected from the experimental trials conducted during 2004-2010. The model showed satisfactory performance to simulate yield under the field conditions. The future weather data were statistically downscaled from the four CMIP5 GCM models and were compared with the baseline climate from 1980 to 2010. The calibrated AquaCrop model was employed to predict the future wheat yield from 2021 to 2080 based on Representative Concentration Pathways 4.5. All the GCMs depicted a noticeable warming and drying trends especially during the second half of this century. The predicted wheat yield showed an unclear trend during the first half of this century and an essentially increasing trend by the end of year 2080. Overall, the wheat was predicted to benefit from temperature rise given enough irrigation water is available. The results highlighted the importance of the availability of the irrigation water in order to sustain and improve the wheat production in the study area.

**KEY WORDS:** FAO AquaCrop model, Wheat yield, climate change, Pakistan.

### RÉSUMÉ

Le système de production de blé du Pakistan est sous la menace constante de produire davantage, afin de répondre à la demande de nourriture domestique en pleine croissance. D'autre part, les conditions climatiques hostiles, l'augmentation de la fréquence des sécheresses et des inondations, couplées avec les variations de la pluviométrie, induites par le changement climatique viennent encore aggraver la gravité du problème. Cette étude avait pour but d'interpréter les effets du changement climatique plausible sur le rendement du blé dans le district de Faisalabad, au Pendjab, Pakistan. Le modèle AquaCrop v 5.0 a été calibré pour simuler la production de blé en utilisant les données de terrain recueillies depuis les essais expérimentaux effectués au cours de 2004-2010. Le modèle a montré un rendement satisfaisant pour simuler le rendement dans les conditions de terrain. Les données météorologiques futures ont été statistiquement réduites de quatre modèles GCM CMIP5 et ont été comparées avec le climat de référence de 1980 à 2010. Le modèle calibré de AquaCrop a été employé pour prévoir le rendement futur de blé de 2021 à 2080 issu des représentant 4,5 de voies de Concentration. Tous les MCG représenté un réchauffement notable et le séchage

1 Graduate student, Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Bukgu, Daegu, 702-701 Korea

2 Professor, Dept. of Agricultural Civil Engineering, Kyungpook National University, 80 Daehakro, Bukgu, Daegu, 702-701 Korea, Email: ks.choi@knu.ac.kr



des tendances en particulier au cours de la seconde moitié du XXe siècle. Les rendements de blé estimés ont montré une tendance incertaine au cours du premier la moitié de ce siècle et une tendance à la hausse essentiellement à la fin des années 1980. Dans l'ensemble, il a été prédit que le blé bénéficierait de la hausse de température étant donné qu'assez d'eau d'irrigation serait disponible. Les résultats soulignent l'importance de la disponibilité de l'eau d'irrigation afin de soutenir et d'améliorer la production de blé dans la région étudiée.

**Mots clés :** Modèle de la FAO AquaCrop, rendement blé, changement climatique, Pakistan.

## Greenhouses Equipped with a Rainwater Harvesting and Intermittent Irrigation System

Les Serres Equipes D'un Système De La Collecte D'eau De Pluie Et D'un Systeme D'irrigation Intermittente

García V. Nahún H.<sup>1</sup>Gómez L. Luis<sup>2</sup>, y Barrios D. J. Natividad<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Rainfall plays a strategic role in both rainfed and irrigated agriculture in Mexico. The farming sector consumes 80% of surface water and 70% of groundwater, accounting for 77% of the total allocated volume. From a total extraction volume of 82,734 Mm<sup>3</sup>, irrigation consumes 63,350 Mm<sup>3</sup>, a situation that requires Mexican farms to develop technology to increase water productivity.

Since water productivity in food production is affected by the water-energy nexus, an important line of study is to explore how greenhouse agriculture, which is presently limited in Mexico; may be promoted. According to SAGARPA reports, in the year 2012, this type of agriculture covered 12,000 ha only (0.19% of the 6.4 M ha of irrigated agriculture). Two important reasons that have limited the increase of greenhouse agriculture are: 1) available water sources with adequate quantity and quality and 2) energy in situ for pressurizing irrigation systems. This paper addresses both situations: on the one hand it addresses the issue of water through the implementation of greenhouses equipped with rainwater harvesting systems and, on the other hand, the issue of energy by the installation of an intermittent irrigation system; all of this validated in a greenhouse productive system in the state of Zacatecas, Mexico.

Rainwater is the original water resources, the great challenge is knowing how to use it as a supply source in greenhouse agriculture and to follow the productive process with the best irrigation alternatives are broadly covered in the paper.

**KEY WORDS:** Water productivity, rainwater harvesting system, intermittent irrigation, flow multiplication, and flow automation.

### RESUME

Les précipitations jouent un rôle stratégique dans l'agriculture pluviale et irriguée au Mexique. Le secteur agricole consomme 80% des eaux de surface et 70% des eaux souterraines, représentant 77% du volume total alloué. D'un volume total de l'eau prélevée de 82 734 Mm<sup>3</sup>, l'irrigation consomme 63 350 Mm<sup>3</sup>, une situation qui exige que les fermes mexicaines développent une technologie pour augmenter la productivité de l'eau.

Etant donné que la productivité de l'eau dans la production alimentaire est affectée par le lien eau-énergie, une importante ligne d'étude consiste à explorer comment l'agriculture en serre, actuellement limitée au Mexique, peut être promue. Selon les rapports de SAGARPA, en 2012, ce type d'agriculture couvrait seulement 12 000 ha de terre (0,19% de 6,4 M ha d'agriculture irriguée). Deux raisons importantes qui ont limité l'augmentation de l'agriculture

1 Mexican Institute of Water Technology, PaseoCuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor. (777) 3293600.E-mail: nahung@tlaloc.imta.mx

2 Mexican Institute of Water Technology, PaseoCuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor. (777) 3293678.E-mail: lgomez@tlaloc.imta.mx

3 Autonomous University of Zacatecas, JardínJuárez 147, Col. Centro, Zacatecas. Zac. (492) 5444369. E-mail: jnatibd@yahoo.com

en serre sont: 1) les sources d'eau disponibles avec une quantité et une qualité suffisantes et 2) l'énergie in situ pour la mise en pression des systèmes d'irrigation. Cet article aborde les deux situations: d'une part, il traite de la question de l'eau grâce à la mise en œuvre de serres équipées de systèmes de collecte d'eau de pluie et, d'autre part, à la question de l'énergie par l'installation d'un système d'irrigation intermittente; Tout cela a été validé dans un système productif à effet de serre dans l'État de Zacatecas, au Mexique.

L'eau de pluie est la ressource d'eau originale et le grand défi à relever est comment l'utiliser comme source d'approvisionnement en agriculture en serre et suivre le processus productif avec les meilleures alternatives d'irrigation. Ces points sont largement couverts dans ce document.

**Mots-clés** : Productivité de l'eau, système de la collecte de l'eau de pluie, irrigation intermittente, multiplication de débit et automatisation des débits.

## Water and Energy Efficiencies in Tomato Production

### Efficacites De L'eau Et De L'énergie Dans La Production De Tomate

Raquel Salazar Moreno<sup>1</sup>, Abraham Rojano Aguilar<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

To duplicate the food production that will be required in the next 30 years, agriculture will need to increase the water and energy use efficiency, which are the main drivers of agricultural production. Since 1990 greenhouse production started in México increasing rapidly in the last five years. The main crops cultivated in protected environment are vegetables, especially tomato, whose production is in the 10 place at world level. There can be three or more technology levels in terms of the equipment, investment and water and energy use efficiencies with a range in yields between 75 to 580 ton/ha.

This work makes an evaluation of water and energy use efficiencies for different tomato technology levels, from low to high technology, water efficiency ranks from 7.2 to 168.2 kg/m<sup>3</sup> and energy use efficiency ranks from 505 to 39 kg/GJ. The high technology level minimizes water use, through the application of soilless cultivation and recirculation of the nutrient solution. Furthermore, the use of chemicals is also minimized using biological control of pests and diseases which contributes to the sustainability in terms of water, and nutrient use. On the other hand, the energy use efficiency decreases with increasing technology level, due to the relatively strong use of energy in absolute terms. Therefore, to make this important sector more sustainable in all ways: water, energy, chemicals and plastics; new technologies has to be implemented in the future. Mexico has the potential of using semi closed greenhouses, the solar radiation in Sinaloa and Jalisco are higher than in Netherlands and Spain where this kind of technologies have been used successfully.

**KEY WORDS:** Greenhouse, Controlled environment, Open cultivation, Low tech and High tech green houses, Water efficiency.

#### RESUME

Pour doubler la production alimentaire qui sera nécessaire au cours des 30 prochaines années, l'agriculture devra augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie, qui sont les forces majeures de la production agricole. Depuis 1990, la production en serre a commencé au Mexique en augmentant rapidement au cours des cinq dernières années. Les principales cultures cultivées dans un environnement contrôlé sont les légumes, en particulier la tomate, dont la production est au 10<sup>e</sup> rang au niveau mondial. Il peut y avoir trois niveaux de technologie ou plus en termes d'efficacité de l'équipement, de l'investissement et de l'utilisation de l'eau et de l'énergie avec une gamme de rendements entre 75 et 580 ton / ha.

Ce travail fait une évaluation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie pour différents niveaux de technologie de la tomate - de la technologie faible à la haute technologie. L'efficacité de l'eau passe de 7,2 à 168,2 kg / m<sup>3</sup> et l'efficacité énergétique est de 505 à 39 kg / GJ. Le niveau de haute technologie minimise l'utilisation de l'eau grâce à l'application de la culture sans sol et à la recirculation de la solution nutritive. En outre, l'utilisation de produits chimiques est également réduite au moyen de la lutte biologique contre les ravageurs et les maladies qui contribue à la durabilité en termes d'eau et d'utilisation des éléments nutritifs. D'autre part, l'efficacité de l'utilisation de l'énergie diminue avec l'augmentation du niveau

1 Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Mexico, E-mail: raquels60@hotmail.com

2 Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Mexico, abrojano@hotmail.com

de technologie, en raison de l'utilisation relativement forte de l'énergie en termes absolus. Par conséquent, pour rendre cet important secteur plus durable de toute manière: l'eau, l'énergie, les produits chimiques et les plastiques - les nouvelles technologies doivent être mises en œuvre à l'avenir. Le Mexique possède le potentiel d'utiliser les serres semi-fermées. Les rayonnements solaires à Sinaloa et à Jalisco sont plus élevés qu'aux Pays-Bas et en Espagne où ce type de technologie a été utilisée avec succès.

**Mots clés :** Serre, environnement contrôlé, culture à ciel ouvert, serres à faible technologie et à haute technologie, efficacité de l'eau.

## Pumping Plants Selection for Wells in Depleted Aquifers

### Selection Des Stations De Pompage Pour Les Puits Dans Les Aquifres Epuises

Mauricio Carrillo-García<sup>1</sup>, Yessica A. Gómez-Pérez, Humberto I. Navarro-Gómez, Jorge V. Prado-Hernández, Roberto Arellano-Choca

#### ABSTRACT

The increasing world population results in greater demand of water and energy. Inefficient use of water and energy, poor management of water resources, strongly increase water stress in many areas in the world. From all fresh water allocated in Mexico, 77% is used for agriculture, from this 77%, 50% originates from surface reservoirs or rivers, and 27% comes from groundwater, which is pumped from wells. Mexico has 653 Aquifers, most of which are depleted. Furthermore, many of them are in critical conditions, for example aquifers in Valley of Mexico. One of negative effects of depletion is decline in the water table, causing a need for more energy to pump water from aquifers and consequently, more expenditure in pumping the same volume of groundwater. Efficiency is reduced due to changes in operation points in the performance curves. Consequently, any contribution to increase efficiency in water and energy use is very important.

We present some data from the diagnostics of a pumping plant in the Texcoco aquifer in the Valley of Mexico watershed. In addition, a selection method for pumping equipment in depleted aquifers using long term view hydrographs for water wells is presented which will contribute to efficient energy use.

**KEY WORDS:** Groundwater depletion, Irrigation wells, Pumping plant efficiency, Pumping equipment, Energy.

#### RESUME

La population mondiale croissante donne lieu à une plus grande demande en eau et énergie. L'utilisation inefficace de l'eau et de l'énergie, la mauvaise gestion des ressources en eau augmentent fortement le stress hydrique dans de nombreuses régions du monde. De toutes les eaux fraîches allouées au Mexique, 77% sont utilisés pour l'agriculture, à partir de ces 77%, 50% proviennent de réservoirs de surface ou de rivières, et 27% proviennent d'eaux souterraines pompées à partir de puits. Le Mexique compte 653 aquifères, dont la plupart sont épuisés. En outre, beaucoup d'entre eux sont dans les conditions critiques, par exemple des aquifères dans la vallée du Mexique. L'un des effets négatifs de l'épuisement est le déclin de la nappe phréatique, ce qui provoque plus d'énergie pour pomper de l'eau des aquifères et, par conséquent, plus de dépenses pour pomper le même volume d'eau souterraine. L'efficacité est réduite en raison des changements de points d'exploitation dans les courbes de performance. Par conséquent, toute contribution pour accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie est très importante.

Nous présentons certaines données du diagnostic d'une station de pompage dans l'aquifère Texcoco dans le bassin versant de la Vallée du Mexique. En outre, une méthode de sélection pour l'équipement de pompage dans les aquifères épuisés utilisant des hydrogrammes de

<sup>1</sup> Professor, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, Km. 38.5 Carretera Mexico-Texcoco, Mexico, ([www.chapingo.mx](http://www.chapingo.mx)); E-mail: [mauricio@correo.chapingo.mx](mailto:mauricio@correo.chapingo.mx)

vision à long terme pour les puits d'eau est présentée, ce qui contribuera à une utilisation efficace de l'énergie.

**Mots-clés** : Épuisement des eaux souterraines, puits d'irrigation, efficacité de la station de pompage, équipement de pompage, énergie.

## Quantifying Water and Energy Linkages in Irrigation for Improved Resource Utilization in Vietnam

Quantification De L'eau Et Des Liens De L'énergie Dans L'irrigation Pour L'utilisation Des Ressources Améliorées Au Vietnam

Hua Xie<sup>1</sup>, Van Manh Nguyen, Claudia Ringler, Yasmin Siddiqi and Sanath Ranawana

### ABSTRACT

The global water demand is projected to grow rapidly, and much of the increased demand will occur in Southeast Asia – one of the world's most dynamic regions with fast economic growth. Agriculture is the largest water user in Southeast Asia. With growing pressures on increasingly scarce and finite water resources, the region must move toward the reduction of water use per unit of crop produced. A key avenue is through the installation of High-Efficiency Irrigation Systems (HEIS) such as drip and sprinkler. But, these are energy-intensive and energy costs may play an important role in the adoption decision of HEIS. This paper presents the results of a study on the linkages between water and energy in Viet Nam with a focus to understand the feasibility and incentives for farmers to adopt HEIS. Two sites in Viet Nam were examined: A dragon fruit production site in Binh Thuan province and a coffee production site in Dak Lak province. The irrigation water–energy linkage assessment was done through farmer interviews. The energy use assessment included both direct energy use (electricity or diesel) and indirect energy use (fertilizers and pesticides) in the calculation since changes in the irrigation technologies could lead to concomitant changes in indirect energy use. We find that irrigated dragon fruit production inherently uses more energy than coffee production (by a factor of 5). The largest electricity cost component is for artificial lighting, which, on average, consumes eight times more electricity than pumping of water. A cost-benefit analysis comparing conventional and HEIS irrigation for coffee and dragon fruit finds a slight negative benefits for the adoption of drip by coffee farmers relying on groundwater in Dak Lak as the capital costs outweigh the net benefits from lower electricity, fertilizer, and labour costs. Meanwhile, the CBA finds a positive net return from investment in HEIS for dragon fruit in Binh Thuan, largely due to savings in fertilizers. If the water savings are converted into irrigated area expansions then the investment in drip irrigation is also favorable in coffee production in the Dak Lak region.

**KEY WORDS:** water-energy nexus, High-Efficiency Irrigation Systems (HEIS), Viet Nam.

### RÉSUMÉ

La demande mondiale en eau est prévue de croître rapidement, et une grande partie de l'augmentation de la demande se produira en Asie du sud-est – une des régions les plus dynamiques, avec une croissance économique rapide. L'agriculture est le plus grand consommateur d'eau en Asie du sud-est. Avec des pressions sur les ressources en eau de plus en plus rares et finis de plus en plus, la région doit se déplacer vers la réduction de la consommation d'eau par unité de culture produit. Une avenue clé se fait grâce à l'installation de Systèmes d'Irrigation de Haute Efficacité (HEIS) tels que le goutte à goutte et l'aspersion. Mais, ce sont de grandes consommatrices d'énergie et les coûts énergétiques peuvent jouer un rôle important dans la décision d'adoption des HEIS. Ce documente les résultats d'une étude sur les liens entre l'eau et l'énergie au Viet Nam en mettant l'accent

<sup>1</sup> Research Fellow, International Food Policy Research Institute 1201 Eye St, NW Washington, DC 20005 USA; E-mail: h.xie@cgiar.org



sur la compréhension de la faisabilité et des incitations pour les agriculteurs à adopter des établissements d'enseignement supérieur. Deux sites au Viet Nam ont été examinés : Un site de production de fruit dragon, dans la province de BinhThuan et un site de production de café dans la province de Dak Lak. L'évaluation de liaison de l'eau – énergie d'irrigation a été faite au moyen d'entrevues avec des agriculteurs. L'évaluation de l'utilisation énergétique inclut les deux utilisations directes d'énergie (électricité ou diesel) et indirecte la consommation d'énergie (engrais et pesticides) dans le calcul puisque les changements dans les technologies d'irrigation pourraient conduire à des modifications concomitantes dans la consommation d'énergie indirecte. Nous trouvons que la production irriguée de fruit dragon utilise intrinsèquement plus d'énergie que la production de café (d'un facteur 5). La plus importante composante de coût de l'électricité est pour l'éclairage artificiel, qui, en moyenne, consomme huit fois plus d'électricité que le pompage de l'eau. Une analyse coûts-avantages conventionnels et irrigation des établissements d'enseignement supérieur pour le café et le dragon fruit constate un léger avantage négatif pour l'adoption de goutte à goutte par les cultivateurs de café en s'appuyant sur les eaux souterraines à Dak Lak comme les coûts en capital l'emportent sur les bénéfices nets de l'électricité inférieure, d'engrais et de la main-d'oeuvre. Pendant ce temps, le CBA détecte un rendement positif net de l'investissement dans les établissements d'enseignement supérieur de pitaya dans BinhThuan, en grande partie en raison des économies en engrais. Si les économies d'eau sont converties en agrandissement de la superficie irriguée alors les investissements dans l'irrigation goutte à goutte sont aussi favorable à la production de café dans la région de Dak Lak.

**Mots clés** : eau-énergie nexus, systèmes d'Irrigation de haute efficacité (HEIS), Viet Nam.

## From Water Foot Print to Energy Foot Print

### De L'empreinte Hydrique À L' Empreinte Énergétique

Ignacio Sanchez Cohen<sup>1</sup>, G. Delgado Ramirez, G. Esquivel Arriaga and  
P. Bueno Hurtado

#### ABSTRACT

The water footprint of a country is defined as the total volume of water that is used to produce the goods and services consumed by its inhabitants. Nevertheless, to produce a unit of any product, energy is required and also to make available any amount of water energy is required as well. Here applies the physical concept of Energy Returned on Energy Invested (EROEI) which is the ratio between energy delivered versus energy required to deliver that energy. When this ratio is less than one the system becomes an “energy sink”. In this paper we focuses on determining the energy footprint based on the blue water footprint of a dairy product in an extensive and intensive milk production system of northern Mexico that has more than 250,000 cows and is characterized by a high aridity index where evaporation exceeds ten times the annual average precipitation. Data were gathered through direct measurements and surveys. Milk production<sup>2</sup> reached a peak of 2.3 M l d<sup>-1</sup> in 2008; the average milk production per head is 24.1 l d<sup>-1</sup>. Preliminary results show that to produce one litter of milk in the region it requires from 0.36 to 0.41 m<sup>3</sup> of water investing 6.9 kWh of energy for each 10 cm of water depth applied to alfalfa crop for each meter of pumping depth and considering 40% of electromechanical efficiency of the pumping equipment. Calculations are made taking as basis alfalfa crop since is the main source of protein to cows and there are more than 40,000 hectares cultivated.

Total expenditure of energy variates with the irrigation and pumping efficiencies from 7313 up to 10648 kWh.ha<sup>-1</sup> for drip and surface irrigation, respectively. Even though the EROEI concept applied here considers two types of energy: hydraulic expressed in kWh (power / mechanical) and that of calories expressed in Kilocalories (considered as potential energy), the index may not be customized to discuss its value around the unit directly. Is up to the purpose of its use to set the optimal values considering that one kWh = 859.845 kilocalories = 3.6 MJ. It is worth to mention that the water table is depleting on average at a rate of 2 m per year. Alternatives to improve this energy use include increasing the irrigation efficiency, to maintain the pumping equipment and to change to less water demanding crops.

**KEY WORDS:** water, energy, milk, system, water footprint, energy footprint.

#### RESUME

L'empreinte hydrique d'un pays est définie comme le volume total d'eau utilisé pour produire les biens et services consommés par ses habitants. Néanmoins, pour produire une unité de produit, l'énergie est nécessaire et aussi pour rendre disponible toute quantité d'eau, l'énergie est requise. Ici, on applique le concept physique du Taux de retour énergétique (L'EROEI) qui est le rapport entre l'énergie livrée par rapport à l'énergie nécessaire pour fournir cette énergie. Lorsque ce taux est inférieur à un, le système devient un «puit énergétique». Dans cet article, nous nous concentrons sur la détermination de l'empreinte énergétique basée sur l'empreinte hydrique bleue d'un produit laitier dans un système de production de lait vastes et intensifs au nord du Mexique qui compte plus de 250 000 vaches et qui se caractérise par un

1 Researcher at the National Centre for Disciplinary Research on Water, Soil, plant and Atmosphere. National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock Research of Mexico

2 Milk production units are either Million litres per day (Mld<sup>-1</sup>) or litres per day (ld<sup>-1</sup>)

indice d'aridité élevée où l'évaporation dépasse dix fois la précipitation moyenne annuelle. Les données ont été recueillies par le moyen de mesures et d'enquêtes directes. La production de lait a atteint un sommet de 2,3 M l d<sup>-1</sup> en 2008; La production moyenne de lait par tête est de 24,1 l d<sup>-1</sup>. Les résultats préliminaires montrent que pour produire une litière de lait dans la région, il faut que 0,36 à 0,41 m<sup>3</sup> d'eau investit 6,9 kWh d'énergie pour chaque 10 cm de profondeur d'eau appliquée à la culture de luzerne pour chaque mètre de profondeur de pompage et tient compte de 40% de l'efficacité électromécanique de l'équipement de pompage. Les calculs sont effectués en prenant comme base la culture de luzerne, car c'est la principale source de protéines pour les vaches et plus de 40 000 hectares de terre est cultivée.

Les dépenses totales de l'énergie varient selon l'efficacité d'irrigation et de pompage de 7313 à 10648 kWh.ha<sup>-1</sup> pour l'irrigation goutte à goutte et par surface, respectivement. Même si le concept EROEI appliqué ici considère deux types d'énergie: hydraulique exprimée en kWh (puissance/mécanique) et calories exprimées en Kilocalories (considérée comme énergie potentielle), l'indice ne peut pas être personnalisé pour discuter directement sa valeur autour de l'unité. Il est à la base de son utilisation pour définir les valeurs optimales en considérant qu'un kWh = 859,845 kilocalories = 3,6 MJ. Il convient de mentionner que la nappe phréatique épuise en moyenne à un taux de 2 m par an. Les solutions alternatives pour améliorer cette consommation d'énergie comprennent l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation, le maintien du matériel de pompage et le changement vers les cultures exigeant moins d'eau.

**Mots-clés :** Eau, énergie, lait, système, empreinte hydrique, empreinte énergétique.

## Food Security Challenges Under Climatic Changes and Groundwater-Energy Nexus- Case Study of Punjab-Pakistan

Problèmes De Sécurité Alimentaire En Vertu Des Changements Climatiques »  
Et Des Eaux Souterraines-Énergie Nexus-Étude De Cas Du Punjab-Pakistan

Ghulam Zakir Hassan<sup>1</sup>, Faiz Raza Hassan<sup>2</sup> and Ghulam Shabir<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Irrigated agriculture plays a vital role in the economy. It accounts for about 90% of food production, 22% of GDP, employs about 45% of the overall labour force and generates over 60% of foreign exchange. After India, USA & China, Pakistan is the 4<sup>th</sup> largest user of groundwater supporting about 40% irrigated area. Extensive use of groundwater has helped in increasing cropping intensity from 60% in 1947 to 150% in 2015. However, groundwater management is confronted with multitude of tiny users and unscientific extraction. Electricity or diesel are the major sources of energy for groundwater pumping. About 47% farmers are running their tubewells with tractors or diesel engines. Energy costs of pumping from deeper groundwater are increasing manifolds. This very complex situation and the problem need to be tackled in food security-groundwater-energy-climate change nexus.

Groundwater levels and quality are observed twice in a year (pre and post monsoon) through a network of 3000 piezometers. Abnormal decline of water table in sweet groundwater areas, inter-mixing of saline and fresh groundwater, increase in cost of groundwater pumping due to decline of water table, threats to agriculture due to secondary salinization etc. are the consequences of over exploitation of groundwater. In this paper findings of research studies have been outlined to identify the critical areas. Potential sites for artificial recharge of aquifer have been identified and possibility of aquifer recharging through flood water has been explored. Major threats to food production due to overdraft of groundwater, climatic changes and increasing costs of energy have been evaluated and some possible recommendations have been outlined on the basis of field data collected and analysed.

**KEY WORDS:** Groundwater, energy, food security, climate change, aquifer, Punjab, Pakistan.

### RESUME

L'agriculture irriguée joue un rôle vital dans l'économie. Elle représente environ 90 % de la production alimentaire, 22 % du PIB, emploie environ 45 % de la population active totale et génère plus de 60 % des devises étrangères. Après l'Inde, les USA & la Chine, le Pakistan est le 4<sup>e</sup> plus grand utilisateur d'eau souterraine supportant environ 40 % de surface irriguée. L'utilisation extensive des eaux souterraines a contribué à augmenter l'intensité des cultures de 60 % en 1947 à 150 % en 2015. Cependant, la gestion des eaux souterraines est confrontée à la multitude de petits utilisateurs et extraction non scientifique. Les principales sources d'énergie pour le pompage d'eaux souterraines sont électriques ou diesel. Environ 47 % agriculteurs exécutent leurs puits tubulaires avec tracteurs ou de moteurs diesel. Les coûts de l'énergie de pompage des eaux souterraines profondes multiplient les collecteurs. Cette situation très complexe et le problème devront être abordés dans les connexions de sécurité-eaux souterraines-énergie-climat changement alimentaire.

1 1, 2&3 Director, Asstt Director and Dy Director, respectively, Irrigation Research Institute (IRI), Govt of the Punjab, Irrig. Dept, Library Road, Lahore 54000, Pakistan. Corresponding author: zakirjg@gmail.com.

La qualité et le niveau des nappes phréatiques sont observés deux fois par an (pré et post mousson) à travers un réseau de 3 000 piézomètres. La baisse anormale de la nappe phréatique dans les zones d'eaux douces souterraines, entre mélange des eaux souterraines salées et fraîche, l'augmentation du coût de l'eau souterraine de pompage en raison de la baisse de la nappe phréatique, les menaces qui pèsent sur l'agriculture en raison de la salinisation secondaire etc. sont les conséquences de la surexploitation des eaux souterraines. Dans cet article, les résultats d'études ont été soulignés afin d'identifier les domaines critiques. Des sites potentiels pour la recharge artificielle des aquifères ont été identifiés et possibilité d'aquifère alimentée par les eaux de crue a été explorée. Des menaces majeures pour la production alimentaire due à la surutilisation de l'eau souterraine, les changements climatiques et l'augmentation des coûts de l'énergie ont été évaluées et quelques recommandations possibles ont été définies sur la base de données de terrain recueillies et analysées.

**Mots clés :** Eaux souterraines, énergie, sécurité alimentaire, le changement climatique, aquifère, Punjab, Pakistan.



## Abstract of Papers received in Response to

- Q.60.3: Water security for growth and development**  
Sécurité de l'eau pour la croissance et le développement

---

### INDEX OF ABSTRACT

---

- |                  |  |     |
|------------------|--|-----|
| <b>R.60.3.01</b> | <b>Simulation of The Impact Of Elution of <math>PO_4</math>-P from Benthic Sediment Layer on The Changes of Total P in Saemangeum Reservoir</b>  | 201 |
|                  | Simulation de l'impact de l'éluion de $PO_4$ -P de la couche de sediment Benthique Sur les changements de P total dans le reservoir de saemangeum<br>Chansung Oh; Hanyong Um, and Junghoon Choi (Korea)                          |     |
| <b>R.60.3.02</b> | <b>Water Laws' Untapped Potential for Supporting Water Security in Developing Countries</b>  | 203 |
|                  | Le potentiel inexploite de la legislation sur l'eau pour la securite des ressources en eau des pays en voie de developpement<br>Bill Garthwaite, Graham Hamley, and Samjhana Thapa (Malaysia)                                    |     |
| <b>R.60.3.03</b> | <b>Research on the Protection and Development of Historic Lougang Water Resource Features along Lake Tai</b>   | 205 |
|                  | Recherche sur la protection et le développement des caractéristiques historiques des ressources en eau de lougang tout au long du lac tai<br>Jundeng , Xuming Tan, Yunpeng Li , Jinhong Wan, and <i>Jiangan Liu (China)</i>      |     |
| <b>R.60.3.04</b> | <b>Water Management Practices for the Brantas River Basin of East Java Province in Indonesia</b>   | 206 |
|                  | Pratiques de gestion de l'eau pour le bassin fluvial de brantas de la province de Java est en Indonesie<br><i>Mohamad Ali Fulazzaky (Indonesia)</i>  |     |
| <b>R.60.3.05</b> | <b>Irrigation Management Transfer in Mexico: New Problems and Challenges for Consolidation</b>   | 207 |
|                  | Transfert de la Gestion de L'irrigation au Mexique : Nouveaux Problèmes et Défis pour aa Consolidation<br>Luis Felipe Alcocer Espinosa, Jorge Antonio Argueta Spínola, and Gustavo Adolfo Hinojosa Cuellar (Mexico)              |     |
| <b>R.60.3.06</b> | <b>Land Evaluation for Drainage to Develop Peat Forest Fire Prevention Program in South Sumatra Indonesia</b>  | 209 |
|                  | L'évaluation de la terre pour le drainage pour développer le tourbiere pour la prévention des incendies forestiers au sud sumatra en Indeonésie<br>Momonsodik Imanudin, Bakri, Armanto E, and Jarot Widyoko ( <i>Indonesia</i> ) |     |

- R.60.3.07 Measures for Green Development of Irrigation Districts in Haihe River Basin** 211  
Mesures prises pour le développement vert des districts d'irrigation dans le bassin fluvial de haihe  
Tian You (China)
- R.60.3.08 Preliminary Assessment of the Risk of Failure of an Earthen Dam Due to Overtopping** 212  
l'évaluation préliminaire du risque de rupture des barrages en terre par débordement  
Rafael Briseño, Víctor Alcocer-Yamanaka, and Gisselle Orozco (Mexico)
- R.60.3.09 Evaluating the Financial Viability of Transferred Irrigation Schemes: Case Study from Turkey** 213  
Évaluation de la Viabilité Financière des Schémas d'irrigation Transférés : Étude de Cas en Turquie  
Aynur Fayrap, and Fazilet Unlu (Turkey)
- R.60.3.10 Soil Salinity, Global Warming and Crop Production in Mexican Irrigation Districts** 214  
Ensalitramiento de suelos, calentamiento global y producción agrícola en distritos de riego  
Leonardo Pulido-Madrigal, Heber Eleazar Saucedo-Rojas, Inocente Aragón-Figueroa, and Adán Jesús González-Real (Mexico)
- R.60.3.11 New Approach to Predict Drought Risk from Climate Change in South Korea** 216  
Nouvelle approche pour prédire le risque de la sécheresse en raison du Changement climatique en Corée du Sud  
Chang Eon Park, and Junoh Park (Korea)
- R.60.3.12 Technical Guidelines for Irrigation, Drainage and Flood Protection in Sustainable Agricultural Projects** 217  
Directives Techniques pour la Protection des Inondations, l'irrigation et le Drainage dans les Projets Agricoles Durables  
García Asensio, José María, Álvarez González, Carlos, Cárdena Burbano, and Orlando (Spain)
- R.60.3.13 Modeling Water Allocation Management during Drought – The Socio-Economic Scenarios** 219  
Modèles de gestion de répartition de l'eau pendant la sécheresse - les scénarios socio-économiques  
Ya-Wen Chiueh (Taiwan)
- R.60.3.14 Ensuring Food Security by Restoring the Use of Reclaimed Land Potential in Ukraine** 220  
Assurant la sécurité alimentaire en rétablissant l'utilisation du potentiel des terres récupérées en Ukraine  
Y.M. Gadzalo, M.I. Romashchenko, and M.I. Yatsuk (Ukraine)



<b>R.60.3.15</b>	<b>A Critical Analysis of the Historic Water Apportionment Accord among Four Provinces of Pakistan</b> Une Analyse Critique de L'accord de Répartition Historique de l'eau entre les Quatre Provinces du Pakistan <i>Asjad Imtiaz Ali, Javeed Iqbal Bokhary, Ahmed Kamal, and Qazi Tallat M. Siddiqui (Pakistan)</i>	222
<b>R.60.3.16</b>	<b>Perspectives of irrigation with unconventional water resources in China</b> Perspectives de l'irrigation avec des ressources en eau non conventionnelles en Chine Wenyong Wu, Yaqi Hu, and Renkuan Liao (China)	224
<b>R.60.3.17</b>	<b>Hydrological Drought Variation along the Yom River, Thailand</b> Variation de la Sécheresse Hydrologique le long de La Rivière Yom, Thaïlande Kanokporn Sawatpru, and Supasit Konyai ( <i>Thailand</i> )	226
<b>R.60.3.18</b>	<b>Irrigation Intensity, Environmental Conditions and Crop Production in the Rio Grande-Bravo Basin (Mexico)</b> Intensité de l'irrigation, conditions environnementales et organisation de la production de cultures dans le bassin rio grande-bravo (Mexique) Nicholas P. Sisto, and Sergei Severinov (Mexico)	228
<b>R.60.3.19</b>	<b>Water Security and Land-Use Changes in Small-Scale Hydro-Agricultural Infrastructure</b> Securite de l'eau et Changements d'affectation des Terres dans les Infrastructures Hydro Agricoles a Petite Echelle Mauro Íñiguez-Covarrubias, Waldo Ojeda-Bustamant, and Sergio Iván Jiménez-Jiménez (Mexico)	229
<b>R.60.3.20</b>	<b>Irrigation Water Security Indicators at the River Basin Level in the Northern Part of West Java</b> Indicateurs de sécurité de l'eau d'irrigation au niveau de la baie de la rivière dans la partie nord de west java Waluyo Hatmoko, and Radhika Andrendy Firmansyah ( <i>Indonesia</i> )	231
<b>R.60.3.21</b>	<b>Rainwater Utilization Potential in Mexico's Protected Agriculture</b> Caractérisation du potentiel d'utilisation de l'eau de pluie dans l'agriculture protégée du Mexique. Gómez L. Luis, García V. Nahún H, Ojeda B. Waldo, and Flores V. Jorge ( <i>Mexico</i> )	232
<b>R.60.3.22</b>	<b>A Simulation Model for Water Level Management in the Reclaimed Tidal Peatswamp</b> Modèle De Simulation pour la Gestion du Niveau d'eau dans les Tourbierees a Maree Récupérées Aswandi, Robiyanto H. Susanto, Andi Sudirman, and M. R. Abdillah ( <i>Indonesia</i> )	234

- R.60.3.23**    **Water Security of Juba and Shabelle River Basins in Somalia**    235  
Sécurité de l'eau des Bassins de Juba et de la Rivière Shabelle en  
Somalie  
*Abdullahi Hassan Hussein (Somalia)*
- R.60.3.24**    **Wastewater Filtering through Soil Treatment in a Sugarcane  
Cultivated Area**    237  
Traitement des eaux Usées Filtrant à Travers le Traitement des sols  
dans une Zone de Culture de Canne à Sucre  
J. González-Meraz, H. Saucedo-Rojas, and J. A. Díaz-Magaña  
(Mexico)
- R.60.3.25**    **Modeling and Prediction of Surface Runoff in the Patzcuaro  
Lake Basin**    239  
Modelacion y estimacion del escurrimiento superficial en la cuenca  
del lago de patzcuaro  
Jorge Víctor Prado-Hernández , Pedro Rivera-Ruiz , Dina Caballero-  
Cinco , Mauricio Carrillo-García, and Benjamín De León-Mojarro  
(Mexico)
- R.60.3.26**    **Water and Food Security in the Framework of Sustainable  
Development of the Agriculture Sector**    241  
Sécurité de l'eau et de l'alimentation dans le cadre du développement  
du secteur de l'agriculture durable  
Nahún H. García-Villanueva, and Jaime Collado (Mexico)

## Simulation of the Impact of Elution of $\text{PO}_4\text{-P}$ from Benthic Sediment Layer on the Changes of Total P in Saemangeum Reservoir

Simulation De L'impact De L'élution De  $\text{PO}_4\text{-P}$  De La Couche De Sediment Benthique Sur Les Changements De P Total Dans Le Reservoir De Saemangeum

Chansung Oh<sup>1\*</sup> ; Hanyong Um<sup>2</sup> ; Junghoon Choi<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Assignment of a precise elution of  $\text{PO}_4\text{-P}$  on numerical model is a necessary for predictions and countermeasures on water pollution associated with environmental changes such as eutrophication in Saemangeum reservoir. In this study, a series of numerical simulations is performed to grasp the behavior of total phosphorus (TP) with elution of  $\text{PO}_4\text{-P}$  from the benthic sediment layer considered additional dredging operations under desalination of Saemangeum reservoir. In addition, the simulation on the change of total phosphorus at bottom layer has been performed. To achieve these numerical simulations, the two formation models for model calibrations and analyzing on the changes of TP are discretized into 8,260 and 5,643 horizontal curvilinear orthogonal grids with 5 vertical layers, respectively. The period of numerical simulation is set up to 1 year. The numerical simulation results show that the TP concentration of upstream is higher than downstream's. This is because inflows of pollutant loads from Mankyeong and Dongjin watersheds have influence on the upstream directly. However, lower TP concentration induced by a vigorous circulation between surface and bottom water causing the supplement of dissolved oxygen is presented in downstream. In addition, it is estimated that the effect of elution of  $\text{PO}_4\text{-P}$  on the TP concentration is about 25% in bottom layer. Therefore, it may be concluded that long-term watershed modeling with precise input data is necessary to predict the water quality and supply the agricultural water in Saemangeum Reservoir.

**KEY WORDS:** Eutrophication, Saemangeum reservoir, total phosphorus, water quality.

### RESUME

L'attribution d'une élution précise de  $\text{PO}_4\text{-P}$  sur le modèle numérique est nécessaire pour les prévisions et les contre-mesures de la pollution de l'eau associées aux changements environnementaux tels que l'eutrophication dans le réservoir de Saemangeum. Dans cette étude, une série de simulations numériques est effectuée pour saisir le comportement du phosphore total (TP) avec élution de  $\text{PO}_4\text{-P}$  de la couche de sédiments benthiques considérée comme travaux de dragage supplémentaires dans le cadre du dessalement du réservoir de Saemangeum. En outre, la simulation sur le changement de phosphore total à la couche inférieure a été effectuée. Pour réaliser ces simulations numériques, les deux modèles de formation pour les étalonnages de modèles et l'analyse des modifications de TP sont discrétisés dans 8 260 et 5 643 trames orthogonales curvilignes horizontales avec 5 couches verticales, respectivement. La période de simulation numérique est fixée à 1 an. Les résultats de la simulation numérique montrent que la concentration de TP en amont est supérieure à l'aval. Cela est dû au fait que les entrées de charges polluantes des bassins hydrographiques de Mankyeong et de Dongjin ont une influence directe sur l'amont. Cependant, une concentration de TP plus faible induite par une circulation vigoureuse entre l'eau de surface

1 Researcher, Korea Rural Community Corporation], Ansan, Republic of Korea, [yes\_csoh@ekr.or.kr]

2 Principal Researcher, Korea Rural Community Corporation, Republic of Korea, umhy@ekr.or.kr

3 Senior Researcher, Korea Rural Community Corporation, Republic of Korea, cjh5181@ekr.or.kr

et l'eau de fond entraînant le supplément d'oxygène dissous est présentée en aval. En outre, on estime que l'effet de l'éluion de PO<sub>4</sub>-P sur la concentration de TP est d'environ 25% dans la couche inférieure. Par conséquent, on peut conclure que la modélisation des bassins hydrographiques à long terme avec des données d'entrée précises est nécessaire pour prédire la qualité de l'eau et fournir l'eau agricole au réservoir de Saemangeum.

**Mots-clés:** Eutrophisation, réservoir Saemangeum, phosphore total, qualité de l'eau.

## Water Laws' Untapped Potential for Supporting Water Security in Developing Countries

Le Potentiel Inexploité De La Législation Sur L'eau Pour La Sécurité Des Ressources En Eau Des Pays En Voie De Développement

Bill Garthwaite,<sup>1</sup> Graham Hamley<sup>2</sup> and Samjhana Thapa<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Water law is an important part of good governance for achieving water security in the long term – along with effective institutions, the capacity to protect and manage water resources, and many other factors. Recognizing the foundational role played by water law, analysis of a new global dataset on water law produced by the World Bank's *Enabling the Business of Agriculture* (EBA) project can provide new insights into how this foundation is limited or missing in many countries facing water-related challenges.

This paper introduces three examples of how the new EBA dataset can be used by practitioners to support countries as they pursue water security. First, the data can be used to support the development of new conceptual models for cross-learning between countries. Kenya, Malawi, Mozambique, and Ethiopia are examples of how models can help to highlight different legal approaches across countries. Second, the EBA dataset can be useful for the identification of peer countries facing similar situations. Such identification can also serve to increase the relevance and value of developing conceptual models for cross-learning. Côte d'Ivoire serves as an example to highlight a possible approach for country advisors to identify contextually-relevant peer countries. Lastly, it is suggested that EBA data can be used in conjunction with context data to identify countries at the global level where there is particular untapped potential for water law to further support sustainable water management. Those countries with relatively limited water availability per capita and less comprehensive legal frameworks are highlighted as having higher untapped potential.

**KEY WORDS:** Law, legal framework, sustainable water management, water security

### RÉSUMÉ

La législation sur l'eau est une composante essentielle des aspects de bonnes gouvernances nécessaires pour atteindre la sécurité de l'eau sur le long terme – en conjonction avec des institutions efficaces, une capacité à conserver et gérer les ressources en eau, et divers autres facteurs. Reconnaissant le rôle fondamental joué par la législation sur l'eau, l'analyse d'une nouvelle base de données mondiales sur la législation sur l'eau produite par le projet *Améliorer le Climat des Affaires dans l'Agriculture* (EBA en anglais) de la Banque Mondiale peut apporter de nouveaux éclairages sur le fait que cet élément fondamental soit limité ou absent dans de nombreux pays rencontrant de sérieux défis liés à l'eau.

Cet article présente trois exemples d'utilisations possibles par les praticiens, d'informations disponibles au sein de la base de données pour le soutien de pays dans leur recherche de la sécurité de l'eau. Tout d'abord, la base de données EBA peut être utilisée pour soutenir le

1 World Bank, Level 3, Sasana Kijang, No. 2, Jalan Dato' Onn, Kuala Lumpur, Malaysia 50480; E-mail: wgarthwaite@worldbank.org

2 World Bank, 1818 H St. NW, Washington DC 20433 USA; E-mail: ghamley@worldbank.org; sthapa@worldbank.org

développement de nouveaux modèles conceptuels d'apprentissage mutuel entre pays. Le Kenya, le Malawi, le Mozambique et l'Ethiopie sont commentés ci-dessous comme exemples de modèles permettant de souligner différentes approches juridiques entre pays. Les données incluses dans la base de données EBA peuvent être utiles par ailleurs pour l'identification de pays semblables faisant face à des situations similaires du fait d'un ou de plusieurs facteurs, aidant ainsi l'identification de d'options ou de solutions pouvant être envisagées par les pays. L'identification de pays présentant des similarités peut également être utile pour améliorer la pertinence et l'utilité de modèles conceptuels d'apprentissage mutuel, tel qu'aborde dans notre premier point ci-dessus. Dans l'analyse ci-dessous, la Côte d'Ivoire sert d'exemple afin de présenter une approche possible pour l'identification de pays similaires contextuellement pertinents. Enfin, il est proposé d'utiliser les données EBA en conjonction avec des données relatives au contexte, afin d'identifier les pays au niveau global, où il existe un potentiel inexploité pour l'amélioration du soutien par la législation de l'eau, de la gestion durable des ressources en eau. Ces pays où la disponibilité des ressources en eau par habitant est limitée, et le cadre réglementaire est le moins complet sont présentés comme ayant le plus grand potentiel inexploité.

**Mots clés :** Loi, cadre juridique, gestion durable de l'eau, sécurité de l'eau

## Research on the Protection and Development of Historic Lougang Water Resource Features along Lake Tai

Recherche Sur La Protection Et Le Développement Des Caractéristiques Historiques Des Ressources En Eau De Lougang Tout Au Long Du Lac Tai

JunDeng<sup>1,2</sup>, Xuming Tan<sup>1</sup>, Yunpeng Li<sup>1,2</sup>, Jinhong Wan<sup>1,2</sup> and Jiangang Liu<sup>1,2</sup>

### ABSTRACT

Overcoming the conflicts between protecting water resource heritage features and the sustainable development of modern society is a major undertaking. Lougangs (rivulets) and polders are Lake-Tai-Basin-specific water resource engineering projects that hold a significant historic position. This paper presents background on water resource heritage features, based on the origins and evolution of Lougangs along Lake Tai. Through analysis of their value and current standing, we propose countermeasures for protection and development of the Lougang water resource heritage features along Lake Tai.

**Keywords.** Lake Tai; Lougangs; Water Resources Heritage; Protection and Development.

### RESUME

Surmonter les conflits qui existent entre la protection des caractéristiques du patrimoine des ressources en eau et le développement durable de la société moderne est une entreprise majeure. Lougangs (les ruisseaux) et les polders sont des projets d'ingénierie spécifiques des ressources en eau au bassin du lac-Tai qui occupent une position historique importante. Cet article présente l'histoire des caractéristiques du patrimoine des ressources en eau, en fonction de l'origine et de l'évolution de Lougangs tout au long du lac Tai. En analysant leur valeur et leur position actuelle, nous proposons des contre-mesures pour la protection et le développement des caractéristiques du patrimoine des ressources en eau de Lougang tout au long du lac Tai.

**Mots clés:** Lac Tai, Lougangs, patrimoine des ressources en eau, protection et développement.

1 Department of Water History Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China

2 Research Centre on Flood and Drought Disaster Reduction of the Ministry of Water Resources, Beijing 100048, China

## Water Management Practices for the Brantas River Basin of East Java Province in Indonesia

Pratiques de gestion de l'eau pour le bassin Fluvial de Brantas de la province de Java Est en Indonésie

Mohamad Ali Fulazzaky<sup>a,1</sup>

### ABSTRACT

The increased demands for water and land as a consequence of the population growth and economic development in Indonesia have accelerated during the last five decades. National governance of the multiple water-related issues has not yet been clearly identified at a river basin level. This paper communicates an integrated approach of involving the representative stakeholders in development, management and use of water resources of the Brantas River basin and provides a new standard for the future water management practices towards the implementation of integrated water resource management in other river basins. The overall process governing the availability of water with updating the development of master plan at a river basin scale and its significant achievements was *presented*. Establishing institutional arrangements, which served diverse functions were viewed as *a long-term process of developing the Brantas River basin for water management services*. Challenges of managing water resources to fulfill the needs of various stakeholders within the basin related to technical issues, institutional frameworks and regulatory instruments to the future directions to implement the best water management practices.

**KEY WORDS:** Brantas River basin, Indonesia, water management practice, water-related issue, water resources infrastructure.

### RÉSUMÉ

La demande accrue de l'eau et des terres en raison de la croissance de la population et du développement économique en Indonésie s'est accélérée au cours des cinq dernières décennies. La gouvernance nationale des multiples problèmes liés à l'eau n'a pas encore été clairement identifiée au niveau du bassin hydrographique. Cet article communique une approche intégrée consistant à impliquer les acteurs représentatifs dans le développement, la gestion et l'utilisation des ressources en eau du bassin de la rivière Brantas et fournit une nouvelle norme pour les futures pratiques de la gestion d'eau vers la mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau dans d'autres bassins fluviaux. Le processus global régissant la disponibilité de l'eau avec la mise à jour du développement du plan directeur à l'échelle du bassin hydrographique et ses réalisations importantes a été présenté. L'établissement d'arrangements institutionnels, qui ont servi des fonctions diverses, a été considéré comme un processus à long terme de développement du bassin de la rivière Brantas pour les services de gestion de l'eau. Les défis de la gestion des ressources en eau pour répondre aux besoins des différentes parties prenantes du bassin liées aux questions techniques, aux cadres institutionnels et aux instruments réglementaires contribuent aux orientations futures pour mettre en œuvre les meilleures pratiques de la gestion de l'eau.

**Mots clés :** Bassin fluvial de Brantas, Indonésie, pratique de la gestion d'eau, questions relevant de l'eau, infrastructure des ressources en eau.

<sup>1</sup> Directorate General of Water Resources, Ministry of Public Works and Housing, Jalan Pattimura No. 20, Jakarta 12110, Indonesia; E-mail: fulazzaky@gmail.com



## Irrigation Management Transfer in Mexico: New Problems and Challenges for Consolidation

### Transfert De La Gestion De L'irrigation Au Mexique : Nouveaux Problèmes Et Défis Pour La Consolidation

Luis Felipe Alcocer Espinosa<sup>1</sup>, Jorge Antonio Argueta Spínola<sup>2</sup> and Gustavo Adolfo Hinojosa Cuellar<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Irrigation districts (ID), since their beginning, were managed by federal government from water source to farmer turnout. In 1990s, CONAGUA started a decentralization of ID through the transfer of tasks, programs, and resources, to Water Users Associations (WUAs). It was aimed to lead them towards financial self-sufficiency, increasing their productivity and reducing federal subsidies. This transference program began encouraging irrigation users to integrate WUAs that received a water rights concession issued by CONAGUA and took the responsibility to operate, maintain, and manage irrigation infrastructure to accomplish the irrigation service to all users under the WUA. This transfer process has achieved several positive effects, for example, global conduction efficiencies increased 8% at ID. The experience of Mexico in transferring the irrigation management to user organizations has been considered a success and has set an example for other countries as an intervention strategy to reduce the economic burden of government and concurrently improve performance of irrigation systems. However, there are new challenges to consolidate the WUAs after the transference process. Among the most important challenges are: i) Avoid social and political problems in WUAs, ii) Promotion of WUA healthy finances, iii) Development and adaptation of new technologies and schemes, iv) Accomplish the annual maintenance and conserve irrigation infrastructure, v) Implementation of WUAs national performance indicator system, vi) Better feedback between CONAGUA and WUAs, vii) Develop technical and administrative capabilities in WUA and viii) Improve territorial ordering, ix) WUA involvement in irrigation advice at the farm level. This paper analyses the post-irrigation management transfer process in Mexico as WUAs have become consolidated but new problems arise such as high-water pressure due to climate variability, water scarcity and rapid population growth.

**KEY WORDS:** Water User Associations, participatory irrigation management, irrigation management transfer.

#### RÉSUMÉ

Les districts d'irrigation (ID), depuis leur début, étaient gérés par le gouvernement fédéral depuis la source d'eau jusqu'aux fermes. Dans les années 1990, CONAGUA a commencé une décentralisation des ID par le transfert de tâches, programmes et ressources pour les Associations d'utilisateurs de l'eau (WUA). Il avait pour objectif de les amener vers l'autonomie financière, augmentant leur productivité et réduisant les aides fédérale. Ce programme de transfert a commencé à encourager les utilisateurs d'irrigation à intégrer les usagers qui ont reçu une concession de droits sur l'eau émise par CONAGUA et a pris la responsabilité d'exploiter, d'entretenir et de gérer l'infrastructure d'irrigation pour réaliser le service de

1 Deputy Director General of Planning. NationalWaterCommission. Insurgentes Sur 2416 Col. Copilco el Bajo, Coyoacán, México City, 04340, E-mail: luis.alcocer@conagua.gob.mx

2 Deputy Operations Manager of the National Irrigation Districts. National Water Commission. Insurgentes sur Col. Copilco bass, Coyoacán, Mexico City, 04340, E-mail: jorge.argueta@conagua.gob.mx

3 General Manager of the National Irrigation Districts. National Water Commission. Insurgentes sur Col. Copilco bass, Coyoacán, Mexico City, 04340, E-mail: jorge.argueta@conagua.gob.mx

l'irrigation à tous les utilisateurs du WUA. Ce processus de transfert a eu plusieurs effets positifs, par exemple, l'efficacité globale de la conduction a augmenté de 8 % à ID. L'expérience du Mexique dans le transfert de la gestion de l'irrigation aux organismes utilisateurs a été considérée comme un succès et a montré l'exemple à d'autres pays comme une stratégie d'intervention pour réduire le fardeau économique du gouvernement et en même temps améliorer les performances des systèmes d'irrigation. Cependant, il y a des nouveaux défis pour consolider les WUA après le processus de transfert. Parmi les défis les plus importants, il y a : i) éviter les problèmes sociaux et politiques dans les WUA, ii) Promotion des finances saines des WUA, iii) le développement et l'adaptation de nouvelles technologies et systèmes, iv) effectuer l'entretien annuel et conserver l'infrastructure d'irrigation, v) la mise en œuvre du système d'indicateurs de rendement nationaux des WUA, vi) une meilleure rétroaction entre CONAGUA et WUA, vii) développer les capacités techniques et administratives dans WUA et viii) améliorer la commande territoriale, ix) participation de WUA dans les conseils irrigation au niveau des exploitations. Cet article analyse le processus de transfert de gestion de l'irrigation au Mexique comme les WUA se sont consolidés mais de nouveaux problèmes surgissent comme la pression de la crue en raison de la variabilité du climat, le manque d'eau et une croissance démographique rapide.

**Mots clés :** Transfert des Associations d'usagers de l'eau, gestion participative de l'irrigation, gestion de l'irrigation.

## Land Evaluation for Drainage to Develop Peat Forest Fire Prevention Program in South Sumatra Indonesia

L'évaluation De La Terre Pour Le Drainage Pour Développer Le Tourbiere Pour La Prévention Des Incendies Forestiers Au Sud Sumatra En Indeonésie

MomonSodik Imanudin<sup>1,2</sup>, Bakri<sup>1</sup>, Armanto E<sup>1</sup>, and Jarot Widyoko<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The objective of this research was to study development potential of oil palm plantation at peat land by using land evaluation approach. The field survey method was observation scale and land suitability assessment was based on FAO standard with adjustment. Assessment results showed that land had peat thickness higher than 3 m covering 28% of total area so that it can be opened for oil palm plantation. The main constraint factors for the clearing of feasible area were soil reaction, flooding condition and nutrients status. These parameters could be potentially improved. However, final assessment of land showed that it was classified as less feasible (S2) due to relatively high investment. Cultivation can only be conducted with provision of drainage facility. Caution should be taken in designing open channel in order to prevent excessive water drainage. Therefore, hydrologic analysis can be based on 5 years return period only. Computer simulation of DRAINMOD was applied to determine the operational effect of control structures in elevating of water table during dry season. Simulation results showed that during the opening operation of open channel without control structures at dry season, water table was dropped up to 90 cm below soil surface. Water retention effort in tertiary channel at 70 cm level could elevated water up to 30-40 cm below soil surface. The key to the success of oil palm plantation development in peat land was the availability of control structure at tertiary channel.

**KEY WORDS:** Peat land, oil palm, drainage, DRAINMOD.

### RESUME

L'objectif de cette recherche était d'étudier le potentiel de développement de la plantation de palmier à huile dans les tourbières en utilisant une approche d'évaluation foncière. La méthode d'enquête sur le terrain était la mesure de l'observation et l'évaluation de l'adéquation des terres était basée sur la norme de la FAO avec ajustement. Les résultats de l'évaluation ont montré que les terres avaient une épaisseur de tourbe supérieure à 3 m couvrant 28% de la superficie totale afin qu'elle puisse être ouverte pour la plantation de palmier à huile. Les facteurs de contrainte principaux pour la défrichage de la zone faisable étaient la réaction des sols, les inondations et l'état des nutriments. Ces paramètres pourraient être potentiellement améliorés. Cependant, l'évaluation finale des terres a montré qu'elle était classée comme moins réalisable (S2) en raison d'investissements relativement élevés. La culture ne peut être effectuée qu'avec l'installation de drainage. Il faut prendre soin de concevoir un canal ouvert afin d'éviter un drainage excessif de l'eau. Par conséquent, l'analyse hydrologique peut être basée uniquement sur une période de retour de 5 ans. La

1 Deptt. of Soil Sci., Faculty of Agric., Sriwijaya Univ., Jl. Raya Palembang-Prabumulih km 32 Inderalaya. Oganllir South Sumatera Indonesia. email: momon\_unsri@yahoo.co.id

2 Same as 1. Drainage Working Group of ICID, and member of Indonession National Committe of Irrigation and Drainage INACID

3 Head of Water Resources Sumatera VIII, Min. of Public Work Indonesia Jalan Soekarno Hatta No.10, Demang Lebar Daun, Alang Alang Lebar, Demang Lebar Daun, Palembang, 30153, Indonesia.

simulation par ordinateur de DRAINMOD a été appliquée pour déterminer l'effet opérationnel des structures de contrôle dans l'élévation de la nappe phréatique pendant la saison sèche. Les résultats de la simulation ont montré que pendant l'opération d'ouverture du canal ouvert sans structures de contrôle pendant la saison sèche, la nappe phréatique a été déposée jusqu'à 90 cm sous la surface du sol. L'effort pour retenir l'eau dans le canal tertiaire à un niveau de 70 cm pourrait augmenter le niveau de l'eau jusqu'à 30-40 cm sous la surface du sol. La clé du succès du développement de la plantation de palmier à huile dans les tourbières était la disponibilité de la structure de contrôle au niveau tertiaire.

**Mots-clés:** la tourbière, la palmier à huile, le drainage, DRAINMOD.

## Measures for Green Development of Irrigation Districts in Haihe River Basin

### Mesures Prises Pour Le Développement Vert Des Districts D'irrigation Dans Le Bassin Fluvial De Haihe

Tian You<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Based on the review and summary of the basin irrigation district development history, current situation and irrigation features of Haihe River Basin, this paper analyzes the main problems in the green and sustainable development of the basin irrigation districts. It also puts forward the development of countermeasures from the aspects of the supporting facilities, continuous construction and the water-saving reform of the irrigation districts, strict control of groundwater overdraft, and acceleration of the irrigation district system and mechanism innovation, and expect to provide good references for the Haihe River Basin irrigation district reform and development.

**KEY WORDS:** Haihe River Basin, Irrigation Districts, Green development, Measures.

#### RESUME

Sur la base de l'examen et de la synthèse de l'histoire du développement du district d'irrigation du bassin, de la situation actuelle et des caractéristiques d'irrigation du bassin fluvial de Haihe, cet article analyse les principaux problèmes rencontrés dans le développement écologique et durable des districts d'irrigation du bassin. Il met également l'accent sur les contremesures de développement du point de vue des aspects des installations de soutien, de la construction continue et de la réforme de la conservation d'eau des districts d'irrigation, du contrôle strict sur le déficit d'eau souterraine et de l'accélération du système de district d'irrigation et de l'innovation du mécanisme. Cet article s'attend à fournir de bonnes références pour la réforme et le développement du district d'irrigation du bassin fluvial de Haihe.

**Mots-clés:** Bassin fluvial de Haihe, districts d'irrigation, développement vert, mesures.

<sup>1</sup> Deputy Director General in Haihe River Water Conservancy Commission, Ministry of Water Resources of China, No. 15 Longtan Road, Hedong District, Tianjin, China 300170; E-mail: tianyou@hwcc.gov.cn

## Preliminary Assessment of the Risk of Failure of an Earthen Dam due to Overtopping

### L'évaluation Préliminaire Du Risque De Rupture Des Barrages En Terre Par Débordement

Rafael Briseño<sup>1</sup>, Víctor Alcocer-Yamanaka<sup>2</sup>, Gisselle Orozco<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

This paper focuses on the assessment of failure risk of earth dams due to overtopping using the Mexican Standard NMX-AA-175-SCFI "Operación Segura de Presas" (Safety Operation of Dams). The application of this Standard is illustrated with an example of the risk failure evaluation of a small earth dam, in order to show how the risk is evaluated, and how the process consist to propose several solution options until an acceptable risk level is obtained.

A preliminary classification of the risk level is performed as the first step of the process, including different hydrological scenarios of the formal study, through a methodology with four stages: identification, estimation, evaluation and risk control.

It also enables decision-makers to equitably compare risk among dams, prioritize specialized studies, investment or emergency action plans objectively, and above all to propose alternatives to obtain a risk that society is willing to tolerate, or put the dam out of service in case of persistence of unacceptable risks.

**KEY WORDS:** Safety of dams, event tree, probability of failure, standard NMX-AA-175-SCFI.

#### RESUME

Cet article se concentre sur l'évaluation du risque de la rupture des barrages en terre à cause de l'application de la norme mexicaine NMX-AA-175-SCFI «Operación Segura de Presas» (l'Opération de sécurité des barrages). L'application de cette norme est illustrée par un exemple de l'évaluation des risques de la rupture d'un petit barrage terrestre afin de montrer comment le risque est évalué et comment le procédé consiste à proposer plusieurs solutions jusqu'à l'obtention d'un niveau de risque acceptable.

Une préliminaire classification du niveau de risque est réalisée comme première étape du processus, y compris des différents scénarios hydrologiques de l'étude formelle, par une méthodologie à quatre étapes: l'identification, l'estimation, l'évaluation et le contrôle des risques.

Il permet également aux décideurs de comparer équitablement le risque entre les barrages, de établir des priorités les études spécialisées, les plans d'investissement ou les plans d'action d'urgence objectivement, et surtout de proposer des possibilité pour obtenir un risque que la société soit prête à tolérer ou de mettre le barrage hors service au cas de la persistance de risques inacceptables.

**Mots-clés:** la sécurité des barrages, l'arbre d'événement, la probabilité d'échec, la norme NMX-AA-175-SCFI.

1 Water Technologist, Mexican Institute of Water Technology, 62550 Jiutepec, Morelos, México, E-mail: rbrisen@tlaloc.imta.mx

2 Deputy Technical Director, National Water Commission of Mexico, 04340, Coyoacán, CDMX, México, E-mail: yamanaka@conagua.gob.mx

3 External consultant, 62550 Jiutepec, Morelos, México, E-mail: g.orozcobustos@hotmail.com

## Evaluating the Financial Viability of Transferred Irrigation Schemes: Case Study from Turkey

### Évaluation De La Viabilité Financière Des Schémas D'irrigation Transférés : Étude De Cas De La Turquie

Aynur Fayrap<sup>1</sup>, Fazilet Unlu<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

In Turkey, the state is the main authority in irrigation investment and management. This authorized body is the State Hydraulic Works (DSI, in its Turkish acronym). In state irrigation networks, high cost burden of management, repair, and maintenance services and the inability to fully collect the irrigation fees guided the public towards new searches in Turkey. The operation by local administrations and water user associations (WUAs) established by beneficiary have been preferred since 1993. With the transfer of operation, maintenance and management (O&M), financial responsibility of routine O&M expenses are also taken from the state. WUAs are selffinancing for purposes of operations, maintenance and normal management. The objective of this study is to assess the financial and economic sustainability of the Bursa–Karacabey irrigation scheme (KIS) located in the western Turkey. According to the result of comparison, significant improvements are recorded in irrigation incomes in terms of Production Value and Gross Agricultural Income with being transferred of responsibility O&M from state to WUA. It should be also mentioned that the beneficiary can carry out the services in a more orderly, faster and economical manner.

**KEY WORDS:** Transferred Irrigation Scheme, Viability, Production Value, Gross Agricultural Income.

#### RÉSUMÉ

En Turquie, l'État est la principale autorité dans le domaine des investissements et de la gestion en irrigation. Ce corps autorisé est les Travaux Hydrauliques d'État (DSI, dans son abréviation Turque). Dans les réseaux nationaux d'irrigation, le coût élevé de gestion, d'entretien et de réparation et l'impossibilité de recueillir pleinement les frais d'irrigation ont guidé le public vers les nouvelles recherches en Turquie. L'exploitation par les administrations locales et les associations d'usagers de l'eau (AUE) établies par le bénéficiaire ont été privilégié depuis 1993. Avec le transfert de l'exploitation, de la maintenance et de la gestion (O & M), la responsabilité financière des dépenses courantes de O & M est également prise par l'État. Les AUE sont autofinancées à des fins d'exploitation, de maintenance et de gestion normale. L'objectif de cette étude est d'évaluer la viabilité économique et financière du régime d'irrigation Bursa – Karacabey (KIS) situé à l'ouest de la Turquie. Selon le résultat de la comparaison, des améliorations significatives sont enregistrées dans les revenus d'irrigation en fonction de la valeur de la Production et le revenu agricole brut avec son transfert de responsabilité O & M d'État à WUA. Il convient également de mentionner que le bénéficiaire peut effectuer les services d'une manière plus ordonnée, rapide et économique.

**Mots clés :** Schéma d'Irrigation Transférée, viabilité, valeur de la Production, le revenu agricole brut.

1 Agricultural Engineer, General Directorate of State Hydraulics Works, Dept of Operation and Maintenance, Section of Irrigation and Drainage, o6100 Yucetepe-Ankara, Turkey. Phone: +90 312 4544724, E mail: ayurf@dsi.gov.tr

2 Agricultural Engineer, General Directorate of State Hydraulic Works, E-mail: faziletu@dsi.gov.tr

## Soil Salinity, Global Warming and Crop Production in Mexican Irrigation Districts

### Ensalitramiento De Suelos, Calentamiento Global Y Producción Agrícola En Distritos De Riego

Leonardo Pulido-Madrigal<sup>1</sup>, Heber Eleazar Saucedo-Rojas, Inocente Aragón-Figueroa and Adán Jesús González-Real

#### ABSTRACT

An investigation was carried out in the Irrigation District 038 Río Mayo, Sonora, Mexico, for the periods 1970-2001 and 2012-2014, to identify factors influencing soil salinization, and to estimate their impact on agricultural production. The agronomic variables analysed were: irrigation volume, depth to water table and salinity of groundwater, and the climatic variables: temperature, evapotranspiration (ET) and rainfall. In the first period, data on soil salinity, water table, volume of irrigation water and volume of agricultural production were extracted from the archives of the Irrigation District and were analysed. In the period 2012-2014, the research was carried out in the Irrigation Module 05 which is part of the Irrigation District. In the second period, soil salinity data were generated through analysis of soil samples and monthly on-site monitoring with an EM-38 electromagnetic sensor. In the period 2012-2014, daily records of temperature, ET and rainfall were obtained from meteorological stations; and with salinity and depth to water table data, soil and groundwater salinity maps were drawn. Subsequent regression analysis among the relevant information revealed an increase in the salinized area, of 24.1% and 15.8% in the soil strata at 30 and 60 cm depth, respectively during the period 1970-2001. Similarly, there was an estimated 21.9% growth of waterlogged (shallow water table) areas. The impact on the decrease in agricultural production 18.9%, while the effect of temperature, rainfall, irrigation volume and cropped area was a reduction of the agricultural production of 15.2%. Likewise, the increase in water table influenced the growth of the salinized areas by 33%. Temperature increase impacted on the loss of 1.4 ton ha<sup>-1</sup> (19.8%) of wheat (*Triticum vulgare*) and 0.3 ton ha<sup>-1</sup> (11.5%) of safflower (*Carthamus tinctorius*). The increase in the salt-affected areas reduced the wheat production by 19.6% and safflower by 13.3%. Compared with 2012, it was determined that in 2013 the salt-affected areas increased by 16.0%, and in 2014 the increase was 14.6%. The results show a scenario of greater salt-affected areas and a loss in agricultural production, as a result of the global warming that is been experienced in the planet.

**KEY WORDS:** climatic variables; water table; impact on salinity; impact on agricultural production.

#### RÉSUMÉ

Se llevó a cabo una investigación en el Distrito de Riego 038 río Mayo, Sonora, México, con los objetivos de identificar variables que influyen en el ensalitramiento del suelo, y de estimar su impacto en el incremento de la salinidad y en la producción agrícola, en los periodos 1970-2001 y 2012-2014. Se analizaron las variables agronómicas: volumen de riego, superficie con nivel freático superficial y salinidad en el agua freática, y las variables climáticas: temperatura, evapotranspiración y precipitación pluvial. En el primer periodose analizaron datos de salinidad del suelo, freatimetría, volumen de riegoyvolumen de producción agrícola, extraídos de los archivos del distrito de riego. Por su parte, en el periodo 2012-2014 la investigación se

<sup>1</sup> Researcher in the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, México, 62550; E-mail: lpulido@tlaloc.imta.mx or jalapuma56@gmail.com



realizó en el Módulo de Riego 05, perteneciente al distrito de riego referido. En este periodo se adquirieron datos de salinidad del suelo por medio de análisis de muestras de suelo y de monitorizaciones mensuales *in-situ* con un sensor electromagnético EM-38; se hicieron mediciones de niveles freáticos superficiales en pozos en los cuales también se midió la salinidad del agua freática. En el periodo 2012-2014 se consiguieron registros diarios de estaciones meteorológicas; con los datos de salinidad y freatimetría se elaboraron mapas de salinidad, así como mapas de isobatas y de salinidad del agua freática. En ambos periodos, con los datos de clima y agronómicos se ejecutaron análisis deregresión, y con los modelos elaborados se estudió la relación entre la superficie ensalitrada con las variables agronómicas y climáticas. En el periodo 1970-2001 los resultados evidenciaron que la interacción de las variables determinó incrementos en la superficie ensalitrada, de un 24.1% y un 15.8% en los estratos de suelo a 30 y 60 cm de profundidad, respectivamente; asimismo, se estimó un crecimiento del 21.9% de superficies con niveles freáticos superficiales. El impacto en la disminución de producción agrícola de la salinidad y niveles freáticos superficiales fue del 18.9%, mientras que el efecto de temperatura, precipitación pluvial, volumen de riego y superficie de cultivo fue una reducción del volumen de producción del 15.2%. En el segundo periodo, se estimó un incremento de superficie ensalitrada de 469 ha por cada grado Celsius; de igual manera, el aumento de niveles freáticos influyó en el crecimiento de la superficie ensalitrada en un 3%. El incremento de temperatura impactó en la pérdida de 1.4 tonha<sup>-1</sup> de trigo (*Triticum vulgare*)(19.8%) y 0.3 tonha<sup>-1</sup> de cártamo (*Carthamus tinctorius*)(11.5%). El aumento de superficie ensalitrada redujo la producción de trigo en 19.6% y de cártamo en 13.3%. Comparados con 2012, se determinó que en 2013 la superficie ensalitrada creció un 14.6%, y en 2014 el aumento fue de 16.0%. Los resultados alcanzados muestran un escenario de mayores superficies ensalitradas y de pérdida de producción agrícola, como resultado del calentamiento global que se está manifestando en el planeta.

## New Approach to Predict Drought Risk from Climate Change in South Korea

### Nouvelle Approche Pour Predire Le Risque De La Secheresse En Raison Du Changement Climatique En Corée Du Sud

Chang Eon Park<sup>1</sup>, Junoh Park<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The SSP2 scenario was used to predict future drought risk in South Korea. The SSP2 scenario reflected emission policies, information on social and economic changes, and efforts to reduce and decrease emissions of the East Asia, especially China. Drought risk was assessed by agricultural reservoir water storage rate. For this, regression analysis of monthly precipitation and reservoir changes was conducted to simulate future monthly changes in reservoir water volume in South Korea. From these simulation and assessment results, various air pollutant policies of East Asian countries have shown that future drought risk can be reduced.

**KEY WORDS:** Drought Risk, South Korea, Climate Change, RCP scenario, SSP2 scenario.

#### RESUME

Le scénario SSP2 a été utilisé pour prédire le risque futur de la sécheresse en Corée du Sud. Le scénario SSP2 reflète les politiques d'émission, les informations sur les changements sociaux et économiques et les efforts visant à réduire et à diminuer les émissions de l'Asie orientale, en particulier de la Chine. Le risque de sécheresse a été évalué par le taux de stockage d'eau des réservoirs agricoles. Pour cela, l'analyse de régression des précipitations mensuelles et des changements de réservoir a été effectuée pour simuler les changements mensuels futurs du volume d'eau du réservoir en Corée du Sud. À partir de ces résultats de simulation et d'évaluation, diverses politiques de pollution atmosphérique des pays d'Asie orientale ont montré que le risque futur de la sécheresse pourrait être réduit.

**Mots-clés :** Risque de sécheresse, Corée du Sud, changement climatique, scénario RCP, scénario SSP2.

1 Professor, Department of Civil Engineering, Shingu College, Republic of Korea; E-mail: cepark@shingu.ac.kr

2 Student, Lab of Landscape Ecology & Climate Change Adaptation, Seoul National University, Republic of Korea; E-mail: niceguy1378@snu.ac.kr

## Technical Guidelines for Irrigation, Drainage and Flood Protection in Sustainable Agricultural Projects

### Directives Techniques Pour La Protection Des Inondations, L'irrigation Et Le Drainage Dans Les Projets Agricoles Durables

García Asensio, José María<sup>1</sup>, Álvarez González, Carlos<sup>2</sup>, Cárdena Burbano, Orlando<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

The TRAGSA Group is a set of public Spanish companies with 40 years of experience (1977-2017). The Group in Colombia has been collaborating, under an Agreement on International Cooperation, with the Rural Agricultural Planning Unit known as UPRA, under the Ministry of Agriculture and Rural Development (MADR), which in 2015 and 2016 provided technical assistance in coordinating the updating of the technical manual of basic standard bases for land improvement projects. Conceptually, the work considers irrigation, drainage and flood protection for agricultural production as a “process”, so it requires the stages of pre-investment, investment, administration, operation, maintenance, integral management, and finally ex-post evaluation. All this in order to have a comprehensive approach to the rural development projects design from their identification to evaluation.

The pre-investment stage has the sub-stages of identification, pre-feasibility, feasibility, and design. The investment stage has construction tasks for new projects, rehabilitation, expansion, complementation, modernization, and execution of associated programs in existing projects. The next stage has the phases of integral management and provision of the public service. And the last stage of evaluation has the phases of impact and performance, with the final project result. The technical manual gives the current technical regulations, the institutional framework, the concepts of efficient use of resources, especially water and soil, and the integral concept of land improvement, ensuring the detailed and progressive evaluation of the conditions and problems of the area, the definition of the tasks, programs and activities required for the execution of the project and its final success.

These guidelines anticipate their necessary updating as they incorporate experiences obtained from their application, new technologies, related regulations, or institutional changes in the sector, being part of the state of knowledge of irrigation works.

**KEY WORDS:** irrigation, drainage, flood protection, technical guideline, technical manual, project cycle, integral rural development, sustainable agricultural projects.

#### RÉSUMÉ

Le groupe TRAGSA est un ensemble de sociétés espagnoles avec 40 ans d'expérience (1977-2017). Le Groupe, en vertu d'un accord sur la coopération internationale, a collaboré en Colombie avec l'Unité de Planification Agricole Rurale, dite UPRA, dépendant du ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR), qui, en 2015 et 2016, a fourni une assistance technique dans la coordination de la mise à jour du manuel technique de la

1 Tragsa Group - International Expert. TRAGSA. C/Conde de Peñalver, 84, 28006-Madrid, Spain. E-mail: jgarcia36@tragsa.es

2 Tragsa Group - Head of Department. TRAGSA Colombia. Cra 7D No. 108A-59, Bogotá, Colombia.

3 Tragsa Group - Consultant. TRAGSA Colombia. Cra 7D No. 108A-59, Bogotá, Colombia.

norme de base des bases pour des projets d'amélioration de terrains. D'un point de vue conceptuel, le travail considère protection de l'inondation, l'irrigation et le drainage pour la production agricole comme un « processus », c'est pourquoi il nécessite des étapes de pré-investissement, d'investissement, d'administration, d'exploitation, de maintenance, de gestion intégrale et enfin d'évaluation ex post. Tout ceci afin d'avoir une approche globale à la conception de projets de développement rural de leur identification à l'évaluation.

Le stade de pré-investissement comporte les sous-étapes de l'identification, pré-faisabilité, faisabilité et conception. L'étape d'investissement comporte des tâches de construction pour les nouveaux projets, réhabilitation, extension, complémentation, modernisation et exécution de programmes associés à des projets existants. La prochaine étape comporte les phases de fourniture et de gestion intégrale de la fonction publique. Et la dernière étape de l'évaluation comprend les phases de performance, avec le résultat final du projet et les effets. Le manuel technique donne les normes techniques, le cadre institutionnel, les concepts d'une utilisation efficace des ressources, surtout eau et le sol et le concept intégral d'amélioration foncière, assurer l'évaluation détaillée et progressive des conditions et des problèmes de l'espace, la définition des tâches, programmes et activités nécessaires à l'exécution du projet et son succès final.

Ces directives anticipent leur nécessaire mise à jour comme elles contiennent des expériences tirées de leur application, de nouvelles technologies, de leurs règlements d'application ou des changements institutionnels dans le secteur, faisant partie de l'état des connaissances des travaux d'irrigation.

**Mots-clés** : irrigation, drainage, protection contre les inondations, lignes directrices techniques, manuel technique, cycle de projet, développement rural intégral, projets d'agriculture durables.

## Modeling Water Allocation Management during Drought – The Socio-Economic Scenarios

### Modèles De Gestion De Répartition De L'eau Pendant La Sécheresse - Les Scénarios Socio-Économiques

Ya-Wen Chiueh<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Water resources are renewable, depletable and degradable. A water management policy must have detailed planning and management in order to have sustainability of fresh water use. Changhua and Yunlin are located in the central Taiwan where groundwater is an important resources for both domestic and agricultural uses. Besides, there are many industries in this region. All of these have gradually increasing fresh water demand. This demand is sharpened due to the effects of climate change. In this study, Changhua and Yunlin area will be select as the case study areas. To establishment the Submodel 1, Submodel 2, and Submodel 3, are based on the actual data about the drought and water shortage during emergencies. from different sectors in Changhua and Yunlin. The models attempt to establish the water transfer mechanism and then simulate the welfare effects of different situation. This study hopes to help build a fair and efficient water management mechanism to maintain food security, water resources, economic development, and environmental conservation in Taiwan.

**KEY WORDS:** Drought, Water allocation, sustainable development, Management of water allocation, Socio-economics,

#### RÉSUMÉ

Les ressources en eau sont renouvelables, épuisables et dégradables. Une politique de gestion de l'eau doit avoir une planification et une gestion détaillées afin d'avoir la durabilité de l'utilisation de l'eau douce. Changhua et Yunlin sont situés dans le centre de Taïwan où l'eau souterraine est une ressource importante pour les utilisations domestiques et agricoles. En outre, il y a beaucoup d'industries dans cette région. Tous ces facteurs ont graduellement augmentés la demande d'eau douce. Cette demande est plus précise en raison des effets du changement climatique. Dans cette étude, la zone de Changhua et Yunlin sera sélectionnée en tant que zone d'étude de cas. La mise en place du sous-modèle 1, sous-modèle 2, et du sous-modèle 3 reposent sur les données réelles sur la pénurie d'eau et la sécheresse en cas d'urgence, de différents secteurs à Changhua et Yunlin. Les modèles tentent de mettre en place le mécanisme de transfert de l'eau et de simuler les effets de bien-être de situation différente. Cette étude souhaite aider à établir un mécanisme de gestion de l'eau équitable et efficace pour maintenir la sécurité alimentaire, ressources en eau, développement économique et préservation de l'environnement à Taïwan.

**Mots clés :** La sécheresse, la répartition de l'eau, développement durable, gestion de la répartition de l'eau, socio-économie,

<sup>1</sup> Professor, Department of Environmental and Cultural Resources, National Tsing Hua University, Taiwan. E-mail: yawen.chiueh@gmail.com

## Ensuring Food Security by Restoring the Use of Reclaimed Land Potential in Ukraine

Assurant La Sécurité Alimentaire En Rétablissant L'utilisation Du Potentiel Des Terres Récupérées En Ukraine

Y.M. Gadzalo<sup>1</sup>, M.I. Romashchenko<sup>2</sup>, M.I. Yatsuk<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Land productivity improvement through the development of irrigation and drainage are an important prerequisite for the sustainable agriculture in Ukraine. In the last 25-30 years, the area of dry and very dry zones in Ukraine has increased by 8 million hectares (M ha) and the wetland area, being typical for the Forest zone, has almost disappeared. Overall, about 19 M ha of arable land used in agriculture suffer from acute water balance deficit.

To address the problem, the Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS of Ukraine has initiated and the Government of Ukraine has established the Coordination Council dealing with the restoration and development of water facilities. Currently, the Coordinating Council with the participation of the World Bank experts are carrying out the development of the National Strategy on restoration and development of irrigation and drainage for Ukraine.

The restoration and development of irrigation is expected to perform following the next conceptual approaches:

- extension of irrigation area through modernization and reconstruction;
- modernization shall provide preferential use of new methods of irrigation,
- restoration of irrigation shall be done keeping in view the environmental safety;
- technical modernization and institutional reform shall complement each other,
- institutional reform would ensure active role of the WUAs in the state network,;
- ensuring participation of WUA representatives in management of such systems;
- attract credit from international financial institutions.

**KEY WORDS:** Irrigation and drainage systems, Reconstruction, Modernization, and Water supply, Drip irrigation, Implementation.

### RESUME

L'amélioration de la productivité des terres par le développement de l'irrigation et du drainage est une condition préalable importante pour l'agriculture durable en Ukraine. Au cours des 25 à 30 dernières années, la superficie des zones sèches et très sèches en Ukraine a augmenté de 8 millions d'hectares (M ha), et typique de la zone forestière, la zone humide a presque disparue. Dans l'ensemble, environ 19 M ha de terres arables utilisées dans l'agriculture souffrent d'un déficit de l'équilibre hydrique aigu.

Pour résoudre le problème, l'Institut des problèmes de l'eau et la récupération des terres du NAAS de l'Ukraine a lancé et le Gouvernement ukrainien a créé le Conseil de coordination

1 President, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 9, Mykhaila Omelyanovycha-Pavlenka Str., Kyiv, 01010, Ukraine, e-mail: prezid@naas.gov.ua

2 Director, Insitute of Water Problems and Land Reclamation, 37, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: mi.romashchenko@gmail.com

3 Deputy Director for Science, Insitute of Water Problems and Land Reclamation, 37, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: mv\_yatsiuk@ukr.net

chargé de la restauration et du développement des installations hydriques. À présent, le Conseil de coordination, avec la participation des experts de la Banque mondiale, réalisent l'élaboration de la Stratégie nationale de restauration et de développement de l'irrigation et du drainage pour l'Ukraine.

La restauration et le développement de l'irrigation devraient se produire selon les approches conceptuelles suivantes:

- l'extension de la zone d'irrigation par modernisation et par reconstruction;
- la modernisation doit permettre l'utilisation préférentielle de nouvelles méthodes d'irrigation,
- la restauration de l'irrigation doit être effectuée en tenant compte de la sécurité environnementale;
- la modernisation technique et la réforme institutionnelle se complètent,
- la réforme institutionnelle assurerait un rôle actif des AUE dans le réseau de l'Etat;
- assurer la participation des représentants de l'AUE à la gestion de ces systèmes;
- attirer le crédit des institutions financières internationales.

**Mots-clés:** les systèmes d'irrigation et de drainage, la reconstruction, la modernisation, l'approvisionnement en eau, l'irrigation par goutte à goutte, la mise en œuvre.

## A Critical Analysis of the Historic Water Apportionment Accord Among Four Provinces of Pakistan

### Une Analyse Critique De L'accord De Répartition Historique De L'eau Entre Les Quatre Provinces Du Pakistan

Asjad Imtiaz Ali, Javeed Iqbal Bokhary, Ahmed Kamal and  
 'Qazi Tallat M. Siddiqui\*

#### ABSTRACT

The main source of water in Pakistan is the Indus river system. Under the 1960 Indus Basin treaty with India, Pakistan was entitled to the flow of three western rivers (Indus, Jhelum and Chenab), with occasional spills from the eastern rivers Sutlej and Ravi diverted upstream by India. The rivers under Pakistan control are mainly fed by snowmelt and glacier melt, however, Chenab and Jhelum rivers also receive rainwater under monsoon depressions during summer. The average annual inflows of the western and eastern rivers and their tributaries are estimated as 142 MAF<sup>2</sup>. The per capita availability of surface water in Pakistan in 1951 was approximately 5260m<sup>3</sup>, which came down to 1000m<sup>3</sup> per capita in 2013 that is in the water scarcity zone.

The Water Apportionment Accord was among four provinces of Pakistan, signed on March, 21, 1991. The Water Accord not only meets the existing water requirements of the Provinces but is also planned to meet the future requirements both in the Irrigation and other sectors. Implementation of the Accord during the past 25 years has created a sense of trust and cooperation between the stakeholders. The Accord provides for the distribution of water amongst the four provinces of Pakistan below the rim stations i.e Tarbela, Mangla, Marala, Balloki and Sulemanki.

At the end of analysis some recommendations have been made for further fine-tuning of WAA and enhancing IRSA's institutional capability through acquisition of analytical modeling techniques for flow forecasting and system water routing, equipping river gauging network with telemetry to establish on-line data facility for effective system regulation and establishment of surveillance capability for system operational monitoring and control.

#### RÉSUMÉ

La principale source d'eau au Pakistan est le système du fleuve Indus. En vertu du traité du Bassin Indus de 1960 avec l'Inde, le Pakistan avait droit à l'écoulement de trois rivières Ouest (Indus, Jhelum et Chenab), avec déversement occasionnel dans les rivières de l'est Sutlej et Ravi détournées en amont par l'Inde. Les rivières sous le contrôle du Pakistan sont principalement alimentées par la fonte des neiges et des glaciers, cependant, les rivières Chenab et Jhelum reçoivent également l'eau de pluie des dépressions de la mousson au cours de l'été. Les entrées annuelles moyennes des fleuves occidentaux et orientaux et leurs affluents sont estimées à 142 MAF. La disponibilité par habitant des eaux de surface au Pakistan en 1951 a été environ de 5 260m<sup>3</sup>, descendu à 1 000 m<sup>3</sup> par habitant en 2013 qui se trouve dans la zone de rareté de l'eau.

L'Accord de répartition de l'eau est conclu entre quatre provinces du Pakistan, signé le 21 mars 1991. L'Accord de l'eau satisfait non seulement les besoins en eau actuels des Provinces, mais est également prévu pour répondre aux exigences futures tant dans l'irrigation que dans

1 The authors are from the Pakistan National Committee of ICID (PANCID)(\*Corresponding Author)

2 MAF = Million Acre Feet. 1 acre foot = 1,233 m<sup>3</sup>



d'autres secteurs. La mise en oeuvre de l'Accord au cours des 25 dernières années a créé un sentiment de confiance et de coopération entre les parties prenantes. L'Accord prévoit la distribution d'eau entre les quatre provinces du Pakistan sous le rebord stations : Tarbela, Mata, Marala, Balloki et Sulemanki.

À la fin de l'analyse, certaines recommandations ont été formulées pour procéder au réglage fin de WAA et renforcement de capacité institutionnelle de l'IRSA grâce à l'acquisition de techniques de modélisation analytique pour la prévision des flux et l'acheminement de l'eau système, équipement réseau hydrométrique rivière avec télémétrie pour établir des installations de données en ligne pour la régulation du système efficace et mise en place d'une capacité de surveillance système opérationnel de surveillance et de contrôle.

## Perspectives of Irrigation with Unconventional Water Resources in China

### Perspectives De L'irrigation Avec Des Ressources En Eau Non Conventionnelles En Chine

Wenyong Wu<sup>1\*</sup>, Yaqi Hu, Renkuan Liao

#### ABSTRACT

With the increasing shortage of water resources, the development and utilization of unconventional water resources have received more attention in various countries. Using unconventional water resources to irrigate is one of the important measures to deal with the shortage of water resources. Unconventional water resources mainly include the reclaimed water and brackish water. The reclaimed water refers to the useful water obtained from sewage through a proper treatment, after the processing a certain water quality standard is achieved, and some functional requirement is met. Brackish water generally refers to the brine with the salinity of 2~5 g/L. In China, the agricultural unconventional water resources have relatively high potential. It has been predicted that by the year 2030, the irrigation potentials of reclaimed water and brackish water are  $184.94 \times 10^8 \text{ m}^3$  and  $58.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ . In the areas where the fresh water resources are lacking and the unconventional water resources are relatively abundant, especially in the arid area in the north, developing and using unconventional water resources can be regarded as a good solution for the shortage of fresh water. In this article, based on the situation of China, the irrigation mode of unconventional water resources was summarized, the safeguard measures of irrigation with unconventional water resources was proposed, and the strategy of the development and utilization of unconventional water resources was discussed.

**KEY WORDS:** Unconventional water; reclaimed water; brackish water; irrigation; research status.

#### RÉSUMÉ

Avec la pénurie croissante des ressources en eau, le développement et l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles ont reçu plus d'attention dans différents pays. L'utilisation des ressources en eau non conventionnelles pour irriguer est une des mesures importantes pour faire face à la pénurie des ressources en eau. Les ressources en eau non conventionnelles incluent principalement l'eau recyclée et les eaux saumâtres. L'eau recyclée se réfère à l'eau utile, obtenue à partir des eaux usées grâce à un traitement approprié, après le traitement un certain niveau de qualité de l'eau est atteint et une exigence fonctionnelle est remplie. Eau saumâtre réfère généralement à la saumure avec une salinité de 2 ~ 5 g/L. En Chine, les ressources d'eau non conventionnelles pour l'agriculture ont un potentiel relativement élevé. Il a été prédit que d'ici l'année 2030, les potentiels d'irrigation des eaux recyclées et saumâtres sont  $184.94 \times 10^8 \text{ m}^3$  et  $58.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ . Dans les zones où les ressources en eau douce font défaut et les ressources en eau non conventionnelles sont relativement abondantes, en particulier dans la zone aride dans le Nord, le développement et l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles peuvent être considérés comme

<sup>1</sup> All authors are from China Institute of Water Resources and Hydropower research, No. 20 Chegongzhuang West Road, Haidian District, Beijing 100048, China.

Corresponding author: Email: wenyongwu@126.com;

une bonne solution face à la pénurie d'eau douce. Dans cet article, basé sur la situation de la Chine, le mode d'irrigation des ressources en eau non conventionnelles a été résumé, les mesures de sauvegarde de l'irrigation avec des ressources en eau non conventionnelles a été proposé et la stratégie de développement et l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles a été discutée.

**Mots clés** : eau non conventionnel ; eau recyclée ; eau saumâtre ; irrigation ; statut de la recherche.

## Hydrological Drought Variation Along the Yom River, Thailand

Variation De La Sécheresse Hydrologique Le Long De La Rivière Yom, Thaïlande

Kanokporn Sawatpru<sup>1</sup>, Supasit Konyai<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The Yom River is one of the four main tributaries of the great Chao Phraya River. The majority of hydrological studies done on the Yom River have focused generally on flood mitigation rather than on drought. The droughts along the Yom however occur during each dry season for the entire river length with great spatial variation e.g. a section of the river has a reasonable flow while the next downstream reach is dry. To effectively manage water resources of the river, the cause of spatial variability of hydrological drought along the Yom River must be understood and quantified for comparison. This paper extends the threshold level method to determine and compare the strength of drought along the river mainstream. The mean daily flow data sets from eight river gauging stations from 1988 to 2012 were used to determine the values of deficit volume and drought duration using the threshold level method. Hydrological drought severity of each of the eight river gauging stations was quantified by the combination of deficit volume and drought duration using the method of two-variable choropleth map legend.

Five drought categories were assigned based on drought severity, including short-term low flow, long-term low flow, moderate drought, severe drought, and extreme drought. The results show that station Y.14 is the most severe drought while Y.6 immediately downstream of Y.14, is the least severe. The highest degree of drought severity at Y.14 is attributed to the over exploitation of the adjacent groundwater aquifer, while the lowest drought classification at Y.6 is due to high return flow from the upstream groundwater irrigation. These findings imply that river management could be performed by limiting the abstraction of groundwater of the adjacent aquifer of Y.14 to a reasonable quantity and releasing surplus water from station Y.6 to supplement downstream consumption. This is one example of river management from potential alternative to managing the river to achieve equitable water allocation along the river.

**KEY WORDS:** Drought duration, Deficit volume, Hydrological drought number indicator, HDNI, Two-variable choropleth map legend.

### RESUME

La rivière Yom est l'un des quatre principaux affluents de la grande rivière Chao Phraya. La plupart des études hydrologiques effectuées sur la rivière Yom ont généralement porté sur l'atténuation des inondations plutôt que sur la sécheresse. Les sécheresses le long du Yom se produisent cependant lors de chaque saison sèche pour toute la longueur de la rivière avec une grande variation spatiale, par exemple, une section de la rivière a un débit raisonnable tandis que la prochaine portée en aval est sèche. Pour gérer efficacement les ressources en eau de la rivière, il faut comprendre et quantifier la cause de la variabilité spatiale de la sécheresse hydrologique le long de la rivière Yom pour des fins de comparaison. Cet article étend la méthode du niveau du seuil pour déterminer et comparer la force de la sécheresse le long du lit principal de la rivière. Les données moyennes du débit journalier de huit stations de jaugeage de la rivière de 1988 à 2012 ont été utilisées pour déterminer les valeurs du volume du déficit et de la durée de la sécheresse selon la méthode du seuil. L'intensité de

1 Researcher in Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand, E-mail: kanokporncp@gmail.com

2 Asst. Prof. in Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, KhonKaen University, Khon Kaen, 40002, Thailand, E-mail: supako@kku.ac.th

la sécheresse hydrologique de chacune des huit stations de jaugeage des rivières a été quantifiée par la combinaison du volume du déficit et de la durée de la sécheresse en utilisant la méthode de la légende des cartes choroplèthes à deux variables.

Cinq catégories de sécheresse ont été attribuées en fonction de l'intensité de la sécheresse, y compris le faible débit à court terme, le faible débit à long terme, la sécheresse modérée, la sécheresse sévère et la sécheresse extrême. Les résultats montrent que la station Y.14 est la sécheresse la plus sévère pendant que Y.6 immédiatement en aval de Y.14 est moins sévère. Le degré de l'intensité de la sécheresse le plus élevé à Y.14 est attribué à la surexploitation de l'aquifère des eaux souterraines adjacentes, tandis que la classification la plus basse de la sécheresse à Y.6 est due à un débit récupéré élevé provenant de l'irrigation en amont des eaux souterraines. Ces résultats impliquent que la gestion des rivières pourrait être effectuée en limitant l'extraction des eaux souterraines de l'aquifère adjacent de Y.14 à une quantité raisonnable et en libérant de l'eau excédentaire de la station Y.6 pour compléter la consommation en aval. Il s'agit d'un exemple de la gestion de bassin d'une alternative potentielle à la gestion de la rivière pour obtenir une répartition équitable de l'eau le long de la rivière.

**Mots-clés :** Durée de la sécheresse, volume de déficit, indicateur de nombre de sécheresse hydrologique, HDNI, légende des cartes choroplèthes à deux variables.

## Irrigation Intensity, Environmental Conditions and Crop Production in the Rio Grande-Bravo Basin (Mexico)

Intensité De L'irrigation, Conditions Environnementales Et Organisation De La Production De Cultures Dans Le Bassin Rio Grande-Bravo (Mexique)

Nicholas P. Sisto<sup>1</sup>, Sergei Severinov<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Irrigated fields produce a large share of the world's agricultural output but in many river basins, agriculture faces growing competition from other water users. This paper focusses on irrigation intensity (the volume of water applied per unit of irrigated land) in the ten irrigation districts of the Rio Grande-Bravo (MRGB) basin in Mexico. To this end the paper presents an analysis of historical district-level irrigation data, per crop and over a ten-year period. The results show that irrigation intensity varies widely within the water-stressed river basin. Local environmental conditions (in particular, aridity) explain some of this variability but the districts' organizational characteristics (plot sizes and the land tenure regime) also play a significant role. These results suggest water management challenges in the basin but also opportunities. In particular, a shift of irrigation water use towards the relatively less arid lower basin could satisfy non-agricultural water needs (including environmental uses) without affecting overall crop production.

**KEY WORDS:** agriculture, water use, irrigation intensity, Rio Grande-Bravo Basin, Mexico.

### RÉSUMÉ

Les champs d'irrigation produisent une part importante de la production agricole mondiale, mais dans de nombreux bassins fluviaux, l'agriculture fait face à une concurrence croissante des autres utilisateurs de l'eau. Cet article se concentre sur l'intensité de l'irrigation (le volume d'eau appliqué par unité de terres irriguées) dans les dix districts d'irrigation du bassin du Rio Grande-Bravo (MRGB) au Mexique. À cette fin, l'article présente une analyse des données historiques d'irrigation de chaque district, par culture et sur une période de dix ans. Les résultats montrent que l'intensité de l'irrigation varie considérablement dans ce bassin où prévaut le stress hydrique. Les conditions environnementales locales (en particulier l'aridité) expliquent une partie de cette variabilité, mais les caractéristiques organisationnelles des districts (taille des parcelles et régime de la propriété de la terre) jouent également un rôle significatif. Cela souligne les défis de la gestion de l'eau dans le bassin, mais aussi les opportunités. En particulier, un déplacement de l'utilisation de l'eau d'irrigation vers le bassin inférieur relativement moins aride pourrait satisfaire les besoins en eau non agricoles (y compris les utilisations environnementales) sans affecter la production globale des cultures.

1 Professor, CISE, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, Mexico. E-mail: nicholas.sisto@uadec.edu.mx

2 Associate Professor, Vancouver School of Economics, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. E-mail: Sergei.Severinov@ubc.ca

## Water Security and Land-Use Changes in Small-Scale Hydro-Agricultural Infrastructure

### Securite De L'eau Et Changements D'affectation Des Terres Dans Les Infrastructures Hydro Agricoles A Petite Echelle

Mauro Íñiguez-Covarrubias<sup>1</sup>, Waldo Ojeda-Bustamante<sup>1</sup>,  
Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

In Mexico, small-scale irrigation infrastructure is old and in many cases it needs to be rehabilitated. This task requires the application of new technological developments, since the economic impact is a determining factor for regional water security. The infrastructure is conceived for an economically viable service life dependent on two crucial variables: rainfall and current and potential land use in the catchment basin. This paper presents a proposal of analysis and comparison relating rainfall-runoff-silting, essential for deciding the life span of the project, a) the quantification of silt resulting from changes in land use is covered with quantification of the information using digital image treatment techniques, b) the behavior of the rainfall regime. The "El Ejidatario" reservoir, located in the municipality of Sombrerete, in Zacatecas, Mexico, is presented as a study case. The results of the comparison of the original design in 1971, and that of the study, in 2016 show that the distribution of natural and induced vegetation and the areas for cattle raising decreased by 16%, while agricultural areas increased by 22%. Forestry use disappears, with the soil left bare, which accounts for the greatest increase, with 400%. Regarding the mean annual rainfall regime, 630 mm were reported for the year of infrastructure construction, with a downward trend to an average of 577 mm. As for the impact of the rainfall-runoff-silt relationship, there is an increase in the amount of silt washed to the reservoir, due to changes in land use, causing the water intake to be obstructed, which led to a change from irrigated agriculture to rain-fed agriculture. It is recommended that the design criteria for the small-scale hydro-agricultural infrastructure be modified and that water and soil conservation programs be enhanced.

**KEY WORDS:** Land use, dead storage capacity, dam safety.

#### RÉSUMÉ

Au Mexique, l'infrastructure d'irrigation à petite échelle est vieux et dans de nombreux cas il doit être remis en état. Cette tâche requiert l'application des nouveaux développements technologiques, étant donné que l'impact économique est un facteur déterminant pour la sécurité régionale de l'eau. L'infrastructure est conçue pour une durée de service rentable dépendant de deux variables cruciales : précipitations et utilisation des terres actuelle et potentielle dans le bassin versant. Cet article présente une proposition d'analyse et de comparaison relative à précipitation-ruissellement-limon, essentiel pour décider de la durée de vie du projet, a) la quantification de limon découlant des changements dans l'utilisation des terres est recouverte de quantification de l'information à l'aide de techniques de traitement d'image numérique, b) le comportement du régime des précipitations. Le réservoir de « El Ejidatario », situé dans la municipalité de Sombrerete, à Zacatecas, au Mexique, est présenté comme un cas d'étude. Les résultats de la comparaison de la conception originale en 1971 et celui de l'étude, en 2016 montrent que la distribution de la végétation naturelle et induite et

<sup>1</sup> Mexican Institute of Water Technology. Paseo Mexico. mic@tlaloc.imta.mx, wojeda@tlaloc.imta.mx, serchjimenez.1990@gmail.com

les zones d'élevage de bétail a diminué de 16 %, tandis que les zones agricoles a augmenté de 22 %. L'usage forestier disparaît, avec le sol laissé à nu, qui représente la plus forte augmentation, avec 400 %. Concernant le régime moyen de précipitations annuelles, 630 mm ont été déclarées pour l'année de construction des infrastructures, avec une tendance à la baisse vers une moyenne de 577 mm. Quant à l'impact de la relation pluie-ruissellement-limon, il y a une augmentation de limon lavé vers le réservoir, en raison de changements dans l'utilisation des terres, causant la prise d'eau être obstrués, qui a entraîné un changement de culture irriguée à l'agriculture pluviale. Il est recommandé que les critères de conception pour les petites infrastructures hydro-agricoles soit modifiée et que les programmes de conservation de l'eau et le sol être améliorée.

**Mots clés :** Utilisation des terres, capacité de stockage morts, sécurité des barrages.



## Irrigation Water Security Indicators at the River Basin Level in the Northern Part of West Java

Indicateurs De Sécurité De L'eau D'irrigation Au Niveau De La Baie De La Rivière Dans La Partie Nord De West Java

Waluyo Hatmoko<sup>1</sup>, Radhika<sup>2</sup> and Rendy Firmansyah<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Water Security is the capacity of a population to safeguard access to adequate quantities of water of acceptable quality for sustaining human and ecosystem health on a watershed basis, and to ensure efficient protection of life and property against water related hazards -- floods, landslides, land subsidence, and droughts. Generally, water security is divided into 5 dimensions: 1) household water security; 2) economic water security; 3) urban water security; 4) environmental water security; and 5) resilience from water-related disaster. Irrigation water security is in the dimension of economic water security, in the same group of waters for sustaining growth for food, industry, and energy. This paper discusses the irrigation water security indicator, at river basin level, based on the most easily available data in the river basin. Case study in the Northern part of West Java - Indonesia shows that indicators composed of criticality ratio, water stress index, storage, and river basin management, effectively indicate the irrigation water security stages in the area.

**KEY WORDS:** water security, irrigation, water security indicators, river basin, water availability, water demand, water balance, West Java, Indonesia

### RÉSUMÉ

La sécurité de l'eau est la capacité d'une population à protéger l'accès à des quantités suffisantes d'eau d'une qualité acceptable pour le maintien de la santé humaine et écosystémique au niveau des bassins hydrographiques et à assurer une protection efficace de la vie et des biens contre les dangers liés à l'eau - inondations, glissements de terrain, terres Les affaissements et les sécheresses. Généralement, la sécurité de l'eau est divisée en 5 dimensions: 1) la sécurité de l'eau domestique; 2) sécurité économique de l'eau; 3) sécurité urbaine des eaux; 4) sécurité environnementale de l'eau; Et 5) la résilience des catastrophes liées à l'eau. La sécurité de l'eau d'irrigation est dans la dimension de la sécurité économique de l'eau, dans le même groupe d'eaux pour soutenir la croissance de l'alimentation, de l'industrie et de l'énergie. Cet article traite de l'indicateur de sécurité de l'eau d'irrigation, au niveau du bassin hydrographique, sur la base des données les plus facilement disponibles dans le bassin hydrographique. Étude de cas dans la partie nord de Java Ouest - Indonésie montre que les indicateurs composés du rapport de criticité, de l'indice de stress hydrique, du stockage et de la gestion des bassins hydrographiques indiquent effectivement les étapes de sécurité de l'eau d'irrigation dans la région..

1 Research Professor in Water Resources Management, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works; Jl. Ir. H. Juanda 193, Bandung 40135, Indonesia; E-mail: whatmoko@yahoo.com

2 Researcher in Water Resources Management, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works; Jl. Ir. H. Juanda 193, Bandung 40135, Indonesia

## Rainwater Utilization Potential in Mexico's Protected Agriculture

### Potentiel D'utilisation De L'eau De Pluie Dans L'agriculture Protégée Au Mexique

Gómez L. Luis<sup>1</sup>, García V. Nahún H.<sup>1</sup>, Ojeda B. Waldo<sup>1</sup>, Flores V. Jorge<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Securing water for irrigation sustainably is a prime challenge for Mexican agriculture. In this sustainability exercise, the National Water Plan (2014–2018) seeks to improve water productivity in agriculture through technical improvement of irrigation systems and augmenting the surface water storage infrastructure. In this paper we limited our scope to the utilization potential of rainwater in Mexico's protected agriculture.

Protected agriculture is a closed productive system covered with plastic canopies and meshes that enable adequate conditions for optimal crop development, allowing to control micro-climate and to apply irrigation and some other inputs very efficiently. However, the water supply for these systems comes from deep or shallow wells, which contribute to aquifer overexploitation in Mexico. According to SAGARPA reports, in the year 2015, this type of agriculture covered 23,251 hectares, including 12,000 hectares of greenhouses.

This paper presents the potential of protected agriculture in Mexico for utilizing rainwater as the main supply source for irrigation. In the process, water from rainfall can be collected on the roofs and conducted through gutters and pipes to a storage for its later use in irrigation. The link of water source with the efficient utilization of spaces enables the determination of rainwater volumes potentially collected on the roof; and analyze scenarios of rainwater utilization considering different values of consumptive uses, land areas, and number of cultivation cycles.

**Keywords:** Water productivity, Protected agriculture, Rainwater harvesting, Volumes of water abstracted and irrigation.

#### RÉSUMÉ

La sécurisation de l'eau pour l'irrigation durable est un premier défi pour l'agriculture mexicaine. Dans cet exercice de développement durable, le Plan d'Eau National (2014-2018) vise à améliorer la productivité de l'eau dans l'agriculture par le biais de l'amélioration technique des systèmes d'irrigation et du renforcement de l'infrastructure de stockage des eaux de surface. Dans cet article, nous avons limité notre portée à l'utilisation de l'eau potentielle ou de pluie dans l'agriculture protégée du Mexique.

L'agriculture protégée est un système productif fermé recouvert d'auvents et de maillages en plastique qui permettent des conditions adéquates pour le développement de récolte optimale, permettant de contrôler le microclimat et d'appliquer l'irrigation et autres intrants très efficacement. Cependant, l'approvisionnement en eau pour ces systèmes vient de puits profonds ou peu profonds, qui contribuent à la surexploitation des aquifères au Mexique. Selon les rapports SAGARPA, en 2015, ce type d'agriculture couvrait 23 251 hectares, dont 12 000 hectares de serres.

<sup>1</sup> MexicanInstitute of WaterTechnology, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Mor. (777) 3293600. E-mail: lgomez@tlaloc.imta.mx, nahung@tlaloc.imta.mx, wojeda@tlaloc.imta.mx y jorge\_flores@tlaloc.imta.mx

Cet article présente le potentiel de l'agriculture protégée au Mexique pour l'utilisation de l'eau de pluie comme source principale d'approvisionnement pour l'irrigation. Dans le processus, l'eau de pluie peut être recueillie sur les toits et menée par les gouttières et les tuyaux dans un stockage pour son utilisation ultérieure dans l'irrigation. Le lien de la source d'eau, avec une utilisation efficace des espaces permet la détermination des volumes d'eau de pluie éventuellement recueillies sur le toit ; et d'analyser les scénarios d'utilisation de l'eau de pluie étant donné les différentes valeurs de consommations, des zones terrestres et nombre de cycles de culture.

**Mots-clés** : eau productivité, protégé l'agriculture, l'eau de pluie, volume d'eau prélevé et irrigation.

## A Simulation Model for Water Level Management in the Reclaimed Tidal Peatswamp

### Modèle De Simulation Pour La Gestion Du Niveau D'eau Dans Les Tourbières A Maree Récupérées

Aswandi<sup>1</sup>, Robiyanto H. Susanto, Andi Sudirman, and M. R. Abdillah

#### ABSTRACT

As one of efforts for mitigation of land subsidence and CO<sub>2</sub> emission in a drained peat land, this study develops a three-dimensional (x,y,t) numerical model for simulating groundwater flow in a drained tropical peat land, Jambi, Indonesia. The model consists of two components, open-channel flow and groundwater flow, which enable to reproduce a drainage system. It exhibits spatial feature and coupling ability which are rarely used for groundwater analysis in this region. The model uses Saint-Venant and Manning equations for open-channel flow and Darcy equation for groundwater flow. On the canal boundary, the water height data at the previous day is assimilated to reflect the tidal influence. The model is evaluated at a 100-ha area using 10 m spatial resolution in one year period. The results show a realistic simulation and detailed spatial representation. It shows strong correlation with the observed water table with daily R<sup>2</sup> greater than 0.85. The accurate representation of water table indicates that the model is expected to be useful for not only groundwater and irrigation application, but also broader analysis related to subsidence and carbon loss in local area which have strong implications to the environment.

**KEY WORDS:** Modeling, Canal, Groundwater, Spatial, and Management.

#### RESUME

En tant qu'exercice d'atténuation de l'affaissement des terres et des émissions de CO<sub>2</sub> dans une tourbière drainée, cette étude développe un modèle numérique tridimensionnel (x, y, t) pour simuler l'écoulement des eaux souterraines dans une tourbe tropicale drainée, à Jambi, en Indonésie. Le modèle se compose de deux composantes - un écoulement à canal ouvert et un écoulement d'eau souterraine - qui permettent à reproduire un système de drainage. Il présente une caractéristique spatiale et une capacité d'accouplement rarement utilisées pour l'analyse des eaux souterraines dans cette région. Le modèle utilise les équations de Saint-Venant et Manning pour l'écoulement des canaux ouverts et l'équation de Darcy pour l'écoulement des eaux souterraines. Concernant la limite du canal, les données de la hauteur de l'eau au jour précédent sont assimilées pour refléter l'influence de la marée. Le modèle est évalué sur une superficie de 100 ha en utilisant une résolution spatiale de 10 m dans une période d'un an. Les résultats montrent une simulation réaliste et une représentation spatiale détaillée. Il montre une forte corrélation avec la nappe phréatique observée avec R<sup>2</sup> quotidien supérieur à 0,85. La représentation précise de la nappe phréatique indique que le modèle devrait être utile non seulement pour l'application des eaux souterraines et d'irrigation, mais aussi pour une analyse plus large de l'affaissement et de la perte de carbone dans la zone locale qui ont de fortes implications pour l'environnement.

**Mots-clés :** Modélisation, canal, eaux souterraines, spatial et gestion.

<sup>1</sup> Inacid Jambi/University of Jambi, Jambi, Indonesia; E-mail: aswandi.unja@gmail.com

## Water Security of Juba and Shabelle River Basins in Somalia

Sécurité De L'eau Des Bassins De Juba Et De La Rivière Shabelle En Somalie

Abdullahi Hassan Hussein<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Juba and Shabelle basins are transboundary Rivers shared by Somalia, Ethiopia and Kenya and they are the only perennial rivers in Somalia with the main bread baskets of the country and important resource bases known as the rice bowl of the country. The traditional socio-economic activities in Southern Somalia have strongly based on the availability of water in the Juba and Shabelle Rivers. Water demands in basins of Sub-Saharan Africa particularly Somalia are increasing due to rapid urbanization, poverty and food insecurity, growing energy demands and climate change. The objective of this study is to model the water security of the Juba and Shabelle River Basins in a sustainable manner for social, economic and environmental benefits.

The WEAP model was used in this study to analyses a diverse set of water management issues for small communities and large managed watersheds alike. The basin's water resources were modelled and evaluated while giving consideration for existing and planned developments of both upstream and downstream of the basins in relation to current and future water demands among the multiple water users. Current situation of water demands among water users of Juba and Shabelle basins were modelled and the result indicates that all demands in Shabelle River are not met due to water shortages while the demands of Juba River Basin are satisfied even though the remaining river flow were getting low for months of January, February and March. WEAP demand management approach for irrigation efficiency of 10%, 20% and 25% were projected to be applied in short, medium and long term scenarios respectively and a significant reduction compared with different scenarios water demands were observed. Based on the result, water scarcity strategies were identified to get balance of supply and demand, improving rainwater harvesting and coordination and cooperation among riparian states. Further studies on groundwater as an alternative water sources to meet the unmet demands were also suggested.

**KEY WORDS:** Water Demands, Water Security, WEAP, Scenario

### RÉSUMÉ

Les bassins de Juba et Shabelle sont des cours d'eau transfrontaliers partagés par la Somalie, l'Éthiopie et le Kenya, et sont les seuls rivières pérennes en Somalie avec les principales ressources du pays et les bases de ressources importantes connues comme étant le grenier à blé du pays. Les activités socio-économiques traditionnelles dans le sud de la Somalie sont fortement basées sur la disponibilité de l'eau dans les rivières de la Shabelle et de Juba. La demande en eau dans les bassins de l'Afrique subsaharienne en particulier la Somalie se multiplient en raison de la rapide urbanisation, la pauvreté et l'insécurité alimentaire, les besoins énergétiques et les changements climatiques croissants. L'objectif de cette étude est de modéliser la sécurité de l'eau des bassins de fleuve Shabelle et Juba de manière durable pour les avantages sociaux, économiques et environnementaux.

Le modèle WEAP a été utilisé dans cette étude à un ensemble diversifié de gestion de l'eau émet des petites collectivités et grands bassins gérés comme des analyses. Les ressources

<sup>1</sup> Secretary General of Somali National Committee on Irrigation and Drainage (SONCID), Wadajir District, Mogadishu-Somalia. E-mail: cabdallaxasan@gmail.com

en eau du bassin ont été modélisées et évaluées tout en tenant compte des développements existants et prévus en amont et en aval des bassins en ce qui concerne la demande en eau actuelle et future entre les gros utilisateurs de l'eau. La situation actuelle de demande en eau des usagers des bassins de Juba et de Shabelle ont été modélisés et le résultat indique que toutes les demandes dans la rivière Shabelle ne sont pas remplies en raison de pénuries d'eau tandis que les exigences du bassin de la rivière Juba sont satisfaites même si le débit de la rivière restants devient faible pour le mois de janvier, février et mars. L'approche de gestion de la demande WEAP pour l'efficacité de l'irrigation de 10 %, 20 % et 25 % a été projetée pour être attribuée respectivement sur des scénarios à court, moyen et long terme et une réduction significative par rapport à différents scénarios de demande en eau ont été observés. Selon le résultat, les stratégies de rareté de l'eau ont été identifiées pour obtenir l'équilibre de l'offre et la demande, l'amélioration des eaux pluviales, la coordination et la coopération entre les États riverains. D'autres études sur les eaux souterraines comme des sources d'eau alternative pour répondre aux besoins non satisfaits sont également proposées.

**Mots clés :** Demande en eau, l'eau sécurité, WEAP, scénario.

## Wastewater Filtering through Soil Treatment in a Sugarcane Cultivated Area

### Traitement Des Eaux Usées Filtrant À Travers Le Traitement Des Sols Dans Une Zone De Culture De Canne À Sucre

J. González-Meraz<sup>1</sup>, H. Saucedo-Rojas and J. A. Díaz-Magaña

#### ABSTRACT

A study was conducted to evaluate the effect of soil as a filter on wastewater quality. The wastewater source is the *Emiliano Zapatas* sugar mill, in the town of Zacatepec, Morelos State, Mexico. The current irrigation practice is to irrigate overnight with waste water without any control at all. The runoff water from an upstream field irrigates the next downstream field and so on, until it reaches and pollutes the *Apatlaco* river. The average raw wastewater flow rate was 130 l/s. Raw wastewater quality was assessed. To monitor shallow groundwater quality and water table depth, 18 observation wells were installed all along the study area. Water quality for the shallow groundwater in the study area was also determined, as well as flow direction and water table fluctuations in time and space. The water table depth in this area is shallower than 1 m. Raw wastewater was mixed with the nearby *Apatlaco* river water on a 1:1 ratio before applying it for irrigating sugar cane. The analyzed parameters required by the Mexican regulations were temperature, fecal coliforms (FC), helminth eggs (HE), grease and oil (GO), floating material (FM), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total suspended solids (TSS), settleable solids (SS), biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), heavy metals (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) and cyanide. Electrical conductivity (EC), pH and nitrate/nitrite (N-[NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>]) were also included. Laboratory results showed that raw wastewater quality exceeded the limits established by the Mexican water quality regulations in parameters such as FC, BOD, COD and TSS; however, laboratory results for the shallow groundwater showed a reduction in the concentration of the above parameters, compared to those of raw wastewater. According to: (i) the available wastewater volume (including the mixing volume, 260 dm<sup>3</sup>/s), (ii) the sugar cane water requirement and (iii) an estimated 60% global water use efficiency in the study area, it was determined that a 258-ha area would be sufficient to adequately dispose such a wastewater volume.

**KEY WORDS:** Wastewater, soil, groundwater, water quality, irrigation planning, runoff.

#### RÉSUMÉ

Une étude a été menée pour évaluer l'effet de sol en tant que filtre sur la qualité des eaux usées. La source des eaux usées est le moulin de Emiliano Zapatasugar, dans la ville de Zacatepec, État de Morelos, au Mexique. La pratique de l'irrigation actuelle consiste à irriguer toute la nuit avec des eaux usées sans aucun contrôle. L'eau de ruissellement d'un champ en amont qui irrigue le champ en aval suivant et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il atteigne et pollue la rivière Apatlaco. Le débit moyen eaux usées brutes était de 130 l/s. La qualité des eaux usées a été évaluée. Pour surveiller la qualité des eaux souterraines peu profondes et la profondeur de la nappe phréatique, 18 puits d'observation ont été installés tout au long de la zone d'étude. La qualité de l'eau pour les eaux souterraines peu profondes dans la zone d'étude a également été déterminée, ainsi que le sens d'écoulement et les fluctuations de la nappe phréatique dans le temps et l'espace. La profondeur de la nappe phréatique dans ce domaine est inférieure à 1 m. Les eaux usées brutes étaient mélangées à l'eau de

<sup>1</sup> Water technologist. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauahuac # 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, México, 62550, tel. +52-777-3293600, ext. 196, jgmeraz@tlaloc.imta.mx.

la proche rivière Apatlaco à un ratio de 1:1 avant de l'appliquer pour l'irrigation de canne à sucre. Les paramètres analysés requis par les règlements mexicains étaient la température, les coliformes fécaux (FC), les œufs d'helminthes (HE), la graisse et l'huile (GO), matériel flottant (FM), l'azote total (NT), solides en phosphore total (PT), total suspendu (TSS), solides sédimentables (SS), demande biochimique en oxygène (DBO), demande chimique en oxygène (DCO), métaux lourds (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn) et le cyanure. Nitrates/nitrites, le pH et la conductivité électrique (CE) (N-[NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>]) ont été également inclus. Les résultats de laboratoire ont montré que la qualité des eaux usées brutes a dépassé les limites fixées par les règlements de qualité de l'eau mexicaine des paramètres tels que le FC, BOD, COD et TSS ; toutefois, les résultats de laboratoire pour les eaux souterraines peu profondes ont montré une réduction de la concentration des paramètres susmentionnés, comparés à ceux des eaux usées brutes. Conformément à : (i) le volume des eaux usées disponibles (y compris le volume de mélange, 260 dm<sup>3</sup>/s), (ii) l'exigence de l'eau de la canne à sucre et (iii) une estimation 60 % d'eau global efficacité d'utilisation dans la zone d'étude, il a été déterminé qu'un 258-ha zone serait suffisante pour trancher adéquatement un tel volume d'eaux usées.

**Mots clés** : Traitement des eaux usées, sol, eaux souterraines, qualité de l'eau, irrigation planification, ruissellement.



## Modeling and Prediction of Surface Runoff in the Patzcuaro Lake Basin

### Modélación Y Estimación Del Escurrimiento Superficial En La Cuenca Del Lago De Patzcuaro

Jorge Víctor Prado-Hernández<sup>1</sup>, Pedro Rivera-Ruiz<sup>2</sup>, Dina Caballero-Cinco<sup>3</sup>, Mauricio Carrillo-García<sup>4</sup> and Benjamín de León-Mojarro<sup>5</sup>

#### ABSTRACT

The Patzcuaro lake basin in Mexico has serious soil degradation problem due to improper land use. Lack of measured hydrologic data does not permit scientific investigation of this problem for taking ameliorative measures. The Mexican institute of water Technology established two experimental catchments in the basin; one having conservation measures and the other without such measures.

In this study, the HEC-HMS model was calibrated to represent the surface runoff of the Malacate and Ichupio sub-catchments in the lake basin. The model estimated the surface runoff and sediment. The runoff volume and the peak runoff rates in each runoff event were entered into the modified universal soil loss equation (MUSLE) to estimate the sediment yield. For model calibration, the data measured in 2014 were used. The calibration consisted in adjusting the Curve Number (CN) values, initial abstractions and runoff delays to minimize errors between simulated and observed hydrographs. Based on the Nash-Sutcliffe indices, the performance of the HEC-HMS hydrological model was good to excellent. The Malacate catchment generated annual runoff almost nine times greater than that of Ichupio and its sediment yield was four times greater. The Malacate catchment produced 206.8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of surface runoff and 1.4 Mg ha<sup>-1</sup> of sediment and Ichupio produced 34.87 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and 0.3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectively. The estimation of the amount of runoff and sediment provided annually to the Lake Patzcuaro, would result from the application of the calibrated model to the catchment that make up the Lake basin, identifying them with the Malacate or Ichupio model, according to their physical characteristics and management.

**KEY WORDS:** Surface runoff, watershed modeling, HEC-HMS, Curve Number, Nash-Sutcliffe index.

#### RESUME

En México existe un gran porcentaje de degradación física y química de los suelos causada por la erosión hídrica, particularmente este problema es muy grave en la cuenca del Lago de Patzcuaro donde se hace un uso indebido del suelo. Desafortunadamente en este país no se cuenta con información hidrométrica y pluviométrica y de producción de sedimentos de sus cuencas que permitan conocer el efecto de las prácticas de manejo y de los cambios de uso del suelo, con la finalidad de proponer un manejo adecuado de

- 1 Professor, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México. E-mail: vpradohdez@gmail.com or ac12493@chapingo.mx
- 2 Specialist in hydraulics, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. E-mail: privera@tlaloc.imta.mx or prr.imta@gmail.com
- 3 Professor, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México, E-mail: mauricio@correo.chapingo.mx
- 4 Graduate Student, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México, México; E-mail: cinkodc@gmail.com
- 5 First secretary of the national board of directors, Asociación Mexicana de Hidráulica. benjamin.dleon@gmail.com

los recursos naturales. Para conocer el impacto de las prácticas de conservación en la cantidad del volumen escurrido y la producción de sedimentos, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua estableció desde hace algunos años dos microcuencas experimentales en la cuenca del Lago de Pátzcuaro, una de ellas tiene prácticas de conservación de suelo y agua y otra no tiene este tipo de prácticas. Puesto que resulta costoso establecer varias cuencas experimentales, una alternativa es modelar su comportamiento hidrológico para posteriormente usar dichos modelos a otras cuencas no aforadas de condiciones similares para estimar sus escurrimientos y la erosión del suelo.

En este trabajo se calibró un modelo hidrológico con el software HEC-HMS para representar el escurrimiento superficial de las micro cuencas El Malacate e Ichupio, ubicadas en la cuenca del Lago de Pátzcuaro, en el estado de Michoacán y aplicarlo a las microcuencas que integran la cuenca del Lago con la finalidad de estimar la aportación de escurrimientos y sedimentos a este cuerpo de agua. Los volúmenes de escurrimiento y los caudales máximos en cada evento de escurrimiento fueron ingresados a la ecuación universal de pérdida de suelo modificada para estimar la producción de sedimentos. La microcuenca El Malacate tiene una superficie de 149.3 ha e Ichupio 101.9 ha; la microcuenca El Malacate tiene mayor grado de deterioro del suelo y de la vegetación que la microcuenca Ichupio ya que ésta cuenta con obras de conservación de suelo y agua y con áreas de reforestación con especies nativas. Para la calibración del modelo se emplearon datos medidos en 2014 de precipitación, escurrimientos superficiales y cantidad de sólidos en suspensión, además de mapas de uso y tipo de suelo con verificaciones en campo y determinaciones en laboratorio de algunas características del suelo. La calibración consistió en ajustar los valores de Curva Numérica (CN), abstracción iniciales y tiempos de retrasos de los escurrimientos para minimizar los errores entre los hidrogramas asimilados y los observados. La calibración del modelo hidrológico HEC-HMS resultó satisfactoria ya que los veinte hidrogramas calibrados (15 del El Malacate y 5 de Ichupio) presentaron un ajuste de bueno a excelente, según los índices de Nash-Sutcliffe. La microcuenca El Malacate generó un escurrimiento anual casi nueve veces mayor que la de Ichupio y su producción de sedimentos fue cuatro veces mayor. El Malacate produjo 206.8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de escurrimientos superficiales y 1.4 Mg ha<sup>-1</sup> de sedimentos e Ichupio produjo 34.87 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> y 0.3 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. La estimación de la cantidad de escurrimientos y sedimentos aportados anualmente al Lago de Pátzcuaro, resultaría de la aplicación del modelo calibrado a las microcuencas que conforman la cuenca del Lago, identificándolas con el modelo de El Malacate o de Ichupio, según sus características físicas y de manejo.

**Palabras clave:** Escurrimiento superficial, modelización en cuencas, Hec-HMS, curva numérica, índice de Nash.

## Water and Food Security in the Framework of Sustainable Development of the Agriculture Sector

### Sécurité De L'eau Et De L'alimentation Dans Le Cadre Du Développement Du Sector De L'agriculture Durable

Nahún H. García-Villanueva<sup>1</sup> and Jaime Collado<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

This paper presents the challenges to eradication hunger and malnutrition and reflects on their link with food and water security. The sustainability of the agriculture sector is important for ending poverty in all its forms; Provides a guarantee for the availability of water and its sustainable management; Offers a guarantee of sustainable consumption and production patterns, and promotes the adoption of measures to combat climate change and its effects. Among other issues, it is analyzed the increase in the demand for food, including the nutritional lag that currently prevails, and the incorporation of demands derived from the expected growth of the population and those associated with the increasing demand for products with higher caloric content. In the same way, it is estimated that the pressure demand exerts on water resources. It is emphasized that, in order to achieve the sustainability of the agriculture sector, it is necessary to bear in mind that population in Mexico is expected to be 15 million inhabitants which, added to the 5 million that currently suffer from hunger, will result in another 20 million persons by 2030 for who it will be necessary to produce or supply food. The increase in the consumption of calories could rise from 3,000 to 3,250 kcal/person/day by 2050.

**KEY WORDS:** Water security, food security, sustainable agriculture.

#### RÉSUMÉ

Ce document dimensions les défis pour éradiquer la faim et de la malnutrition et une réflexion sur le lien entre eux et la sécurité alimentaire et de l'eau, ainsi que sur la nécessité de couvrir simultanément les objectifs 1, 6, 12 et 13 de la ODD. La durabilité du secteur hydro-agricole établi par ces objectifs, favorise la fin de la pauvreté sous toutes ses formes; Fournit une garantie pour la disponibilité de l'eau et la gestion durable des STI; offre une garantie aux modes de consommation et de production durables, et encourage l'adoption de mesures de lutte contre le changement climatique et ses effets. Entre autres questions, il est analysé l'augmentation de la demande pour la nourriture, des friandises, y compris le retard nutritionnel qui prévaut actuellement, et l'incorporation de demandes provenant de la croissance attendue de la population et ceux qui sont associés avec le passé demande croissante de produits à teneur calorique plus élevé. De la même manière, on estime que la pression exerce la demande alimentaire sur les ressources en eau. En outre, il est souligné que, afin d'assurer la durabilité du secteur hydro-agricole, il ne suffit pas d'éradiquer la faim et la malnutrition, car l'agriculture continue d'être un pôle et un moteur pour le développement économique des communautés. En particulier, au Mexique, il est prévu une augmentation de 15 millions d'habitants qui, ajoutés à 5 millions qui souffrent actuellement de la faim, se traduira par 20 millions de personnes d'ici 2030 pour l'OMS, il sera nécessaire de produire ou de fournir des aliments, sans compter les Cela aura un impact Demander à l'augmentation de la consommation de calories en moyenne de 3,000 à 3,250 kcal pourrait élèvent/personne/jour d'ici 2050.

1 Coordinator of Irrigation and Drainage, Mexican Institute of Water Technology; nahung@tlaloc.imta.mx

2 Treasurer, MXCID. Mexico; collado.jaime@gmail.com



**Question 61:**  
**State of knowledge of irrigation techniques and  
practicalities within given socio-economic settings**

État des connaissances dans les techniques  
d'irrigation et les aspects pratiques dans des  
contextes socio-économiques donnés

**General Reporter / Rapporteur Général**

**Mr. Ding Kunlun (China)**  
Vice President, ICID

**Panel of Experts and Co-Chairs / Experts du Panel**

Dr. Brian T. Wahlin (USA)  
Dr. Heber Saucedo (Mexico)  
Dr. Kaluvai Yella Reddy (India)  
Dr. Víctor Manuel Ruíz Carmona (Mexico)  
Mr. Franklin Dimick (USA)  
Dr. Ignacio Sánchez Cohen (Mexico)



# Question 61: State of Knowledge of Irrigation Techniques and Practicalities within given Socio-economic Settings

## GENERAL REPORT

Dr. Ding Kunlun (China)<sup>1</sup>  
*General Reporter*

### Introduction

The Question 61 is titled: "State of Knowledge of Irrigation Techniques and Practicalities within Given Socio-Economic Settings". A total of 64 papers were submitted from 24 countries and regions (Mexico, China, Ukraine, Indonesia, India, Iran, Egypt, Brazil, Sri Lanka, South Africa, Philippines, Pakistan, Argentina, US, Uzbekistan, Thailand, Iraq, UK, Hungary, West Africa, Chinese Taipei, Finland, Russia and The Netherlands). The Question 61 covers the following three Sub-questions:

- Q. 61.1:** Adopting precision irrigation and improving surface irrigation to combat water scarcity
- Q. 61.2:** Using ICT, remote sensing, control systems and modeling for improved performance of irrigation systems
- Q. 61.3:** Adaptability and affordability of new technologies under different socio-economic scenarios

This General Report is prepared based on the summary reports of the sub-questions and the views on the papers and on the related topics.

Although expected to be categorized based on Sub-questions, the papers submitted covered a wide range of topics and crossed the Sub-questions for some papers. A small number of papers are not well linked with the topics of the Sub-questions although they provided useful and interesting information and results. The topics covered by the submitted papers are: (i) precision irrigation, improving surface irrigation or both in Sub-question 61.1, (ii) remote sensing, ICT, control systems, knowledge management, mathematical models and others in Sub-question 61.2, and (iii) water quality and wastewater reuse, modernization of irrigation systems, analytical tools, water management, dam safety, public policy, food security and improvements to irrigation schemes in Sub-question 61.3.

### **Question 61.1<sup>2</sup>: Adopting precision irrigation and improving surface irrigation to combat water scarcity**

Water scarcity is a critical issue in agriculture. In a world where agriculture must continue to compete for a water supply that is becoming scarcer, it is important now, more than ever, for agriculture water users to conserve water. Two methods for combating water scarcity are precision irrigation and improving surface irrigation. Among the 25 papers in Sub-question 61.1, 9 papers addressed precision irrigation, 13 papers addressed improving surface irrigation, and 3 papers addressed both.

<sup>1</sup> Vice President, ICID, Deputy Secretary General, Chinese National Committee on Irrigation and Drainage (CNCID), A1, Fuxing Road, Beijing 100038, China (Kding2005@aliyun.com)

<sup>2</sup> With inputs from Dr. Brian T. Wahlin (USA) and Dr. Heber Saucedo (MXCID)

## Adopting precision irrigation to combat water scarcity

First, what exactly is precision irrigation? Before answering this question, let's take yet another step back and ask what precision agriculture is? Precision agriculture is the approach to farm management that uses information technology (IT) in an effort to provide the exact amount of water and nutrients to crops in order to maintain their optimum health and productivity (Rouse & Wigmore, 2017). Typically, precision agriculture uses satellite navigation, remote sensing, and other technologies to farm while taking into account the variability in soils and crops. Precision agriculture relies on collecting and analyzing large amounts of data to assess the conditions of the crops, soils, and weather in real time.

For example, sensors in the field can measure soil moisture content and temperature of the soil and air. Drones can be used to provide real-time images of crops. Information obtained from these remotely collected data can be analyzed to determine when to apply the optimal amount of water, fertilizers, and pesticides. The end goal is help the farmer avoid wasting resources while providing optimal crop yields and profits.

In the past, precision agriculture was typically limited to large-scale farming operations that could afford the cost of the IT infrastructure and equipment needed. However, with advances in technology, and the development of drones and mobile apps, precision agriculture can be implemented on smaller farming operations.

If precision agriculture is defined using large amounts of data to effectively manage a farm on the square meter level, precision irrigation can be thought of as collecting and using large amounts of data to precisely irrigate individual plants. The technology for precision irrigation can generally be classified in one of two ways: the equipment used to gather environmental, soils, or weather data and the equipment used to automatically control the irrigation system itself.

Although this term precision irrigation is widely used, there is no commonly accepted definition of the term. To some, precision irrigation has come to mean drip irrigation. To others, it has come to mean irrigation scheduling based on data from local field sensors or other regional/global data. If drip irrigation is a subset of precision agriculture, it means that drip irrigation should apply variable amounts of water both *spatially* and *temporally*. However, a fixed drip irrigation system, once installed, cannot apply different amounts of water to different spatial locations, except according to the way the drip system was installed. Precision irrigation, according to the above definition, has only been applied to sprinkler irrigation where the flow rate from sprinkler nozzles can be controlled remotely.

Methods for maintaining drip emitter flow include physical filtration, pH control (e.g., adding acid), and biological control (e.g. adding chlorine). These are standard practices that have been published and available for nearly 40 years. The papers presented for this question demonstrate that providing appropriate water quality for drip irrigation in a cost-effective manner is a continuing struggle for applying drip irrigation, particularly in remote areas.

Accurate irrigation scheduling with refined estimates of ET is also considered precision irrigation. Yet precision irrigation should consider both accurate irrigation scheduling to define the amount of water needed by the crop and accurate application of the required water (e.g., with both efficient and uniform application).



### *General overview of the papers*

The submitted papers provide a nice balance of theoretical studies and field studies. Drip irrigation is practiced in over 70,000 ha land in Ukraine where it is important to maintain a strict water quality standards to ensure trouble-free operation of drip irrigation system. In absence of strict water quality maintenance, the system performance may decline drastically (Usaty and Usata, 2017: R.61.1.08<sup>3</sup>).

Drip irrigation has been found to develop spatial heterogeneity of soil properties, particularly under the perennial crops grown as a single crop for 15-25 years in Ukraine. Such heterogeneity interferes with the normal functioning of the system, as expected according to the design. It develops with increasing the load on the soils due to inadequate water quality and the effect of fertilizers having a local manifestation. The most negative process occurring in irrigated soil is alkalization. The prevalence of sodium ions over calcium ions facilitates silt peptization, transformation and degradation of mineral and organic components of the soil. (Usata and Ryabkov, 2017: R.61.1.10).

Some researchers suggest that the pressurized irrigation pipe network must be flushed by chemicals with pH of solution ranging from 2 to 3 at the appearance of sedimentation symptoms in the pipes that aggregate into agglomerates. Maintaining of negative of water stability index due to acidification is able to slow down the processes of sedimentation and reduces the risk of formation of insoluble compounds. They concluded that preventive and remedial flushing was one of the effective methods of maintaining irrigation network at the project design level. (Kupiedinova et al 2017: R.61.1.20).

The importance of organizing the farming community of small land holders and ensuring institutional support to them has been highlighted in a paper to ensure that the benefits of modernized irrigation reach this usually neglected and resource-poor group of farming community. The authors contend that the centre pivot system, which is considered suitable for large farms, can be shared by multiple users of small land holder groups. Such systems have recently been established in Kenya, Rwanda, and Ghana, and likely other areas in Africa. (Fipps and Traore 2017: R.61.1.14).

Rain Gun Sprinkler Irrigation System is claimed to be suitable for agriculture in limited water and drought states in the world. It is mostly suitable for irrigation of standing crops in danger due to extreme water stress or under drought condition. Using this system, the soil can be brought to field capacity instantly. Rain Gun Sprinkler Irrigation System is a cost effective system among all kinds of system and is preferably provided under movable or portable fashion. (Yewalekar and Kinge, 2017: R.61.1.17).

Substandard quality of water has a vast range of values of the quality parameter, not all of which are equally harmful to the soil or to the crops. In this regard, a Decision Support System (DSS) has been developed and presented for South Africa for the assessment of irrigation water quality based on site-specific characteristics, using internationally accepted cause-effect relationships. It is envisaged that the DSS will find wider application than only with South African users.

Irrigated agriculture is the backbone of Central Asian economies and economies of a large number of agrarian nations where efficient irrigation management is of crucial importance to the sustainable crop production. A paper from Uzbekistan claims that the ET-based irrigation scheduling has potential to improve on-farm water-use efficiency. Results from a two year

<sup>3</sup> This is paper number referred in the Abstract Volume. The full paper is available in USB.

study conducted on cotton crop in Uzbekistan showed that there can be a 25-34% saving of water without any significant change in yields when irrigation is applied using the ET-based scheduling method. This led to an overall increase in water productivity by 34-50%. The pilot plots are representative of 38% of irrigated area in Fergana Valley (241,407 ha). If this methodology is widely adopted by the WUAs, large amounts of water can be saved which can be diverted for horizontal expansion of irrigated agriculture, or for other purposes such as supporting ecosystem services. (Mukhamedjanov and Mukhomedjanov, 2017: R.61.1.19).

Researchers spend considerable time and energy to ensure that the estimate of evapotranspiration by the FAO Penman-Monteith Model under Semi-Arid Conditions is reliable to be used for irrigation planning over their target area. The model, however, requires an exhaustive database of a number of meteorological parameters. The relative contribution of a number of meteorological parameters used in estimating ET by the most adopted FAO Penman-Monteith Model was evaluated for the Karaj region of Iran. The most important parameter was found to be Maximum temperature, followed by wind speed and then by relative humidity. Working further, they proposed the following equations for ET estimation by Penman-Monteith model:

$$ET_{0,FPM} = 0.298 t_{\max} + 0.7420 u_2 - 4.432 \quad R^2=0.81, \text{ and}$$

$$ET_{0,FPM} = 0.205 t_{\max} + 0.7460 u_2 + 0.103 R_{\text{mean}} - 3.949 \quad R^2=0.82$$

In the above two equations,  $ET_{0,FPM}$  is the estimate of reference evapotranspiration by Penman-Monteith model;  $t_{\max}$  = maximum temperature,  $u_2$  = wind speed and  $R_{\text{mean}}$  = mean relative humidity. (Kanani, et al. 2017: R.61.1.23)

Switching over from gravity-based surface irrigation to pressurized drip irrigation, taking the benefit of the topography and helped by innovative leadership was done in a minor command area in the Maharashtra state in India. The 0.5 M m<sup>3</sup> of water allocated from the Naghtana reservoir by the government to a WUA is utilized for irrigation through drip system, which has been made mandatory for all the members of the WUA. As a result, the earlier planned irrigation over 82 ha could be increased to 145 Ha. The paper concludes with the remark that it is prudent to use naturally available potential energy at the source for conveying the water from the source to farm through pipe network and if sufficient residual head is available for operation; Micro irrigation with some location specific modification can be promoted. In this way the saved water can be used to support high value crop or additional area for irrigation, simultaneously saved energy in agricultural sector can be used in other sector for national development. (Bhalage and Sangle, 2017: R.61.1.12).

In the paper: “Analysis of the technology for precision surface irrigation”, it is contended that surface irrigation performances are affected by many factors, such as land leveling precision, irrigation system layout, irrigation control rules, and irrigation management. In this context, the real-time feedback control of precision surface irrigation is useful monitor the performance of irrigation as it progresses and take corrective measures where and when required. (Bai, et al., 2017 2017: R.61.1.02).

The paper: “Automatic Control System for Water-Saving Irrigation in Paddy” have focussed that the flood irrigation system typically used in China has low water use efficiencies, aggravating the shortage of water. The paper presented the results of a study on a water-saving irrigation automatic control system. It showed that control system can effectively control the irrigation of paddy field while avoiding flooding during the rainy seasons. (Hejing, et. al. 2017: R.61.1.05).

In Argentina, 19% of the land is under cultivation, of which 7% is irrigated. It has been estimated that mean water use efficiency is about 30% due to gravity-based surface irrigation. The paper: "Performance of Surge Flow Irrigation in Mendoza, Argentina: Present and Potential Efficiencies", presented a field experiment and simulation models on surge flow irrigation for improving field irrigation efficiency. The results showed a wide gap between field-measured and potential efficiencies, which indicates that the irrigation equipment is underutilized. (Romay 2017: R.61.1.24).

### Improving surface irrigation to combat water scarcity

Surface irrigation has the reputation for having low irrigation efficiencies (Clemmens, 1998). While it is true that surface irrigation performance is low in many parts of the world, surface irrigation performance can also be quite high and rival the efficiency of pressurized systems. To achieve these high efficiencies, surface irrigation systems need to be appropriately designed and managed. For many poorly performing surface irrigation systems, the low efficiency is due not to surface irrigation itself but to poor operating decisions. Thus, a good surface irrigation system requires simple operations that are less subject to irrigator errors (Clemmens, 1998). This also highlights the need for irrigator training for operating surface irrigation systems. However, even good performing surface irrigation systems have a time during the season when efficiency can be low, for example when the soil moisture deficit is smaller than normal (e.g., early in the season).

Before continuing this discussion, it is important to note that irrigation efficiency is often confused with application efficiency or with fraction of irrigation water consumed (Clemmens, 1998). Burt et al. (1997) defines irrigation efficiency as the volume of irrigation water beneficially used divided by the difference between the irrigation water applied and the change in storage. Thus, irrigation efficiency is really an after-the-fact determination of what happened to the applied irrigation water. Many people mistakenly believe that water that is not beneficially used is somehow lost and not available for reuse elsewhere. From a water supply standpoint, only water that is consumed or severely degraded in quality is not available for reuse (Clemmens, 1998). Most assessments of surface irrigation systems do not determine irrigation efficiency, since the data required is difficult to obtain (e.g., need to know the actual amount of water used by the crop or need to separate irrigation use from rainfall).

Application efficiency is the performance of an irrigation event and reflects how well that irrigation satisfied the objective of irrigating. It is defined as the average depth of irrigation water contributing to the target divided by the average depth of irrigation water applied, where target means target depth of application, or soil moisture deficit (Clemmens, 1998).

Some reported values the irrigation efficiency of surface irrigation systems can be misleading because they often reflect the efficiency of a particular event and are based on assumed soil moisture deficit. Alternatively, reported irrigation efficiencies can be inflated if they do not consider the distribution uniformity (Clemmens, 1998).

Keep in mind that low irrigation efficiencies may not necessarily be bad. In some places, return flow from irrigation is reusable downstream and low efficiencies have little or no impact on available water supplies on a watershed basis. In other places, irrigation return flows are too saline or not recaptured. In those locations, improving irrigation efficiency has a very important role in increasing available water. Low irrigation efficiency also may be an economic choice as the capital investment to improve the irrigation system does not provide an adequate return (Clemmens, 1998).

Even under conditions where surface irrigation has the potential for high performance, this potential is not achieved because of poor design or poor management of the irrigation system. Improved water management and control of flow can help modern surface irrigation systems and achieve their potential (Clemmens, 1998). Use of farm reservoirs and farm wells can reduce the impact of poor water delivery service. Improvements to land grading and land shaping can also lead to improvements of surface irrigation systems. Land slope also plays an important role in the performance of a surface irrigation system. Typically, to improve the performance of an irrigation system, the flow off the field should be reduced or runoff recovery systems should be installed (Clemmens, 2005). In water scarcity conditions, it is recommended that the downstream end of the borders or furrows be closed in order to avoid mass losses in the irrigation system.

Computer software packages can also be utilized to make recommendations to improve the performance of surface irrigation systems. A number of software programs have been developed over the last three decades. SIRMOD (Utah State University) and WinSRFR (USDA, ARS) are two of the earlier versions. For example, the WinSRFR program, developed by the United States Department of Agriculture's Agricultural Research Service is an integrated hydraulic analysis software package for surface irrigation systems that combines a simulation engine with tools for irrigation system evaluation, design, and operational analysis. These and other program continue to develop to provide additional tools that can be useful for improving surface irrigation performance. Several papers in this session discuss progress in this area.

Future developments of these software packages should be geared to incorporate the use of physically-based infiltration equations in place of the Kostiakov-type relationships in the simulation engine tools while maintaining fast computational speeds.

It is a fact that surface irrigation by gravity flow of water is the most common the world over. Among the surface irrigation methods, there are border, furrow, basin methods of land preparation, suitable for different crops. It is, however, recognized by all concerned that all the methods of surface irrigation are wasteful in water use. Since, fresh water resources are limited and the much feared climate change may cause great aberrations in the availability and time-space distribution of rainfall, which is the primary source of all fresh water on the earth, the renewed concern on the scientific use of the available water resources and minimize its misuse is highly justified. Since, agriculture is the largest consumer of fresh water resources and agriculture must be sustained to enable feeding the ever-growing population of the world, scientific management of water in its agricultural use assumes great importance.

### *General overview of the papers*

There is a paper on modeling system named MSSI for surface irrigation design and management. In this system, two-dimensional shallow-water equations and one-dimensional Saint-Venant equations in networks with Kostiakov empirical infiltration equation were applied to describe the unsteady water flows in surface irrigation. Then the finite-volume approach with full-implicit time scheme was applied to solve the governing equations and can accurately simulate the unsteady water flows in basin, border, furrow and furrow-network irrigations. This is the central component of MSSI. The analysis can provide the surface irrigation indicators such as irrigation efficiency and uniformity. Use of this two-dimensional basin irrigation and furrow-network irrigation methodology in YeHe irrigation district, China, gave the Irrigation efficiency  $E_a$  and irrigation uniformity  $C_u$  as 0.65 and 0.78, respectively. These two values meant low performance of this irrigation event. Thus, the basin surface slope, geometry, inflow discharge and inflow location can be reset until high performance indices were achieved. (Zhang et al., 2017: R.61.1.01)

Scarcity and uncertainty associated with water resources due to climate change is one of the biggest challenges facing agricultural water management. An effective measure can be to increase the efficiency of irrigation in agriculture. However, increasing surface irrigation efficiency affects water resource system indices, including its reliability and vulnerability in combating water scarcity. This was studied in the irrigation system in Dez basin in Iran where annually 4 billion m<sup>3</sup> of water from the Dez reservoir flows into the surface irrigation networks. However, the low network efficiency causes huge quantities of fresh water to be lost each year. The analyzed scenarios consisted of combining two modes of changing consumption in the short and long term with management scenarios including an increase of 5% and 15% efficiency of surface irrigation networks. In the process of simulating scenarios, the resources and uses of water in the Dez basin have been used in 2 horizons, namely short term and long term. The system reliability in achieving the increased efficiencies was evaluated. Simultaneously with system reliability, the system vulnerability also needs to be understood. The system vulnerability for the Dez irrigation network was greater in the long run (26% or higher). This means that the catchment area will be more vulnerable over time and this may be on account of climate change. It may be noted that system reliability is more human controlled but vulnerability is dictated by natural phenomena. (Nassaj et al 2017: R.61.1.06),

The general objective of the Irrigation Improvement Projects (IIPS) in Egypt was to improve the economic and social conditions of the farmers through improvements in structural and management aspects for promoting efficient water use, reducing drainage problems and increasing agricultural production. These projects play significant roles in water saving and increasing the productivity through physical improvements. The main weakness of the IIPs is the limitations of implementation of rehabilitation plans, main canals rehabilitation, drainage maintenance and implantation of cost effective technologies. Therefore, implementing IIP in a half-hearted way and without a complete package may not yield the desired results. The authors suggest continuous assessment of exact outcomes from the projects to identify the reasons for shortcomings and act on them suitably. (Sayed et al, 2017: R.61.1.07).

Studies on water saving efficiency and water resource productivity of paddy-rice in Taiwan established irrigation managing strategy in water shortage period. Paddy rice planted on February 16<sup>th</sup> reached water saving efficiency of 9.0%~38.3%, comparing with the ones planted on January 16<sup>th</sup>. On water resource productivity, the SRI planted on February 16<sup>th</sup> is also the best. The paddy rice field irrigation managing strategy established from this research could respond to the climate change and severe water shortage problem in spring of Taiwan effectively. Further, it could advance the distribution and utility efficiency of irrigation water use in water shortage period. To view from the growing days and crop water requirement, the plant date of first crop adjusted from January 16<sup>th</sup> to February 16<sup>th</sup>, its growing days would change from 141 days to 123 days; and the accumulated crop water requirement from 517mm to 496mm. Thus the paddy rice growing days, crop water requirement and field irrigation water have all shown a decreasing trend according to the adjustment of planting date. The field irrigation water decreases due to the extension of rotation irrigation interval. This finding could be applied on facility preparation of paddy rice hovering stage and irrigation water use plan establishment. On water resource productivity, the SRI would achieve the best results. (Chen et al, 2017: R.61.1.09)

In Mexico, it is estimated that, in nearly 90% of the irrigated area some variant of gravity irrigation (furrow or border, mainly) is adopted, which have low application efficiency of 57% and are wasteful of water. Enhancing this efficiency would contribute to water sustainability. Most of the watersheds in Mexico are in an unsustainable situation in which demand grows continuously, as the population grows. To attend this situation and to work toward sustainable development, the National Water Program 2014-2018 envisages achieving water security and

sustainability, based on management of this resource. The highest demand for water in Mexico is from the agriculture sector, where it is estimated that 77% of the volume extracted from surface and underground sources is used in irrigation. The main plot improvement method proposed to increase application efficiency is land levelling, followed by proper irrigation recipes. The main supporting activity was monitoring of the water use through measurement. The average increase in application efficiency was 6.38% and water savings was 8.22%, upon improvement actions taken in the irrigated lands. (Pérez-Nieto and Hernández-Saucedo, 2017: 111; González, et. Al., 2017: R.61.1.21).

Faba bean has high nutrition value and is very popular in the diet of the Egyptians. As a result of limited cultivated area in Egypt and expansion in sugar beet cultivation to reduce sugar production-consumption gap in Egypt, the cultivated area of faba bean was highly reduced. The results of the field study indicated that surface irrigation to faba bean resulted lowest water productivity ( $< 0.50 \text{ kg/m}^3$ ). The productivity under drip irrigation was better but lower than  $1.0 \text{ kg/m}^3$ . Changing cultivation method to raised beds increased productivity and saved irrigation water, which could be used to irrigate new areas, but the water productivity was still lower than  $1.0 \text{ kg/m}^3$ . The highest water productivity can be attained under cultivation faba bean on raised beds and intercrop it with other crops, where its water productivity increased to be higher than  $1.0 \text{ kg/m}^3$  and had the potential to reach  $6.07 \text{ kg/m}^3$  in Upper Egypt. Thus, it can be concluded that that raised beds cultivation and intercropping faba bean systems can highly enhance faba bean water productivity and combat water scarcity. (Zohri and Ouda, 2017: R.61.1.03).

All over the surface irrigated regions in the world, adverse soil physical characteristics had been and continue to be inhibiting irrigation modernization and improvement programs. This problem is specific to the shrinking and swelling clay soils, which are difficult to handle either when too wet or when too dry. Experiencing the non-maintainability of conventional lined channels over the soft and shrinking-swelling clay soils over 60,000 ha irrigation area under the Waduk Kedung Ombo (WKO) Irrigation Systems in Central Java – Indonesia, the option of prefabricated channel lining was taken. This option has satisfactorily and permanently addressed the problem of channel disruption. (Priandini and Maddi, 2017: R.61.1.11).

“Small Tank Cascade System” of water resource management is common in Sri Lanka, where it contributes nearly 195,000 million tons of rice to national production (20% of national production). The natural drainage system in a watershed is blocked by earth bunds in suitable locations to store water, forming a series of tanks along the drainage system, distributed within a micro-catchment of the dry zone. Such series are called village tank cascade systems. Traditionally, in dry zone of Sri Lanka there is at least one tank in each village. The village community makes multiple uses of the tank water, such as for drinking, domestic uses, bathing, inland fisheries and for the cattle. Increased water storage also contributes towards maintaining the groundwater table. Perera (2017: R.61.1.18).

In the next 30 years, the world population will increase to about 9.2 billion, affecting water quality and also water availability, causing a fierce competition for water by the different sectors. In the face of increasing shortage of fresh water; partly due to climate change and partly due to anthropogenic pressure, attention has gone to the possibility of utilising waste water, mainly for agriculture. During the last century, the agricultural water use has increased 5 times and the industrial water use by 28 times. Of the pollution load from the industries, about 60-80% can be treated according to standards and the remaining will drain into the rivers without any treatment. Despite various attempts towards scientific management of irrigation water (the largest consumer of water), the ground truth is that there is a long way to go before agricultural water is actually managed scientifically to minimize its losses, overuse,

and misuse. Incidentally, agriculture is also a noteworthy water polluting activity because of competition to increase production by applying more fertilizer, more agro-chemicals and sometimes more water. *Vis-à-vis*, such a situation with fresh water; it is also to be noted that the volume of waste water has also been increasing in leaps and bounds. Some of such waste waters are treatable to improve their quality to be used for agriculture (mainly, irrigation).

Waste water treatment behavior has been studied using bagasse fly ash layer of different thicknesses as filters. The efficiency of color remover was 94% at the effluent flow rates 0.45 m<sup>3</sup>/d with the bagasse fly ash layer thickness of 7 cm. The study, however, was restricted to only removal of color of the waste water and did not present if the other important parameters (BOD, COD, DO and salts including heavy metals) could be controlled through the use of bagasse fly ash in combination with sand filter. (Pongnam and Plermkamon, 2017: R.61.1.16).

Currently in Mexico, only about half of the wastewater is treated for reuse. In an effort to increase the amount of treated wastewater, it is important to enhance the knowledge of integrated management for using wastewater in agriculture. To fulfil this objective, the Mexican Institute of Water Technology has published a book on Wastewater Reuse in Agriculture. This publication will be helpful for enhancing the technical capacities of the personnel responsible for water treatment and reuse. (Estrada et al, 2017: R.61.1.13)

Irrigation development and modernization in all countries has given attention more to the constructional aspect rather than on the management aspect to handle water. There has also been a lack of participation of the stake holders in irrigation system development. The goal should be not only to modernize irrigation system but also development of institution and human capital and effective collaboration among the stakeholder (community). (Sutiarso, et. al., 2017: R.61.2.09).

### **Question 61.2<sup>4</sup>: Using ICT, remote sensing, control systems and modeling for improved performance of irrigation systems**

Water is critical for sustainable development, including environmental integrity and the alleviation of poverty and hunger, and is indispensable for human health and well-being. Imbalances between availability and demand, the degradation of groundwater and surface water quality, inter-sector competition, inter-region and international disputes, all center on the question of how to cope with scarce water resources.

Efficient water management has been identified as one of the priorities to ensure food security in many areas of the world. On the other hand, smart technologies are nowadays spreading in all sectors of human activities. Remote sensing, modeling, sensors, remote control system, Application of information and communication technologies (ICTs) are potential tools to improve the efficient use of water to achieve improved performance of irrigation systems, including geospatial and drones, etc. to improve management of soil, water and crop, and to predict and mitigate the impacts of extreme weather conditions of droughts and floods.

By considering the importance of improving the performance of Irrigation Systems, the ICID has during 23rd Congress coined question 61.2: Using ICT, Remote Sensing, Control Systems and Modeling for Improved Performance of Irrigation Systems and invited papers for presentation.

4 With inputs from Dr. Kaluvai Yella Reddy (India) and Dr. Víctor Manuel Ruíz Carmona (MXCID)

### *General overview of the papers on Remote Sensing*

Planning of water resources use for irrigation is often difficult due to insufficient and untrustworthy recorded data. Inaccuracies in the data can only be identified comparing their values with estimations through alternative methods, e.g. remote sensing. In a study, water supply was estimated based on NDVI index and the correlations built upon time series of official statistical data. Correlation between NDVI and CIWUE (Coefficient of Irrigation Water Use Efficiency) allows estimation of irrigation efficiency while the correlation between CIWUE and total water supply enables further assessment of the latter. Correlations remain relevant with constant irrigation practices on arid lands where effective agriculture needs continuous irrigation. In the study, NDVI index was used as the main spectral index for both irrigation area and water supply assessment. (Danylenko, et al, 2017: R.61.2.11)

A study focussed on identification of agricultural drought characteristics and elaborated a monitoring method, which could result in appropriate early warning of droughts. The RS based Agricultural Drought Monitoring and Yield Loss Forecasting Method can identify the possible intervention areas. With help from Agricultural Drought Monitoring and Yield Loss Forecasting Method, the effect of drought on crops can be detected 4-6 weeks earlier than before and delineated more accurately, and its impact on agriculture can be diagnosed far in advance of harvest, which is the most vital need for global food security and trade. This information can reduce impacts if delivered to decision makers in a timely and appropriate format and if mitigation measures and preparedness plans are in place. Understanding the underlying causes of vulnerability is also an essential component of drought management because the ultimate goal is to reduce risk for a particular location and for a specific group of people or agricultural or economic sector. (Nagy, et al, 2017: R.61.2.14)

Researchers believe that adoption of Remote Sensing technology gives better estimates of irrigated area, salinized area and efficiency of the irrigation system. Also, adoption of this technology becomes essential for planning of irrigation system design and operation when the recorded data of ground truth are limited or unreliable. (Vlasova et al, 2017: R.61.2.12)

Two remotely sensed vegetation indices namely; Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), together with Land Surface Temperature (LST) onboard MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite were used as indicators of vegetation health and vigor. Time series EVI and NDVI were analyzed from year 2000 to 2016 for the study area. Both EVI and NDVI are available in 250 m resolution, 23 datasets per year. LST are available in 1 km resolution at every 8 days or 46 datasets per year. LST were re-sampled to 250 m and aggregated to 23 datasets per year. DEM for study area was acquired from ASTER GDEM (Advanced Space-borne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model) in 30 m resolution. An interview was conducted with the farmers in the irrigation district. Finally, it was concluded that EVI exhibited high sensitivity to detect crop conditions, both healthy and stressful, in response to water availability. (Herdianto, 2017: R.61.2.18)

Reliable estimation of crop coefficient is a prerequisite for scientific allocation and application of water to the crop land. Working on this notion, researchers emphasize that vegetation indices estimated from multispectral images play important role in the Kc estimation and consequently, the crops irrigation requirement. The OBIA (Object Based Image Analysis) classification algorithm allowed differentiating crop and soil characteristics, giving more accurate values of vegetation indices and crop monitoring. A linear model was used to estimate Kc as a function of NDVI. The  $r^2 = 0.97$  was higher than those reported when using satellite images due to the fact that UAV images have higher spatial resolution and better separation among crop, crop



shadow, soil shadow and bare soil. Using Kc-NDVI models, maps can be generated showing the spatial variation of Kc. (Marcial-Pablo, et al, 2017: R.61.2.19).

A study on a 20 ha maize farm in Karaj, Iran, combined two indices of AGDD (Accumulated Growth Degree Days) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) for modelling of maize phenology and determination of phenological stages onset. Considering the severe noises and 7 days interval in available multi-temporal images, it was necessary to use smoother methods. For this purpose and for achieving the high-quality time series of NDVI, the really time smoothing method of Weighted Least Squares (WLS) model was applied. The results of combined model were compared by two frequently used methods based on AGDD and sowing-based models. The RMSE by using the combined model was the least for all the phenological stages. (Ghahreman et al, 2017: R.61.2.20)

### *General overview of the papers on Knowledge Management*

Sutiarso et al (2017: R.61.2.09) believes that there are five pillars of irrigation modernization in Indonesia: (i) water availability, (ii) irrigation infrastructure, (iii) irrigation management, (iv) institutional irrigation management, and (v) human resource (knowledge management base). They have, however, chosen to dwell upon the knowledge management aspect.

A case study paper based on Madhya Pradesh, India indicates that the development of a web-based management information system (MIS) was a central tool in the process of the significant increase in irrigated area. The paper discusses the genesis and development of this tool under the World Bank funded Madhya Pradesh Water Sector Restructuring Project (MPWSRP) and the measures adopted to facilitate its development and uptake by the Department. The paper concludes that the availability of timely, accurate and transparent data is fundamental to the modern management of irrigation and drainage schemes. (Burton and Stoutjesdijk, 2017: R.61.2.13).

A paper based on a study on Real-Time Feedback Control System for Improving Agricultural Water-Use Efficiency of Basin Irrigation; discussed the real-time feedback control system of surface irrigation, including real-time irrigation information acquisition and transmission module, and a central controller. The proposed system has been applied in some irrigation districts and showed effective improvement of water-use efficiency. (Wu, et. al., 2017: R.61.2.03)

The paper on Intelligent Measurement and Monitoring of irrigation amount in the well irrigated areas presents real-time monitoring and control technology for irrigation wells, which consisting ultrasonic flow-meter, communication module, and control terminals. The study was done in North China and the authors claim that individual farmers can use the technology through use of their pre-paid smart cards. Management platforms at different levels, such as city, county, water station and village can be set up, to monitor irrigation water amount and distribution. (Jing, et. al., 2017: R.61.2.04).

Use of web-based information in planning, designing and monitoring of irrigation systems is termed as “Cloud Computing” is essentially a decision support system with a much broader scope. In order to solve the problem of inefficient use of water and fertilizer, a paper proposed an intelligent cloud irrigation system to manage the two resources in protected agriculture. The authors claim that the system is of great importance in guiding protected agricultural facilities to achieve high yield, high quality, ecology and safety in production. It improved the water use efficiency by 25~40 percent, fertilizer use efficiency by 15~35 percent, shortened labor time and decreased labor force sharply. (Qinghong, et. al., 2017: R.61.2.06).

Information and communication technologies (ICTs) are an indispensable tool for improving the performance of irrigation systems. This has been the experience in West Africa, claims the researcher who has used an innovative methodology to integrate ICTs into the PARIIS-SIIP program, from the formulation phase. (Figuères, et al., 2017: R.61.2.16)

The researchers of a greenhouse experimental study on tomato presented a decision support system (DSS) that could be used to help greenhouse growers to improve their current fertigation practice. (Martinez-Ruiz, et al., 2017: R.61.2.17)

A paper from Indonesia mentions that Irrigation management for its modernization requires effectiveness and efficiency in the operation of the irrigation network. Monitoring and remote control technology used in this research is the application of reporting of website based operation, measurement of volumetric discharge, and electromechanically controlled water gate. Problems encountered in the implementation were also discussed. (Hidayah, et al., 2017: R.61.2.21).

A physical model along with a software programme was used to evaluate the uniformity coefficient of centre pivot sprinkler irrigation systems in Iraq. The objective was to examine the improvement of the uniformity coefficient by changing the water supply from the pivot point to the middle of the main pipe line. Based on the result of this study, the author conclude that the software program can be used as a tool to predict the behavior of the sprinkler system under different layouts and different operating pressures. (Hameed Abed, 2017: R.61.2.10).

In a study in China, the finite-volume approach and a fully coupled model for canal-field system was developed to simulate unsteady flow simulation for canal-field system in an irrigation district. Using the approach and the model, the water distribution and gate control in the experiment area was optimized. The optimized solution revealed that the water consumption could be reduced by about 21% compared to present situation. (Zhang et al., 2017: R.61.2.01).

Three PI Tuning Methods for Downstream Water Level Control was done and three methods for tuning and designing PI controllers for downstream control were evaluated. The evaluation criteria were: Effectiveness of tuning; and Potential for practical application on an actual canal in the field. The analysis results of the methods and recommendations are presented. The paper examines three methods for tuning and designing PI controllers for downstream control: Iterative, Ziegler Nichols and Bump Tuning. The methods are evaluated using 3 criteria: How easy each method is to understand and utilize; Effectiveness of tuning; and Potential for practical application on an actual canal in the field. The analysis results of the methods and recommendations are presented in the paper. (Stringam, et al 2017: R.61.2.05)

In a paper from Iran, the hydraulic behaviour of the canal and operational scenarios are simulated using the ICSS hydrodynamic model. The canal performance was evaluated using adequacy, efficiency and equity indices. The results show that application of managerial operation has improved the adequacy and efficiency indices by about 5-10% for all intakes, and equity index is improved by 4% for the whole canal. (Ostovari, et al. 2017: R.61.2.15).

A mathematical model study was carried out in Southern Finland on the groundwater table behaviour in a subsurface drained land using the 3-dimensional (3-D) FLUSH model. Based on the study the authors conclude that the effect of the drain spacing had a more visible effect on the groundwater table depth than on the water balance components. (Heidi, et. al., R.61.2.02).

In addition to the above, there were three papers, which were not directly linked to the theme of Question 61, but were indirectly linked to some of the issues related to the Question. Briefly, these papers are:

**Folded Plate Technology:** The paper from India on folded plate earth retaining and bank stabilizing structures provided useful and valuable information on structural / constructional aspects of river training and management works. (Dinkar and Pandey. 2017: R.61.2.07).

**Ecological Water Diversion:** This paper from China analyses remote sensing image to evaluate the Practice of Ecological Emergency Water Diversion to Nansi Lake in China. The paper provided useful information of remote sensing utilization for ecological purposes. (Qu, et al, 2017: R.61.2.08).

### **Question 61.3<sup>5</sup>: Adaptability and affordability of new technologies under different socio-economic scenarios**

New technologies in irrigation are continually being developed. Methods of applying irrigation water, determining crop water requirements, using low quality water, providing drainage, improving water storage and delivery systems, forecasting droughts and floods and improving the knowledge of those people involved in the storage, delivery and application of irrigation water are some of the areas where new technology is helping to improve the production of food throughout the world.

Almost 25% of the world's countries suffer from different levels of water stress. Access to newly generated technology in agriculture should be a human right more than an option to farmers, especially those with less economic assets. Being agriculture is the sector that uses the most water (around 69% worldwide) special emphasis is needed to increase the irrigation water use efficiency that in some countries is very low (including conveyance, storage and application). The electromechanical efficiencies of pumping equipment should be taken into account when computing global efficiencies.

The development of new irrigation related technologies does not automatically result in better irrigation practices and thus more food production. New technologies must be placed into use before they can be of value. Placing a new technology into use requires that it be adaptable, economically beneficial and acceptable to those who will use it. This may be a very difficult task for implementing some new technologies, and thus, test, experiment. Pilot demonstration and extension with continuous improvement for their adaptability and affordability under different natural and socio-economic scenarios are necessary. For example, something that may work very well in a small laboratory environment may not be feasible in the natural environment of an agricultural field. Also, something that works very well in the laboratory may not be accepted by those who would use it in the field because it is cumbersome or unfamiliar to them.

The adaptability of new technology to various climatic, environmental and socio-economic conditions is a significant factor in determining the validity of the new technology. A new concept that provides significant efficiency improvement in one geographic area or socio-economic setting may not be useful at all in another setting. For example, the computerization of a pivot sprinkler system will have little or no value in a part of the world where the farming is done on hillside terraces or where the farmers cannot afford computers or sprinkler systems. A modern efficient electric irrigation pump is of no value if there is no electricity available to drive the pump.

5 With inputs from Mr. Franklin Dimick (USA) and Dr. Ignacio Sánchez Cohen (MXCID)

Newly generated technology encompasses a process of transference or training to users independent of their socio-economic level. Experience has shown that at the field level it is difficult to convince a farmer to adopt any technology if it does not imply an economical return in the short run. Moreover, if the new technology requires a financial investment, the farmer will think twice about the adoption of the technology, especially those farmers with low economic capacity, unless a special subsidy is provided to assist them. In this framework, the development of technology should take into account the farmers needs from the social point of view and from the state of the natural resource (water) and the ecological point of views. The former should yield technology of easy application that is understandable and inexpensive and the latter should yield technology that does more with less water and has a small energy foot print.

Within irrigation districts or water user organizations, the aim of new technologies should imply an increment in operation efficiencies and in the way data is gathered to plan and operate better or improved irrigation systems. New technologies at the irrigation district or water user organization level could also include improved policies, processes and administration. Irrigation technology does not necessarily imply piping or canal lining, nor high-tech or complicated equipment, and nor expensive ways of pumping or distributing water within the fields. Rather, it should imply better water management through better practices. New technology for irrigation districts or water user organizations must also be applicable and affordable for varying conditions.

It should be understood that there are different levels of technology needs and adoption according to the socio-economic level of the farmers and the water user organizations. One big mistake that governments have made is to try to increase the level of water efficiency of farmers and water user organizations from a very inefficient platform to the highest level of water use efficiency while neglecting the cultural, social and economic situation. The goal of increasing water use efficiency should proceed in successive steps toward achieving the desired level through time. Let us say that there are three categories of farmers in terms of water use efficiency: A, B and C with A being the most efficient and C being the least efficient. It is a mistake to try to move farmer C to level A in the short run. It will be more affordable and successful to move farmer C to level B and farmer B to level A. This procedure may cost time and money but will yield results that are more promising. Trying to move farmer C directly to level A will likely result in the farmer giving up on any improvements because they are beyond his or her physical, mental or economic capabilities to implement them. The situation dictates the level of technology that is needed.

The land tenure and/or the land size of landowners (or land operators) are also important factors for the adaptation of new irrigation technologies, particularly in developing countries. For example, in China, it is difficult for the traditional small household farmers to use drip irrigation because, to them, drip irrigation is not affordable and is complicated in management. However, in recent years many farmers have been transferring their lands by contracts to the large-scale centralized land operators. As a result, drip irrigation and automatic control irrigation system have obtained fast development, as the land operators can afford, manage and get benefit from the new irrigation technologies applied. It may be true that the small land scale and weak economic strength of farmers are the major constraints for adaptation of new irrigation technologies in many developing countries, like drip and sprinkler irrigation. However, it was also found that there is a simple, low-pressure drip irrigation technology (with elevated water tanks near the field for providing the low pressure needed) for small scale farmers in India and was reportedly used well for small field plots. This, once again, shows the importance of "adaptability and affordability" of new irrigation technologies.

Introducing technology that is beyond the capabilities of the water users to implement will result in disaster. If the farmers or water user organizations become frustrated trying to implement new technologies they will probable revert to the old methods they have been using and which they are comfortable with. This will often result in the abandonment of infrastructure or ideas that could eventually be used for more efficient use of water for agriculture. Farmers and water user organizations should participate in the decision making process when any new technology is to be introduced. Here is where transference of technology and training play a main role. The commitment of water user organizations participating in governmental programs needs to include the training of their personnel and farmers to assure the success of the improvement plan.

### *General overview of the papers*

Solar Disinfection (SODIS) process uses the intense ultraviolet radiation from the sunlight shining through a non-opaque container filled with non-potable water (Gray water) kills undesirable pathogens rendering the water safe to drink. This method was used for irrigation tomato seedlings and not for getting potable water. The authors describe a research project in this area in Brazil. However, no information on the adaptive potential or the affordability of the process is given. (Aleman, et. Al, 2017: R.61.3.08).

Researchers in Brazil presented a greenhouse experiment for the determination of weekly crop coefficient of Tomato seedlings. The authors contend that often in practice, production systems don't operate under efficient management, not because of lack of technology or capital, but because decisions are improvised, random, careless or subjective. (Aleman and Bastos, 2017: R.61.3.03).

Attributing the earlier misuse of irrigation systems in Ukraine as the reason for the decline of the system, the authors of a paper have called for immediate actions for their technical modernizations, and of effective technical solutions as a prerequisite of sustainable development of the irrigated farming. Though the Congress was a good place to discuss the adaptability and affordability of new technologies but the authors did not pursue that. (Romashenko and Dekhtiar: 2017: R.61.3.10)

A paper from China has presented some very good concepts on balancing needs, population growth, social knowledge, etc. Although the technology presented in the paper may not be new, its application is still valid. Besides, various traditional irrigation forms should be systematically researched for not only the engineering value, but also the sociological and ecological values. (Yunpeng et al 2017: R.61.3.01).

There has been a proposal to initiate a new groundwater management policy in Mexico. A paper in this regard discusses the need for allowing users to have more of a voice in regulating groundwater extraction. Such a move would enhance the effectiveness of the new management policy. (Cassillas et al 2017: R.61.3.04).

The authors of a paper discuss a study of two sample national irrigation systems that face water shortage and destructive floods during the dry and wet cropping seasons, respectively. The paper reflects some of the shortcomings of earlier attempts of introducing new technology and discusses ways to make sure future new technology is adaptable and affordable. They feel that the basic approach to identification of appropriate irrigation modernization option included (1) critical analysis of the logical consistency of the design of the physical structure, system operation and water supply; (2) assessment of the physical capacity of the irrigation structures to perform their functions; (3) due consideration of social acceptability of selected

irrigation technology and water users' vision of the future modernised irrigation system; and (4) integration of effective local solutions to evident design shortcomings into the modernization plan. (Reyes and Schultz, 2017: R.61.3.05)

The authors of a paper from Mexico feel that there were technologies available to overcome the adverse consequences of weather extremes and resource degradation but few will be able to pay for it. However, land improvement through drainage is considered as an economical solution to the salinity problems in Mexico. (Arias, et. al 2017: R.61.3.14).

The authors of a paper from Indonesia on the competitiveness of modular canal lining discuss replacing damaged canal linings with precast concrete sections and comparing that with stone masonry linings. The authors indicate that users generally will easily accept and apply this technology because of the advantages in terms of strength, lifespan and maintenance costs. However, the users have perceptions that stone masonry lining is better in terms of ease of construction, construction time, and cost of construction. (Sofiyuddin et al 2017: R.61.3.15).

There are several papers presented under Sub-question 61.3, which are either not related or very remotely related to the theme of the Sub-question. One such paper on rainfall distribution and vegetation greenness from Natal South Africa; claims that water storage for the present and the future remains critical for economic and social development in South Africa. A paper from Taiwan deals with monitoring the safety of a dam structure. A paper from Mexico discusses the maintenance of irrigation infrastructure by removing sediments from the water conveyance network. A paper from Pakistan discusses groundwater condition and its future, from the standpoint of its importance in agriculture. A paper, very distantly connected with irrigated agriculture evaluates the effects of and the type of tourism in the Hsinchu City area using "Travel Cost Method" of multi-criteria decision making. A paper, better related to the theme (or water resources and irrigation) from Mexico discusses the value and opportunities for using solar power to operate pumps for agricultural water. A paper proposes two tools for assessing the need for and prioritizing the work to upgrade small storage tanks in Sri Lanka. The author of a paper on physical model study in Mexico discusses using a physical model to determine the flow through a tunnel. The data was then used to make recommendations for changes to the tunnel to improve the flow. The model work and results are commendable but it cannot be clubbed with other works, as this has been the only paper of its kind. (Maponya and Mpandeli, 2017: R.61.3.09; Wei, et al 2017: R.61.3.11; Ramon and Nazario, 2017: R.61.3.12; Hassan et al 2017: R.61.3.05; Wen and Liu. 2017: R.61.3.06; Gandara 2017: R.61.3.07; Perera et al 2017: R.61.3.16; Maldonado, 2017: R.61.3.02).

## Summary and Conclusions

Question 61 had three sub-questions namely 61.1, 61.2 and 61.3.

In all the Sub-questions, there were a few papers that were not directly linked to the sub-question theme. However, irrigation is a very broad subject and it encompasses the entities of water, land and the human resources. So, linkages do exist, though may not be vivid. In this section, therefore, those weakly or indirectly linked papers are also included.

Fresh water scarcity is of global concern and is feared to be aggravated in the future. As expected, therefore, a number of researchers have addressed this issue. As, water resources cannot be created in addition to what nature has provided; therefore several authors have highlighted on efficient use of the water resources to minimize undesirable and avoidable losses of water: in its storage, conveyance, application and use. Loss or wasted irrigation water manifests in the soil salinization, waterlogging, unworkable soil condition, particularly in

shrinking and swelling clay soils. Hence a set of papers across the countries has addressed this issue. The water quality aspect has not lost the researcher's attention. This is an important aspect and a management issue, as while on the one hand, fresh water cannot be created, poor quality water always increases in quantity and deteriorates in quality due to anthropogenic activities of the ever-growing population.

Since, surface irrigation by gravity flow of water over the cropped land is the most common the world over, attention to improve surface irrigation efficiency is naturally expected. Also, such attention has been more in water-scarce arid and semi-arid countries and regions. There are papers on correct estimation of crop water requirement based on which irrigation water is applied on the field. Web information based estimation (alternatively known as 'Cloud Computing') is an advanced method of estimation of real time based crop water requirement has been used. A point of interest is that the topics of research and application that earlier used to be in the domain of research and educational institutions, have now spread to the executive departments also. Similar is the case with model studies, including physical and mathematical models.

Real time monitoring of irrigation and appropriate follow up action has been applied in some irrigation districts and showed effective improvement of water-use efficiency. Similarly, Intelligent Measurement and Monitoring of irrigation amount in the well irrigated areas involves real-time monitoring and application of control technology for irrigation wells, which consisting ultrasonic flow-meter, communication module, and control terminals. Obviously, such systems and methodologies improve irrigation performance. Further, even the individual farmers can use the technology through use of their pre-paid smart cards. Management platforms at different levels, such as city, county, water station and village can be set up, to monitor irrigation water amount and distribution.

Thus, the 64 papers in Question 61, appear to have addressed all the relevant issues related to irrigate agriculture and some of the papers have gone even beyond.

## Acknowledgement

This General Report was prepared in cooperation with and contributions of the Panel Experts (PEs) and Co-chairs as shown below:

Panel Expert / Co-Chair Dr. Brian T. Wahlin (USA); Dr. Heber Saucedo (MXCID); Dr. Kaluvai Yella Reddy (India); Dr. Víctor Manuel Ruíz Carmona (MXCID); Mr. Franklin Dimick (USA); and Dr. Ignacio Sánchez Cohen (MXCID).

This General Report was prepared and integrated largely based on the summary reports of the sub-questions prepared by the Panel Experts/Co-chairs and the views on the papers submitted and their expanded views on the related topics beyond the papers.

The General Reporters/Panel Experts/Co-Chairs would like to thank all authors who took time to prepare the papers. The General Reporter would like to thank all the Panel Experts/Co-chairs of the sub-questions for their reviewing the papers and preparing the summary reports with valuable views and state of the art information/knowledge on the concerned topics.

Last but not the least, thanks are due to Dr. Vijay K Labhsetwar, Director at ICID who played a pivotal role in bring all of us together and coordinating the drafting of the report and eventually revising it to bring the report to its current format and shape.

## References

- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, K. A., Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures -- efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(6), 423-442.
- Clemmens, A. J. (1998). Achieving high irrigation efficiency with modern surface irrigation. Irrigation Association Expo Technical Conference (pp. 161-168). Irrigation Association.
- Clemmens, A. J. (2005). Raising the performance of surface irrigation. 19th International Congress on Irrigation and Drainage (pp. Q 52, P. 1.06). Beijing, China: ICID.
- Rouse, M., & Wigmore, I. (2017, July 30). Precision Agriculture. Retrieved from WhatIs.com: <http://whatis.techtarget.com/definition/precision-agriculture-precision-farming>.



# Question 61: État des connaissances dans les techniques d'irrigation et aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés

## RAPPORT GÉNÉRAL

Dr. Ding Kunlun (Chine)<sup>1</sup>

*Général Rapporteur*

### Introduction

La Question 61 est intitulée: « État des Connaissances dans les techniques d'irrigation et les aspects pratiques dans des contextes socio-économiques donnés ». Au total, 64 exposés ont été soumis provenant de 24 pays et régions (Mexique, Chine, Ukraine, Indonésie, Inde, Iran, Égypte, Brésil, Sri Lanka, Afrique du Sud, Philippines, Pakistan, Argentine, États-Unis, Ouzbékistan, Thaïlande, Irak, Royaume-Uni, Hongrie, Afrique de l'Ouest, Taipei chinois, Finlande, la Russie et Pays-Bas). La question 61 couvre les trois sous-questions suivantes :

- Q. 61.1:** L'adoption de l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau
- Q. 61.2:** Utilisation des TIC, télédétection, systèmes de contrôle, et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation
- Q. 61.3:** Adaptabilité et accessibilité des nouvelles technologies selon divers scénarios socio-économiques

Le présent rapport général a été préparé basé sur les résumés des exposés des sous-questions et les points de vue exprimés dans les exposés et sur les thèmes connexes.

Bien qu'on s'attendait à ce que les exposés soient catégorisés en fonction des sous-questions, les exposés qui ont été soumis couvraient un large éventail de sujets et ont dépassé le cadre des sous-questions dans certains cas. Un petit nombre d'exposés ne sont pas vraiment liés aux objets des sous-questions bien qu'ils aient fourni des informations et des résultats utiles et intéressants. Les sujets couverts par les exposés soumis sont: (i) l'irrigation de précision, l'amélioration de l'irrigation de surface ou les deux dans la Sous-question 61.1, (ii) la télédétection, les TIC, les systèmes de contrôle, la gestion des connaissances, les modèles mathématiques et autres dans la Sous-question 61.2, et (iii) la qualité de l'eau et la réutilisation des eaux usées, la modernisation des systèmes d'irrigation, les outils d'analyse, la gestion de l'eau, la sécurité des barrages, la politique publique, la sécurité alimentaire et l'amélioration des systèmes d'irrigation dans la Sous-question 61.3.

### **Question 61.1<sup>2</sup> : L'adoption de l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau**

La pénurie d'eau est un enjeu crucial dans l'agriculture. Dans un monde où l'agriculture doit continuer à tirer la meilleure partie des ressources en eau qui deviennent de plus en plus rares, il est important, plus que jamais, pour les utilisateurs d'eau agricole de conserver l'eau.

<sup>1</sup> Vice President, ICID, Deputy Secretary General, Chinese National Committee on Irrigation and Drainage (CNCID), A1, Fuxing Road, Beijing 100038, China (Kding2005@aliyun.com)

<sup>2</sup> With inputs from Dr. Brian T. Wahlin (USA) and Dr. Heber Saucedo (MXCID)

Deux méthodes pour lutter contre la pénurie d'eau sont l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface. Parmi les 25 exposés qui répondaient à la Sous-question 61.1, 9 documents ont abordé la question de l'irrigation de précision, 13 documents ont abordé l'amélioration de l'irrigation de surface et les deux questions ont été abordées dans 3 exposés.

### **L'adoption de l'irrigation de précision pour lutter contre la pénurie d'eau**

Premièrement, que signifie exactement le terme « l'irrigation de précision » ? Avant de répondre à cette question, revenons encore un peu en arrière et demander: « que veut dire exactement l'agriculture de précision » ? L'agriculture de précision est l'approche de la gestion agricole qui utilise les technologies de l'information (TI) visant à fournir la quantité exacte d'eau et de nutriments aux cultures afin de maintenir leur santé et une productivité optimales (Rouse & Wigmore, 2017). En général, l'agriculture de précision fait appel à l'imagerie par satellite, la télédétection et d'autres technologies pour l'agriculture tout en tenant compte de la variabilité des sols et des cultures. L'agriculture de précision repose sur la collecte et l'analyse d'énormes quantités de données afin d'évaluer en temps réel les conditions des cultures, des sols et des conditions météorologiques.

Par exemple, les capteurs sur le terrain peuvent mesurer la teneur en humidité du sol et la température du sol et de l'air. Les drones peuvent être utilisés pour fournir des images des cultures en temps réel. Les informations obtenues à partir de ces données collectées à distance peuvent être analysées pour déterminer à quel moment il faut appliquer la quantité optimale d'eau, l'engrais et les pesticides. L'objectif final est d'aider l'agriculteur à éviter le gaspillage des ressources tout en assurant des rendements et des bénéfices optimisés.

Dans le passé, l'agriculture de précision était généralement limitée aux exploitations à grande échelle qui peuvent assumer les coûts de l'infrastructure informatique et des équipements nécessaires. Mais, avec les progrès de la technologie et le développement de drones et d'applications mobiles, l'agriculture de précision peut être mise en œuvre au niveau des petites exploitations agricoles.

Si l'agriculture de précision est définie à l'aide d'énormes quantités de données pour gérer efficacement une ferme à l'échelon du mètre carré, l'irrigation de précision peut être considérée comme la collecte et l'utilisation de grandes quantités de données pour irriguer avec précision les plantes individuelles. La technologie pour l'irrigation de précision peut généralement être classée en deux catégories: les équipements utilisés pour recueillir les données environnementales, des sols ou des données météorologiques et les équipements utilisés pour contrôler automatiquement le système d'irrigation lui-même.

Même si le terme d'irrigation de précision est largement utilisé, il n'y a aucune définition communément acceptée du terme. Pour certains, l'irrigation de précision est synonyme de l'irrigation goutte à goutte. Pour d'autres, il signifie une planification d'irrigation basée sur des données provenant de capteurs de terrain ou d'autres données régionales/mondiales. Si l'irrigation à goutte à goutte est un sous-ensemble de l'agriculture de précision, cela signifie que l'irrigation goutte à goutte devrait appliquer des quantités variables d'eau à la fois spatialement et temporellement. Cependant, un système fixe d'irrigation goutte à goutte, une fois installé, ne peut pas utiliser différentes quantités d'eau dans différentes zones spatiales, sauf en fonction de la manière dont le système avait été installé. L'irrigation de précision, selon la définition ci-dessus, n'a été appliquée qu'à l'irrigation par aspersion où le débit des buses d'arrosage peut être contrôlé à distance.

Les méthodes pour maintenir le débit de l'émetteur de gouttes comprennent la filtration physique, le contrôle du pH (par exemple, l'ajout d'acide) et le contrôle biologique (par exemple,

l'ajout de chlore). Ce sont des pratiques standard qui avaient été publiées et disponibles depuis près de 40 ans. Les exposés présentés relatifs à cette question démontrent que la qualité de l'eau appropriée pour l'irrigation goutte à goutte de manière rentable est un combat constant pour l'utilisation de ce type d'irrigation, en particulier dans les régions éloignées.

Une planification précise de l'irrigation avec des estimations affinées de l'ET est également considérée comme une irrigation de précision. Pourtant, l'irrigation de précision devrait tenir compte de la planification précise de l'irrigation pour définir la quantité d'eau nécessaire à la récolte ainsi qu'une application précise de l'eau requise (par exemple, avec une application efficace et uniforme).

### *Aperçu général des exposés*

Les exposés soumis présentent un bon équilibre entre les études théoriques et les études de terrain. L'irrigation goutte à goutte est mise en pratique dans plus de 70 000 ha en Ukraine, où il est important de maintenir des normes strictes de qualité de l'eau afin d'assurer un fonctionnement sans problème du système de l'irrigation goutte à goutte. En l'absence d'un maintien strict de la qualité de l'eau, la performance du système peut diminuer de manière spectaculaire (Usaty et Usata, 2017: R.61.1.08<sup>3</sup>).

L'irrigation goutte à goutte a permis de développer l'hétérogénéité spatiale des propriétés du sol, en particulier dans les cultures vivaces cultivées en une seule récolte depuis 15 à 25 ans en Ukraine. Une telle hétérogénéité perturbe le fonctionnement normal du système, comme pressenti dans sa conception. Il se développe avec l'augmentation de la charge sur les sols en raison de la qualité médiocre de l'eau et l'effet des engrais qui entraînent une manifestation locale. L'effet le plus néfaste dans les sols irrigués est l'alcalinisation. La prévalence des ions de sodium par rapport aux ions de calcium facilite la peptisation du limon, la transformation et la dégradation des composants minéraux et organiques du sol (Usata et Ryabkov, 2017: R.61.1.10).

Certains chercheurs suggèrent que le réseau de conduites d'irrigation sous pression doit être rincé avec des produits chimiques avec une solution ayant un pH entre 2 et 3 dès l'apparition de signes de sédimentation dans les canalisations qui s'accumulent dans des agglomérats. Le maintien de l'indice de stabilité de l'eau en raison de l'acidification au négatif est capable de ralentir les processus de sédimentation et de réduire le risque de formation de composés insolubles. Ils ont conclu que le rinçage préventif et correctif était l'une des méthodes efficaces pour maintenir le réseau d'irrigation à la hauteur de la conception du projet (Kupiedinova et al, 2017: R.61.1.20).

Dans l'un des exposés, l'importance d'organiser la communauté agricole des petits propriétaires terriens et d'assurer l'appui institutionnel pour eux afin d'assurer que les avantages de l'irrigation modernisée atteignent ce groupe de communautés agricoles habituellement négligé et pauvre en ressources a été soulignée. Les auteurs estiment que le système à pivot central, qui est considéré comme approprié pour les grandes exploitations, peut être partagé par plusieurs utilisateurs de petits groupes de propriétaires terriens. De tels systèmes ont récemment été mis en œuvre au Kenya, au Rwanda et au Ghana, et vraisemblablement dans d'autres régions d'Afrique (Fipps et Traore 2017: R.61.1.14).

On prétend que le système d'irrigation avec des canons d'arrosage convient aux cultures dans les régions du monde confrontées à une pénurie d'eau et à la sécheresse. Il est surtout adapté à une irrigation des cultures sur pied menacées en raison du stress hydrique extrême

<sup>3</sup> This is paper number referred in the Abstract Volume. The full paper is available in USB.

ou dans des conditions de sécheresse. L'utilisation de ce système restaure immédiatement la capacité du champ. Le système d'arrosage au canon agricole est l'un des systèmes les plus rentables, et est disponible en versions mobiles ou portables (Yewalekar et Kinge, 2017: R.61.1.17).

L'eau de mauvaise qualité présente une vaste plage de valeurs dans les paramètres de qualité, qui ne sont pas tous nuisibles au sol ou aux cultures. À cet égard, un système de soutien à la décision (DSS) a été développé et présenté pour l'Afrique du Sud pour l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur des caractéristiques propres au site, en utilisant des relations de cause à effet internationalement acceptées. Il est prévu que le DSS trouvera une application plus large qu'avec les utilisateurs sud-africains.

L'agriculture irriguée est l'épine dorsale des économies de l'Asie centrale et des économies d'un grand nombre de nations agraires où la gestion efficace de l'irrigation est d'une importance cruciale pour la production durable des cultures. L'un des exposés reçus d'Ouzbékistan affirme que l'ordonnement de l'irrigation basé sur l'ET peut améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau agricole. Les résultats d'une étude de deux ans menée sur la culture du coton en Ouzbékistan ont montré qu'on peut obtenir une économie d'eau de 25 à 34 % sans changement significatif des rendements lorsque l'irrigation utilisant la méthode de planification ET a été appliquée. Cela a apporté une augmentation globale de la productivité de l'eau entre 34 et 50 %. Les parcelles pilotes sont représentatives de 38 % de la superficie irriguée dans la vallée de Fergana (241 407 ha). Si cette méthodologie est largement adoptée par les AUE, de grandes quantités d'eau peuvent être économisées, et peuvent être dirigées vers l'expansion horizontale de l'agriculture irriguée, ou à d'autres fins, comme le soutien des services écosystémiques (Mukhamedjanov et Mukhomedjanov, 2017: R.61.1.19).

Les chercheurs consacrent un temps et une énergie considérable pour s'assurer que les estimations de l'évapotranspiration faites par le modèle Penman-Monteith de la FAO dans les conditions semi-arides sont assez fiables pour être utilisés dans la planification de l'irrigation sur la zone ciblée. Le modèle, cependant, nécessite une base de données exhaustive d'un grand nombre de paramètres météorologiques. La contribution relative d'un certain nombre de paramètres météorologiques utilisés dans l'estimation de l'ET par le modèle Penman-Monteith le plus adopté par la FAO a été évaluée pour la région de Karaj en Iran. Le paramètre le plus important était la température maximale, suivie par la vitesse des vents, et ensuite par l'humidité relative. En allant plus loin, ils ont proposé les équations suivantes pour l'estimation de l'ET utilisant le modèle Penman-Monteith :

$$ET_0.FPM = 0.298 t_{max} + 0.7420 u_2 - 4.432 \quad R^2=0.81, \text{ and}$$

$$ET_0.FPM = 0.205 t_{max} + 0.7460 u_2 + 0.103 R_{mean} - 3.949 \quad R^2=0.82$$

Dans les deux équations ci-dessus,  $ET_0.PMM$  est l'estimation de l'évapotranspiration de référence par le modèle de Penman-Monteith;  $t_{max}$  = température maximale,  $u_2$  = vitesse du vent et  $R_{mean}$  = humidité relative moyenne (Kanani, et al. 2017: R.61.1.23).

Le passage de l'irrigation de surface basé sur la gravité vers l'irrigation goutte à goutte à pression, en profitant de la topographie, avec l'appui d'un leadership innovant, a été effectué dans une zone de commande mineure dans l'État du Maharashtra en Inde. Le 0,5 M m<sup>3</sup> d'eau du réservoir de Naghtana alloué par le gouvernement à l'une des AUE est utilisé pour l'irrigation goutte à goutte, qui est rendu obligatoire pour tous les membres de l'AUE. Par conséquent, la surface d'irrigation de 82 ha prévue a augmenté jusqu'à 145 ha. L'exposé conclut avec la remarque qu'il est prudent d'utiliser l'énergie potentielle naturellement disponible à la source pour transporter l'eau de la source à la ferme par un réseau de

canalisations et si une tête résiduelle suffisante est disponible pour le fonctionnement, on peut favoriser la micro-irrigation avec une modification spécifique de l'emplacement. De cette façon, l'eau économisée peut être utilisée pour supporter une culture de haute valeur ou l'irrigation d'une zone supplémentaire. De la même manière, l'énergie économisée dans le secteur agricole peut être utilisée dans d'autres secteurs pour le développement national (Bhalage et Sangle, 2017: R.61.1.12).

Dans l'exposé: « Analyse de la technologie pour une irrigation de surface de précision », il est soutenu que la performance de l'irrigation de surface est influencée par de nombreux facteurs, à savoir, la précision du nivellement du sol, la disposition du système d'irrigation, les règles de contrôle de l'irrigation et la gestion de l'irrigation. Dans ce contexte, le contrôle de la rétroaction en temps réel de l'irrigation de surface de précision est utile pour surveiller les performances de l'irrigation au fur et à mesure qu'il progresse et pour prendre les mesures le cas échéant (Bai, et al. 2017: R.61.1.02).

L'exposé « Système de contrôle automatique pour une irrigation économe en eau des rizières » a mis l'accent sur le fait que dans le système d'irrigation par inondation généralement utilisé en Chine l'efficacité d'utilisation de l'eau est très faible, aggravant la pénurie d'eau. L'exposé présente les résultats d'une étude sur un système de contrôle automatique de l'irrigation économe en eau. Il a démontré que le système de contrôle peut contrôler efficacement l'irrigation des rizières tout en évitant les inondations pendant la saison des pluies (Hejing, et al. 2017: R.61.1.05).

En Argentine, 19 % des terres sont cultivées, dont 7 % sont irriguées. On a estimé que l'efficacité moyenne de l'utilisation de l'eau est d'environ 30 % en raison de l'irrigation de surface basée sur la gravité. Le document: « Performance de l'irrigation par vagues à Mendoza, en Argentine: efficacité actuelle et potentielle », a présenté une expérience de terrain et des modèles de simulation sur l'irrigation par vagues pour améliorer l'efficacité de l'irrigation des champs. Les résultats ont montré un large écart entre les gains d'efficacité mesurés sur le terrain et potentiels, ce qui signifie que l'équipement d'irrigation est sous-utilisé (Romay 2017: R.61.1.24).

### **Amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau**

L'irrigation de surface est connue pour sa faible efficacité d'irrigation (Clemmens, 1998). Bien qu'il soit vrai que la performance de l'irrigation de surface est faible dans de nombreuses régions du monde, le rendement de l'irrigation de surface peut également être assez élevé et concurrencer l'efficacité des systèmes pressurisés. Pour atteindre ces efficacités élevées, les systèmes d'irrigation de surface doivent être bien conçus et gérés. Pour de nombreux systèmes d'irrigation de surface peu performants, la faible efficacité est due non pas à l'irrigation de surface elle-même, mais aux mauvaises décisions opérationnelles. Ainsi, un bon système d'irrigation de surface doit être facile à faire fonctionner et moins soumis à des risques d'erreurs de l'irrigateur (Clemmens, 1998). Cela souligne également la nécessité d'une formation des irrigateurs pour l'exploitation des systèmes d'irrigation de surface. Cependant, même les systèmes d'irrigation de surface performants traversent une période pendant la saison ou l'efficacité peut être faible, par exemple lorsque le déficit d'humidité du sol est inférieur à la normale (par exemple, au début de la saison).

Avant de poursuivre cette discussion, il est important de noter que l'efficacité de l'irrigation est souvent confondue avec l'efficacité de l'utilisation, ou avec la proportion de l'eau d'irrigation consommée (Clemmens, 1998). Burt et al. (1997) définit l'efficacité de l'irrigation comme le volume d'eau d'irrigation avantageusement utilisé divisé par la disparité entre l'eau d'irrigation utilisée et le changement de stockage. Ainsi, l'efficacité de l'irrigation est vraiment

une détermination après-coup de ce qui est arrivé à l'eau d'irrigation utilisée. Bien des gens croient à tort que l'eau qui n'est pas utilisée de manière rentable est en quelque sorte perdue et n'est pas disponible pour la réutilisation ailleurs. Du point de vue de l'approvisionnement en eau, seule l'eau consommée ou gravement dégradée en qualité n'est pas disponible pour la réutilisation (Clemmens, 1998). La plupart des évaluations des systèmes d'irrigation de surface ne déterminent pas l'efficacité de l'irrigation, car les données requises sont difficiles à obtenir (par exemple, on doit connaître la quantité réelle d'eau utilisée par la culture ou de différencier l'utilisation pour l'irrigation et les précipitations).

L'efficacité de l'utilisation est la performance d'un événement d'irrigation et montre dans quelle mesure l'irrigation a satisfait son objectif qui est d'irriguer. Il est défini comme la profondeur moyenne de l'eau d'irrigation contribuant à la cible divisée par la profondeur moyenne de l'eau d'irrigation utilisée, où cible signifie la profondeur ciblée de l'utilisation, ou le déficit d'humidité du sol (Clemmens, 1998).

Certaines valeurs signalées indiquent que l'efficacité de l'irrigation des systèmes d'irrigation de surface peut être trompeuse, car elles reflètent souvent l'efficacité d'un événement particulier et sont basées sur le déficit présumé d'humidité du sol. D'autre part, l'efficacité d'irrigation déclarée peut être exagérée si elle ne considère pas l'uniformité de la distribution (Clemmens, 1998).

Il faut garder à l'esprit qu'une faible efficacité d'irrigation peut ne pas être forcément mauvaise. Dans certains endroits, le flux de retour provenant de l'irrigation est réutilisable en aval, et les faibles rendements ont peu ou pas d'impact sur les réserves d'eau disponibles du point de vue de bassins hydrographiques. Dans d'autres zones, les flux de retour de l'irrigation sont trop salins ou non récupérés. Dans ces zones, l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation joue un rôle très important dans l'augmentation de l'eau disponible. La faible efficacité de l'irrigation peut également être un choix économique où l'investissement en capital pour améliorer le système d'irrigation ne fournit pas un retour adéquat (Clemmens, 1998).

Même dans les conditions où l'irrigation de surface possède un potentiel haut de rendement, ce potentiel n'est pas atteint en raison d'une mauvaise conception ou d'une mauvaise gestion du système d'irrigation. Une meilleure gestion de l'eau et de contrôle des flux peut aider les systèmes modernes d'irrigation de surface d'atteindre leur potentiel (Clemmens, 1998). L'utilisation de réservoirs et les puits des fermes peuvent atténuer les effets d'un mauvais service de distribution d'eau. Les améliorations apportées au nivellement du sol et au modelage du terrain peuvent également contribuer à des améliorations des systèmes d'irrigation de surface. La pente des terrains joue également un rôle important dans la performance d'un système d'irrigation de surface. En règle générale, pour améliorer les performances d'un système d'irrigation, il est nécessaire de réduire l'écoulement de l'eau hors du champ ou installer des systèmes de récupération des eaux de ruissellement (Clemmens, 2005). Dans les conditions de pénurie d'eau, il est recommandé de bloquer l'extrémité des bordures ou des sillons en aval afin d'éviter les grosses pertes dans le système d'irrigation.

Les logiciels peuvent également être utilisés pour obtenir ses conseils pour l'amélioration des performances des systèmes d'irrigation de surface. Un certain nombre de programmes logiciels ont été développés au cours des trois dernières décennies. SIRMOD (Utah State University) et WinSRFR (USDA, ARS) sont deux des premières versions. Par exemple, le programme WinSRFR, développé par le Service de recherche agricole du ministère de l'Agriculture des États-Unis, est un progiciel d'analyse hydraulique intégré pour les systèmes d'irrigation de surface qui combine un moteur de simulation avec des outils pour l'évaluation, la conception et l'analyse opérationnelle du système d'irrigation. Ces programmes et d'autres programmes continuent d'être développés pour fournir des outils supplémentaires qui peuvent

être utiles pour améliorer les performances de l'irrigation de surface. Plusieurs exposés dans cette séance traitent des progrès réalisés dans ce domaine.

Les développements futurs de ces logiciels devraient être conçus pour incorporer l'utilisation d'équations d'infiltration physiques à la place des relations de type Kostiakov dans les outils du moteur de simulation tout en préservant les vitesses de calcul rapides.

C'est un fait que l'irrigation de surface par l'écoulement gravitationnelle de l'eau est la plus répandue dans le monde. Parmi les méthodes d'irrigation de surface, il existe des méthodes de préparation du sol, des sillons, des bassins, adaptées à différentes cultures. Il est toutefois admis par tous les intéressés que toutes les méthodes d'irrigation de surface entraînent un gaspillage de l'eau. Étant donné que les ressources en eau douce sont limitées et que le changement climatique tellement redouté peut entraîner de grandes aberrations dans la disponibilité et la répartition spatio-temporelle des eaux de pluie, source principale de toute l'eau douce sur la terre, la préoccupation renouvelée sur utilisation scientifique des ressources d'eau disponibles et la réduction de son utilisation abusive sont hautement justifiées. Étant donné que l'agriculture est le plus grand consommateur de ressources en eau douce et qu'il est nécessaire de soutenir l'agriculture pour permettre l'alimentation de la population grandissante du monde, la gestion scientifique de l'eau dans l'agriculture revêt une grande importance.

### *Aperçu général des exposés*

Il existe un exposé sur le système de modélisation appelé MSSI pour la conception et la gestion de l'irrigation de surface. Dans ce système, les équations bidimensionnelles d'eau peu profonde et les équations unidimensionnelles Saint-Venant dans des réseaux avec l'équation d'infiltration empirique de Kostiakov ont été appliquées pour décrire les débits instables de l'eau dans l'irrigation de surface. Ensuite, l'approche volume fini avec un schéma de temps pleinement implicite a été appliqué pour résoudre les équations gouvernantes et peut simuler avec précision les flux instables de l'eau dans l'irrigation du bassin, des contours, des sillons et des réseaux de sillons. C'est la composante centrale du MSSI. L'analyse peut fournir les indicateurs d'irrigation de surface tels que l'efficacité et l'uniformité de l'irrigation. L'utilisation de cette méthodologie d'irrigation bidimensionnelle du bassin et de l'irrigation du réseau de sillons dans le district de YeHe, en Chine, a donné une efficacité d'irrigation ( $E_a$ ) et une uniformité d'irrigation ( $C_u$ ) de 0,65 et 0,78, respectivement. Ces deux valeurs signifiaient une faible performance de cet événement d'irrigation. Ainsi, la pente de la surface du bassin, la géométrie, le débit d'entrée et l'emplacement de l'entrée peuvent être rajustés jusqu'à ce que des indices de haute performance soient atteints (Zhang et al., 2017: R.61.1.01).

La pénurie et l'incertitude associées aux ressources en eau en raison des changements climatiques constituent l'un des plus grands défis auxquels la gestion de l'eau agricole doit faire face. Une mesure efficace serait l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation dans l'agriculture. Toutefois, l'augmentation de l'efficacité de l'irrigation de surface aura une incidence sur les indices des systèmes de ressources en eau, y compris sa fiabilité et sa vulnérabilité dans la lutte contre la pénurie d'eau. Cette question a été étudiée dans le système d'irrigation du bassin de Dez en Iran, où annuellement 4 milliards de m<sup>3</sup> d'eau du réservoir Dez se déversent dans les réseaux d'irrigation de surface. Mais, la faible efficacité du réseau entraîne une perte d'eau importante chaque année. Les scénarios analysés consistaient à combiner deux modes d'évolution de la consommation à court et à long terme avec des scénarios de gestion, y compris une augmentation de 5 % et 15 % de l'efficacité des réseaux d'irrigation de surface. Dans le cadre de la simulation de scénarios, les ressources et les utilisations de l'eau dans le bassin de Dez ont été projetées à partir de deux perspectives, à court terme et à long terme. La fiabilité du système pour atteindre une efficacité accrue a été évaluée. Simultanément à la

fiabilité du système, la vulnérabilité du système doit également être comprise. La vulnérabilité du système du réseau d'irrigation Dez était plus importante à long terme (26 % ou plus). Cela signifie que le bassin hydrologique sera plus vulnérable au fil du temps et cela peut être dû au changement climatique. Il est à noter que la fiabilité du système est contrôlée plus par l'homme, mais la vulnérabilité est dictée par les phénomènes naturels (Nassaj et al 2017: R.61.1.06).

L'objectif général des projets d'amélioration de l'irrigation en Égypte était d'améliorer les conditions économiques et sociales des agriculteurs par l'amélioration des aspects structurels et de gestion pour promouvoir une utilisation efficace de l'eau, réduire les problèmes de drainage et augmenter la production agricole. Ces projets jouent un rôle important dans l'économie d'eau et l'augmentation de la productivité grâce à des améliorations physiques. Les principales faiblesses des PII sont les limitations de la mise en œuvre des plans de réhabilitation, la réhabilitation des canaux principaux, l'entretien du drainage et l'installation de technologies rentables. Par conséquent, la mise en œuvre du PII de moitié et sans un package complet peut ne pas donner les résultats souhaités. Les auteurs proposent une évaluation continue des résultats exacts des projets afin d'identifier les raisons des lacunes et de prendre les mesures qui s'imposaient (Sayed et al, 2017: R.61.1.07).

Des études sur l'efficacité de l'économie d'eau et la productivité des ressources en eau dans la culture des rizières à Taiwan ont établi une stratégie de gestion de l'irrigation en période de pénurie d'eau. Le riz planté le 16 février a atteint une efficacité de l'économie d'eau de 9,0 % à 38,3 %, comparé au riz planté le 16 janvier. En ce qui concerne la productivité des ressources en eau, le SRI planté le 16 février est également meilleur. La stratégie de gestion de l'irrigation des rizières mise en œuvre à partir de cette recherche pourrait répondre efficacement au changement climatique et au grave problème de pénurie d'eau au printemps à Taiwan. De plus, il pourrait promouvoir la distribution et l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation pendant les périodes de pénurie d'eau. En regardant le nombre de jours de croissance et les besoins en eau des cultures, le décalage de la date de la première semence du 16 janvier au 16 février, la période de croissance passera de 141 jours à 123 jours, et les besoins d'eau cumulés de 517 mm à 496 mm. Ainsi, la période de croissance du riz, les besoins en eau pour la culture et l'eau d'irrigation des champs, ont tous montré une tendance à la baisse en fonction du décalage de la date de plantation. L'eau d'irrigation pour les champs diminue en raison de la prolongation de l'intervalle de la rotation d'irrigation. Cette constatation pourrait être appliquée à la préparation des installations de plantation du riz et l'établissement d'un plan d'utilisation de l'eau d'irrigation. En ce qui concerne la productivité des ressources en eau, le SRI obtiendrait les meilleurs résultats (Chen et al, 2017: R.61.1.09).

Au Mexique, on estime que, dans près de 90 % de la superficie irriguée, on adopte une variante de l'irrigation par gravité (sillon ou bordure, principalement), qui a une faible efficacité d'utilisation de 57 % et entraîne un gaspillage d'eau. L'amélioration de cette efficacité contribuerait à la durabilité des ressources hydriques. La plupart des bassins hydrologiques au Mexique sont non durables où la demande augmente continuellement au fur et à mesure que la population grandit. Pour remédier à cette situation et pour œuvrer pour un développement durable, le Programme national pour l'eau 2014-2018 envisage d'assurer la sécurité et la durabilité de l'eau, en se basant sur la gestion de cette ressource. La plus forte demande d'eau au Mexique provient du secteur agricole où l'on estime que 77 % des volumes extraits des sources de surface et souterrains sont utilisés pour l'irrigation. La principale méthode proposée pour l'amélioration des parcelles pour augmenter l'efficacité d'utilisation est le nivellement des terres, suivi de solutions d'irrigation appropriées. La principale action de soutien était la surveillance de l'utilisation de l'eau par évaluation. Suite à des mesures d'amélioration prises dans les terres irriguées, l'augmentation moyenne de l'efficacité de l'utilisation était de 6,38 %



et les économies d'eau de 8,22 % (Pérez-Nieto et Hernández-Saucedo, 2017: 111 ; González et al., 2017: R.61.1.21).

La féverole possède une valeur nutritionnelle élevée et est très répandue dans l'alimentation des Égyptiens. En raison de la surface cultivée limitée en Égypte et de l'extension à la culture de la betterave à sucre pour réduire l'écart production-consommation du sucre en Égypte, la superficie cultivée de la féverole a été fortement réduite. Les résultats de l'étude sur le terrain ont indiqué que l'irrigation de surface pour la féverole a donné la productivité de l'eau la plus faible (<0,50 kg/m<sup>3</sup>). Le rendement par irrigation goutte à goutte était meilleur, mais inférieure à 1,0 kg/m<sup>3</sup>. Le basculement de la méthode de culture vers un système sur buttes a permis d'augmenter la productivité et a économisé l'eau d'irrigation qui aurait pu être utilisée pour irriguer de nouvelles zones, mais la productivité de l'eau était encore inférieure à 1,0 kg/m<sup>3</sup>. La productivité de l'eau la plus élevée peut être atteinte en cultivant la féverole sur buttes et intercalée avec d'autres cultures, où la productivité de l'eau augmente à plus de 1,0 kg/m<sup>3</sup> et pourrait atteindre 6,07 kg/m<sup>3</sup> en Haute-Égypte. Ainsi, on peut conclure que le système de culture sur buttes et la culture intercalée de la féverole peuvent augmenter considérablement la productivité de l'eau pour lutter contre la pénurie d'eau (Zohri et Ouda, 2017: R.61.1.03).

Dans toutes les régions du monde qui utilisent une irrigation de surface, la qualité physique négative du sol avait été et continue d'inhiber les programmes de modernisation et d'amélioration de l'irrigation. Ce problème est spécifique aux sols argileux rétrécissant et gonflants, qui sont difficiles à manipuler lorsqu'ils sont trop mouillés, ou trop secs. Ayant fait l'expérience de la non-maintenabilité des canaux avec les revêtements classiques sur les sols d'argile douce et des sols rétrécissant/gonflants sur une surface d'irrigation de 60 000 ha sous les systèmes d'irrigation Waduk Kedung Ombo (WKO) en Java central - Indonésie, les canaux à revêtement préfabriqués ont été choisis. Cette option a répondu de façon satisfaisante et permanente au problème des ruptures des canaux (Priandini et Maddi, 2017: R.61.1.11).

Les « Systèmes de petits réservoirs à cascade » pour la gestion des ressources en eau sont courants au Sri Lanka, où ils contribuent aux 195 000 millions de tonnes de riz à la production nationale (20 % de la production nationale). Le système de drainage naturel dans un bassin hydrographique est bloqué par des digues en terre construites dans les endroits appropriés pour stocker l'eau, formant une série de réservoirs le long du système de drainage, répartis dans un microbassin hydrologique de la zone sèche. Ces séries de réservoirs sont appelées des systèmes de réservoirs à cascade villageois. Traditionnellement, dans la zone sèche du Sri Lanka, il y a au moins un réservoir dans chaque village. Les gens du village utilisent l'eau du réservoir à des fins diverses, comme la consommation, l'usage domestique, le bain, la pisciculture d'eau douce et pour le bétail. L'augmentation du stockage de l'eau contribue également au maintien de la nappe phréatique. Perera (2017: R.61.1.18).

Au cours des 30 prochaines années, la population mondiale augmentera à environ 9,2 milliards, ce qui affectera la qualité de l'eau et la disponibilité de l'eau, entraînant une concurrence acharnée pour l'eau parmi les différents secteurs. Face à la pénurie croissante d'eau douce ; en partie à cause du changement climatique et en partie à cause de la pression anthropique, l'attention s'est concentrée sur la possibilité d'utiliser les eaux usées, principalement pour l'agriculture. Au cours du siècle dernier, l'utilisation de l'eau agricole a augmenté de 5 fois et l'utilisation industrielle de l'eau de 28 fois. De la charge polluant des industries, environ 60-80 % peuvent être traitées selon les normes et le reste se déversera dans les rivières sans aucun traitement. Malgré diverses tentatives de gestion scientifique de l'eau d'irrigation (le plus grand consommateur d'eau), la vérité est qu'il y a un long chemin à parcourir avant que l'eau agricole ne soit réellement gérée scientifiquement pour minimiser ses pertes, son utilisation excessive et son utilisation abusive. Par ailleurs, l'agriculture est également une des principales sources de pollution de l'eau à cause de la compétition pour augmenter la

production en appliquant plus d'engrais, plus de produits agrochimiques et parfois plus d'eau. En plus de ces répercussions sur l'eau douce, il convient également de noter que le volume d'eaux usées a également augmenté à pas de géant. Une partie de ces eaux usées peuvent être traitées afin d'améliorer leur qualité pour l'agriculture (principalement l'irrigation).

Le comportement du traitement des eaux usées a été étudié en utilisant une couche de cendres volantes de bagasse de différentes épaisseurs comme filtres. L'efficacité de décoloration était de 94 % avec des débits d'effluents de 0,45 m<sup>3</sup>/j et une épaisseur de couche de 7 cm. Toutefois, l'étude a été limitée à la décoloration des eaux usées et il ne précise pas si les autres paramètres importants (DBO, COD, DO et sels, y compris les métaux lourds) pouvaient être contrôlés par l'utilisation de cendres volantes de bagasse en combinaison avec un filtre à sable (Pongnam et Plermkamon, 2017: R.61.1.16).

Actuellement au Mexique, seule la moitié environ des eaux usées sont traitées pour la réutilisation. Afin d'augmenter la quantité d'eaux usées traitées, il est important d'améliorer la connaissance de la gestion intégrée de l'utilisation des eaux usées dans l'agriculture. Pour atteindre cet objectif, l'Institut mexicain des technologies de l'eau a publié un livre sur la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture. Cette publication sera utile pour améliorer les compétences techniques du personnel chargé du traitement et de la réutilisation de l'eau (Estrada et al, 2017: R.61.1.13).

Le développement et la modernisation de l'irrigation dans tous les pays ont accordé plus d'attention à l'aspect des constructions plutôt qu'à la gestion de la gestion de l'eau. Il y a également eu un manque de participation des parties prenantes dans le développement du système d'irrigation. L'objectif ne devrait pas se limiter à la modernisation du système d'irrigation, mais aussi au développement du capital institutionnel et humain et à une collaboration efficace entre les parties prenantes (communauté) (Sutiarso, et al., 2017: R.61.2.09).

### **Question 61.2<sup>4</sup> : Utilisation des TIC, la télédétection, les systèmes de contrôle et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation**

L'eau est essentielle pour le développement durable, y compris l'intégrité environnementale et la réduction de la pauvreté et la faim, et est indispensable pour la santé et le bien-être de l'humain. Les déséquilibres entre la disponibilité et la demande, la dégradation de la qualité des eaux souterraines et des eaux de surface, la concurrence intersectorielle, les conflits interrégionaux et internationaux, se concentrent sur la question de savoir comment faire face aux ressources en eau limitées.

La gestion efficace de l'eau a été identifiée comme l'une des priorités pour assurer la sécurité alimentaire dans de nombreuses régions du monde. D'autre part, les technologies intelligentes se répandent aujourd'hui dans tous les secteurs d'activités humaines. La télédétection, la modélisation, les capteurs, les systèmes de contrôle à distance, les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont des outils potentiels pour améliorer l'utilisation efficace de l'eau pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation, y compris les technologies géospatiales, les drones, etc., pour une meilleure gestion des sols, de l'eau et les cultures, et pour prévoir et atténuer les impacts des conditions météorologiques extrêmes des sécheresses et des inondations.

En reconnaissant l'importance de l'amélioration de la performance des systèmes d'irrigation, le CIID a, au cours du 23<sup>e</sup> congrès, posé la question 61.2: Utilisation des TIC, télédétection,

4 With inputs from Dr. Kaluvai Yella Reddy (India) and Dr. Víctor Manuel Ruíz Carmona (MXCID)

systèmes de contrôle et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation et a fait appel aux candidats d'envoyer des exposés pour présentation.

### *Aperçu général des exposés sur la télédétection*

La planification de l'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation est souvent difficile en raison de données enregistrées insuffisantes et peu fiables. Les inexactitudes dans les données ne peuvent être identifiées que par la comparaison de leurs valeurs avec des estimations utilisant des méthodes alternatives, par ex. la télédétection. Dans une étude, l'approvisionnement en eau a été estimé en fonction de l'indice NDVI (IDNV) et des corrélations construites selon les séries chronologiques de données statistiques officielles. La corrélation entre l'IDNV et CIWUE (Coefficient d'Efficacité de l'Utilisation de l'Eau d'Irrigation) permet d'estimer l'efficacité de l'irrigation tandis que la corrélation entre la CIWUE et l'approvisionnement total en eau permet une évaluation plus approfondie de cette dernière. Les corrélations restent pertinentes avec des pratiques d'irrigation constantes sur les terres arides où l'agriculture efficace nécessite une irrigation continue. Dans l'étude, l'indice IDNV a été utilisé comme principal indice spectral pour la zone d'irrigation ainsi que pour l'évaluation de l'approvisionnement en eau. (Danylenko, et al, 2017: R.61.2.11)

Une étude s'est concentrée sur l'identification des caractéristiques de la sécheresse agricole et a élaboré une méthode de suivi, qui pourrait aboutir à une alerte précoce opportune de sécheresses. La méthode de prévision de la perte de rendement et de la prévention de la sécheresse agricole basée sur RS permet d'identifier les zones d'intervention éventuelles. Avec l'aide de la méthode de surveillance de la sécheresse agricole et de la prévision de la perte de rendement, l'effet de la sécheresse sur les cultures peut être détecté 4 à 6 semaines plus tôt qu'avant et délimité plus précisément, et son impact sur l'agriculture peut être diagnostiqué bien avant la récolte, ce qui est l'exigence la plus importante pour la sécurité alimentaire mondiale et du commerce. Ces informations peuvent réduire les impacts que si elles sont transmises aux décideurs dans un format approprié et si des mesures d'atténuation et des plans de préparation sont en place. La compréhension des causes sous-jacentes de la vulnérabilité est également un élément essentiel de la gestion de la sécheresse, car l'objectif final est de réduire les risques pour un lieu particulier et pour un groupe spécifique de personnes ou un secteur agricole ou économique. (Nagy, et al, 2017: R.61.2.14)

Les chercheurs sont d'avis que l'adoption de la technologie de télédétection donne de meilleures estimations de la superficie irriguée, de la zone salinisée et de l'efficacité du système d'irrigation. En outre, l'adoption de cette technologie devient essentielle pour la planification de la conception et l'exploitation du système d'irrigation lorsque les données enregistrées sur le terrain sont limitées ou peu fiables. (Vlasova et al, 2017: R.61.2.12)

Deux indices télédéteints de végétation, à savoir: L'indice de végétation amélioré (EVI) et l'indice de végétation différentiel normalisé (IDNV), avec la température de surface terrestre (LST) à bord du satellite MODIS (Spectralimètre à imagerie de résolution par résolution), ont été utilisés comme indicateurs de la santé et la robustesse de la végétation. Les séries chronologiques EVI et IDNV ont été analysées de l'année 2000 à 2016 pour la zone d'étude. Les deux, EVI et IDNV, sont disponibles dans une résolution de 250 m, 23 fichiers de données par an. Les LST sont disponibles dans une résolution de 1 km tous les 8 jours ou 46 fichiers de données par an. Les LST ont été réévalués à 250 m et agrégés dans 23 fichiers de données par an. Le DEM pour la zone d'étude a été obtenu auprès de l'ASTER GDEM (radiomètre à réflexion et à réflexion avancé à distance spatiale - modèle d'élévation numérique global) dans une résolution de 30 m. Des discussions ont eu lieu avec les agriculteurs de la région d'irrigation. Finalement, il a été conclu que l'EVI possédait une sensibilité élevée pour la

détection des états des cultures, qu'elles soient saines ou stressées en réponse à la disponibilité de l'eau. (Herdianto, 2017: R.61.2.18)

Une estimation fiable du coefficient de la culture est une condition préalable à l'attribution scientifique et à l'utilisation de l'eau dans les terres cultivées. En travaillant sur cette notion, les chercheurs soulignent que les indices de végétation estimés à partir d'images multispectrales jouent un rôle important dans l'estimation du Kc et, par conséquent, l'exigence d'irrigation des cultures. L'algorithme de classification OBIA (Object Based Image Analysis) a permis de différencier les caractéristiques de la culture et du sol, donnant des valeurs plus précises des indices de végétation et de la surveillance des cultures. Un modèle linéaire a été utilisé pour estimer le Kc en fonction de l'IDNV. Le  $r^2 = 0,97$  était plus élevé que ceux signalés lors de l'utilisation d'images satellites du fait que les images UAV ont une résolution spatiale plus élevée et une meilleure séparation entre les cultures, l'ombre des cultures, l'ombre du sol et le sol nu. En utilisant les modèles Kc-IDNV, des cartes peuvent être générées montrant la variation spatiale du Kc. (Marcial-Pablo, et al, 2017: R.61.2.19).

Une étude sur une ferme de maïs de 20 ha à Karaj, en Iran, a combiné deux indices d'AGDD (Accumulated Growth Degree Days) et d'IDNV (Normalized Difference Vegetation Index) pour la modélisation de la phénologie du maïs et la détermination du début des stades phénologiques. Compte tenu des bruits élevés et de l'intervalle de 7 jours dans les images multitemporelles disponibles, il était nécessaire d'utiliser des méthodes plus fluides. À cette fin et pour la réalisation de séries chronologiques de IDNV de haute qualité, la méthode de lissage de temps réel du modèle moindres carrés pondérés (WLS) a été appliquée. Les résultats des modèles combinés ont été comparés par deux méthodes fréquemment utilisées basées sur les modèles AGDD et semailles. Le RMSE en utilisant le modèle combiné était le moins élevé pour tous les stades phonologiques. (Ghahreman et al, 2017: R.61.2.20)

### *Aperçu général des exposés sur la gestion des connaissances*

Sutiarso et al (2017: R.61.2.09) estiment qu'il existe cinq piliers de la modernisation de l'irrigation en Indonésie: (i) la disponibilité de l'eau, (ii) l'infrastructure de l'irrigation, (iii) la gestion de l'irrigation, (iv) la gestion institutionnelle de l'irrigation, et (v) les ressources humaines (gestion de la base des connaissances). Ils ont cependant choisi de s'attarder sur l'aspect gestion des connaissances.

Un exposé sur l'étude de cas basé sur le Madhya Pradesh, en Inde, montre que le développement d'un système d'information de gestion (MIS) basé sur le Web était un outil clé dans le processus de l'augmentation significative de la superficie irriguée. Le document traite de la genèse et le développement de cet outil dans le cadre du Projet de restructuration du secteur de l'eau du Madhya Pradesh financé par la Banque mondiale (MPWSRP) et des mesures adoptées pour faciliter son développement et son adoption par le Ministère. Le document conclut que la disponibilité de données actuelles, précises et transparentes est fondamentale pour la gestion moderne des systèmes d'irrigation et du drainage (Burton et Stoutjesdijk, 2017: R.61.2.13).

Un exposé basé sur une étude sur le système de contrôle de rétroaction en temps réel pour améliorer l'efficacité agricole de l'utilisation de l'eau dans l'irrigation du bassin traitait le système de contrôle de rétroaction en temps réel de l'irrigation de surface, y compris le module d'acquisition et de transmission d'informations sur l'irrigation en temps réel, et un contrôleur central. Le système proposé a été appliqué dans certaines régions d'irrigation et a montré une amélioration efficace de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. (Wu, et al., 2017: R.61.2.03)

L'exposé sur la mesure intelligente et la surveillance de la quantité d'irrigation dans les zones bien irriguées présente une technologie de surveillance et de contrôle en temps réel pour les puits d'irrigation, qui comprennent un débitmètre ultrasonique, un module de communication et des terminaux de contrôle. L'étude a été réalisée en Chine du Nord et les auteurs affirment que les agriculteurs particuliers peuvent utiliser la technologie à l'aide des cartes à puce prépayées. Des plates-formes de gestion à différents niveaux, telles que la ville, le comté, la station d'eau et le village peuvent être mises en place, pour surveiller la quantité d'eau d'irrigation et la distribution (Jing, et al., 2017: R.61.2.04).

L'utilisation d'informations basées sur le Web dans la planification, la conception et le suivi des systèmes d'irrigation appelée « Cloud Computing » est essentiellement un système d'aide à la décision avec une portée beaucoup plus large. Afin de résoudre le problème de l'utilisation inefficace de l'eau et des engrais, un exposé a préconisé un système d'irrigation Cloud intelligent pour gérer les deux ressources dans l'agriculture protégée. Les auteurs affirment que le système est très important pour l'accompagnement des installations agricoles protégées pour obtenir un rendement élevé, une qualité élevée, une écologie et une sécurité de production. Il a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau de 25 à 40 %, l'efficacité de l'utilisation des engrais de 15 à 35 %, réduit le temps de travail et réduit considérablement les effectifs (Qinghong, et al., 2017: R.61.2.06).

Les technologies de l'information et de la communication (TIC) sont un outil indispensable pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation. Cela a été l'expérience en Afrique de l'Ouest, affirme le chercheur qui a utilisé une méthodologie innovante pour intégrer les TIC dans le programme PARIIS-SIIP, depuis la phase de formulation. (Figuères, et al., 2017: R.61.2.16)

Les chercheurs d'une étude de serre expérimentale sur la tomate ont présenté un système d'aide à la prise de décision (DSS) qui pourrait être utilisé pour aider les serriculteurs d'améliorer leurs méthodes de fertilisation actuelles (Martinez-Ruiz, et al., 2017: R.61.2.17).

Un exposé venant de l'Indonésie fait remarquer que la gestion de l'irrigation pour sa modernisation nécessite une efficacité et une efficience dans le fonctionnement du réseau d'irrigation. La technologie de surveillance et de contrôle à distance utilisée dans cette recherche est l'application de rapports d'exploitation basée sur le site Web, la mesure des décharges volumétriques et la vanne à commande électromécanique. Les problèmes rencontrés dans la mise en œuvre ont également été discutés (Hidayah, et al., 2017: R.61.2.21).

Un modèle physique avec un logiciel a été utilisé pour évaluer le coefficient d'uniformité des systèmes d'irrigation par aspersion à pivot central en Irak. L'objectif était d'examiner l'amélioration du coefficient d'uniformité en déplaçant le point d'alimentation en eau du point de pivotement vers le milieu de la canalisation principale. Basé sur le résultat de cette étude, l'auteur conclut que le logiciel peut être utilisé comme un outil pour prédire le comportement du système d'arrosage sous différentes configurations et différentes pressions de fonctionnement (Hameed Abed, 2017: R.61.2.10).

Dans une étude en Chine, l'approche volume fini et un modèle entièrement couplé pour un système canal-champ a été développé pour reproduire une simulation de flux instable pour le système canal-champ dans une zone d'irrigation. En utilisant l'approche et ce modèle, la distribution de l'eau et le contrôle de la vanne dans la zone expérimentale ont été optimisés. La solution optimisée a révélé que la consommation d'eau pourrait être réduite d'environ 21 % par rapport à la situation actuelle (Zhang et al., 2017: R.61.2.01).

Trois méthodes de réglage IP pour le contrôle du niveau de l'eau en aval ont été effectuées et trois méthodes pour le réglage et la conception des contrôleurs PI pour le contrôle en aval ont

été évaluées. Les critères d'évaluation étaient: l'efficacité du réglage, et les possibilités d'une application pratique sur un canal réel sur le terrain. Les résultats d'analyse des méthodes et des recommandations sont présentés. L'exposé examine trois méthodes de réglage et de conception de contrôleurs PI pour le contrôle en aval: itératif, Ziegler Nichols et Bump Tuning. Les méthodes sont évaluées à l'aide de 3 critères: est-ce que la méthode est facile à comprendre et à utiliser; l'efficacité du réglage, et les possibilités d'application pratique sur un canal réel sur le terrain. Les résultats d'analyse des méthodes et des recommandations sont présentés dans l'exposé. (Stringam, et al 2017: R.61.2.05)

Dans un exposé provenant d'Iran, le comportement hydraulique du canal et les scénarios opérationnels sont simulés à l'aide du modèle hydrodynamique ICSS. La performance du canal a été évaluée sur la base de l'adéquation, de l'efficacité et des indices d'équité. Les résultats montrent que l'utilisation de la fonction de gestion a amélioré les indices d'adéquation et d'efficacité d'environ 5 à 10 % pour tous les intrants, et l'indice d'équité s'est amélioré de 4 % pour l'ensemble du canal (Ostovari, et al., 2017: R.61.2.15).

Une étude de modèle mathématique a été menée en Finlande méridionale sur le comportement de la nappe phréatique dans un sol souterrain drainé à l'aide du modèle FLUSH à trois dimensions (3-D). Basé sur l'étude, les auteurs concluent que l'effet de l'espacement du drain a eu un effet plus visible sur la profondeur de la nappe phréatique que sur les composants de l'eau (Heidi, et al., R.61.2.02).

Outre les exposés mentionnés ci-dessus, il y avait trois exposés qui n'étaient pas directement liés au sujet de la Question 61, néanmoins ils étaient indirectement liés à certains des problèmes ayant trait à la question. En résumé, ces documents sont les suivants :

Technologie de planches pliées: l'exposé en provenance de l'Inde sur des structures à planche pliées pour la rétention des sols et la stabilisation des berges a fourni des informations utiles et précieuses sur les aspects structurels et constructifs des travaux de canalisation et de gestion des fleuves. (Dinkar et Pandey. 2017: R.61.2.07).

Déviations écologiques de l'eau: cet exposé venant de la Chine analyse une image de télédétection pour évaluer la pratique de dérivation d'urgence écologique de l'eau vers le lac Nansi en Chine. L'exposé a fourni des informations utiles sur l'utilisation de la télédétection à des fins écologiques. (Qu, et al, 2017: R.61.2.08).

### **Question 61.3<sup>5</sup>: Adaptabilité et accessibilité des nouvelles technologies selon divers scénarios socio-économiques**

Les nouvelles technologies d'irrigation sont développées de façon continue. Les méthodes d'utilisation de l'eau d'irrigation, la définition des besoins en eau agricole, l'utilisation d'eau de faible qualité, le drainage, l'amélioration des systèmes de stockage et la distribution de l'eau, la prévision des sécheresses et des inondations et l'amélioration de la connaissance des différents acteurs dans le stockage, la distribution et l'utilisation de l'eau agricole sont des domaines où les nouvelles technologies contribuent à améliorer la production des aliments à travers le monde.

Près de 25 % des pays du monde éprouvent de différents niveaux de stress hydrique. L'accès à la technologie nouvellement créée dans l'agriculture devrait être un droit de l'homme plutôt qu'une option pour les agriculteurs, en particulier ceux qui ont moins de ressources économiques. L'agriculture est le secteur qui utilise le plus d'eau (environ 69 % dans le

5 With inputs from Mr. Franklin Dimick (USA) and Dr. Ignacio Sánchez Cohen (MXCID)

monde), il faudrait donc insister tout particulièrement sur la nécessité d'accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation qui est très faible dans certains pays (y compris le transport, le stockage et l'utilisation). L'efficacité électromécanique de l'équipement de pompage doit être prise en compte lors du calcul de l'efficacité globale.

Le développement de nouvelles technologies liées à l'irrigation n'entraîne pas automatiquement de meilleures pratiques d'irrigation ni une augmentation de la production alimentaire. Les nouvelles technologies doivent être mises en œuvre avant qu'elles ne soient utiles. La mise en service d'une nouvelle technologie exige qu'il soit adaptable, économiquement avantageux et acceptable pour ceux qui l'utiliseront. C'est peut-être une tâche très difficile pour la mise en œuvre de certaines nouvelles technologies, et donc, il faut tester, expérimenter. Des démonstrations et des extensions pilotes avec une amélioration continue pour évaluer leur adaptabilité et leur accessibilité selon différents scénarios naturels et socio-économiques sont nécessaires. Par exemple, une solution qui fonctionne très bien dans un environnement clos d'un laboratoire peut ne pas être réalisable dans l'environnement naturel d'un champ agricole. En outre, une solution qui fonctionne très bien dans un laboratoire ne peut pas être acceptée par ceux qui l'utiliseraient sur le terrain parce qu'elle est encombrante ou inconnue.

L'adaptabilité d'une nouvelle technologie aux diverses conditions climatiques, environnementales et socio-économiques est un facteur important dans la détermination de la validité d'une nouvelle technologie. Un nouveau concept qui offre une amélioration significative de l'efficacité dans une zone géographique ou dans un contexte socio-économique peut ne pas être utile dans un autre contexte. Par exemple, l'informatisation d'un système d'arrosage par pivot aura peu ou pas de valeur dans les régions du monde où l'agriculture est pratiquée sur des terrasses en pente, ou lorsque les agriculteurs n'ont pas les moyens d'acquérir des ordinateurs ou des systèmes d'arrosage. Une pompe d'irrigation électrique moderne et efficace est inutile s'il n'y a pas d'électricité disponible pour alimenter la pompe.

Les technologies nouvellement générées comprennent les processus de transfert ou de formation aux utilisateurs indépendamment de leur niveau socioéconomique. L'expérience a montré qu'au niveau du terrain, il est difficile de convaincre un agriculteur d'adopter une technologie si cela ne suppose pas un retour économique à court terme. De plus, si la nouvelle technologie nécessite un investissement financier, l'agriculteur réfléchira à deux fois avant d'adopter la technologie, en particulier aux agriculteurs à faible capacité économique, à moins qu'une subvention spéciale ne soit disponible pour les aider. Dans ce cadre, le développement de la technologie devrait tenir compte des besoins des agriculteurs du point de vue social et de l'état des ressources naturelles (eau) et du point de vue écologique. Le premier devrait fournir une technologie facile à appliquer qui est compréhensible et peu coûteuse, et ce dernier devrait produire une technologie qui fait plus avec moins d'eau et dont l'empreinte énergétique est faible.

Dans les zones d'irrigation ou les organisations d'utilisateurs d'eau, l'objectif des nouvelles technologies devrait supposer une augmentation de l'efficacité de fonctionnement et la manière dont les données sont recueillies pour planifier et exploiter des systèmes d'irrigation meilleurs ou améliorés. Les nouvelles technologies au niveau des zones d'irrigation ou au niveau de l'organisation des utilisateurs d'eau pourraient également inclure des politiques, des processus et une administration meilleure. La technologie de l'irrigation ne comprend pas nécessairement des tuyauteries ou le revêtement des canaux, les équipements de haute technologie, les équipements complexes, ni les procédés coûteux pour pomper ou distribuer l'eau dans les champs. Au contraire, cela devrait comporter une meilleure gestion de l'eau grâce à de meilleures pratiques. Les nouvelles technologies pour les zones d'irrigation ou les organisations d'utilisateurs d'eau doivent également être applicables et abordables dans des conditions changeantes.

Il est indispensable de comprendre qu'il existe différents niveaux de besoins technologiques et d'adoption en fonction du niveau socio-économique des agriculteurs et des organisations d'utilisateurs de l'eau. Une grosse erreur que les gouvernements ont commise est d'essayer d'augmenter le niveau d'efficacité de l'eau des agriculteurs et des organisations d'utilisateurs d'eau à partir d'une plate-forme très inefficace au plus haut niveau d'efficacité de l'utilisation de l'eau tout en négligeant la situation culturelle, sociale et économique. L'objectif de l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau devrait se dérouler en plusieurs étapes pour atteindre le niveau désiré dans le temps. Disons qu'il existe trois catégories d'agriculteurs en termes d'efficacité de l'utilisation de l'eau: A, B et C, A étant le plus efficace et C étant le moins efficace. C'est une erreur d'essayer de faire passer l'agriculteur C au niveau A dans une période courte. Il sera plus abordable et plus fructueux de faire passer l'agriculteur C au niveau B et l'agriculteur B au niveau A. Cette procédure coûtera peut-être du temps et de l'argent, mais produira des résultats plus prometteurs. Essayer de passer l'agriculteur C directement au niveau A résultera vraisemblablement au renoncement par l'agriculteur des améliorations parce qu'ils dépassent ses capacités physiques, mentales ou économiques pour les mettre en œuvre. La situation dicte le niveau de technologie requis.

Le fermage et/ou la taille des terrains des propriétaires fonciers (ou les exploitants fonciers) sont également des facteurs importants pour l'adaptation de nouvelles technologies d'irrigation, en particulier dans les pays en voie de développement. Par exemple, en Chine, il est difficile pour les petits agriculteurs traditionnels d'utiliser l'irrigation goutte à goutte, car, pour eux, l'irrigation goutte à goutte n'est pas abordable et la gestion est compliquée. Mais, au cours des dernières années, de nombreux agriculteurs ont transféré leurs terres par des contrats aux grands exploitants fonciers centralisés. En conséquence, l'irrigation goutte à goutte et le système d'irrigation à contrôle automatique ont connu un développement rapide, car les opérateurs fonciers peuvent se le permettre, gérer et profiter des nouvelles technologies d'irrigation utilisées. Il est peut être vrai que la petite taille des terres et la faiblesse économique des agriculteurs soient les principales contraintes pour l'adaptation de nouvelles technologies d'irrigation dans de nombreux pays en développement, comme l'irrigation goutte à goutte ou par aspersion. Cependant, on a également constaté qu'il existe une technologie de l'irrigation goutte à goutte à basse pression simple à basse pression (avec des réservoirs d'eau surélevés près du champ pour fournir la faible pression nécessaire) adaptée aux petits agriculteurs en Inde et aurait été utilisé avec succès pour les petites parcelles de terre. Ceci, encore une fois, montre l'importance de « l'adaptabilité et accessibilité » des nouvelles technologies d'irrigation.

L'introduction d'une technologie qui dépasse les capacités des utilisateurs d'eau à mettre en œuvre entraînera une catastrophe. Si les agriculteurs ou les organisations d'utilisateurs de l'eau perdent patience en essayant de mettre en œuvre de nouvelles technologies, ils seront susceptibles de revenir aux anciennes méthodes qu'ils utilisent et avec lesquelles ils sont à l'aise. Cela entraînera souvent l'abandon des infrastructures ou des concepts qui auraient pu éventuellement être utilisés ailleurs pour une utilisation plus efficace de l'eau agricole. Les agriculteurs et les organisations d'utilisateurs de l'eau devraient participer au processus décisionnel au moment de l'introduction d'une nouvelle technologie. C'est là où le transfert de technologie et la formation jouent un rôle clé. L'engagement des organisations d'utilisateurs de l'eau qui participent à des programmes gouvernementaux doit inclure la formation de leur personnel et des agriculteurs pour assurer le succès des plans d'amélioration.

### *Aperçu général des exposés*

Le processus de désinfection solaire (SODIS) utilise le rayonnement ultraviolet intense provenant de la lumière du soleil à travers un récipient non opaque rempli d'eau non potable (eau grise) qui élimine les agents pathogènes indésirables et rend l'eau potable. Cette



méthode a été utilisée pour l'irrigation des plantules de tomates et non pour l'obtention d'eau potable. Les auteurs décrivent un projet de recherche dans ce domaine au Brésil. Cependant, aucune information sur le potentiel d'adaptation ou l'accessibilité du processus n'a été donnée (Aleman, et al., 2017: R.61.3.08).

Les chercheurs venant du Brésil ont présenté une expérience en serre pour déterminer le coefficient de la croissance hebdomadaire des plantules de tomate. Les auteurs soutiennent que, souvent dans la pratique, les systèmes de production ne fonctionnent pas malgré une gestion efficace, non pas en raison du manque de technologie ou de capital, mais parce que les décisions sont improvisées, aléatoires, négligentes ou subjectives (Aleman et Bastos, 2017: R.61.3.03).

L'attribution du motif de déclin du système à l'utilisation abusive antérieure des systèmes d'irrigation en Ukraine, les auteurs de l'un des exposés ont appelé à des actions immédiates pour sa modernisation technique et à des solutions techniques efficaces comme condition préalable au développement durable de l'agriculture irriguée. Bien que le Congrès ait été une bonne plate-forme pour discuter de l'adaptabilité et de l'accessibilité des nouvelles technologies, ceci n'a pas été suivi par les auteurs. (Romashenko et Dekhtiar: 2017: R.61.3.10)

Un exposé venant de la Chine a présenté de très bons concepts sur l'équilibre des besoins, la croissance de la population, les connaissances sociales, etc. Bien que la technologie présentée dans le document ne soit peut-être pas nouvelle, son application est toujours valide. De plus, diverses formes d'irrigation traditionnelles devraient être systématiquement recherchées non seulement pour leur valeur d'ingénierie, mais également pour leurs valeurs sociologiques et écologiques. (Yunpeng et al 2017: R.61.3.01).

Il y a eu une proposition visant à lancer une nouvelle politique de gestion des eaux souterraines au Mexique. Un exposé à cet égard traite de la nécessité de permettre aux utilisateurs d'avoir une plus grande voix dans la réglementation de l'extraction des eaux souterraines. Un tel mouvement améliorerait l'efficacité de la nouvelle politique de gestion. (Cassillas et al 2017: R.61.3.04).

Les auteurs de l'un des exposés discutent d'une étude sur deux systèmes d'irrigation nationaux qui font face à la pénurie d'eau et aux inondations destructrices respectivement pendant les saisons sèches et humides. L'exposé reflète certaines des lacunes des tentatives antérieures visant l'introduction de nouvelles technologies et examine les moyens de s'assurer que les nouvelles technologies futures sont adaptables et accessibles. Ils estiment que l'approche de base pour l'identification du choix de modernisation de l'irrigation appropriée comprenait (1) une analyse critique de la cohérence logique de la conception de la structure physique, l'exploitation du système et l'approvisionnement en eau ; (2) évaluation de la capacité physique des structures d'irrigation à accomplir leurs fonctions ; (3) l'évaluation de l'acceptabilité sociale de la technologie d'irrigation sélectionnée et de la vision des utilisateurs de l'eau du futur système d'irrigation modernisé ; et (4) l'intégration de solutions locales efficaces pour pallier à des défauts de conception évidents dans le plan de modernisation. (Reyes et Schultz, 2017: R.61.3.05)

Les auteurs d'un exposé venant du Mexique estiment qu'il existe des technologies disponibles pour surmonter les conséquences néfastes des conditions météorologiques extrêmes et la dégradation des ressources, mais peu seront en mesure de les payer. Toutefois, l'amélioration des terres par le drainage est considérée comme une solution économique aux problèmes de salinité rencontrés au Mexique (Arias, et al., 2017: R.61.3.14).

Les auteurs d'un exposé venant d'Indonésie sur le rapport coût-efficacité du revêtement des canaux modulaires discutent le remplacement de revêtements endommagés des canaux

par des sections de béton préfabriqué et les comparent aux revêtements en maçonnerie de pierre. Les auteurs sont d'avis que les utilisateurs acceptent et appliquent facilement cette technologie en raison des avantages en termes de solidité, de durée de vie et des frais d'entretien. Aussi, les utilisateurs ont l'impression que la maçonnerie en pierre est meilleure en termes de facilité de construction, de temps de construction et de coût de construction. (Sofiyuddin et al 2017: R.61.3.15).

Plusieurs exposés qui ne sont pas liés ou sont liés de loin au thème de la Sous-question 61.3 ont été présentés. L'un de ces exposés sur la distribution des précipitations et la verdure de la végétation venant de Natal en Afrique du Sud affirme que le stockage de l'eau pour le présent et l'avenir demeure critique pour le développement économique et social en Afrique du Sud. Un exposé venant de Taiwan traite de la surveillance de la sécurité d'une structure de barrage. Un exposé venant du Mexique traite de l'entretien de l'infrastructure d'irrigation par l'enlèvement des sédiments du réseau d'adduction d'eau. Un exposé venant du Pakistan traite de l'état et l'avenir des eaux souterraines du point de vue de son importance dans l'agriculture. Un exposé, lié de très loin, à l'agriculture irriguée, évalue les effets et le type de tourisme dans la région de la ville de Hsinchu en utilisant la méthode des « coûts de déplacement » dans la prise de décision multicritères. Un exposé, mieux en rapport avec le thème (ou les ressources en eau et l'irrigation) venant du Mexique, traite de la valeur et des possibilités d'utilisation de l'énergie solaire pour l'exploitation des pompes pour l'eau agricole. Un exposé propose deux outils pour évaluer la nécessité et la priorité des travaux visant à améliorer les petits réservoirs de stockage au Sri Lanka. L'auteur d'un exposé sur l'étude du modèle physique au Mexique traite de l'utilisation d'un modèle physique pour déterminer le débit à travers un tunnel. Les données ont ensuite été utilisées pour faire des recommandations pour les modifications au tunnel pour améliorer le flux. Le modèle de travail et les résultats sont louables, mais il ne peut être regroupé avec les autres travaux, car il s'agit d'un exposé unique en son genre. (Maponya et Mpandeli, 2017: R.61.3.09; Wei, et al 2017: R.61.3.11, Ramon et Nazario, 2017: R.61.3.12; Hassan et al 2017: R.60.2.35; Wen and Liu, 2017: R.61.3.06; Gandara 2017: R.61.3.07; Perera et al 2017: R.61.3.16; Maldonado, 2017: R.61.3.02).

## Résumé et Conclusions

La Question 61 comportait trois sous-questions, soit 61.1, 61.2 et 61.3.

Pour toutes les sous-questions, il y avait quelques exposés qui n'étaient pas directement liés au thème de la sous-question. Cependant, l'irrigation est un sujet très large et englobe les entités eau, terrain, et ressources humaines. Donc, les liens existent, même s'ils ne semblent pas évidents au premier abord. Dans cette section, donc, sont inclus également les exposés qui sont faiblement ou indirectement liés.

La pénurie d'eau douce est d'une préoccupation mondiale et l'on peut craindre que ce problème puisse s'aggraver à l'avenir. Comme prévu, donc, un certain nombre de chercheurs ont abordé cette question. Comme les ressources en eau, en plus de ce que la nature a fourni, ne peuvent pas être créées, plusieurs auteurs ont mis en évidence une utilisation efficace des ressources en eau pour minimiser les pertes d'eau indésirables et évitables: leur stockage, leur transport, leur application et leur utilisation. L'eau d'irrigation perdue ou gaspillée se manifeste dans la salinisation du sol, l'engorgement des sols, un état de sol ingérable, en particulier dans les sols susceptibles au rétrécissement et gonflement en argile. Par conséquent, un nombre d'exposés venant de tous les pays a abordé cette question. L'aspect qualité de l'eau n'a pas perdu l'attention du chercheur. Il s'agit d'un aspect important et d'un problème de gestion, car, d'une part, l'eau douce ne peut pas être créée, l'eau de mauvaise qualité augmente toujours en quantité et se détériore en raison des activités anthropiques d'une population toujours croissante.

Étant donné que l'irrigation de surface par l'écoulement de l'eau par gravité dans les terres cultivées est la plus répandue dans le monde entier, on s'attend naturellement à une amélioration de l'efficacité de l'irrigation de surface. Aussi, cet accent à était mis davantage dans les pays et les régions arides et semi-arides qui sont déficitaires en eau. Il existe des exposés sur l'estimation correcte des besoins en eau des cultures en fonction de l'eau d'irrigation utilisée dans les champs. L'estimation basée sur les informations obtenues du Web (autrement appelée « Cloud Computing ») est une méthode avancée pour l'estimation des exigences en eau des cultures en temps réel. Un point intéressant est que les sujets de recherche et d'application qui étaient précédemment le domaine de la recherche et des établissements d'enseignement se sont maintenant étendus aux services de direction. On remarque la même chose avec les études des modèles, y compris les modèles physiques et mathématiques.

Le suivi en temps réel de l'irrigation et les mesures de suivi appropriées ont été appliqués dans certaines régions d'irrigation et ont montré une amélioration très efficace du rendement de l'utilisation de l'eau. De la même façon, la mesure intelligente et la surveillance de la quantité d'irrigation dans les zones bien irriguées consistent en une surveillance et une application en temps réel de la technologie de contrôle pour les puits d'irrigation, qui comprennent un débitmètre à ultrasons, un module de communication et des terminaux de contrôle. De toute évidence, de tels systèmes et méthodologies améliorent les performances d'irrigation. En outre, même les agriculteurs individuels peuvent faire appel à la technologie en utilisant des cartes à puce prépayées. Des plates-formes de gestion à différents niveaux, telles que la ville, le comté, la station d'eau et le village peuvent être mises en place, pour surveiller la quantité et la distribution de l'eau d'irrigation.

Ainsi, les 64 exposés répondant à la Question 61 semblent avoir abordé toutes les questions pertinentes liées à l'agriculture irriguée et certains des exposés sont allés encore plus loin.

## Remerciements

La liste des reporters généraux/experts/coprésidents associés la Question 61 figure ci-dessous. Le présent rapport général a été préparé et intégré basé en grande partie sur les rapports récapitulatifs des sous-questions préparées par les experts du panel/coprésidents et les points de vue exprimés dans les exposés soumis et leurs points de vue approfondis sur les sujets connexes au-delà des exposés :

Panel d'Experts/Coprésident : Dr Brian T. Wahlin (États-Unis), (bwahlin@westconsultants.com); Dr. Heber Saucedo (MXCID), (hebersaucedo@yahoo.com); Dr. Kaluvai Yella Reddy (Inde), (yellark@gmail.com); Dr. Víctor Manuel Ruíz Carmona (MXCID), (vmruiz@tlaloc.imta.mx); M. Franklin Dimick (États-Unis), (fdimick@sisna.com); et Dr Ignacio Sánchez Cohen (MXCID), (sanchez.ignacio@inifap.gob.mx).

Les Rapporteurs généraux/experts du panel/coprésidents tiennent à remercier tous les auteurs qui ont pris le temps de préparer les exposés. Le Rapporteur général tient à remercier tous les experts/coprésidents des sous-questions pour avoir examiné les documents et pour la préparation des rapports de synthèse avec leurs points de vue précieux et leurs renseignements et connaissances approfondies sur les sujets traités.

Enfin, mais pas le moindre, je tiens à remercier le Dr Vijay K Labhsetwar, directeur du CIID qui a joué un rôle primordial en rassemblant tous les intervenants et qui a coordonné le rapport préliminaire et de l'avoir révisé pour que le rapport soit présenté dans son format et forme actuelle.

## Références

- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, K. A., . . . Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures -- efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(6), 423-442.
- Clemmens, A. J. (1998). Achieving high irrigation efficiency with modern surface irrigation. *Irrigation Association Expo Technical Conference* (pp. 161-168). Irrigation Association.
- Clemmens, A. J. (2005). Raising the performance of surface irrigation. *19th International Congress on Irrigation and Drainage* (pp. Q 52, P. 1.06). Beijing, China: CIID.
- Rouse, M., & Wigmore, I. (2017, July 30). Precision Agriculture. Recueilli de WhatIs.com: <http://whatis.techtarget.com/definition/precision-agriculture-precision-farming>.

## Abstract of Papers received in Response to

### Q.61.1: Adopting precision irrigation and improving surface irrigation to combat water scarcity

L'adoption de l'irrigation de précision et l'amélioration de l'irrigation de surface pour lutter contre la pénurie d'eau

---

#### INDEX OF ABSTRACT

---

- |                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>R.61.1.01</b> | <b>A New Modeling System MSSl for Surface Irrigation Design and Management</b>  | 287 |
|                  | Un nouveau systeme de modelisation MSSl pour la conception et la gestion de l'irrigation de surface<br>Shaohui Zhang , Di Xu , Yinong Li ,and Meijian Bai (China)                     |     |
| <b>R.61.1.02</b> | <b>Analysis of the technology for precision surface irrigation</b>  | 289 |
|                  | Analyse de la technologie pour l'irrigation de surface de précision<br><i>Bai M.J., Xu D, Li YN, Zhang SH, and Wu CL (China)</i>  |     |
| <b>R.61.1.03</b> | <b>Intercropping Systems for Faba Bean to Increase its Water Productivity</b>   | 290 |
|                  | Es systèmes de culture associee pour les feves pour augmenter sa productivité de l'eau<br><i>Abd El-Hafeez Zohry, and Samiha Ouda (Egypt)</i>   |     |
| <b>R.61.1.04</b> | <b>Examining an Egyptian Irrigation Network using Masscote Approach</b>   | 292 |
|                  | Investiger un réseau d'irrigation egyptien a l'aide d'une approche masscote<br><i>El-Gamal, T. (Egypt)</i>  |     |
| <b>R.61.1.05</b> | <b>Automatic Control System for Water-Saving Irrigation in Paddy</b>  | 293 |
|                  | Système de Contrôle Automatique pour Économiser l'eau pour l'irrigation de Paddy<br>Ren Hejing, Yan Qinghong, Qiu Zhaoning, Yuan Shua, Xu Jingdong, and Liu Qunchang ( <i>China</i> ) |     |
| <b>R.61.1.06</b> | <b>Effects of Surface Irrigation Efficiency Improvement on Water Resources System Indices</b>   | 295 |
|                  | Options et Difficultés pour Optimiser l'utilisation de l'eau dans des Projets D'irrigation Améliorés (IIPS)<br>Narges Zohrabi, Behzad Navidi Nassaj, and Ali Shahbazi (Iran)          |     |

- R.61.1.07 Options and Difficulties to Optimze Water use under Improved Irrigation Projects (IIPS)** 297  
Options et difficultés pour optimiser l'utilisation de l'eau dans des projets d'irrigation améliorés (IIPS)  
Eman Sayed, Nehal Adel, Waleed Abou El Hassan, and T. Watanabe (Egypt)
- R.61.1.08 Assessment of Water Quality for Drip Irrigation in Ukraine** 299  
Évaluation de la qualité de l'eau pour l'irrigation goutte à goutte en Ukraine  
S.V. Usaty, and L.G.Usata (Ukraine)
- R.61.1.09 The Impact of Irrigation Management on Yield and Water Saving in Paddy Rice in Taiwan** 301  
Impact de la Gestion d'irrigation sur le Rendement et l'économie d'eau dans le Riz Paddy à Taiwan  
Ching-Tien Chen, Yi-Ju Lin, and Cheng-Haw Lee (*Taiwan*)
- R.61.1.10 Effect of Water Quality on the Formation of Spatial Variability of Soil under Drip Irrigation** 303  
L'effet de la qualité de l'eau sur la formation de la variabilité spatiale du sol sous micro-irrigation  
L.G. Usata, and S.V. Ryabkov (*Ukraine*)
- R.61.1.11 The Application of Precast Concrete Structure on Rehabilitation of Waduk Kedung Ombo Irrigation System** 305  
L'application de Structure de Béton Préfabriqué sur la Réhabilitation du Système d'irrigation de Waduk Kedung Ombo  
Erin Priandini , and Haeruddin C. Maddi (*Indonesia*)
- R.61.1.12 Gravity Based Pressurised Irrigation in The Command of a Minor Irrigation Project** 307  
Irrigation sous pression a base de gravité dans la charge d'une prise d'eau d'un projet d'irrigation a petite echelle  
*Pradeep Bhalage and S T Sangle (India)*
- R.61.1.13 Reinforcing Knowledge for the Integrated Management of Treated Wastewater in Mexico** 308  
Renforçant la connaissance de la gestion intégrée de l'utilisation des eaux usées traitées au mexique  
Olga Xóchitl Cisneros Estrada, Heber Saucedo, and Juan García Rojas (*Mexico*)
- R.61.1.14 Modernization of Agricultural Production through Shared and Multi-User Pivots for Small Landholders** 314  
Modernisation de la Production Agricole par le Biais de Pivots Partagés et Multi-Utilisateurs pour les Petits Exploitants  
*Guy Fipps, and Seydou Traore (USA)*

<b>R.61.1.15</b>	<b>Increasing Water Use Efficiency in Irrigation Districts by Improving Surface Irrigation</b> Augmentation de L'efficacité de l'utilisation de l'eau dans les Districts d'irrigation par L'amélioration de l'irrigation de Surface Pérez-Nieto, S; Hernández-Saucedo, and F. R. <i>(Mexico)</i>	312
<b>R.61.1.16</b>	<b>Improvement of Effluent Quality using Bagasse Fly Ash in Combination with Sand Filter for Irrigation Supply</b> L'amelioration de la qualité des effluents a l'aide des cendres volantes a la bagasse en combinaison avec filtre de sable pour l'alimentation en irrigation <i>Thitinun Pongnam and Vichian Plermkamon (Thailand)</i>	314
<b>R.61.1.17</b>	<b>Rain Gun Sprinkler Irrigation System</b> Système d'Irrigation de pistolet d'arrosage en pluie <i>Dilipyewalekar, and Manisha Kinge (India)</i>	316
<b>R.61.1.18</b>	<b>Small Tank Cascade Systems, their Restoration and Sustainable Management</b> Systèmes en Cascade de Petit Réservoir, leur Restauration et Gestion Durable G.M.C.A.Perera (Sri Lanka)	318
<b>R.61.1.19</b>	<b>Optimizing Use of Water for Cotton Production using Evapotranspiration-Based Irrigation Scheduling Technique in the Fergana Valley, Uzbekistan</b> Optimiser l'utilisation de l'eau pour la Production de coton à l'aide de Technique de planification de d'Irrigation axée sur l'évapotranspiration dans la vallée de Fergana, Ouzbékistan <i>Shukhrat Mukhamedjanov, and Azamat Mukhomedjanov (Uzbekistan)</i>	319
<b>R.61.1.20</b>	<b>Drip Irrigation for Obtaining Good Harvests</b> Technologie de fonctionnement des systèmes d'irrigation de drip comme prérequis pour obtenir des récolteurs hautes et constantes <i>Rushena Kupiedinova, and Olga Marchenko, Ruslan Tkachuk (Ukraine)</i>	320
<b>R.61.1.21</b>	<b>Rigrat Action Proposal in Irrigation Districtsmocorito, Elota Piaxtla and Rio San Lorenzo</b> Proposition d'acciones pour le programme rigrat dans les districts d'irrigation mocorito, elota piaxtla et Río San Lorenzo <i>Castillo González J.A., Unland Weiss H.E.K., Olvera-Salgado M.D., Montiel Gutiérrez M.A., Pacheco Hernández P., and Herrera Ponce J.C. (Mexico)</i>	321

- R.61.1.22 Evaluating Agricultural Productivity and Water Use Efficiency by Adopting Improved Irrigation Methods during Winter Groundnut at Semi-Arid Tropics** 323  
Évaluation de la Productivité Agricole et de L'efficacité de L'utilisation de l'eau par L'adoption de Méthodes Améliorées d'irrigation des Arachides Pendant L'hiver dans des Zones Tropicales Semi-Arides  
Suhas P Wani, Rajesh Nune, Pushpraj Singh, Kaushal K Garg, and Gajanan Sawargaonkar (India)
- R.61.1.23 Meteorological Parameters Sensitivity Analysis to Simplify of FAO Penman-Monteithmodel under Semi-Arid Conditions** 325  
Analyse de Sensibilité des Paramètres Météorologiques pour Simplifier le Modele FAO Penman-Monteith dans les Conditions Semi-Arides  
*Elahe Kanani, Hossein Dehghanisanij, and Samira Akhavan (Iran)*
- R.61.1.24 Performance of Surge Flow Irrigation in Mendoza, Argentina. Present and Potencial Efficiencies** 327  
Performance de l'arrosage par pulsations intermittentes a mendoza, Argentina. efficiences actuelles et potentielles  
Catalina Romay (Argentina)



## A New Modeling System MSSI for Surface Irrigation Design and Management

### Un Nouveau Systeme De Modelisation Mssi Pour La Conception Et La Gestion De L'irrigation De Surface

Shaohui Zhang<sup>1</sup>, Di Xu<sup>2</sup>, Yinong Li<sup>3</sup>, Meijian Bai<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

A modeling system named MSSI was developed for surface irrigation design and management. In this system, two-dimensional shallow-water equations and one-dimensional Saint-Venant equations in networks with Kostiakov empirical infiltration equation were applied to describe the unsteady water flows in surface irrigation. Then the finite-volume approach with full-implicit time scheme was applied to solve the governing equations and can accurately simulate the unsteady water flows in basin, border, furrow and furrow-network irrigations. This is the central component of MSSI. There are user-friendly interfaces, database, three-dimensional display (unsteady water flow) and analysis components. The users can conveniently draw or modify the geometry sizes for basin, border, furrow and furrow-network and then set inflow/outflow spatial positions, discharge temporal processes and soil physical parameters. The three-dimensional display component can present the unsteady water flow processes for basin, border, furrow and furrow-networks. It makes the users intuitively understand the surface irrigation hydraulic properties. The analysis can provide the surface irrigation indicators such as irrigation efficiency and uniformity. After describing system functionalities, applications of two-dimensional basin irrigation and furrow-network irrigation in YeHe irrigation district, China, were presented.

**KEY WORDS:** Surface irrigation; modeling system; unsteady flow; design and management.

#### RESUME

Un système de modélisation appelé MSSI a été développé pour la conception et la gestion de l'irrigation de surface. Dans ce système, des équations bidimensionnelles en eau peu profonde et des équations unidimensionnelles de Saint-Venant dans des réseaux avec l'équation d'infiltration empirique de Kostiakov ont été appliquées pour décrire les débits d'eau instables dans l'irrigation de surface. Ensuite, l'approche de volume fini avec un schéma de temps implicite a été appliquée pour résoudre les équations de régulation et peut simuler avec précision les flux d'eau instables dans les irrigations du bassin, de la frontière, du sillon et du réseau de sillon. C'est la composante centrale de MSSI. Il existe des interfaces conviviales, une base de données, un affichage tridimensionnel (le débit d'eau instable) et des composants d'analyse. Les utilisateurs peuvent facilement dessiner ou modifier les tailles géométriques

- 1 Senior Engineer, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China (corresponding author) zhangsh@iwhr.com
- 2 Professor, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China. xudi@iwhr.com
- 3 Professor, National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research. 20 West Chegongzhuang Rd., 100048 Beijing, China. liyinong@iwhr.com
- 4 Professor, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China. baimj@iwhr.com

pour le bassin, la bordure, le sillon et le réseau de sillons, et puis définir les positions spatiales d'entrée / de sortie, les processus temporels de décharge et les paramètres physiques du sol. Le composant d'affichage tridimensionnel peut présenter les processus d'écoulement d'eau instables pour les réseaux de bassin, de bordure, de sillon et de réseau de sillons. Cela laisse les utilisateurs comprendre intuitivement les propriétés hydrauliques d'irrigation de surface. L'analyse peut fournir des indicateurs d'irrigation de surface tels que l'efficacité et l'uniformité de l'irrigation. Après avoir décrit les fonctionnalités du système, des applications de l'irrigation bidimensionnelle du bassin et de l'irrigation par réseau de sillon dans le district d'irrigation YeHe, en Chine, ont été présentées.

**Mots-clés:** l'irrigation superficielle; le système de modélisation; l'écoulement instable; la conception et la gestion.

## Analysis of the Technology for Precision Surface Irrigation

### Analyse De La Technologie Pour L'irrigation De Surface De Précision

Bai M.J.<sup>1</sup>, Xu D, Li YN, Zhang SH, Wu CL

#### ABSTRACT

Surface irrigation is the most widely used irrigation method in the world. The surface irrigation performances are affected by many factors, such as land leveling precision, irrigation system layout, irrigation control rules, and irrigation management. Compared to pressure irrigation, surface irrigation is more difficult to control. Extensive surface irrigation management has led to low application efficiency of irrigation water. So, improving surface irrigation management has large potential to increase irrigation performances. The key technologies of precision surface irrigation include land leveling, simulation, evaluation and design of surface irrigation system, and the irrigation control. This paper introduces the application status of the surface irrigation technology and the existing questions that need to be addressed, analyzes the key technology of precision surface irrigation and the main research results around each key technology, discusses the application of main research results in the surface irrigation management, and proposes the further research topics around improving the surface irrigation performances.

**KEY WORDS:** Precision surface irrigation, irrigation performance, land leveling, irrigation simulation, irrigation control, irrigation design.

#### RÉSUMÉ

L'irrigation de surface est la méthode d'irrigation la plus largement utilisée dans le monde. Les performances de l'irrigation de surface sont affectées par de nombreux facteurs, comme la précision du nivellement de la terre, la configuration du système d'irrigation, les règles de contrôle d'irrigation et la gestion de l'irrigation. Par rapport à l'irrigation en pression, l'irrigation de surface est plus difficile à contrôler. La gestion de l'irrigation de surface étendue a conduit à la faible efficacité de l'eau d'irrigation. Donc, l'amélioration de la gestion de l'irrigation de surface a un grand risque d'augmenter les performances de l'irrigation. Les technologies clés de l'irrigation de surface de précision comprennent le nivellement de terres, la simulation, l'évaluation et la conception de système d'irrigation de surface et le contrôle de l'irrigation. Cet article introduit l'état d'application de la technologie de l'irrigation de surface et les questions existantes qui doivent être abordées, l'analyse de la technologie-clé de l'irrigation de surface de précision et les résultats de la recherche principale autour de chaque technologie clé, traite de l'application des résultats de la recherche principale dans la gestion de l'irrigation de surface et propose les autres thèmes de recherche autour d'améliorer les performances de l'irrigation de surface.

**Mots clés :** Précision de l'irrigation de surface, performance de l'irrigation, des terres de nivellement, simulation d'irrigation, le contrôle de l'irrigation, conception d'irrigation.

<sup>1</sup> National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, Beijing 100048, China, E-mail: 903247335@qq.com

## Intercropping Systems for Faba Bean to Increase its Water Productivity

### Es Systèmes De Culture Associee Pour Les Feves Pour Augmenter Sa Productivité De L'eau

Abd El-Hafeez Zohry<sup>1</sup> and Samiha Ouda<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The objective of this paper was to quantify the effect of cultivation of faba bean on raised beds and implementing intercropping systems to increase its national production and its water productivity in Egypt. Egypt was divided into three regions and weather data for these three regions were collected in 2014, as well as data on the cultivated area of faba bean and its productivity. Similarly, the cultivated areas of sugar beet, tomato, sugarcane and fruit trees were collected as it were part of the studied intercropping systems with faba bean. Water requirements for all the selected crops were calculated under narrow furrows cultivation and surface irrigation with 60% application efficiency and under raised beds cultivation, which saves 20% of the applied water to surface irrigation. We assumed that the saved amount of applied irrigation water from cultivation on raised beds will be used to cultivate new areas with faba bean. The total applied irrigation amount for faba bean was used to calculate potential water productivity under raised beds cultivation, as well as under intercropping. The results indicated that water productivity was the highest in Lower Egypt, with an average of 0.79 kg/m<sup>3</sup>. The saved irrigation water amount as a result of cultivation on raised beds used to cultivate a new area with faba bean and increased the average water productivity value to be 0.64 kg/m<sup>3</sup>. Intercropping faba bean with other crops can increase faba bean cultivated area and national production. Under these circumstances, water productivity for faba bean was highly increased because no additional amount of irrigation water was applied. Thus, it can be concluded that that raised beds cultivation and intercropping faba bean systems can highly enhance faba bean water productivity and combat water scarcity.

**KEY WORDS:** Raised beds cultivation, faba bean intercropping with tomato, sugar beet, sugarcane and faba bean intercropped under young fruit trees.

#### RESUME

L'objectif de cet article était de quantifier l'effet de la culture du fève sur les lits surélevés et la mise en place de systèmes de cultures associées pour accroître sa production nationale et sa productivité en eau en Égypte. L'Égypte a été divisé en trois régions et les données météorologiques pour ces trois régions, ainsi que des données sur la superficie cultivée du fève et sa productivité, ont été recueillies en 2014. De même, les zones cultivées de la betterave à sucre, de la tomate, de la canne à sucre et des arbres fruitiers ont été collectées comme faisant partie des systèmes de cultures associées étudiés avec du fève. Les besoins en eau pour toutes les cultures sélectionnées ont été calculés selon une culture de sillons étroits et une irrigation de surface avec une efficacité d'application de 60% et une culture de lits surélevés, ce qui permet d'économiser 20% de l'eau appliquée à l'irrigation de surface. Nous avons supposé que la quantité économisée d'eau d'irrigation appliquée provenant de la culture sur les lits surélevés servira à cultiver de nouvelles zones avec du fève. Le

1 Crop Intensification Research Department, Field Crops Research Institute, Agricultural Research Center, Egypt; abdelhafeezohry@yahoo.com

2 Water Requirements and Field Irrigation Research Department, Soils, Water and Environment Research Institute, Agricultural Research Center, Egypt; samihaouda@yahoo.com

montant total d'irrigation appliqué pour le fève a été utilisé pour calculer la productivité de l'eau potentielle dans les cultures surélevés, ainsi que sous la culture associée. Les résultats indiquent que la productivité de l'eau a été la plus élevée en Basse-Égypte, avec une moyenne de 0,79 kg / m<sup>3</sup>. La quantité d'eau d'irrigation économisée résultant de la culture sur les lits surélevés a été utilisé pour cultiver une nouvelle zone avec du fève et a augmenté la valeur de la productivité moyenne de l'eau à 0,64 kg / m<sup>3</sup>. La culture associée de fève avec d'autres cultures peut augmenter la superficie cultivée du fève et la production nationale. Dans ces conditions, la productivité de l'eau pour le fève a été fortement augmentée car aucune quantité supplémentaire d'eau d'irrigation n'a été appliquée. Ainsi, on peut conclure que la culture surélevée et les cultures associées de fèves peuvent augmenter considérablement la productivité de l'eau du fève et combattre la pénurie d'eau.

**Mots-clés:** la culture des lits surélevés, la cultures associée du fève à la tomate, le betterave à sucre, la canne à sucre et la culture associée des fèves sous de jeunes arbres fruitiers.

## Examining an Egyptian Irrigation Network Using Masscote Approach

Investiguer Un Réseau D'irrigation Egyptien À L'aide D'une Approche Masscote

El-Gamal, T.<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate and analyze different components of the Egyptian irrigation system. A typical command area at the north of the Middle Delta (Mit Yazid command area) was selected to represent the Egyptian irrigation network, and MASSCOTE approach was used as an assessment tool. MASSCOTE, which was developed by FAO, is a pre-improvement evaluation approach. The approach provides a systematic way to evaluate any irrigation system, which gives a chance to compare this system with other irrigation systems. The approach consists of ten steps in two categories. The first category investigates the irrigation system, and the second category introduces the modernization suggestions based on the results of the first part. The current study applied the first category, which contained applying Rapid Appraisal Procedure (RAP), checking the capacity of the irrigation system, and assessing the sensitivity and perturbation at different control structures.

The assessment defined the specific weakness of the irrigation system and it showed that irrigation performance decreased significantly at the lowest level of the system. The reasons for such decrease and the effect of Irrigation Improvement Project on improving the performance were discussed.

### RESUME

L'objectif de cette étude est d'évaluer et d'analyser des différents composants du système d'irrigation égyptien. Une zone de commande typique au nord du Middle Delta (la zone de commande de Mit Yazid) a été choisie pour représenter le réseau d'irrigation égyptien, et l'approche MASSCOTE a été utilisée comme un outil d'évaluation. MASSCOTE, qui a été élaboré par le FAO, est une approche d'évaluation pour la pré-amélioration. L'approche fournit un moyen systématique d'évaluer tout système d'irrigation, qui rend la possibilité de comparer ce système avec d'autres systèmes d'irrigation. L'approche se comporte de dix étapes dans deux catégories. La première catégorie étudie le système d'irrigation, et la deuxième présente les propositions de modernisation en fonction des résultats de la première catégorie. L'étude actuelle a mis en œuvre la première catégorie, qui contenait l'application de la Procédure d'Évaluation Rapide (RAP), la vérification de la capacité du système d'irrigation et l'évaluation de la sensibilité et de la perturbation dans différentes structures de contrôle.

L'évaluation a défini la faiblesse spécifique du système d'irrigation et il a montré que les performances d'irrigation ont diminué de manière significative au niveau le plus bas du système. Les raisons de cette diminution et l'effet du Projet d'Amélioration de l'Irrigation sur l'amélioration de la performance ont été discutés.

<sup>1</sup> Associate Professor, Water Management Research Institute, National Water Research Center, Ministry of Water Resources and Irrigation, Egypt Tel: (202) 42189563 Fax: (202) 42189561 E-mail elgamalt@yahoo.com and elgamalt@gmail.com

## Automatic Control System for Water-Saving Irrigation in Paddy

### Système De Contrôle Automatique Pour Économiser L'eau Pour L'irrigation De Paddy

Ren Hejing<sup>1</sup> Yan Qinghong<sup>1</sup> Qiu Zhaoning<sup>1</sup> Yuan Shuai<sup>2</sup> Xu Jingdong<sup>1</sup> Liu Qunchang<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

China is the world's largest rice-growing country, with an area of about 450 million acres. The traditional irrigation method for paddy field is flooding irrigation, which have caused severe water resource waste and low water use efficiencies, aggravated the shortage and pollution of water resources. Rice cropping in China, accounted for approximately 50% of total national water consumption. Therefore, to reduce water consumption and improve China's rice water use efficiency will help ease China's water shortage and water pollution. At present, there are four major water-saving irrigation technologies in China, including "shallow-wet-sun" irrigation, intermittent submerged irrigation, controlled irrigation, and rainfall collection. However, these four water-saving irrigation techniques have some limitations: there are no technologies (measures) of cultivation and high-tech matching with them; water-saving effects are not very ideal; long-term applications of some efficient water-saving technology may reduce soil fertility. This paper presents the results of a study on a water-saving irrigation automatic control system for paddy field based on measurement and control integration method which can support these four water-saving irrigation techniques to practice. The system consists of two parts: the hardware system and the software system. The hardware system includes the remote-controlled drainage pump, the integrated and remote-controlled gate, the intelligent field irrigation gate and the remote-controlled field water-level radioactive meter. The software system is developed with JAVA language, including 4 sub-systems and 5 functional modules. This system is mainly used in the drainage, irrigation, water measurement and control in paddy field. This system will lead to avoid flood in paddy field during the rainy seasons and save that water for future purposes.

**Keyword:** Paddy field, water saving, irrigation, remote control system.

#### RESUME

La Chine est le producteur de riz le plus important au monde, avec une superficie d'environ 450 millions d'acres. La méthode d'irrigation traditionnelle pour les champs de Paddy se fait par une irrigation d'inondation, qui cause un grave gaspillage de ressource hydrique et une efficacité d'utilisation très basse de l'eau, aggravant la pénurie et la pollution des ressources en eau. La riziculture en Chine représentaient environ 50 % de la consommation nationale totale de l'eau. Par conséquent, le fait de réduire la consommation d'eau et pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour le riz en Chine aidera dans a lutte contre la pénurie et la pollution de l'eau en Chine. À l'heure actuelle, il existe quatre principales technologies d'irrigation économisant l'eau en Chine, y compris l'irrigation « ombre-humide-soleil », l'irrigation submergée intermittente, irrigation contrôlée et la récupération des eaux de pluie. Toutefois, ces quatre techniques d'irrigation d'économie de l'eau ont des limites : il n'y a pas de techniques (mesures) de culture et de haute technologie leur correspondant ; les effets d'économie de l'eau ne sont pas très parfaits ; les applications à long terme de certaines technologie efficace d'économie d'eau peuvent réduire la fertilité des sols. Cet article

<sup>1</sup> China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China

<sup>2</sup> Politecnico di Milano, Milan 20133, Italy

présente les résultats d'une étude sur un système de contrôle automatique économisant l'eau d'irrigation pour la rizière sur la base d'une méthode d'intégration mesure et de contrôle, qui peut prendre en charge ces quatre techniques d'irrigation d'économie pratique de l'eau. Le système se compose de deux parties : le système matériel et le logiciel. Le système matériel comprend la pompe de vidange télécommandée, le portail intégré et télécommandé, la porte d'irrigation de champ intelligent et compteur radioactif télécommandé de niveau d'eau du champ. Le logiciel est développé avec le langage JAVA, comprenant les 4 sous-systèmes et 5 modules fonctionnels. Ce système est principalement utilisé dans le drainage, l'irrigation, les mesures et contrôle de l'eau dans la rizière. Ce système permettra d'éviter les inondations dans la rizière durant les saisons pluvieuses et sauvegarder l'eau pour des besoins ultérieurs.

**Mot-clé** : rizière, économie, irrigation, système de contrôle à distance.



## Effects of Surface Irrigation Efficiency Improvement on Water Resources System Indices

### Effets De L'amélioration De L'efficacité D'irrigation De Surface Sur Les Indices De Système Des Ressources

Narges Zohrabi <sup>1\*</sup>, Behzad Navidi Nassaj <sup>2</sup> and Ali Shahbazi <sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Scarcity and uncertainty associated with water resources due to climate change is one of the biggest challenges facing agricultural water management. An effective measures can be to increase the efficiency of irrigation in agriculture. The purpose of this paper is to evaluate the effects of increasing surface irrigation efficiency on water resource system indices, including the reliability and vulnerability of water resources in the water resources system in order to combat water scarcity. For this purpose, one of the major basins in Iran was simulated in WEAP model as integrated. Dez basin located in the southwest of Iran is one of the agricultural poles in the region, which has a large population in the agricultural sector, and annually uses 4 billion m<sup>3</sup> of water from the Dez reservoir to the surface irrigation networks of this area. However, the low network efficiency causes millions of cubic meters of fresh water to be lost each year. The analyzed scenarios consisted of combining two modes of changing consumption in the short and long term with management scenarios including an increase of 5% and 15% efficiency of surface irrigation networks. The combination of these scenarios was simulated and implemented in WEAP model. The results indicated that in the short term, with increasing irrigation efficiency of 5%, the system reliability could be maintained. Increase of 15% improved irrigation efficiency by 1.9% and system vulnerability by 5% and 15% efficiency increase reduced by 1.6 and 2.96% respectively. Simulation results for the long term also indicated that the increase of 5% and 15% efficiency did not have an effect on the improvement of the reliability index. To improve this index, the system requires more increases in irrigation efficiency. The results also indicated that the rate of the vulnerability index in 5 and 15% efficiency increase, reduced by 1.61 and 4.46% respectively.

**KEY WORDS:** Irrigation efficiency, Weap, Reliability, Vulnerability, Iwrm, Water scarcity.

#### RÉSUMÉ

La rareté et l'incertitude associée aux ressources en eau dues au changement climatique est l'un des plus grands défis de gestion des eaux agricoles. Des mesures efficaces peuvent être prises pour accroître l'efficacité de l'irrigation dans l'agriculture. Le but de cette étude est d'évaluer les effets de l'accroissement de l'efficacité de l'irrigation de surface sur les indices de système de ressource de l'eau, y compris la fiabilité et la vulnérabilité des ressources en eau dans le système de ressources d'eau afin de lutter contre la pénurie d'eau. À cet effet, un des principaux bassins en Iran a été simulé dans un modèle WEAP comme étant intégré. Le bassin Dez situé dans le sud-ouest de l'Iran est un des pôles agricoles dans la région, avec une grande population dans le secteur agricole et utilisant chaque année 4 milliards de m<sup>3</sup> d'eau provenant du réservoir de Dez pour les réseaux d'irrigation de surface de cette région. Toutefois, la faible efficacité du réseau provoque la perte de millions de mètres cubes

1 Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*Corresponding author: nargeszohrabi@Gmail.com

2 Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3 Head of water and environment modelling center, Khuzestan Water and Power Authority.

d'eau douce chaque année. Les scénarios analysés consistaient en la combinaison des deux modes de l'évolution de la consommation à court et à long terme avec des scénarios de gestion comprenant une augmentation de 5 % et 15 % de l'efficacité des réseaux d'irrigation de surface. La combinaison de ces scénarios a été simulée et implémentée dans le modèle WEAP. Les résultats ont indiqué que dans le court terme, avec l'efficacité de l'irrigation accrue de 5 %, la fiabilité du système *pourrait être maintenue*. *L'augmentation de 15 % améliorée efficacité de l'irrigation par la vulnérabilité de système et de 1,9 % en augmentation de 5 % et 15 % efficacité réduite respectivement de 1,6 et 2,96 %*. *Les résultats de la simulation à long terme ont également indiqué que l'augmentation de 5 % et 15 % d'efficacité n'avait pas d'effet sur l'amélioration de l'indice de fiabilité*. *Afin d'améliorer cet index, le système exige des augmentations plus dans l'efficacité de l'irrigation*. Les résultats indiquent également que le taux de l'indice de vulnérabilité en 5 et 15 % augmentation de l'efficacité, réduite de 1,61 et 4,46 % respectivement.

**Mots clés :** Efficacité de l'irrigation, Weap, fiabilité, vulnérabilité, GIRE, pénurie d'eau.

## Options and Difficulties to Optimize Water use Under Improved Irrigation Projects (IIPS)

### Options Et Difficultés Pour Optimiser L'utilisation De L'eau Dans Des Projets D'irrigation Améliorés (IIPS)

Eman Sayed<sup>1</sup>, Nehal Adel<sup>2</sup>, Waleed Abou El Hassan<sup>3</sup> and T. Watanabe<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Optimization of the limited water resources through irrigation improvement programs in Egypt is important due to a very limited water resources. Therefore, the main objective of this study is to evaluate whether the proposed irrigation practices was effective, how implementation differed from planning, and how the improved system was coping with water scarcity conditions in Delta Egypt.

The study shows that the farmers' responsibility for efficient water management has been displaced to hypothetical prospects, e.g. extra supplies from reuse of agricultural drainage. This mainly used officially and un-officially to cover shortage of water resources during summer season to meet crops demand. However, this practice needs environmental assessment to avoid health hazards. Study also shows no equity in water distribution along irrigation canals due to severe shortage of water resources. This shortage led to unstable inflow of water into canals, neither rotational system nor continuous flow, especially during the high water demand period in summer. Under shortage of water resources, farmers have to know crops, and their yield response, efficiency of water use, actual irrigation applications, and current on-farm water-efficiency levels to adapt with drought. Therefore, the government of Egypt started to implement contract farming system to harmonize crop patterns. So, farmers in developed communities should adopt this system of indirect water management. To benefit from the system, it is necessary to determine the optimum crop distribution per unit area of different crops for obtaining maximum yields.

**KEY WORDS:** Efficient use, Irrigation improvement, Reuse drainage water, Egypt.

#### RÉSUMÉ

Optimisation des ressources en eau limitées grâce à des programmes d'amélioration de l'irrigation en Egypte Devient essentiel en raison des ressources en eau très limitées. Une série de projets d'irrigation pour économiser l'eau appliquée et maximiser chaque baisse ont été mises en place pour réduire la demande d'eau et rationaliser l'irrigation à différents niveaux de 1993 à ce jour ; Par conséquent, l'objectif principal de cette étude est d'évaluer si les pratiques d'irrigation proposées étaient efficaces .

Comment la mise en œuvre différait de la planification et comment le système amélioré faisait face aux conditions de pénurie d'eau dans delta de l'Egypte du L'étude montre que

- 1 Dr. Eng. at the Ministry of Water Resources and Irrigation (MWRI), Cornish El Nile Street, Giza, Egypt; Email: eman\_sayed@hotmail.com
- 2 Dr. Eng. at the Ministry of Water Resources and Irrigation (MWRI), Cornish El Nile Street, Giza, Egypt; Email: nehal@mwri.gov.eg
- 3 Associate Professor, WMRI, National Water Research Center, Delta Barrage, Qalubia, 13621-5, Egypt, Email: waleed-hassan@live.com
- 4 Professor, Graduate School of Global Environmental Studies, Kyoto University, Sakyo-ku-, Kyoto 6068501, Japan; E-mail: nabe@kais.kyoto-u.ac.jp

la responsabilité des agriculteurs pour une gestion efficace de l'eau a été déplacée vers des perspectives hypothétiques, par exemple

Les fournitures supplémentaires provenant de la réutilisation du drainage agricole. Cela a principalement été utilisé officiellement et non officiellement pour couvrir la pénurie de ressources en eau pendant la saison estivale pour répondre à la demande des cultures. Cependant, cette pratique nécessite une évaluation environnementale pour éviter les risques pour la santé.

L'étude montre également qu'il n'y a pas d'équité dans la distribution de l'eau le long des canaux d'irrigation en raison d'une grave pénurie de ressources en eau. Cette pénurie a conduit à l'afflux d'eau instable dans les canaux, ni le système de rotation ni le flux continu, en particulier pendant la période de forte demande d'eau en été.

En raison de la pénurie de ressources en eau, les agriculteurs doivent connaître les cultures, leur rendement, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, les applications réelles d'irrigation et les niveaux actuels d'efficacité de l'eau à la ferme pour s'adapter à la sécheresse. Par conséquent, le gouvernement de l'Égypte a commencé à mettre en œuvre un système d'agriculture contractuelle pour harmoniser les tendances. Ce nouveau système attendu pour répondre aux récoltes pour une production plus élevée résulte de différentes pratiques de gestion telles que la gestion efficace de l'eau. Ainsi, les agriculteurs des communautés développées devraient adopter avec ces améliorations qui s'inscrivent dans la gestion de leur système. Par conséquent, il est nécessaire de déterminer la répartition optimale des cultures par unité de surface de différentes cultures pour obtenir des rendements maximaux.

## Assessment of Water Quality for Drip Irrigation in Ukraine

Évaluation De La Qualité De L'Eau Pour L'irrigation Goutte A Goutte En Ukraine

S.V. Usaty<sup>1</sup>, L.G.Usata<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Stricter requirements are imposed on water quality by modern drip irrigation systems which are used in Ukraine on nearly 70 thousands hectares area. This forces more detailed assessment water quality indicators' role in adversely affecting the plants.

The paper presents the results of first stage of the research in which water suitability from different sources along Ukraine has been assessed. Data from sources of water used for drip irrigation of tomatoes were analysed. Samples selection scheme was as follows: water intake - filtration system - irrigation pipeline - irrigation pipeline endpoint. It was determined that water from most sources in Ukraine do not comply with the requirements for its safe usage in "irrigation network-plant-soil" sequence. The alarming chemical and physical components in irrigation water are high alkalinity, high content of toxic salts, and higher content of iron, magnesium, and nitrogen, higher total mineralization, and suspended particles. The main reason of worsening water quality is suspended particles with their content in the water from 2 to 50 times higher than the standard norms. Use of chemical, microbiological and hydro-biological methods in the study of water samples helped to determine organic nature of suspended particles, their diversity, sizes, morphological structure, number and biomass. In water samples collected on the endpoint of pipelines, present suspended particles consist of dead and alive aquatic organisms (Cyanobacteria, Chlorophyta, Diatom algae, Euglenida). Suspended particles of organic nature with biomass in water of more than 60,0 g/dm<sup>3</sup> impose real danger by blocking nozzles of drip irrigation system and violating operation conditions of irrigation. Reasonable combination of methods, technologies and technical means of water treatment according to its quality in water source and drip nozzles parameters determines long-term and stable operation of drip irrigation systems and their components, and also safe usage for soils, plants, and environment. Water use for the drip irrigation purposes must be accompanied by monitoring of its quality.

**KEY WORDS:** Drip irrigation system, Water quality, Water treatment.

### RESUME

Des exigences plus strictes sont imposées sur la qualité de l'eau grâce aux systèmes modernes d'irrigation goutte à goutte utilisés en Ukraine sur près de 70 000 hectares de terre. Cela oblige à évaluer plus précisément le rôle joué par les indicateurs de qualité de l'eau tout en exerçant un impact négatif sur les plantes.

L'article présente les résultats de la première étape de la recherche dans laquelle il a été évalué la qualité de l'eau de différentes sources le long de l'Ukraine. Les données provenant des sources d'eau utilisées pour l'irrigation goutte à goutte des tomates ont été analysées. Le schéma de sélection des échantillons était le suivant: apport d'eau - système de filtration – tuyau d'irrigation - point d'extrémité du tuyau d'irrigation. Il a été déterminé que l'eau de la plupart des sources en Ukraine ne respecte pas les exigences pour son utilisation sûre

1 Head of the laboratory, Institute of water problems and land reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, Vasykivska str. 37, Ukraine, 03022, E-mail: s\_usatyi@ukr.net, Tel: +38-050-5457167

2 Senior Research, Institute of water problems and land reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, Vasykivska str. 37, Ukraine, 03022, E-mail: usataya\_l@ukr.net, Tel: +38-050-7280092

dans la séquence «réseau d'irrigation - plante-sol». Les composantes chimiques et physiques alarmantes dans l'eau d'irrigation sont d'une alcalinité élevée, une teneur élevée en sels toxiques, une teneur plus élevée en fer, en magnésium et en azote, une minéralisation totale plus élevée et des particules en suspension. La principale raison de l'aggravation de la qualité de l'eau est la suspension de particules avec leur contenu dans l'eau de 2 à 50 fois plus élevé que les normes standard. L'utilisation des méthodes chimiques, microbiologiques et hydro-biologiques dans l'étude des échantillons d'eau a permis de déterminer la nature organique des particules en suspension, leur diversité, leur taille, leur structure morphologique, leur nombre et leur biomasse. Dans les échantillons d'eau prélevés sur le point définitif des tuyaux, les particules en suspension présentes sont constituées d'organismes aquatiques morts et vivants (Cyanobacteria, Chlorophyta, Diatom algae, Euglenida). Les particules suspendues de nature organique avec la biomasse dans l'eau de plus de 60,0 g/dm<sup>3</sup> imposent un danger réel en bloquant les buses du système d'irrigation goutte à goutte et en violant les conditions d'exploitation d'irrigation. Une combinaison raisonnable des méthodes, de technologies et de moyens techniques de traitement de l'eau selon sa qualité dans les paramètres de la source d'eau et des buses de gouttes détermine le fonctionnement à long terme et stable des systèmes d'irrigation goutte à goutte et de leurs composantes, ainsi qu'une utilisation sûre des sols, des plantes et de l'environnement. L'utilisation de l'eau à des fins d'irrigation goutte à goutte doit être accompagnée d'un suivi de sa qualité.

**Mots-clés :** Système d'irrigation goutte à goutte, qualité de l'eau, traitement de l'eau.

## The Impact of Irrigation Management on Yield and Water Saving in Paddy Rice in Taiwan

### Impact De La Gestion D'irrigation Sur Le Rendement Et L'économie D'eau Dans Le Riz Paddy À Taiwan

Ching-Tien Chen<sup>1</sup>, Yi-Ju Lin<sup>2\*</sup> and Cheng-Haw Lee<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

The impact of climate change on food security is one of the most important issues all over the world. Adopting the water management practice to ensure the productivity of land and water resource is regarded as a significant topic for hydraulic engineers.

The purpose of this research is to analyze, through the field experiment design at Chia-Nan Irrigation area in Taiwan, the effect on paddy rice yield as the result of adopting different irrigation methods on drought period paddy rice such as the conventional practice (CP), the system of rice intensification (SRI) and the rotational irrigation (RI). This information will lead to the minimum water requirements under different drought conditions. The result of this research shows that, with the water saving and water resource productivity for irrigation are considered at the same time, it is recommended adjusting the cultivation time for the drought in spring, and planting on February 16<sup>th</sup> with the system of rice intensification (SRI) is recommended for paddy rice, through which the amounts of water can be saved for about 38.3% and the yield addition rate is up to 5.3%.

The water resource productivity shows a better result those of other cases. The results can be applied to irrigation water management during drought period on the climate change and spring in Taiwan.

**KEY WORDS:** Conventional Practice, System of Rice Intensification, Water Saving, efficiency, Water Productivity.

#### RESUME

L'impact du changement climatique sur la sécurité alimentaire est l'un des problèmes les plus importants dans le monde. L'adoption de la pratique de gestion de l'eau pour assurer la productivité des terres et des ressources en eau est considérée comme un sujet important pour les ingénieurs hydrauliques.

Cette recherche vise à analyser, à travers la conception de l'expérience de terrain dans la région d'irrigation de Chia-Nan à Taïwan, l'impact de l'adoption de différentes méthodes d'irrigation sur le riz paddy dans la période de sécheresse telles que la pratique conventionnelle (CP), le système d'intensification du riz (SRI) et l'irrigation par rotation (RI). Cette information entraînera les besoins minimaux en eau dans différentes conditions de sécheresse. Le résultat

1 Associate Professor, Department of Civil and Water Resources Engineering, National Chiayi University, No.300, Syuefu Rd., Chiayi City 60004, Taiwan, ctchen@mail.ncyu.edu.tw

2 PhD student, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University, No.1, University Rd., Tainan City 70101, Taiwan, [pipolin@msn.com]\*

3 Professor, Department of Resources Engineering, National Cheng Kung University, No.1, University Rd., Tainan City 70101, Taiwan, leech@mail.ncku.edu.tw

de cette recherche montre que, compte tenu de la productivité de l'eau et des ressources en eau pour l'irrigation, il est recommandé d'ajuster le temps de culture pour la sécheresse au printemps et de planter le 16 février en utilisant le système d'intensification du riz (SRI) pour le riz paddy, par lequel les quantités d'eau peuvent être économisées environ 38,3% et le taux du rendement peut être augmenté de 5,3%.

La productivité des ressources en eau montre un meilleur résultat que celles d'autres cas. Les résultats peuvent être appliqués à la gestion de l'eau d'irrigation pendant la période de sécheresse dans les conditions du changement climatique et lors du printemps à Taiwan.

**Mots-clés** : Pratique conventionnelle, système d'intensification du riz, économie d'eau, efficacité, productivité de l'eau.



## Effect of Water Quality on the Formation of Spatial Variability of Soil Under Drip Irrigation

### L'effet De La Qualité De L'eau Sur La Formation De La Variabilité Spatiale Du Sol Sous Micro-Irrigation

L.G. Usata<sup>1</sup>, S.V. Ryabkov<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The paper presents the results of research on the plantations of perennial crops irrigated by drip method and differ by planting schemes, variety assortment and irrigation and cultivation technologies. They are located in Ukraine within Kherson, Mykolaiv and Odessa regions. The objectives of the research were to study the changes in the physical and physicochemical properties of southern chernozems, ordinary chernozems, dark chestnut soils and soddy soils with a different texture. The irrigation water was of different salinity and quality due to the saturation with mineral salts of fertilizers. The study revealed that irrigation with water of different quality leads to the differentiation of their properties along the soil profile and depending on the distance from the drip water outlets.

In the wetting zone the physical properties are favourable for plants and soils. Drip irrigation causes structural heterogeneity vertically along the soil profile while the maintenance of row spacings influences horizontally (distance from water outlets). The soil density within the wetting zone were 1.0-1.1 times lower compared to the plots without irrigation. The physicochemical properties depended on the quality of irrigation water and were influenced by the fertilization systems. Their effect decreased with the distance from the wetting zone and fully stopped within the row spacings. The pH, absorbed cations, N, P and K contents varied highly. The CV in the wetting zone greatly changes when applying organic fertilizers and these changes are positive both for soil properties and for soil productivity.

The research revealed that irrigation water of the first and second quality classes does not cause the accumulation of soluble salts over 0.2% and is distributed uniformly within the soil profile. The total amount of salts in the wetting zone rises to 0.4% when using the irrigation water of the third class. During irrigation the water soluble salts are concentrated in limited amount of moistened soil in the root zone. Then, along with precipitation they migrate to deeper layers and can spread to the middle of row spacings if their concentration is more than 0.3-1.0%, which is typical for irrigation water of the second and third classes.

**KEY WORDS:** Water quality, Spatial variability of soil properties, Drip irrigation

#### RESUME

L'article présente les résultats de la recherche sur les plantations de plantes vivaces irriguées par goutte et qui sont différentes selon les schémas de plantation, l'assortiment de variétés et les technologies d'irrigation et de culture. Ils sont situés en Ukraine dans les régions de Kherson, Mykolaiv et Odessa. Les objectifs de la recherche étaient d'étudier les changements dans les propriétés physiques et physico-chimiques des chernozems du sud, des chernozems ordinaires, des sols de marrons foncés et des sols gazonnés avec une texture différente. L'eau

1 Senior Researcher, Institute of water problems and land reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, Vasykivska str. 37, Ukraine, 03022, E-mail: usataya\_l@ukr.net<sup>1</sup>, Tel: +38-050-7280092

2 Leading Researcher, Institute of water problems and land reclamation of NAAS of Ukraine, Kyiv, Vasykivska str. 37, Ukraine, 03022, E-mail: srbkov@gmail.com<sup>2</sup>, Tel: +38-050-3589829

d'irrigation était de la salinité et de la qualité différentes en raison de la saturation avec des sels minéraux d'engrais. L'étude a révélé que l'irrigation à l'eau de qualité différente conduit à la différenciation de leurs propriétés le long du profil du sol et en fonction de la distance par rapport aux sorties d'eau goutte à goutte.

Dans la zone de mouillage, les propriétés physiques sont favorables aux plantes et aux sols. L'irrigation goutte à goutte provoque une hétérogénéité structurelle verticalement le long du profil du sol, tandis que le maintien des espaces entre des rangs influence horizontalement (la distance de sortie d'eau). La densité du sol dans la zone de mouillage était de 1,0 à 1,1 fois plus faible par rapport aux sections sans irrigation. Les propriétés physico-chimiques ont dépendu de la qualité de l'eau d'irrigation et étaient influencées par les systèmes de fertilisation. Leur effet a diminué avec la distance de la zone de mouillage et complètement arrêté dans les espaces des rangées. Le pH, les cations absorbés, les teneurs en N, P et K ont varié largement. Le CV dans la zone de mouillage change fortement lors de l'application d'engrais organiques et ces changements sont positifs à la fois pour les propriétés du sol et pour la productivité du sol.

La recherche a révélé que l'eau d'irrigation de la première et de la deuxième qualité ne cause pas d'accumulation de sels solubles sur 0,2% et est répartie uniformément dans le profil du sol. La quantité totale de sels dans la zone de mouillage s'élève à 0,4% lors de l'utilisation de l'eau d'irrigation de la troisième qualité. Au cours de l'irrigation, les sels solubles dans l'eau sont concentrés dans une quantité limitée de sol humidifié dans la zone de racine. Ensuite, avec les précipitations, ils migrent vers des couches plus profondes et peuvent se répandre au milieu des espaces des rangs si leur concentration est supérieure à 0,3-1,0%, ce qui est typique de l'eau d'irrigation des deuxième et troisième qualités.

**Mots-clés:** La qualité de l'eau, La variabilité spatiale des propriétés du sol, l'irrigation goutte à goutte

## The Application of Precast Concrete Structure on Rehabilitation of Waduk Kedung Ombo Irrigation System

L'application De Structure De Béton Préfabriqué Sur La Réhabilitation Du Système D'irrigation De Waduk Kedung Ombo

Erin Priandini<sup>1</sup>, Haeruddin C. Maddi<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The Waduk Kedung Ombo (WKO) Irrigation Systems, located in Central Java - Indonesia, covers the irrigation command areas of Sidorejo (7,938 ha), Sedadi (16,055 ha) and Klambu (37,451 ha). Built during 1988-1991, the system has reached its technical service lifetime. The condition of irrigation infrastructures has suffered severe damage such as levee landslide, broken concrete beam, water leaking and erosion on bottom of canal. This condition resulted in low irrigation efficiency and service functions. A comprehensive approach to the WKO irrigation system is now being implemented through the rehabilitation programme funded by the Indonesian budget from 2015-2018. Based on soil investigation at 150 points, the soil type on the three irrigation command areas can be classified as soft soil dominated by silt clay type of CH, OH, MH and CL. The Plasticity index (IP) varies between 28% -35% and the Liquid Limit (LL) varies between 52% - 66%. The soil exhibits swelling and shrinkage behaviour influenced by water content fluctuation. The soil has low bearing capacity that can lead to instability on irrigation channel embankment. Precast concrete lining and cast in situ concrete beam as a beam stiffener are dedicated to protect channel surface, both at lining wall and bottom of channels at several locations, with the aim to prevent erosion. The use of precast concrete tile as irrigation channel lining is implemented with consideration of faster implementation of construction, guaranteed concrete quality, and ease of construction supervision. The result shows that maximum swelling pressure capability is 2.58 kg/cm<sup>2</sup> and 11.74% in percentage of swelling. Therefore at several location, where the swelling pressure are quite high, such construction designs are sufficient to retain external load of swelling pressure itself. Thus additional Steel Sheet Pile (SSP) and or minipile are attached at the bottom, middle and top of channel slope in order to support precast structure to gain a better stability of irrigation canal levee. Installation of SSP and minipile as dike reinforcement can increase the safety factor of embankments from 1.1 to 1.7.

**KEY WORDS:** Expansive soil, swelling pressure, precast concrete.

### RÉSUMÉ

Les systèmes d'Irrigation de Waduk Kedung Ombo (WKO), situé au centre de Java - Indonésie, couvrent les domaines de commande d'irrigation de Sidorejo (7 938 ha), Sedadi (16 055 ha) et Klambu (37 451 ha). Construit entre 1988 et 1991, le système a atteint sa durée de vie de service technique. L'état des infrastructures d'irrigation a subi de graves dommages tels que le glissement de la digue, poutre de béton cassé, fuite d'eau et érosion sur le fond du canal. Cet état conduit à des fonctions de service et de rendement faible de l'irrigation. Une approche globale pour le système d'irrigation de WKO est maintenant appliquée à travers le programme de réhabilitation financé par le budget indonésien de 2015-2018. Sur la base d'une enquête du sol sur 150 points, le type de sol sur les trois domaines de commande

<sup>1</sup> River Basin Management Organization of Pemali Juana, Ministry of Public Works and Housing, Jl. Brigjend. Sudiarto 375, Semarang 50191, Central Java, Indonesia; E-mail: erin\_priandini@yahoo.com andher45\_pu@yahoo.com

d'irrigation peut être classé comme sol mou dominé par type de limon argileux de CH, OH, MH et CL. L'indice de plasticité (IP) varie entre 28 % -35 % et la limite liquide (LL) varie entre 52 et 66 %. Le sol présente un comportement gonflement et de rétrécissement influencé par fluctuation contenu de l'eau. Le sol a une faible portance qui peut conduire à une instabilité sur les berges du canal d'irrigation. Le revêtement de préfabriqués béton et le coulage de poutre en béton sur le site en tant que renfort de faisceau sont supposés protéger la surface du canal, tant au revêtement de mur et le fond des canaux en plusieurs endroits, dans le but de prévenir l'érosion. L'utilisation de panneau de béton préfabriqué comme doublure de canaux d'irrigation est mis en œuvre en tenant compte de la mise en œuvre plus rapide de la construction, qualité garantie du béton et facilité de supervision de la construction. Le résultat montre que maximum de capacité de pression de gonflement est de 2,58 kg/cm<sup>2</sup> et un pourcentage de gonflement de 11,74 %. Par conséquent, en plusieurs endroit, où la pression de gonflement est assez élevée, ces conception de construction sont suffisantes pour conserver la charge externe de pression de gonflement. Ainsi supplémentaires Steel Sheet Pile (SSP: Palplanche d'Acier), et/ou les mini-piles sont attachées au bas, au milieu et en haut de la pente du chenal afin de soutenir la structure préfabriquée pour obtenir une meilleure stabilité de la digue du canal d'irrigation. L'installation de SSP et mini-pile en tant que renforcement de digue peuvent augmenter le coefficient de sécurité de remblais de 1,1 à 1,7.

**Mots clés :** sol gonflant, pression, de gonflement de béton préfabriqué.

## Gravity Based Pressurised Irrigation in the Command of a Minor Irrigation Project

Irrigation Sous Pression À Base De Gravité Dans La Charge D'une Prise D'eau D'un Projet D'irrigation À Petite Echelle

Pradeep Bhalage<sup>1</sup> and S T Sangle<sup>2</sup>

### ABSTRACT

It is often argued that water that seeps through the canal network finds its way to the groundwater and is ultimately available for use further downstream, of course by lifting it and at a cost. Creation of surface water reservoirs also requires huge cost. This is not affordable on the background of water, funds and energy crises. A Water User Association (WUA), in the command of Nagthana Minor Irrigation project in the Amaravati District of Maharashtra State, India, has taken the advantage of significant water head between the water source and the command. It conveyed their water share from the project to the head of their command by underground PVC pipe line, keeping sufficient residual energy in the pipe system to operate pressurised irrigation in the entire command of their society. Adequate pressure for operating drip and sprinkler is available at each farm head. Drip irrigation is made mandatory for all the members of the WUA. They have made the operation and management easy, equitable and transparent. Details of this innovative scheme are highlighted in this paper. It is concluded that it is prudent to use available potential energy at the source, arrest the conveyance water loss and use the saved water for supporting high value crop or additional area for irrigation; saving the pumping energy and the cost.

**KEY WORDS:** Gravity pressure drip, Conveyance through PVC pipe line, Equitable.

### RESUME

Il est souvent avancé que l'eau qui s'écoule à travers le réseau de canal s'introduit dans les eaux souterraines et est finalement disponible pour plus d'utilisation en aval, bien sûr, en la soulevant et à un coût. La création de réservoirs d'eau de surface nécessite également d'énormes coûts. Ce n'est pas abordable dans le contexte de l'eau, des fonds et des crises énergétiques. Une association d'usagers de l'eau (AUE), dans la charge d'une prise d'eau du projet d'irrigation à petite échelle de Nagalana dans le district d'Amaravati, dans l'État de Maharashtra, en Inde, a profité de la présence d'eau importante entre la source d'eau et la charge d'une prise d'eau. Elle a transmis sa partie d'eau du projet à la tête de sa charge de prise d'eau par un tuyau souterrain en PVC, en conservant une quantité suffisante d'énergie résiduelle dans le système de tuyau pour faire fonctionner l'irrigation sous pression dans toute la charge d'une prise d'eau de sa société. Une pression adéquate est disponible pour le fonctionnement de l'irrigation goutte à goutte et des asperseurs à chaque tête de ferme. L'irrigation par goutte à goutte est rendue obligatoire pour tous les membres de l'AUE. Ils ont rendu l'exploitation et la gestion faciles, équitables et transparentes. Les détails de ce schéma novateur sont mis en évidence dans cet article. On conclut qu'il est prudent d'utiliser l'énergie potentielle disponible à la source, d'arrêter la perte d'eau de transport et d'utiliser l'eau économisée pour soutenir une culture de haute valeur ou une zone supplémentaire pour l'irrigation; en économisant l'énergie de pompage et le coût.

**Mots clés:** Irrigation goutte à goutte sous la pression à base de gravité, transport par tuyau en PVC, équitable.

1 Water and Land Management Inst., Aurangabad (M.S), India pradeepbhalage@yahoo.co.in

2 Dr Babasaheb Ambedkar Marathwada University, Aurangabad (M.S), India sanglest@yahoo.co.in

## Reinforcing Knowledge for the Integrated Management of Treated Wastewater in Mexico

### Renforcant La Connaissance De La Gestion Intégrée De L'utilisation Des Eaux Usées Traitées Au Mexique

Olga Xóchitl Cisneros Estrada<sup>1</sup>, Heber Saucedo<sup>2</sup> and Juan García Rojas<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

The issue of water must necessarily involve the management for its efficient use, including that of wastewater. However, to render wastewater usable, it has to be treated. Water consumption patterns in Mexico are distributed as follows: 76.3% for agriculture and livestock, 17% for drinking purposes, 5.1% for industry, 1.4% for aquaculture, and 0.2% for hydroelectric power generation. It is necessary to make an efficient use of water in agriculture, which is the sector that has the greatest consumption, including the management and promotion of wastewater reuse that may allow for the interchange of treated wastewater. The total volume of municipal wastewater generated in Mexico is estimated at 228.7 m<sup>3</sup>/s, and the treated flow at 111.3m<sup>3</sup>/s (CONAGUA, 2015), which means that, currently, an average of only 48.66% of the total volume is treated to improve its quality. In face of such evidence, it is clear that there is still a road ahead for wastewater to be treated in its entirety. In view of this, it is important to enhance the knowledge of integrated management for using wastewater in agriculture. To fulfil this objective, the Mexican Institute of Water Technology has published a book on Wastewater Reuse in Agriculture. This publication will be helpful for enhancing the technical capacities of the personnel responsible for water treatment and reuse.

Keywords: wastewater, reuse, irrigation, agriculture

#### RÉSUMÉ

La question de l'eau doit nécessairement impliquer la gestion pour une utilisation efficace, y compris les eaux usées. Cependant, pour rendre l'eau usée utilisable, elle doit être traitée. Le modèle de consommation d'eau au Mexique est réparti comme 76,3% pour l'agriculture et l'élevage, 17% pour consommation, 5,1% pour l'industrie, 1,4% pour l'aquaculture et 0,2% pour la production d'énergie hydroélectrique. Il est nécessaire d'utiliser efficacement l'eau dans l'agriculture, qui est le secteur qui a le plus de consommation, y compris la gestion et la promotion de la réutilisation des eaux usées qui peuvent permettre l'échange des eaux usées traitées. Le volume total des eaux usées municipales générées au Mexique est estimé par 228,7 m<sup>3</sup> / s et le débit traité par 111,3 m<sup>3</sup> / s (CONAGUA, 2015), ce qui signifie que, actuellement, une moyenne de seulement 48,66% du volume total est traitée pour améliorer sa qualité. Face à de telles preuves, il est clair qu'il y a encore un chemin à parcourir pour que les eaux usées soient traitées dans leur intégralité. Pour cela, il est important d'améliorer la connaissance de la gestion intégrée pour l'utilisation des eaux usées

- 1 Water Technologist, Mexican Institute of Water Technology, Irrigation and Drainage Division. Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. E-mail: xochitl@tlaloc.imta.mx.,hsaucedo@tlaloc.imta.mx. Phone +52 777 3 29 36 59.
- 2 Water Technologist, Mexican Institute of Water Technology, Irrigation and Drainage Division. Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. E-mail: xochitl@tlaloc.imta.mx.,hsaucedo@tlaloc.imta.mx. Phone +52 777 3 29 36 59.
- 3 Water Technologist - Mexican Institute of Water Technology - Water Treatment and Quality Division. Paseo Cuauhnáhuac # 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México. E-mail: jgarcia@tlaloc.imta.mx Phone +52 777 3 29 36 00 ext 381

dans l'agriculture. Pour atteindre cet objectif, l'Institut Mexicain des Technologies de l'Eau a publié un livre sur la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture. Cela aidera à renforcer les capacités techniques du personnel responsable du traitement et de la réutilisation des eaux.

**Mots-clés:** eaux usées, réutilisation, l'irrigation, l'agriculture.

## Modernization of Agricultural Production through Shared and Multi-User Pivots for Small Landholders

### Modernisation De La Production Agricole Par Le Biais De Pivots Partagés Et Multi-Utilisateurs Pour Les Petits Exploitants

Guy Fipps<sup>1</sup>, and Seydou Traore<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

In much of the world, agriculture is dominated by small landholders and subsistent food production. Due to the increasing competition for limited water supply and the need for food security, it's important to modernize agriculture in these countries. However, this has proven to be difficult, as small land holder farming lacks sufficient scale and economic return to pay for the investment needed. Multi-user and shared center pivots are increasing being promoted to address the "economics of scale" problem. In addition, with the right selection of water applicator technology, pivots can have irrigation efficiencies similar to drip with significant less maintenance requirements and on-going costs.

While the first multi-user center pivot known to exist was introduced in 2002 in Burkina Faso, in recent years, new projects have been implemented in several countries including Rwanda, Kenya and Ghana. The largest existing shared pivot developments are in Africa: the Kagitumba Irrigation Project in Rwanda consisting of 41 pivots installed in 2013-2014, and the Nasho Project, also in Rwanda consisting of 63 pivots completed in September 2016. For the Nasho Project, former dryland farmers are being organized and assigned to pivots. This is also the first multi-user pivot project known in Africa employing pumps with variable frequency drives.

In this paper, the concept of shared and multi-user concept is discussed, including observations and lessons learn from Known projects, opportunities and challenges. Definitions for multi-user and shared pivots are proposed, technical considerations for land division under pivots are given, as well as considerations in farmer organization and equipment specifications. Keys to success are likely the way farmers are organized, the degree of directive farming and technical assistance made available to farmers, as well as the design, operation and management of the pivots. This paper will evaluate these projects using these success keys.

**KEY WORDS:** Multi-user pivot, Agriculture modernization, Small land holders, Limited water.

#### RÉSUMÉ

Dans une grande partie du monde, l'agriculture est dominée par les petits exploitants et la production alimentaire subsistante. En raison de la concurrence croissante pour l'approvisionnement en eau limitée et la nécessité pour la sécurité alimentaire, il est important de moderniser l'agriculture dans ces pays. Cependant, cela s'est avéré pour être difficile, comme titulaire de petites terres agricoles n'a pas d'échelle suffisante et rendement économique pour payer les investissements nécessaires. Les pivots de centre multi-utilisateurs et partagés sont promus pour résoudre le problème de le « économie d'échelle ». En outre,

1 Professor and Extension Specialist-Irrigation, Water Management, Biological and Agricultural Engineering, 2117 Texas A&M University, College Station, TX 77843-2117, gfipps@tamu.edu

2 Extension Associate, Biological and Agricultural Engineering, 2117 Texas A&M University, College Station, TX 77843-2117, straore@tamu.edu



avec la sélection droite de technologie de l'eau applicateur, pivots peuvent avoir l'efficacité d'irrigation similaires au goutte à goutte avec significative moins d'entretien exigences et les coûts permanents.

Alors que le premier pivot centre multi-utilisateurs existant connu a été introduit en 2002 au Burkina Faso, ces dernières années, de nouveaux projets ont été réalisés dans plusieurs pays dont le Rwanda, le Kenya et le Ghana. Les développements de pivot partagés existants plus importants se trouvent en Afrique : le projet d'Irrigation de Kagitumba au Rwanda composé de 41 pivots installés en 2013-2014 et le NashoProject, également au Rwanda, composée de 63 pivots, achevés en septembre 2016. Pour le projet Nasho, les anciens paysans des terres arides sont organisés et assignés à des pivots. C'est aussi le premier projet de pivot multi-utilisateurs connu dans les pompes employant l'Afrique avec une fréquence variable.

Dans cet article, on traite le concept du concept partagé et multi utilisateur, y compris les observations et leçons tirent des projets connus, les possibilités et les défis. Les définitions pour les pivots multi-utilisateurs et partagés sont proposées, des considérations techniques pour la division des terres sous pivots sont données, ainsi que de considérations organisation paysanne et spécifications de l'équipement. Les clés du succès sont sans doute la façon dont les agriculteurs sont organisés, le degré d'agriculture de la directive et d'assistance technique mis à la disposition des agriculteurs, ainsi que la conception, l'exploitation et la gestion des pivots. Ce document permettra d'évaluer ces projets à l'aide de ces clés de succès.

**Mots clés :** Multi-utilisateurs pivot, modernisation de l'Agriculture, les détenteurs de petites terres, eau limitées.

## Increasing Water use Efficiency in Irrigation Districts by Improving Surface Irrigation

Augmentation De L'efficacité De L'utilisation De L'eau Dans Les  
Districts D'irrigation Par L'amélioration De L'irrigation De Surface

Pérez-Nieto, S<sup>1</sup>.; Hernández-Saucedo, F. R.<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Surface (or gravity) irrigation is practiced over 90% of the irrigated area in Mexico. To increase water use efficiency and productivity at the plot level and, the National Water Commission (CONAGUA) has implemented the project "Technified Surface Irrigation" (RIGRAT) in more than 20 irrigation districts, with the goal to cover a total area of 0.2 million hectares (M ha).

The main actions of the projects are 1) training and technical assistance for users on learning irrigation design, layout and application; 2) land leveling; 3) agronomic and hydraulic design of irrigation and water application; 4) follow-up of irrigation in real time; and, finally, 5) water measurement and payment on a volumetric basis.

The benefits and impacts of the project are evaluated mainly with the indicators Increase in Application Efficiency (IAE, %), Water Savings with the Project (WSP, '000' m<sup>3</sup>) and Increase in Yield with the Project (IYP, t/ha). In view of highly satisfactory values of these indicators, the project can be recommended for other irrigation districts in Mexico.

Spate irrigation, a floodwater harvesting and management system, has for the past 70 centuries, provided livelihood for resource poor people. At present it serves about 13 million people in some 20 countries. Despite being the oldest, however, the system still remains the least studied and the least understood. It is only in the past two decades that the system was subject to some modernization interventions, much of which focused on improving floodwater diversion efficiency. Effective floodwater diversion measures are necessary, but they must be supplemented with equally effective field water distribution, soil moisture conservation as well as agronomic and agro-forestry

**KEY WORDS:** Surface Irrigation, efficiency, technical assistance.

### RÉSUMÉ

L'irrigation de surface (ou gravité) est pratiquée dans plus de 90 % de la superficie irriguée au Mexique. Pour augmenter l'efficacité de l'eau utilisée et la productivité à l'échelle de la parcelle, la Commission Nationale de l'Eau (CONAGUA) a mis en place le projet « Irrigation de Surface Moderne » (RIGRAT) dans plus de 20 districts d'irrigation, dans le but de couvrir une superficie totale de 0,2 millions d'hectares (M ha).

Les principales actions des projets sont 1) formation et assistance technique pour les utilisateurs sur l'apprentissage d'irrigation conception, mise en page et l'application ; 2) terres de nivellement ; 3) design agronomique et hydraulique d'application de l'irrigation et l'eau ; 4) suivi de l'irrigation en temps réel ; et, enfin, 5) mesure et paiement sur une base volumétrique de l'eau.

1,2 Profesores Investigadores del Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Carr. México-Texcoco km 38.5; c.p. 56230; Chapingo, Estado de México; México. E mails: sperezn@correo.chapingo.mx; saucedoh@correo.chapingo.mx

Les avantages et les impacts du projet sont évalués principalement avec les indicateurs, augmentation de l'efficacité de l'Application (IAE, %), les économies d'eau avec le projet (WSP, '000' m<sup>3</sup>) et augmentation du rendement avec le projet (PIJ), t/ha). Compte tenu des valeurs très satisfaisantes de ces indicateurs, le projet peut être recommandé pour les autres districts d'irrigation au Mexique.

L'irrigation de la vague, un système de récolte et gestion des crues, a pour les 70 siècles passés, fourni de moyens de subsistance des pauvres personnes-ressources. À l'heure actuelle, il sert environ 13 millions de personnes dans 20 pays. En dépit d'être le plus ancien, cependant, le système reste le moins étudié et le moins bien compris. C'est seulement dans les deux dernières décennies que le système a fait l'objet de certaines interventions de modernisation, dont une grande partie axés sur l'amélioration efficacité de détournement de crue des eaux. Les mesures efficaces de détournement des eaux de crue sont nécessaires, mais elles doivent être complétées par la distribution de l'eau tout aussi efficace dans les champs, la conservation de l'humidité des sols ainsi qu'agronomique et agroforesterie

**Mots clés** : Irrigation de surface, efficacité, assistance technique.

## Improvement of Effluent Quality using Bagasse Fly Ash in Combination with Sand Filter for Irrigation Supply

L'amélioration De La Qualité Des Effluents à L'aide Des Cendres Volantes a La Bagasse en Combinaison Avec Filtre De Sable Pour L'alimentation en Irrigation

Thitinun Pongnam<sup>1</sup> and Vichian Plermkamom<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Bagasse fly ash has a potential to remove colors, lignin, tannin, humic acid, etc. from the effluent of the pulp and paper mills industries and thereby improve the effluent quality. In this research, bagasse fly ash was used in combination with sand filter to absorb colors and other impurities from effluent. This study was conducted at wastewater treatment pond area of pulp and paper mill industry. With the constant layer thickness of bagasse fly ash, the result shown that when the effluent flow rate was adjusted to a higher value, the efficiency of color removal was reduced, with the maximum and minimum efficiencies of 86% and 67% and the effluent flow rates of 0.073 and 2 m<sup>3</sup>/d, respectively. The appropriate layer thickness of bagasse fly ash for color removal was between 5-10 cm. At lesser layer thickness of bagasse fly ash (5-7 cm), the performance of filtration was uncertain as well as unstable. As a consequence, the ability in color treatment dropped down rapidly when increasing the higher effluent flow rates. The efficiency of color removal was 94% at the effluent flow rates 0.45 m<sup>3</sup>/d with the bagasse fly ash layer thickness of 7 cm. When using the bagasse fly ash 8-10 cm of layer thickness, it gave a higher efficiency of color removal up to 97.22% at effluent flow rates 3.68 m<sup>3</sup>/d, with the bagasse fly ash layer thickness of 9 cm.

**KEY WORDS:** Pulp and paper mills industries, Removing colors in effluent, Bagasse fly ash, Sand Infiltration and Effluent Quality.

### RESUME

Les cendres volantes à la bagasse peuvent éliminer les couleurs, la lignine, le tanin, l'acide humique, etc. des effluents des industries des pâtes et papiers et ainsi améliorer la qualité des effluents. Dans cette recherche, la cendre volante à la bagasse a été utilisée en combinaison avec un filtre à sable pour absorber les couleurs et autres impuretés des effluents. Cette étude a été menée dans le secteur de l'étang de traitement des eaux usées de l'industrie des pâtes et papeteries. Avec l'épaisseur constante de la couche de cendres volantes de la bagasse, le résultat a montré que lorsque le débit de l'effluent a été ajusté à une valeur plus élevée, l'efficacité de l'élimination des couleurs a été réduite, avec une efficacité maximale et minimale de 86% et 67% et le taux de débit de l'effluent de 0,073 et 2 m<sup>3</sup> / j, respectivement. L'épaisseur de couche appropriée des cendres volantes à la bagasse pour l'élimination des couleurs était comprise entre 5 et 10 cm. À une épaisseur inférieure de la couche de cendres volantes (5 - 7 cm), la performance de la filtration était incertaine et instable. En conséquence, la capacité de traitement des couleurs a chuté rapidement en augmentant les débits d'effluents plus élevés. L'efficacité de l'élimination des couleurs était de 94% aux débits

1 Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand. E-mail: bronze132@hotmail.com

2 Water Resources and Environment Institute, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand. E-mail: vicple@kku.ac.th

d'effluents  $0,45 \text{ m}^3 / \text{j}$ , avec l'épaisseur de la couche de cendres volantes de bagasse de 7 cm. Lors de l'utilisation de la cendre de bagasse de 8 à 10 cm d'épaisseur de couche, il a donné une efficacité supérieure d'élimination des couleurs jusqu'à 97,22% aux débits d'effluents  $3,68 \text{ m}^3 / \text{j}$ , avec une épaisseur de couche de cendre de bagasse de 9 cm.

**Mots-clés:** les industries des pâtes et papeteries, l'enlèvement des couleurs dans les effluents, les cendres volantes à la bagasse, l'infiltration de sable et la qualité des effluents.

## Rain Gun Sprinkler Irrigation System

### Système D'irrigation De Pistolet D'arrosage En Pluie

Dilip Yewalekar and Manisha Kinge<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Rain Gun Sprinkler Irrigation System is suitable for irrigation of standing crops when crops are in danger due to extreme water stress. During water stress condition, crop just needs water to survive. Important feature of Rain Gun Sprinkler System is that it can bring soil to field capacity in short time. Thereby least water depth (moisture) in soil can be achieved to wet root zone of crops for sustainable growth and achieve least yield during season instead of nothing. Means instead of losing the yield, crop season, efforts & income, grower can succeed in getting least yield & income by utilizing limited water. Even in low available volume of water (<500 m<sup>3</sup>), only Rain Gun Sprinkler Irrigation can irrigate 1ha area where no other irrigation system is proficient to irrigate 1ha area.

Rain Gun Sprinkler Irrigation System is suitable for all kinds of crops, soils and undulating topography. Moreover, it is most suitable at the place where no other irrigation system like Centre Pivot and Flood Irrigation is proficient to irrigate the area in limited water.

Rain Gun Sprinkler Irrigation System is a cost effective system among all kinds of system and is preferably provided under movable or portable fashion. In portable system, entire irrigation system including piping network mainly consists of HDPE pipes with Quick Coupling mechanism with male/female clamps, to be connected/disconnected easily in the field while irrigating the crops. Such kind of systems is very friendly in operation, robust, sturdy, and easy to operate and maintenance free. Also requires less water and power and mainly suitable for irrigation crops like Maize, Wheat, Oil Seeds, Lettuce, Alfalfa, Vegetables, Water Melon, Rice, Lawn, Turf, Fodder, Tea & Coffee. Apart from irrigation purpose, Rain Gun Sprinklers are suitable for environmental control like Dust Suppression at Coal & Iron mines, Waste Water Treatment and Firefighting.

#### RÉSUMÉ

Le système d'Irrigation de pistolet d'arrosage en pluie convient pour l'irrigation des récoltes sur pied quand les cultures sont en danger dû à un stress hydrique extrême. Au cours de l'état de stress de l'eau, les cultures ont juste besoin d'eau pour survivre. Une caractéristique importante du système de pistolet d'arrosage est qu'il peut rendre le sol à capacité au champ en peu de temps. Ainsi la profondeur minimale de l'eau (humidité) dans le sol peut être réalisée pour mouiller la zone racinaire des plantes pour une croissance durable et atteindre moins de rendement au cours de la saison au lieu de rien. Ce qui signifie qu'au lieu de perdre le rendement, la saison des récoltes, l'effort & le revenu, le cultivateur peut réussir à obtenir le moindre rendement & revenu utilisant de l'eau limitée. Même dans le faible volume disponible de l'eau (<500 m<sup>3</sup>), seul l'Irrigation par pistolet d'arrosage peut irriguer une zone de 1 ha.

Le système d'Irrigation de pluie de pistolet d'arrosage convient pour toutes sortes de cultures, les sols et topographies vallonnées. En outre, il est le plus approprié à l'endroit où aucun autre système d'irrigation Pivot et Irrigation d'inondation n'est compétent pour irriguer la zone en eau limitées.

<sup>1</sup> The authors are from Jain Irrigation Systems Ltd, Jalgaon 425001 India; E-mails are, respectively, [yewalekar.dilip@jains.com](mailto:yewalekar.dilip@jains.com) and [kinge.manisha@jains.com](mailto:kinge.manisha@jains.com)

L'irrigation par pistolet arroseur en pluie est un système rentable parmi toutes sortes de système et est fourni de préférence en mode mobile ou transportable. Dans le système portable, le système d'irrigation entier y compris le réseau de canalisations principalement se compose de tubes en PEHD avec mécanisme de couplage rapide avec pinces homme/femme, d'être connecté/déconnecté facilement dans le domaine tout en irriguant les cultures. Ce type de systèmes est très convivial d'utilisation, solide, robuste et facile à utiliser et sans entretien. Il nécessite également moins d'eau et électricité et principalement appropriée aux cultures d'irrigation comme le maïs, blé, graines oléagineuses, laitue, luzerne, légumes, eau Melon, riz, pelouse, gazon, fourrage, thé & Café. En plus de l'irrigation, les arroseuses Pistolet en Pluie sont appropriées pour le contrôle de l'environnement comme la Suppression de la poussière dans les mines de charbon & fer, le traitement des eaux usées et la lutte contre les incendies.

## Small Tank Cascade Systems, their Restoration and Sustainable Management

Systèmes En Cascade De Petit Réservoir, Leur Restauration Et Gestion Durable

G.M.C.A.Perera<sup>1</sup>

### ABSTRACT

There are 20000 small tanks and 10,000 anicuts, feeding 250,000 hectares (30% of the total irrigable area) in Sri Lanka. These systems contribute nearly 195,000 million tons of rice to national production (20% of national production). The natural drainage system in a watershed is blocked by earth bunds in suitable locations to store water, forming a series of tanks along the drainage system, distributed within a micro-catchment of the dry zone. Such series are called village tank cascade systems.

Traditionally, in dry zone of Sri Lanka there is at least tank in each village. The village community makes multiple uses of the tank water. The multiple uses are drinking and domestic uses, bathing, inland fisheries and for the cattle. Increased water storage will also contribute towards maintaining the groundwater table.

This paper will focus to a project carried out in dry zone area under Mahadambe tank cascade system to achieve sustainable livelihoods for local communities.

**KEY WORDS:** Small Tanks, Cascade, Rice, Drainage, Micro-catchment, Productivity, Management, Food security, Fisheries, Ecosystem, Cropping Intensity.

### RÉSUMÉ

Il y a 20000 petites citernes et 10 000 anicuts, alimentant 250 000 hectares (30 % de la superficie irrigable) au Sri Lanka. Ces systèmes contribuent près de 195 000 millions tonnes de riz de la production nationale (20 % de la production nationale). Le système de drainage naturel dans un bassin hydrographique est bloqué par des murets de terre dans des endroits appropriés pour stocker l'eau, formant une série de chars le long du système de drainage, distribués dans un micro-bassin versant de la zone sèche. Ces séries sont appelés systèmes de cascade village.

Traditionnellement, du réservoir à sec zone du Sri Lanka il y a au moins dans chaque village. La communauté villageoise permet des usages multiples de l'eau du réservoir. Les utilisations multiples boivent et usages domestiques, baignade, pêche continentale et pour le bétail. Le stockage d'eau accru contribuera également au maintien de la nappe phréatique.

Cet article se concentrera sur un projet mené dans une zone sèche avec un système de cascade de Mahadambe pour obtenir des moyens de subsistance durables pour les collectivités locales.

**Mots clés :** Petits bassins, Cascade, riz, Drainage, Micro-bassin versant, de productivité, de gestion, la sécurité alimentaire, pêches, écosystème, intensité de recadrage

<sup>1</sup> Civil Engineering Undergraduate, University of Moratuwa, Sri Lanka, <chamalanjana5@gmail.com>



## Optimizing Use of Water for Cotton Production Using Evapotranspiration-Based Irrigation Scheduling Technique in the Fergana Valley, Uzbekistan

Optimiser L'utilisation De L'eau Pour La Production De Coton À L'aide De  
Technique De Planification De D'irrigation Axée Sur L'évapotranspiration  
Dans La Vallée De Fergana, Ouzbékistan

Shukhrat Mukhamedjanov<sup>1</sup> and Azamat Mukhomedjanov<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Irrigated agriculture is the backbone of Central Asian economies and efficient irrigation management is of crucial importance to the sustainable crop production. The ET-based irrigation scheduling method has potential to replace subjective daily water management decisions at Water Users Association level with crop water demand-based decisions to improve on-farm water-use efficiency. Results from a two year study conducted in Fergana Valley of Uzbekistan showed that there can be a 25-34% saving of water without any significant change in yield when irrigation is applied using the ET-based scheduling method. The pilot plots are representative of 38% of irrigated area in Fergana Valley (241,407 ha). If this methodology is widely adopted by the WUAs, large amounts of water can be saved which can be diverted for horizontal expansion of agriculture or for other purposes such as supporting ecosystem services.

**Keywrds:** evapotranspiration, cotton, Uzbekistan.

### RÉSUMÉ

L'agriculture irriguée est l'épine dorsale des économies de l'Asie centrales et la gestion de l'irrigation efficace est d'une importance cruciale pour la production agricole durable. La méthode de calendriers d'irrigation ET d'après a le potentiel pour remplacer subjective quotidienne décisions de gestion de l'eau au niveau de la Water Users Association récolte l'eau basée sur la demande des décisions pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau à la ferme. Les résultats d'une étude menée sur deux ans dans la vallée de Fergana d'Ouzbékistan a montré qu'il peut y avoir une économie de 25 à 34 % d'eau sans variation significative de rendement lorsque l'irrigation est appliquée à l'aide de la méthode d'ordonnement ET. Les parcelles pilotes représentent 38 % de la superficie irriguée dans la vallée de Fergana (241 407 ha). Si cette méthode est largement adoptée par les usagers, grandes quantités d'eau peuvent être enregistrées, qui peut être détourné pour expansion horizontale de l'agriculture ou à d'autres fins, tels que le soutien des services écosystémiques.

**Mots clés :** évapotranspiration, coton, Ouzbékistan.

1 SIC ICWC, Uzbekistan, E-mail: shuhrat.shakir@mail.ru

2 SIC ICWC, Uzbekistan, E-mail: azamatm.84@mail.ru

## Drip Irrigation for Obtaining Good Harvests

### Technologie De Fonctionnement Des Systèmes D'irrigation De Drip Comme Prérequis Pour Obtenir Des Récolteurs Hautes Et Constantes

Rushena Kupiedinova<sup>1</sup>, Olga Marchenko, Ruslan Tkachuk

#### ABSTRACT

Drip irrigation is an advanced irrigation method. It allows water saving, efficient nutrient supply to the plants and gives high crop yield of better quality. However, it does not work efficiently when the irrigation eater has sediment concentration beyond a certain limit. Due to the very narrow water flow path through the emitters in a drip irrigation system, suspended matter in the irrigation water tends to clog the path and adversely affects the performance of the drip irrigation system. Filtering the irrigation water before it passes through the emitter is an indispensable procedure to avoid this problem. However, despite filtering, fine physical impurities do affect the water quality and gives rise to emitter clogging. It was *demonstrated* that sediment removal by hydraulic flushing *was provided by* water flow rate from 0.25 m/s and was sufficient to remove the sediment with particle size of 0.09 to 0.25 mm.

It was suggested to design of irrigation network as series-connected sections of pipe which diameter decreases in the direction of water flow (paten minimizing *reducing pressure* on irrigation network. It has been determined that chemical flushing is necessary to conduct as preventive method for maintenance of network efficiency. Stationary method of flushing by chemicals with a higher concentration of active compounds is necessary to apply at stable contamination.

**KEY WORDS:** Drip irrigation system, Drip emitter, Productivity, Chemical agent, Flushing

#### RÉSUMÉ

La détermination des régularités de base du changement des paramètres technologiques du réseau d'irrigation dans le processus d'exploitation est basée sur les propriétés gravitationnelles du mouvement conditionnellement du flux d'eau contaminé et des forces d'adhérence des sédiments avec la surface intérieure du tuyau d'irrigation et des émetteurs de gouttes. Il a été démontré que l'élimination des sédiments par rinçage hydraulique était fournie par un débit d'eau de 0,25 m/s et suffisait pour éliminer les sédiments avec une granulométrie de 0,09 à 0,25 mm.

On a suggéré la conception du réseau d'irrigation en tant que sections de tuyauterie connectées en série, ce qui diminue dans le sens de l'écoulement de l'eau (minimiser la réduction de la pression sur le réseau d'irrigation. Il a été déterminé que le rinçage chimique est nécessaire pour conduire comme méthode préventive pour la maintenance du réseau Efficacité. La méthode stationnaire de rinçage par des produits chimiques avec une concentration plus élevée de composés actifs est nécessaire pour appliquer à une contamination stable

<sup>1</sup> PhD, senior research fellow Institute of water problems and land reclamation, Vasylykivska, 37, Str.Kyiv, 03022 Ukraine E-mail: kupedinova@gmail.com

## Rigrat Action Proposal in Irrigation Districts Mocolito, Elota Piaxtla & Rio San Lorenzo

### Proposition D'action Rigrat Pour L'irrigation Dans Les Districts De Mocolito, Elota Piaxtla & Rio San Lorenzo

Castillo González J.A.<sup>1</sup>, Unland Weiss H.E.K.<sup>2</sup>, Olvera-Salgado M.D.<sup>3</sup>,  
Montiel Gutiérrez M.A.<sup>4</sup>, Pacheco Hernández P.<sup>5</sup>, and Herrera Ponce J.C.<sup>6</sup>

#### ABSTRACT

In Mexico, there are 86 irrigation districts covering an approximate agricultural area of 3.5 million hectares (M ha), at least 90% of which are surface irrigated with relatively poor application efficiencies; in some cases as low as 20%. The Mexican Water Commission (CONAGUA) has recently implemented a high-tech surface irrigation program called RIGRAT aiming at saving water by increasing gravity-fed irrigation efficiencies by at least 10%.

The main plot improvement method proposed to increase application efficiencies is land leveling, followed by irrigation recipes which require a reliable water supply registration system. The water application monitoring has allowed the participating districts to identify target plots where the greatest impact could be achieved by applying improved irrigation practices. Some of the actions that could be implemented in order to better meet the RIGRAT objectives are analyzed in this paper.

It is important to highlight that the implementation of a reliable measurement system is essential, since this based on this will be decided which actions are required and what is their order of priority. To achieve this goal, an installation of metering structures at each farm turnout is proposed, using scale-discharge meters initially equipped with a simple ruler. In a subsequent instrumentation stage, these structures could be equipped with a water level meter that allows for monitoring the change in water level over time.

**KEY WORDS:** Water savings, Irrigation efficiencies, Land Improvement.

#### RÉSUMÉ

Au Mexique, il y a 86 districts d'irrigation pour une superficie agricole approximative de 3,5 millions d'hectares (M ha), dont au moins 90 % sont des surfaces irriguées avec des efficacités d'application relativement pauvres ; dans certains cas aussi bas que 20 %. La Commission Mexicaine de l'Eau (CONAGUA) a récemment mis en place un programme d'irrigation de surface de haute technologie appelé RIGRAT visant à économiser l'eau en augmentant l'efficacité de l'irrigation gravitaire d'au moins 10 %.

La méthode d'amélioration principale proposée pour accroître l'efficacité de l'application est le nivellement de la terre, suivie par les recettes d'irrigation qui nécessitent un système d'enregistrement de l'approvisionnement en eau fiable. La surveillance d'applications de l'eau a permis aux districts participants d'identifier les parcelles de la cible, où le plus grand impact pourrait être atteint par l'application de pratiques d'irrigation améliorée. Certaines des actions qui pourraient être mises en œuvre afin de mieux atteindre les objectifs RIGRAT sont analysés dans le présent document.

<sup>1</sup> All authors are from Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, Morelos, Mexico. 62550. E-mail: 1jorgecas@tlaloc.imta.mx & Corresponding author; 2heunland@gmail.com; 3dolvera2007@yahoo.com.mx; 4mmontiel@tlaloc.imta.mx; 5ppacheco@tlaloc.imta.mx; 6jherrera@tlaloc.imta.mx.

Il est important de montrer que la mise en œuvre d'un système de mesure fiable est essentiel, puisque sur cette base seront décidées quelles actions sont nécessaires et quel est leur ordre de priorité. Pour atteindre cet objectif, une installation de mesure des structures à chaque branchement de la batterie de serveurs est proposée, à l'aide de compteurs échelle à décharge initialement avec une règle simple. Dans une étape ultérieure instrumentation, ces structures pourraient être équipés d'une jauge de niveau d'eau qui permet de surveiller le changement du niveau de l'eau au fil du temps.

**Mots clés :** Économies, efficacité de l'Irrigation, amélioration des terres de l'eau.

## Evaluating Agricultural Productivity and Water use Efficiency by Adopting Improved Irrigation Methods during Winter Groundnut at Semi-Arid Tropics

Évaluation De La Productivité Agricole Et De L'efficacité De L'utilisation De L'eau Par L'adoption De Méthodes Améliorées D'irrigation Des Arachides Pendant L'hiver Dans Des Zones Tropicales Semi-Arides

Suhas P Wani<sup>1</sup>, Rajesh Nune, Pushpraj Singh, Kaushal K Garg, and Gajanan Sawargaonkar

### ABSTRACT

Groundnut (*Arachishypogaea*) is one of the major oilseed crops largely grown in southern India. The livelihood of poor farmers in drought prone areas majorly depends on groundnut farming, which can be grown in two seasons (Pre-monsoon and Post-monsoon) of a year.

An experiment was conducted in 4 ha of Alfisol soil field block, with two groundnut cultivars (ICGV91114, ICGV0351) and different irrigation methods (sprinkler and drip) during post-monsoon season of 2016-17 at ICRISAT precisionfield (RP4). The field has shallow soil (<60 cm) and poor water holding capacity (10-12 cm/m). Entire field was divided into 8 blocks (each one ha) and fine Broad Bed and Furrow beds were prepared according to precision dimensions in Oct 2016. The seed sowing was done using Tropicultor in the last week of Nov 2016, after pre and post fungicide and herbicides measures were taken up. Balanced pest and nutrient management was followed in different blocks. Majorly, 3 types of sprinkler irrigation systems (Rain port, Macro and ICRISAT twin nozzle) were used in 3 blocks and drip irrigation system in 1 block for cultivating both the cultivars. Every block was installed with neutron probes up to 90 cm depth to observe the soil moistures at every fortnight in the entire crop season. The need based irrigation schedule was followed using Water Impact Calculator and exact time and amount of irrigation was recorded.

The average pod yield obtained for ICGV91114 and ICGV0351 were 1150 kg/ha and 1675 kg/ha, respectively. Maximum pod yield of 1880 kg/ha and 1650 kg/ha was recorded in ICGV0351 and ICGV91114 under the micro sprinkler system by achieving water productivity of 0.37 kg/m<sup>3</sup> and 0.30 kg/m<sup>3</sup>, respectively. Need based irrigation application helped in achieving WUE by 80-95% as most of the irrigated water is consumed by crop and little (10-15%) generated percolation losses. This paper will be discussing performance of different irrigation system; and water saving due to application of need based irrigation to the fields.

**KEY WORDS:** Type of Irrigation, Groundnut crop, Irrigation Management.

### RÉSUMÉ

L'Arachide (*Arachishypogaea*) est l'un des principaux oléagineux cultivé dans une grande partie du sud de l'Inde. Les moyens de subsistance des agriculteurs pauvres dans les zones sujettes à la sécheresse dépendent majoritairement de la culture de l'arachide, qui peut être cultivée en deux saisons (précédant la mousson et post mousson) d'une année.

Une expérience a été menée dans 4 ha de bloc de champ de sol Alfisol, avec deux cultures d'arachide (ICGV91114, ICGV0351) et des méthodes différentes d'irrigation (arrosage et goutte à goutte) au cours de la saison de la mousson après 2016-17 au champs de l'ICRISAT

<sup>1</sup> International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics (ICRISAT), Patancheru 502 324, India, E-mail: s.wani@cgiar.org, r.nune@cgiar.org, k.garg@cgiar.org, G.Sawargonkar@cgiar.org, pushp\_hort@rediffmail.com

(RP4). Le champ possède des sols peu profonds (<60 cm) et une faible capacité de rétention d'eau (10-12 cm/m). Le champ entier a été divisé en 8 blocs (chacun de un ha) et des lits larges et des sillons fins ont été préparés selon les dimensions de précision en octobre 2016. Le semis de graines a été fait à l'aide de Tropiculor dans la dernière semaine de novembre 2016, après des mesures pré et post, fongicides et herbicides ont été repris. Une gestion équilibrée d'antiparasitaires et des éléments nutritifs a été suivie dans les différents blocs. Majoritairement, 3 types de systèmes d'irrigation de gicleurs (port de pluie, buse double Macro et ICRISAT) ont été utilisés dans les 3 blocs et système d'irrigation goutte à goutte dans 1 bloc pour cultiver les deux cultivars. Chaque bloc a été installé avec des sondes neutron jusqu'à 90 cm de profondeur pour observer l'humidité du sol à tous les quinze jours pendant la saison de la récolte entière. Le calendrier d'irrigation selon nécessité a été suivi à l'aide de la calculatrice d'Impact de l'eau et l'heure exacte et la quantité d'irrigation a été enregistrée.

Le rendement de gousse moyenne obtenu pour ICGV91114 et ICGV0351 were 1150 kg/ha et 1675 kg/ha, respectivement. De 1880 kg/ha de rendement maximal pod et 1650 kg/ha a été enregistré à ICGV0351 et ICGV91114 sous le système d'arrosage micro en réalisant l'eau productivité de 0.37 kg/m<sup>3</sup> et 0,30 kg/m<sup>3</sup>, respectivement. Besoin d'irrigation basé application aidée dans CIDP WUE par 80 à 95 % comme la plupart de l'eau d'irrigation est consommée par culture et peu (10-15 %) a généré pertes de percolation. Cet article discutera de performance du système d'irrigation différents ; et en raison de l'application de la nécessité d'économie d'eau d'irrigation dans les champs.

**Mots clés :** Type d'Irrigation, culture de l'arachide, gestion de l'Irrigation.

## Meteorological Parameters Sensitivity Analysis to Simplify of FAO Penman-Monteith Model Under Semi-Arid Conditions

### Analyse De Sensibilité Des Paramètres Météorologiques Pour Simplifier Le Modèle FAO Penman-Monteith Dans Les Conditions Semi-Arides

Elahe Kanani<sup>1</sup>, Hossein Dehghanisani<sup>2</sup>, Samira Akhavan<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Shortage of water is a challenge to agriculture in arid and semi-arid regions. For these regions, improving irrigation management to use water more precisely is needed. Improving evapotranspiration (ET) models and identifying factors governing reference ET can lead to formulation of strategy to precision irrigation and prevent water losses. A study was conducted in a pilot farm in Karaj, Iran, during 2014 to evaluate the factors affecting reference ET of the FAO Penman-Monteith (P-M) model in a semi-arid environment. The corn ET obtained from the P-M model applying single and dual crop coefficients and pan evaporation were compared with lysimeter measurements. In addition to providing the correction between these methods, a simple equation was presented to estimate crop ET using FAO P-M model and applying the effective meteorological parameters in the model. According to the results corn ET obtained from P-M model applying dual crop coefficients with RMSE = 0.69 mm/day had the best performance compared to lysimeter measurements. Considering the statistical indicators, corn ET using dual crop coefficient had lower RMSE and a greater correlation compared to other methods. Corn ET obtained from pan evaporation with applying single and dual crop coefficients was in the next place. Sensitivity analysis of reference ET to changes in meteorological variables was conducted by increasing and decreasing  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  and  $\pm 30\%$  an individual climate variable holding the other variables constant.

Results indicated that under Karaj climate condition, maximum temperature, wind speed, and relative humidity had stronger effects on reference ET, than sunshine duration and minimum temperature. After sensitivity analysis and determining the sensitive factors in the FAO P-M equation, multivariate regression was performed using SPSS software between sensitive parameters and the calculated  $ET_0$  by FAO P-M. Although the FAO P-M equation is widely used around the world, but due to its large meteorological data requirement, it has limited applicability. Accordingly, a simpler approach by using FAO P-M equation with effective meteorological parameters was provided. Based on the results, it can be deduced that if the temperature, wind speed or relative humidity was exacerbated at a particular period of time, a sharp increase in reference ET and subsequently increase crop water requirement will be inevitable.

**KEY WORDS:** Precision irrigation management, Evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, Meteorological parameters, Pan evaporation, Sensitivity analysis.

#### RESUME

La pénurie d'eau pose un défi à l'agriculture dans les régions arides et semi-arides. Dans ces régions, il est nécessaire d'améliorer la gestion d'irrigation pour utiliser l'eau plus précisément. L'amélioration des modèles d'évapotranspiration (ET) et les facteurs d'identification qui

1 Master Student, Department of Water Engineering, Bu-Ali Sina University. Hamadan, Iran. Email: el.kanani@yahoo.com

2 Associate Researcher, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran. P.O. Box 31585-845 Email: h.dehghanisani@areo.ir

3 Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. Email: akhavan\_samira@yahoo.com

régissent l'ET de référence peuvent conduire à la formulation d'une stratégie d'irrigation de précision et à prévenir les pertes d'eau. Une étude a été menée dans une ferme pilote à Karaj, en Iran, en 2014 pour évaluer les facteurs affectant la référence ET du modèle FAO Penman-Monteith (P-M) dans un environnement semi-aride. L'ET de maïs obtenu à partir du modèle P-M appliquant des coefficients culturels unique et double et le bac d'évaporation a été comparé en utilisant le lysimètre. En plus de fournir la correction entre ces méthodes, une équation simple a été présentée pour estimer l'Evapotranspiration d'un couvert (ET) en utilisant le modèle FAO P-M et en appliquant les paramètres météorologiques efficaces dans le modèle. Selon les résultats, l'ET de maïs obtenu à partir du modèle P-M appliquant double coefficients culturels avec RMSE = 0,69 mm/jour a eu la meilleure performance par rapport aux mesures du lysimètre. Compte tenu des indicateurs statistiques, l'ET de maïs utilisant double coefficients culturels a une RMSE plus faible et une corrélation plus élevée par rapport aux autres méthodes. L'ET de maïs obtenu à partir de bac d'évaporation avec l'application des coefficients culturels unique et double a été dans l'étape suivante. L'analyse de sensibilité de l'ET de référence aux changements dans les variables météorologiques a été réalisée en augmentant et en diminuant  $\pm 10$ ,  $\pm 20$  et  $\pm 30\%$ , une variable climatique individuelle tenant d'autres variables constantes.

Les résultats indiquent que dans le cadre de la condition climatique de Karaj, la température maximale, la vitesse du vent et l'humidité relative exercent des effets plus importants sur l'ET de référence, que la durée du soleil et la température minimale. Après analyse de sensibilité et détermination des facteurs sensibles dans l'équation P-M de la FAO, la régression multivariée a été effectuée avec l'aide du logiciel SPSS entre les paramètres sensibles et l'ET<sub>0</sub> calculé par FAO P-M. Bien que l'équation P-M de la FAO soit largement utilisée dans le monde, mais en raison de ses grandes exigences en matière de données météorologiques, elle a une applicabilité limitée. En conséquence, une approche simplifiée utilisant l'équation P-M de la FAO avec des paramètres météorologiques efficaces a été fournie. Sur la base des résultats, on peut déduire que si la température, la vitesse du vent ou l'humidité relative ont été exacerbées lors d'une période de temps donnée, une forte augmentation de l'ET de référence et une augmentation ultérieure des besoins en eau agricole seront inévitables.

**Mots clés :** Gestion de l'irrigation de précision, Evapotranspiration, FAO Penman-Monteith, Paramètres météorologiques, Bac d'évaporation, Analyse de sensibilité



## Performance of Surge Flow Irrigation in Mendoza, Argentina. Present and Potencial Efficiencies

Performance De L'Arrosage Par Pulsations Intermittentes A Mendoza,  
Argentina. Efficiencies Actuelles Et Potentielles

Catalina Romay<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Irrigation is crucial to global food supplies but its low efficiency has come under increasing criticism. In Argentina, 19% of its area is under cultivation, of which 7% is irrigated. It has been estimated that mean water use efficiency is about 30% due to flow irrigation) under gravity. A recent technological development in surface irrigation, *surge flow irrigation*, has made it possible to increase efficiency. With a prevalence of gravitational irrigation, the province Mendoza of Argentina has the largest irrigated area in the country. The objectives of this study were to: measure plot efficiencies of surge flow irrigation systems and compare them with those of traditional surface irrigation methods; determine potential efficiencies with simulation models; develop recommendations for better use of irrigation equipment; present a simple methodology for soil infiltration parameter determination, and assess its impact on distribution uniformity. Four irrigation treatments were considered: traditional with (RT c/p) and without slope (RT s/p), and surge flow with (RP c/p) and without slope (RP s/p). The response variables were application ( $E_a$ ), storage ( $E_{al}$ ) and distribution ( $E_{dist}$ ) efficiencies, and deep percolation ( $P_p$ ) and tailwater runoff ( $E_p$ ) ratios. In those cases in which the statistical data was significant, Scheffé's multiple comparison test was used for a 5% significance level. Surge flow irrigation in level furrows reached higher  $E_a$  values (79%) than traditional surface irrigation methods in "graded or level furrows" (69% and 29% respectively). Efficiencies were not significantly different when surge irrigation was applied to graded furrows. No significant differences were observed in  $E_{al}$  and  $E_{dist}$ .  $P_p$  and  $E_p$  were lower in level furrows and higher in graded furrows but there were no differences between irrigation methods. Optimization by adjusting design, flow and application time parameters makes it possible to reach higher  $E_a$  and lower  $P_p$  and  $E_p$ . The wide gap between field-measured and potential efficiencies shows that irrigation equipment is underutilized. This optimization method can be used as a quick tool to estimate the Kostiaikov-Lewis infiltration equation parameters, and to provide real-time monitoring and control of surface irrigation.

**KEY WORDS:** Irrigation efficiencies, surface irrigation, gravitational irrigation, surge flow irrigation.

### RÉSUMÉ

La pratique de l'arrosage a été cruciale pour fournir des aliments au monde, mais sa basse efficacité est d'avantage critiquée. L'Argentine possède 19 % de sa superficie cultivée, desquelles 7 % sont sous arrosage. L'estimation de l'efficacité moyenne de l'usage de l'eau est au alentour de 30 %, du a la prépondérance des systèmes d'arrosage continu. Le développement actuel en technologie de l'arrosage superficiel est l'arrosage par pulsations intermittentes (surge flow), qui permet d'atteindre une augmentation de l'efficacité. La province qui a la plus grande superficie sous arrosage en Argentine, c'est Mendoza, où prédomine

<sup>1</sup> Ing. Agr. MSc. Riego y Drenaje, Master Ingeniería en Regadío. Docente e Investigadora Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453-C1417DSE, CABA – Argentina. e-mail: romay@agro.uba.ar

l'arrosage continue, et où la technologie d'arrosage par pulsations intermittentes a apparu récemment. Son emploi implique l'adoption de nouvelles techniques en dessin et évaluation, qui sont importantes de connaître et d'analyser. Les objectifs proposés dans cette investigation sont : mesurer les efficacités à niveau de la parcelle des systèmes d'arrosage par pulsations intermittentes et les comparer au système d'arrosage continue; déterminer les efficacités potentielles moyennant des programmes de simulation; élaborer des recommandations pour améliorer le profit des équipes d'arrosages; présenter une méthodologie abrégée pour déterminer les paramètres d'infiltration du sol et analyser son impact sur l'uniformité de distribution. Les méthodes d'évaluation appliquées ont été celle de Keller et Bliesner (1980), Elliott et Walker (1982), et Chambouleyron et Morábito (1991). Chaque évaluation a été simulé avec le programme SIRMOD, et pour obtenir leurs optimisations, le débit et le temps d'application de l'eau ont été modifiés. Quatre traitements ont été considérés ; arrosage continue avec pente (RTc/p) et sans pente (RT s/p), arrosage par pulsations intermittentes avec pente (RP c/p) et sans pente (RP s/p). Les variables ont été les efficacités d'application ( $E_a$ ), de stockage ( $E_{al}$ ), de distribution ( $E_{dist}$ ), et les relations de percolation profonde ( $P_p$ ) et le glissement au pied ( $E_p$ ). Une analyse statistique de la variance factorielle simple et multifactorielles (2 x 2) de quatre facteurs pour les variables ont été réalisés. Les cas dont les réponses ont été significatives, une épreuve de comparaison multiple de Scheffé pour un niveau de signifiante de 5 % a été appliqué. L'arrosage par pulsations intermittentes sans pente atteint la valeur de  $E_a$  plus haute (79%) comparé à l'arrosage continue, sans et avec pente, (69 % ; 29 %). Quand cette technique s'utilise avec pente, les efficacités n'ont pas une différence significative. On observe pas des différences significatives en analysant  $E_{al}$ ,  $E_{dist}$ . La  $P_p$  et  $E_p$  diminue dans l'arrosage sans pentes, augmente dans l'arrosage avec pente, mais il n'y a pas de différence significative entre les systèmes d'arrosages. L'optimisation des paramètres de dessin, le débit et le temps d'application de l'eau permet d'obtenir les plus hautes valeurs de  $E_a$  réduisant  $P_p$  et  $E_p$ . La différence entre les efficacités mesurées dans la parcelles et les potentielles sont grandes, indiquant qu'il existe une sous utilisation des équipes d'arrosages. La méthode d'optimisation peut être utilisée comme un outil rapide pour estimer les paramètres de l'équation d'infiltration de Kostiaikov-Lewis et peut être appliqué pour gérer et contrôler l'arrosage gravitationnel en temps réel.

## Abstract of Papers received in Response to

### Q.61.2: Using ICT, remote sensing, control systems and modelling for improved performance of irrigation systems

Utilisation des TIC, télédétection, systèmes de contrôle, et la modélisation pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation

---

#### INDEX OF ABSTRACT

---

- |                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>R.61.2.01</b> | <b>Unsteady Flow Simulation for Canal-Field System in Irrigation District</b><br>La simulation de flux instable pour le système de canal dans le district d'irrigation<br>Shaohui Zhang, Di Xu, and Yinong Li, and Meijian Bai (China)  | 333 |
| <b>R.61.2.02</b> | <b>Modelling Groundwater Table Depth in Subsurface Drained Clay Soil with Different Drain Spacings using 3D Hydrological Model</b><br>La modélisation de la profondeur de la nappe phréatique dans un sol d'argile souterraine drainé avec différents espaces de drain utilisant un modèle hydrologique 3D<br>Heidi Salo, Lassi Warsta, Mika Turunen, Maija Paasonen-Kivekäs, Jyrki Nurminen, Markus Sikkilä, Laura Alakukku, Merja Mylly, Markku Puustinen, Helena Äijö, and Harri Koivusalo (Finland) | 335 |
| <b>R.61.2.03</b> | <b>A Real-Time Feedback Control System for Improving Agricultural Water-Use Efficiency of Basin Irrigation</b><br>Système de Contrôle de Rétroaction en Temps Réel pour Améliorer L'efficacité de L'utilisation de l'eau Agricole du Système d'irrigation par Bassins<br>C.L.Wu, D.Xu, M.J.Bai, Y.N.Li, and F.X.Li (China)  | 337 |
| <b>R.61.2.04</b> | <b>Intelligent Measurement and Monitoring of Irrigation Amount in the Well Irrigated Areas</b><br>Mesure intelligente et surveillance de la quantité d'irrigation dans les zones irriguées par les puits<br>Bai Jing, Xie Chongbao, and Gao Hong (China)  | 339 |
| <b>R.61.2.05</b> | <b>Comparing Three PI Tuning Methods for Downstream Water Level Control</b><br>Comparaison des trois méthodes de réglage PI pour le contrôle de niveau d'eau en aval<br>B.L. Stringam, B.T. Wahlin, and T.L. Wahl (Mexico)  | 341 |

- R.61.2.06 Cloud Computing Irrigation System of Water and Fertilizer Based on Dual-Line Decoder Technology** 343  
 Système d'irrigation Informatique en Nuage d'eau wt D'engrais sur la Base de la Technologie du Décodeur à Double Lignes  
 Yan Qinghong, Jiang Xinlan, Yuan Shuai, Ren Hejing, and Liu Qunchang (China)
- R.61.2.07 New Concept of using Folded Plate Structures in Flood Protection and River Training Works** 345  
 Un nouveau concept de l'utilisation de structures de tôles pliées en protection contre les inondations et les travaux de formation de rivière  
 A.K.Dinkar, and Alok Panday (India)
- R.61.2.08 The Practice of Ecological Emergency Water Diversion to Nansi Lake in 2014** 346  
 La pratique du détournement d'eau d'urgence écologique a lac nansi en 2014  
 Pu Qu, Xiuqing Wang, Si Li, Youbing Hu, and Yanhong Zhao (China)
- R.61.2.09 Design of Knowledge Management System for Accelerating Irrigation Modernization in Indonesia** 348  
 La conception du système de gestion des connaissances pour accélérer la modernisation de l'irrigation en indonésie  
 Lilik Sutiarmo, Sigit Supadmo Arif, and Murtiningrum (Indonesia)
- R.61.2.10 Evaluation and Improvement of Center-Pivot Irrigation Systems** 350  
 Évaluation et amélioration des systèmes d'irrigation À pivot central  
 Saif Hameed Abed Al-Katb (Iran)
- R.61.2.11 Water Resources Management through Remote Sensing Data** 352  
 Gestion des ressources en eau sur la base des données de télédétection  
 Uliia Danylenko , Yuriy Mykhailov ,Serhij Liutnitski, and Vsevolod Bohaienko (Ukraine)
- R.61.2.12 Estimation of The Irrigation Systems Efficiency by Remote Sensing** 354  
 Estimation de l'efficacité des systèmes d'irrigation par télécommande  
 Olena Vlasova , Anatoliy Shevchenko , Kateryna Shatkovska, and Mykhailo Ryabtsev (Ukraine)
- R.61.2.13 Increasing Irrigated Agricultural Production using ICT and Modern Management: A Case Study from Madhya Pradesh, India** 356  
 Augmentation de la production agricole irriguée utilisant les tic et la gestion moderne : etude de cas de Madhya Pradesh, Inde  
 Martin Burton, and Joop Stoutjesdijk (United Kingdom)

- R.61.2.14 RS Based Drought Monitoring to Map Irrigation Needs of Central Eastern European Region** 357  
 Surveillance de la Sécheresse avec télédétection pour cartographier le besoin d'irrigation de la région d'Europe centrale et orientale  
 Attila Nagy, János Tamás, and János Fehér (Hungary)
- R.61.2.15 Managerial Solutions to Improve Water Distribution in Irrigation Networks using ICSS Hydrodynamic Model** 359  
 Les solutions d'encadrement pour améliorer la distribution d'eau dans les réseaux d'irrigation en utilisant le modèle hydrodynamique ICSS  
 Ostovari S, Monem, M. J, and Hashemi Shahedani, S. M. (Iran)
- R.61.2.16 Faire plus, mieux et plus vite : les tics pour le développement et la gestion de la petite irrigation en Afrique de l'ouest** 360  
 Do more, better and fast: ICTS for development and management of small irrigation in West Africa  
 Caroline Figuères, François Onimus, and Clément Ouédraogo (The Netherlands)
- R.61.2.17 A DSS for Fertigation Management Based on a Growth and Transpiration Model for Greenhouse-Grown Tomatoes** 361  
 Une Gestion d'irrigation Fertilisante pour DSS, Basée sur une Croissance et une Transpiration Modèle pour les Tomates de Serre  
 A. Martinez-Ruiz, I.L. López-Cruz, A. Ruiz-García, J. Pineda-Pineda, and J.V. Prado-Hernandez (Mexico)
- R.61.2.18 Monitoring Performance of a Small Scale Irrigation System under El Nino Strike Using Remote Sensing** 363  
 Suivi de la Performance d'un Système D'irrigation à petite Échelle Sous L'attaque El Nino Utilisant la Teledetection  
 Revalin Herdianto (Indonesia)
- R.61.2.19 Multispectral Imagery Acquired from UAV Platforms for Robust Estimation of Corn Crop Coefficient** 365  
 Imagerie Multispectrale Acquis des Plateformes d'UAV pour une Estimation Robuste du Coefficient de Recolte de Maïs  
 Mariana De Jesús Marcial-Pablo, Waldo Ojeda-Bustamante, Ronald E. Ontiveros-Capurata, and Sergio I. Jiménez-Jiménez (Mexico)
- R.61.2.20 Application of Remote Sensing for Improvement of Maize Phenology Models Prediction** 367  
 Application de la Teledétection pour L'amélioration de la Prevision des Modèles de Phénologie de Maïs  
 Nozar Ghahreman, Mahdi Ghamghami, Parviz Irannejad, and Khalil Ghorbani (Iran)



## Unsteady Flow Simulation for Canal-Field System in Irrigation District

### La Simulation De Flux Instable Pour Le Systeme De Canal Dans Le District D'irrigation

Shaohui Zhang<sup>1</sup>, Di Xu<sup>2</sup>, Yinong Li<sup>3</sup>, Meijian Bai<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

A simulation model for unsteady water flows in canal-field system is proposed based on one-dimensional diffusive wave equation in networks and two-dimensional diffusive wave equation in canal-network and field. Meanwhile, one-dimensional Richards equations was applied to describe soil water motion. The finite-volume approach with implicit scheme was applied to simultaneously solve the governing equations, and a fully coupled model for canal-field system was developed. The water distribution process by control gates was as the inner boundary of the model and flow quantity/gate opening can be easily set. Additionally, crop water requirement and evapotranspiration were not taken into account in the developed model because only one day was considered in this study.

The experiment was done on October 20, 2015 in Yehe irrigation district of Hebei province, China to validate the proposed coupled model. The experiment area includes a lateral canal and five terminal canals (forming a network), and 4 ha field. Before experiment, the soil samples with vertical 1m in 60 positions of field were collected to obtain the parameters of Richards equation. The canals spatial distribution and their cross-section were measured as the model input parameters. The practical control processes of gates were as the inner boundary of the model. Additionally, the field surface relative elevation data were measured as 10×10m grid. The flow quantity/water depth in every canals' heads were measured. The inflow and the surface water advance/recession in field were observed. These measured data was applied to validate the model performance. The results show that, the simulated unsteady water flows in canals and field were good agreement with the measured data.

Finally, the proposed model was applied to optimize the water distribution and gate control in the experiment area. The optimized solution revealed that the water consumption could reduce by about 21% compared to present situation and the irrigation efficiency and uniformity were 0.8. The optimized solution was applied to irrigation management of experiment area in October 17, 2016. The water consumption reduced by about 17%. Consequently, the proposed model provides a suitable tool for water distribution in canal-field system.

**KEY WORDS:** Unsteady flow; simulation; water distribution; canal; field.

- 1 Senior Engineer, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China (corresponding author) zhangsh@iwhr.com
- 2 Professor, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China. xudi@iwhr.com
- 3 Professor, National Center of Efficient Irrigation Engineering and Technology Research, China Institute of Water Resources and Hydropower Research. 20 West Chegongzhuang Rd., 100048 Beijing, China. liyinong@iwhr.com
- 4 Professor, State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, A-1 Fuxing Road, 100038 Beijing, China. baimj@iwhr.com

## RESUME

Un modèle de simulation pour les flux d'eau instables dans le système de champ-canal est proposé en fonction de l'équation d'onde diffusive unidimensionnelle dans les réseaux et l'équation d'ondes diffusives bidimensionnelles dans le réseau canal et le champ. Pendant ce temps, l'équation unidimensionnel de Richards a été appliquée pour décrire le mouvement de l'eau et du sol. L'approche en volume fini avec un schéma implicite a été appliquée pour résoudre simultanément les équations de régulation, et un modèle entièrement couplé pour le système de canal-champ a été développé. Le processus de distribution d'eau par les portes de contrôle est comme la frontière intérieure du modèle et la quantité de débit / d'ouverture de la porte peuvent être facilement définies. En outre, les besoins en eau des cultures et l'évapotranspiration n'ont pas été pris en compte dans le modèle développé car seul un jour a été considéré dans cette étude.

L'expérience a été faite le 20 octobre 2015 dans le district de Yehe dans la province de Hebei, en Chine, pour valider le modèle couplé proposé. La zone expérimentale comprend un canal latéral et cinq canaux terminaux (formant un réseau) et un champ de 4 ha. Avant l'expérience, les échantillons de sol de 1 m vertical dans 60 positions de champ ont été recueillis pour obtenir les paramètres de l'équation de Richards. La distribution spatiale des canaux et leur section transversale ont été mesurés comme paramètres d'entrée du modèle. Les processus pratiques de contrôle des portes étaient comme la frontière intérieure du modèle. En outre, les données d'élévation relative de la surface du champ ont été mesurées comme une grille de 10m X 10m. La quantité de débit / la profondeur de l'eau dans les têtes de chaque canal ont été mesurées. L'afflux et l'avance / la récession de l'eau de surface dans le champ ont été observés. Ces données mesurées ont été appliquées pour valider les performances du modèle. Les résultats montrent que, l'écoulement simulé des flux d'eau dans les canaux et le champ ont été au bon accord avec les données mesurées.

Enfin, le modèle proposé a été appliqué pour optimiser la distribution de l'eau et le contrôle de la porte dans la zone de l'expérience. La solution optimisée a révélé que la consommation d'eau pourrait diminuer d'environ 21% par rapport à la situation actuelle et que l'efficacité et l'uniformité de l'irrigation étaient de 0,8. La solution optimisée a été appliquée à la gestion de l'irrigation de la zone expérimentale le 17 octobre 2016. La consommation d'eau a diminué d'environ 17%. Par conséquent, le modèle proposé constitue un outil approprié pour la distribution d'eau dans le système de canal-champ.

**Mots-clés:** le flux instable; la simulation; la distribution d'eau; le canal; la champ.



## Modelling Groundwater Table Depth in Subsurface Drained Clay Soil with Different Drain Spacings using 3D Hydrological Model

### La Modélisation Du Profondeur De La Nappe Phreatique Dans Un Sol D'argile Souterraine Drainé Avec Différents Espaces De Drain Utilisant Un Modèle Hydrologique 3D

Heidi Salo<sup>1</sup>, Lassi Warsta, Mika Turunen, Maija Paasonen-Kivekäs, Jyrki Nurminen, Markus Sikkilä, Laura Alakukku, Merja Myllys, Markku Puustinen, Helena Äijö, and Harri Koivusalo

#### ABSTRACT

In Nordic countries a proper field drainage ensures suitable conditions for cultivation practices and improves trafficability of clay soil during spring after snow melt prior to the growing season. In clay soils with low hydraulic conductivity, the functioning of the installed subsurface drainage system is imperative. The objective of this study was to investigate groundwater table depth and water balance outflow components with different subsurface drainage configurations using mathematical modelling and data collected from an experimental clayey field section (1.7 ha, slope < 1%) in southern Finland. The model application was based on data recorded during 2008–2014. The original tile drainage (16 m drain spacing) was improved with a supplementary drainage (resulting in 8 m drain spacing) in June 2008. The model simulations were carried out using the 3-dimensional (3-D) FLUSH model, which is a spatially distributed model simulating year-round hydrological processes in cultivated clay fields with subsurface drainage systems. The model uses two overlapping pore domains (matrix and macropores) to describe preferential flow in the soil. Drainage systems, envelope material, trench and the surrounding soil layers were explicitly defined in 3-D soil blocks.

A set of model scenarios with different drain spacing values (8, 16 and 32 m) and parameterizations of soil properties (C1–C5) were run in drain spacing scale. The soil parameterizations were derived from the data without calibration against measured hydrological variables. The model performance was tested by comparing the simulations results to the field data. The effect of drain spacing and macroporous clay soil on field drainage capacity was investigated by comparing the scenarios to each other. The effect of the drain spacing on site hydrological processes was stronger when the spacing was changed from 16 to 32 m than from 8 to 16 m. Drain spacing had a clear effect on groundwater table depth during spring (Mar–May) and on the relative shares of the water outflow components. Long-term modelling studies with field data are rare but useful as a tool for assessing field hydrological processes during hydrologically different periods.

**KEY WORDS:** Clay soils, subsurface drainage, 3-D modelling.

#### RESUME

Dans les pays nordiques, un drainage de terrain adéquat assure des conditions appropriées pour les pratiques de culture et améliore la circulation du sol argileux au printemps après la fonte des neiges avant la saison de croissance. Dans les sols en argile à faible conductivité hydraulique, le fonctionnement du système de drainage

<sup>1</sup> Doctoral candidate in Water and Environmental Engineering Research Group; University School of Engineering, Department of Build environment, Finland; E-mail: heidi.salo(at)aalto.fi

souterrain installé est impératif. L'objectif de cette étude était d'étudier la profondeur de la nappe phréatique et les composantes de l'équilibre et le débit de l'eau avec différentes configurations de drainage souterrain en utilisant la modélisation mathématique et les données recueillies à partir d'une section expérimentale de champ argileux (1,7 ha, pente <1%) dans le sud de la Finlande. L'application du modèle était basée sur les données enregistrées au cours de la période 2008-2014. Le drainage sous carrelage d'origine (espacement de drainage de 16 m) a été amélioré avec un drainage supplémentaire (résultant en un espacement de drain de 8 m) en juin 2008. Les simulations de modèles ont été réalisées à l'aide du modèle FLUSH 3-dimensionnel (3-D), qui est un modèle réparti spatialement simulant des processus hydrologiques de toute l'année dans les champs d'argile cultivés avec des systèmes de drainage souterrains. Le modèle utilise deux domaines de pores se chevauchant (matrice et macropores) pour décrire le flux préférentiel dans le sol. Les systèmes de drainage, le matériau de l'enveloppe, les tranchées et les couches environnantes du sol ont été explicitement définis dans les blocs de sols 3-D.

Un ensemble de scénarios de modèles avec différentes valeurs d'espacement de drain (8, 16 et 32 m) et les paramètres des propriétés du sol (C1-C5) ont été exécutés dans l'échelle d'espacement des drainages. Les paramètres de sol ont été dérivés des données sans étalonnage par rapport aux variables hydrologiques mesurées. La performance du modèle a été testée en comparant les résultats des simulations aux données de terrain. L'effet de l'espace de drainage et du sol d'argile macropore sur la capacité de drainage sur le terrain a été étudié en comparant les scénarios les uns avec les autres. L'effet de l'espacement des drains sur les processus hydrologiques sur site était plus fort lorsque l'espacement était passé de 16 à 32 m que de 8 à 16 m. L'écartement des drains a eu un effet clair sur la profondeur de la nappe phréatique au printemps (mars-mai) et sur la part relative des composants des débits d'eau. Les études de modélisation à long terme avec des données du terrain sont rares mais utiles en tant qu'outil d'évaluation des processus hydrologiques sur le terrain pendant les périodes hydrologiques différentes.

**Mots-clés:** les sols en argile, le drainage souterrain, la modélisation 3-D.

## A Real-Time Feedback Control System for Improving Agricultural Water-Use Efficiency of Basin Irrigation

Système De Contrôle De Rétroaction En Temps Réel Pour Améliorer L'efficacité De L'utilisation De L'eau Agricole Du Systeme D'irrigation Par Bassins

C.L.Wu<sup>1,2</sup>, D.Xu<sup>1,2</sup>, M.J.Bai<sup>1,2</sup>, Y.N.Li<sup>1,2</sup>, F.X.Li<sup>1,2</sup>

### ABSTRACT

At present, the ability to control basin irrigation processes is relatively poor, which results in low agricultural water-use efficiency in China. The study of real-time feedback control technologies has important theoretical and practical significance, as it can help surface irrigation processes improve agricultural water use efficiency. Real-time feedback control technology for surface irrigation is to estimate the infiltration characteristics of the soil by collecting part of the irrigation information based on real-time measured surface water flow movement data during an irrigation event, then it can forecast the entire process of irrigation with the aid of an irrigation model. The purpose of this study is to utilize real-time data to control the whole irrigation process precisely. This study has two key research foci: First, the estimating method of the infiltration parameters for real-time feedback system need to be determined. This study adopts optimized reverse method to estimate the infiltration parameters, and it chose the minimum average relative error between the measured and simulated values of advance time and surface water depth as the object function. Second, an irrigation measuring device is developed, which constitute a water depth measuring device and a wireless receiving information management device. The irrigation information can be real-time measured and sent to the control system through this irrigation measuring device system. This study has established the real-time feedback control system of surface irrigation, which includes real-time irrigation information acquisition and transmission module, and a central controller. Real-time irrigation information acquisition and transmission module is used to measure and transmits real-time surface water flow movement data. The central controller is used as the core of the real-time feedback control system, which can optimize infiltration parameters, simulate the whole process of irrigation, and generate a real-time control strategy. The proposed system has been applied in some irrigation districts and it has been demonstrated to comprehensively and effectively improve agricultural water-use efficiency.

**Keyword:** Real-time feedback control, agricultural water-use efficiency, basin irrigation.

### RESUME

À l'heure actuelle, la capacité de contrôler les processus d'irrigation du bassin est relativement faible, ce qui se traduit par une faible efficacité de l'utilisation de l'eau agricole en Chine. L'étude des technologies de contrôle de rétroaction en temps réel porte une importance théorique et pratique, car elle peut aider les processus d'irrigation de surface pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau agricole. La technologie de contrôle de rétroaction en temps réel pour l'irrigation de surface consiste à estimer les caractéristiques d'infiltration du sol en recueillant une partie de l'information d'irrigation sur la base des données de mouvement de l'eau de surface mesurées en temps réel au cours d'un événement d'irrigation, puisqu'elle peut prévoir l'ensemble du processus d'irrigation à l'aide d'un modèle d'irrigation. Cette étude vise à utiliser les données en temps réel pour contrôler l'ensemble du processus

1 State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin

2 China Institute of Water Resources and Hydropower Research 20 West Chegongzhuang Rd., Beijing 100048, China, 309386475@qq.com

d'irrigation précisément. Cette étude comporte deux principaux foyers de recherche: D'abord, la méthode d'évaluation des paramètres d'infiltration pour le système de rétroaction en temps réel doit être déterminée. Cette étude adopte une méthode inverse optimisée pour estimer les paramètres d'infiltration et elle a choisi l'erreur relative moyenne minimale entre les valeurs mesurées et simulées du temps d'avance et de la profondeur de l'eau de surface en fonction de l'objet. Deuxièmement, un dispositif de mesure d'irrigation est développé, qui constitue un dispositif de mesure de la profondeur de l'eau et un dispositif de réception sans fil de gestion de l'information. L'information sur l'irrigation peut être calculée en temps réel et envoyée au système de contrôle grâce à ce système d'appareil de mesure d'irrigation. Cette étude a mis en place le système de contrôle de rétroaction en temps réel de l'irrigation de surface, qui comprend un module d'acquisition et de transmission d'informations sur l'irrigation en temps réel et un contrôleur central. Le module d'acquisition et de transmission d'informations sur l'irrigation en temps réel est utilisé pour mesurer et transmettre les données en temps réel du mouvement de l'écoulement de l'eau de surface. Le contrôleur central est utilisé comme base du système de contrôle de rétroaction en temps réel, qui peut optimiser les paramètres d'infiltration, simuler l'ensemble du processus d'irrigation et générer une stratégie de contrôle en temps réel. Le système proposé a été appliqué dans certains districts d'irrigation et il a été démontré de manière globale et efficace qu'il a augmenté l'efficacité de l'utilisation de l'eau agricole.

**Mots-clés :** Contrôle de rétroaction en temps réel, efficacité de l'utilisation de l'eau agricole, irrigation par bassins.

## Intelligent Measurement and Monitoring of Irrigation Amount in the Well Irrigated Areas

Mesure Intelligente Et Surveillance De La Quantite D'irrigation  
Dans Les Zones Irrigées Par Les Puits

Bai Jing<sup>1</sup>, Xie Chongbao<sup>2</sup>, Gao Hong<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Groundwater is the main source for irrigation in North China where the surface water is inadequate. Most of the well-irrigated areas in China lack in water measurement and control. So, the farmers pay only for the electricity consumed in pumping water but not for the water used. This causes overuse of groundwater. A measurement and monitoring method for well irrigated areas is proposed in the paper.

For real-time monitoring and management of irrigation wells, it is necessary to install flow-meters with output signal and control terminals on the well, which are used to measure, store the irrigation water data and control pumps. The ultrasonic flow-meter is chosen to measure water amount in irrigation. Equipped with communication module, the control terminals can send irrigation data to the designated management platform where the managers analyze and monitor the situation of the wells and the quantity of water consumption. There are three kinds of controlling pumps methods, like smart card control, remote control and automatic control. Pre-paid smart card control is selected taking the user convenience, village conditions, and reliability into account. Each family has only one smart card and it can use in different wells for irrigation. According to the needs, management platforms in different levels such as city, county, water station and village are set up. Limits of authority vary as the level of management platform.

To identify a meter from among a large number, a coding method is introduced to recognize a flow-meter immediately. Through the unique coding identification, the installation, maintenance, replacement, scrap and other information of agricultural irrigation wells metering facilities will be got easily. And the method aims to achieve personalized and fine management of metering facilities.

Through the measurement and monitoring technology, the irrigation water amount and distribution are easily obtained and the facilities are identified from time to time.

**KEY WORDS:** irrigation amount; real-time management; unique coding; well management.

### RESUME

L'eau souterraine est la principale source d'irrigation en Chine du Nord où l'eau de surface est insuffisante. La plupart des zones irriguées en Chine ne possède pas le mesure et le contrôle de l'eau. Ainsi, les agriculteurs ne paient que pour l'électricité consommé par l'eau de pompage mais pas pour l'eau utilisée. Cela provoque une utilisation excessive des eaux

1 China Irrigation and Drainage Development Center.Guang'anmen South Street 60,XichengDistrict,Bei Jing China.E-mail:625542020@qq.com

2 China Irrigation and Drainage Development Center.Guang'anmen South Street 60,XichengDistrict,Bei Jing China.E-mail:xchb@263.net

3 China Green Water International Consulting Co.,Ltd.Guang'anmen South Street 60,XichengDistrict,Bei Jing China.E-mail:gaohong129@sina.com

souterraines. Une méthode de mesure et de surveillance pour les zones bien irriguées est proposée dans le document.

Pour la surveillance et la gestion en temps réel des puits d'irrigation, il est nécessaire d'installer des débitmètres avec signaux de sortie et bornes de contrôle sur le puits, qui sont utilisés pour mesurer, stocker les données d'eau d'irrigation et les pompes de contrôle. Le débitmètre ultrasonique est choisi pour mesurer la quantité d'eau d'irrigation. Equipés d'un module de communication, les bornes de contrôle peuvent envoyer les données d'irrigation à la plate-forme de gestion désignée où les gestionnaires analysent et surveillent la situation des puits et la quantité de consommation d'eau. Il existe trois types de méthodes de pompes de contrôle, tels que le contrôle de carte à puce, la télécommande et le contrôle automatique. Le contrôle de carte à puce prépayé est sélectionné en tenant compte du confort de l'utilisateur, des conditions du village et de la fiabilité. Chaque famille n'a qu'une seule carte à puce et elle peut être utilisée dans différents puits pour l'irrigation. Selon les besoins, les plates-formes de gestion sont installées à différents niveaux tels que la ville, le comté, la station d'eau et le village. Les limites d'autorité varient en fonction du niveau de la plate-forme de gestion..

Pour identifier un compteur parmi un grand nombre, une méthode de codage est introduite pour reconnaître immédiatement un débitmètre. Grâce à l'identification unique du codage, l'installation, l'entretien, le remplacement, la ferraille et d'autres informations concernant les installations de comptage des puits d'irrigation agricoles seront facilement obtenues. Et la méthode vise à assurer une gestion personnalisée et fine des installations de comptage.

Grâce à la technologie de mesure et de surveillance, la quantité et la repartition de l'eau d'irrigation sont facilement obtenues et les installations sont identifiées de temps en temps.

**Mots clés :** Quantité d'irrigation; gestion en temps réel; codage unique; gestion du puits.

## Comparing Three PI Tuning Methods for Downstream Water Level Control

### Comparaison Des Trois Méthodes De Réglage PI Pour Le Contrôle De Niveau D'eau En Aval

B.L. Stringam<sup>1</sup>, B.T. Wahlin<sup>2</sup>, T.L. Wahl<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

Proportional integral derivative (PID) control methods have been used successfully to develop controllers for numerous processes in industry for many years. However, the proportional integral (PI) controller is more stable than using all three components for downstream control design of irrigation canals. This paper examines three methods for tuning and designing PI controllers for downstream control: Iterative, Ziegler Nichols and Bump Tuning. The methods are evaluated using 3 criteria:

1. How easy each method is to understand and utilize;
2. Effectiveness of tuning;
3. Potential for practical application on an actual canal in the field.

Based on the analysis, it was determined that the Iterative method was the easiest to understand but requires an experienced design engineer to operate it. The method also requires more time to implement. The Ziegler Nichols control method is slightly more difficult to understand than the Iterative method. However, easy-to-follow steps have been provided by industry that help in the development of control gains. This design method provides optimal gain values but the canal reach would be subjected to oscillating wave movement. It would likely require a substantial amount of time to determine the PI gains on an actual canal reach because it takes time to adjust the proportional gain to obtain the required design data. The Bump Tuning method is slightly more difficult to understand than either of the other 2 design methods. However PI gains can be determined with a minimal amount of time and effort if the design procedure is followed. Controller design is determined by initiating a small sudden flow rate increase or decrease into the canal and measuring the response in the downstream water level. This method provides the control design engineer with a tool that can be used directly on a canal to provide suitable control gains. This method is less time consuming and theoretically it should require less time to obtain the needed data to derive the PI gains. It should be pointed out that all of these design methods require the necessary control unit and instrumentation on the upstream and downstream end of the canal reach so that reach inflow and downstream water levels can be measured and recorded.

**KEY WORDS:** Water level control, Proportional integral controller, Bump Tuning , Ziegler Nichols control, Controller design.

#### RÉSUMÉ

Dérivée intégrale proportionnelle (PID) méthode de control a été utilisé avec succès pour le développement des contrôleurs pour nombreux processus dans l'industrie pendant plusieurs années. Cependant, le contrôleur intégral promotionnel (PI) est plus stable que d'utilisé les trois composants pour la conception de contrôle en aval des canaux d'irrigation. Cet article examine trois méthodes de réglage et de conception des contrôleurs PI pour le control en

1 New Mexico State University, Dept of PES, PO Box 30003, Las Cruces, New Mexico, blairs@nmsu.edu  
 2 West Consultants, Inc. 8950 South 52nd Street, #210, Tempe, Arizona, bwahlin@westconsultants.com  
 3 Bureau of Reclamation, PO Box 25007, Denver, Colorado, twahl@usbr.gov

aval : itérative, Ziegler Nichols et Bump réglages. Les méthodes sont évalué en utilisant trois critères :

1. Quel est la facilité de comprendre et d'utiliser chaque méthode ;
2. Efficacité du réglage ;
3. Possibilité d'application pratique sur un canal réel dans le domaine.

Sur la base de l'analyse, ça été déterminé que la méthode itérative était la plus facile de comprendre. La méthode itérative exige qu'un ingénieur concepteur expérimenté entre une meilleure estimation pour un gain proportionnel et observer la réponse du système à une perturbation dans le système de canal. L'ingénieur de conception effectuerait alors des ajustements au gain proportionnel jusqu'à ce que le contrôleur ait répondu de manière satisfaisante. Ensuite, le gain intégral serait déterminé, testé et ajusté. Cette méthode nécessite une longue période de temps pour mettre en œuvre et il existe un risque de mauvaise performance d'un ingénieur de contrôle inexpérimenté en utilisant la méthode itérative. La méthode de contrôle Ziegler Nicholas est légèrement plus difficile à comprendre que la méthode itérative. Cependant les étapes faciles à suivre ont été fournies par l'industrie qui aident dans le développement des gains de contrôle. Les gains PI sont déterminés en introduisant d'abord un gain proportionnel et en augmentant le gain jusqu'à ce que le système oscille en continu. Cette méthode de conception fournit des valeurs de gain optimales, mais la portée du canal serait soumise à un mouvement d'onde oscillant. Il faudrait probablement beaucoup de temps pour déterminer les gains de PI sur une portée du canal réelle (au lieu des simulations par ordinateur) car ça prend du temps pour ajuster le gain proportionnel pour obtenir les données de conception requises. Les oscillations harmoniques qui se produiraient au niveau de l'eau en aval se situeraient dans un rayon de 2 ou 3 cm, ce qui peut ou non être acceptable en fonction du temps nécessaire pour obtenir les données de mesure requises. La modélisation informatique peut être utilisée pour déterminer les gains PI qui pourraient être transférés sur le terrain une fois qu'ils sont déterminés. La méthode Bump réglage est légèrement plus difficile à comprendre que l'une des deux autres méthodes de conception. Cependant, les gains de PI peuvent être déterminés avec un minimum de temps et d'effort si la procédure de conception est suivie. La conception du contrôleur est déterminée en déclenchant une petite augmentation soudaine du débit ou une diminution dans le canal et la mesure de la réponse dans le niveau d'eau en aval. Cette méthode fournit à l'ingénieur de conception de contrôle un outil qui peut être utilisé directement sur un canal pour fournir des gains de contrôle appropriés. Cette méthode nécessite moins de temps et, théoriquement, il devrait nécessiter moins de temps pour obtenir les données nécessaires pour dériver les gains PI. Il convient de souligner que toutes ces méthodes de conception nécessitent l'unité de commande et l'instrumentation nécessaires sur l'extrémité amont et aval de la portée du canal afin d'atteindre les débits d'entrée et les niveaux d'eau en aval mesurés et enregistrés.



## Cloud Computing Irrigation System of Water and Fertilizer Based on Dual-Line Decoder Technology

Système D'irrigation Informatique En Nuage D'eau Et D'engrais Sur La Base De La Technologie Du Décodeur À Double Lignes

Yan Qinghong<sup>1</sup> Jiang Xinlan<sup>1</sup> Yuan Shuai<sup>2</sup> Ren Hejing<sup>1</sup> Liu Qunchang<sup>1</sup>

### ABSTRACT

In order to solve the problem inefficient use of water and fertilizer, the paper proposed an intelligent cloud irrigation system based on the technology of dual-line decoding and cloud computing to manage water and fertilizer integrated for protected agriculture. The system composed of Intelligent cloud irrigation control system, automatic machine of integration of water and fertilizer, and water saving irrigation with high efficiency. The system via dual-line decoding technology, use a variety of sensors to collect the parameters of crop growth environment for each individual facilities agriculture in real-time. Then, all kinds of collected data are timely transmitted and stored in cloud data management platform. Thereafter, using the ability of calculation and analysis from cloud calculated cluster, scientifically determine water and fertilizer needs, irrigation and fertilization system in protected agriculture under different environmental conditions for crop growth, to achieve intelligent control of water and fertilizer integration. The system is of great importance in guiding protected agricultural facilities to achieve high yield, high quality, ecology and safety in production. Two application examples in planting bases of protected agriculture, show that, as compared to the traditional irrigation methods, the intelligent cloud irrigation system based on the technology of dual-line decoding and cloud computing to manage water and fertilizer integrated for protected agriculture, improved the water use efficiency by 25~40 percent, fertilizer use efficiency by 15~35 percent, shortened labor time and decreased labor force sharply.

**KEY WORDS:** Integrated management of water and fertilizer; dual-line decoding; cloud computing; internet of things; protected agriculture.

### RESUME

Afin de résoudre le problème de l'utilisation inefficace de l'eau et des engrais, le document a proposé un système d'irrigation intelligent en nuage basé sur la technologie du décodage à double lignes et de l'informatique en nuage pour gérer le système intégré de l'eau et des engrais pour l'agriculture protégée. Le système est composé d'un système intelligent en nuage de contrôle de l'irrigation, d'une machine automatique d'intégration de l'eau et des engrais et d'une économie d'eau avec une grande efficacité. Le système via une technologie de décodage à double lignes utilise une variété de capteurs pour recueillir en temps réel les paramètres de l'environnement de croissance des cultures pour chaque installation agricole individuelle en temps réel. Ensuite, toutes sortes de données recueillies sont transmises en temps opportun et stockées sur une plate-forme de gestion des données en nuage. Par la suite, l'utilisation de la capacité de calcul et d'analyse à partir d'un groupe calculé par un nuage, détermine scientifiquement les besoins en eau et fertilisants, l'irrigation et la fertilisation dans l'agriculture protégée dans différentes conditions environnementales pour la croissance des cultures, afin d'assurer un contrôle intelligent de l'intégration de l'eau et des engrais. Le système est d'une grande importance pour guider les installations agricoles protégées pour

<sup>1</sup> China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

<sup>2</sup> Politecnico di Milano, Milan 20133, Italy

obtenir un rendement élevé, une qualité élevée, une écologie et une sécurité de production. Deux exemples d'application dans la plantation de bases de l'agriculture protégée montrent que, par rapport aux méthodes d'irrigation traditionnelles, le système intelligent d'irrigation en nuage basé sur la technologie du décodage à double lignes et de l'informatique en nuage pour gérer le système intégré de l'eau et des engrais à l'agriculture protégée, a amélioré l'efficacité de l'utilisation de l'eau de 25 à 40 pour cent, l'efficacité de l'utilisation des engrais de 15 à 35 pour cent, a réduit le temps de travail et a diminué considérablement la main d'œuvre active.

**Mots clés :** Gestion intégrée de l'eau et des engrais; Décodage à double ligne; informatique en nuage; internet des objet; agriculture protégée

## New Concept of Using Folded Plate Structures in Flood Protection and River Training Works

Nouveau Concept De L'utilisation De Structures De Tôles Pliées Pour La Protection Contre Les Inondations Et Les Travaux De Formation De Rivière

A.K.Dinkar<sup>1</sup> and Alok Panday<sup>2</sup>

### ABSTRACT

India has many rivers, large and small, originating and flowing across the country. One of the key components of river training & channelization works is earth retaining and bank stabilizing structures. Traditionally such structures are made of massive stone masonry/PCC walls or RCC walls with or without counterforts. As large amount of funds are being pumped every year in the country for river training & channelization works, an initiative has been taken by the authors to optimize cost of the same. The paper discusses the use of folded plate type earth retaining and bank stabilizing structures which are proposed to be constructed in the country and are important part of river training & channelization works. Comparisons have also been made between folded plate type and other traditionally used earth retaining and bank stabilizing structures.

**KEY WORDS:** bank stabilization, cost optimization, ductility, earth retaining structures, folded plates, river training works.

### RÉSUMÉ

L'Inde a de nombreuses rivières, grandes et petites, originaires ou simplement circulant à travers le pays. Un des éléments clés des travaux de formation de rivière & des travaux de canalisation est le soutènement de la terre et la stabilisation des structures des berges. Traditionnellement, ces structures sont faites de murs de maçonnerie de pierre massive/PCC ou murs RCC avec ou sans contreforts. Comme la grande quantité de fonds est pompée chaque année dans le pays pour les travaux de formation & canalisation de rivière, une initiative a été prise par les auteurs pour optimiser le coût de la même. Le document traite de l'utilisation de tôles pliées de type structure de soutènement de la terre et de stabilisation des berges proposées de construire dans le pays et constituent une partie importante des travaux de formation & canalisation de rivière. Des comparaisons ont aussi été faites entre type de tôles pliées et autres conservant la terre traditionnellement utilisée et stabiliser les structures des berges.

**Mots clés :** stabilisation de berges, coûts optimisation, ductilité, conservant les structures, plats pliés, rivière travaux de formation de la terre.

1 Chief Engineer, Uttarakhand Rural Roads Development Agency, Dehradun, India.

2 Managing Director, Elegant Consulting Engineers, Ghaziabad, India

## The Practice of Ecological Emergency Water Diversion to Nansi Lake in 2014

La Pratique Du Detournement D'eau D'urgence Ecologique A Lac Nansi En 2014

Pu Qu<sup>1</sup>, Xiuqing Wang<sup>1</sup>, Si Li<sup>1</sup>, Youbing Hu<sup>2</sup>, Yanhong Zhao<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Severe drought occurred in the Nansi Lake basin, China, during the flood season in 2014. Precipitation in Nansi area was continuous small, and less than normal precipitation nearly half in flood season, the reason was that atmospheric circulation was stable, weak cold air, warm and humid air flow was not active and many other factors. The water level of its Lower Nansi Lake was for 32 days below the inferior limit of ecological water level, which the minimum water level was 0.30m below the inferior limit of ecological water level. In case of ecological crisis in the Nansi Lake basin, an ecological emergency water diversion project was implemented by the Office of State Flood Control and Drought Relief Headquarters, China, to enable the east route of the South-to-North Water Transfer Project from the Yangtze River to the Lower Nansi Lake.

Based on the engineering, hydrology and water transfer data of Nansi Lake, a thorough analysis about drought has done from precipitation, runoff, soil moisture and groundwater. The analysis of remote sensing image is used to evaluate that the ecological emergency water diversion achieves good social and economic benefits. The lake water level uplifted in short time, and lake area increased effectively. The project through the inter-basin cross-system water transfer adopts emergency ideas and innovative technology to provide emergency protection for the Nansi Lake water environment. The normalization of water diversion and daily management of water resources have technical support in the east route of the South - to - North Water Transfer Project. Also, it will solve the problem of water shortage in the Nansi Lake basin, and the irrigation problem of surrounding farmland water conservancy of drought year.

**KEY WORDS:** Nansi Lake basin; Drought; Ecological emergency water diversion; Remote Sensing; Benefits.

### RESUME

Une sécheresse grave s'est produite dans le bassin du lac Nansi, en Chine, pendant la saison des inondations en 2014. Les précipitations dans la région de Nansi ont été petites et constantes et les précipitations inférieures à la normale, presque la moitié de la saison des inondations. La circulation atmosphérique était stable, le faible écoulement de l'air froid, chaud et humide n'était pas actif et de nombreux autres facteurs en étaient la raison.. Le niveau d'eau du bas lac Nansi était en dessous de la limite inférieure du niveau d'eau écologique pendant 32 jours, dont le niveau d'eau minimum était de 0,30 m sous la limite inférieure du niveau d'eau écologique. En cas de crise écologique dans le bassin du lac Nansi, un projet écologique de dérivation d'eau d'urgence a été mis en œuvre par le Bureau de l'état de contrôle des inondations et du Secours en sécheresse, en Chine, afin de permettre à la route est du projet de transfert d'eau Sud-Nord de la rivière Yangtze vers le bas lac Nansi.

Sur la base des données d'ingénierie, d'hydrologie et de transfert d'eau de lac Nansi, une analyse approfondie de la sécheresse a été effectuée à partir des précipitations, du

<sup>1</sup> The Yishusi Basin Administration, Xuzhou, China 221018, E-mail: wangxq978@163.com

<sup>2</sup> Huai River Water Resources Commission, Bengbu, China 233001

ruissellement, de l'humidité du sol et des eaux souterraines. L'analyse de l'image de télédétection permet d'évaluer que le détournement d'eau d'urgence écologique atteint de bons avantages sociaux et économiques. Le niveau d'eau du lac a été augmenté en peu de temps, et la superficie du lac a augmenté efficacement. Le projet à travers le transfert d'eau interbassin entre systèmes permet d'adopter des idées d'urgence et une technologie innovante pour assurer une protection d'urgence pour l'environnement de l'eau de lac Nansi. La normalisation du détournement d'eau et la gestion quotidienne des ressources en eau ont un soutien technique dans la voie du projet de transfert d'eau Sud-Nord. De plus, il résoudra le problème de la pénurie d'eau dans le bassin du lac Nansi et le problème d'irrigation de conservation de l'eau dans les terres environnantes de l'année de sécheresse.

**Mots-clés:** le bassin du lac Nansi; la sécheresse; la déviation d'eau d'urgence écologique; la télédétection; les avantages

## Design of Knowledge Management System for Accelerating Irrigation Modernization in Indonesia

La Conception Du Système De Gestion Des Connaissances Pour Accélérer La Modernisation De L'irrigation En Indonésie

Lilik Sutiarto<sup>1</sup>, Sigit Supadmo Arif<sup>1</sup>, Murtiningrum<sup>1</sup>

### ABSTRACT

The main problem of irrigation systems and management in Indonesia was from the beginning due to overemphasis on the construction of irrigation infrastructure. There was lack of participation of the stake holders in the development and management of irrigation. Based on these problems, objective of the study is to design a new concept of human capital that will be implemented in irrigation system, particularly for supporting irrigation modernization in Indonesia.

Since 2009, the Indonesian Government supported by some institutions has already started modernization of irrigation concept and strategy in order to improve the irrigation system efficiency and sustainability. There are five pillars of the irrigation modernization in Indonesia: (i) water availability, (ii) irrigation infrastructure, (iii) irrigation management, (iv) institutional irrigation management, and (v) human resource (knowledge management base). The present study focused only on the pillar of knowledge management.

Human capital can be stated as the collective skills, knowledge, or other intangible assets of individuals that can be used to create economic value for the individuals, their employers, or their community.

Mechanism and design of the knowledge management system (KMS) can be described as follows; (i) analysing existing infrastructure, (ii) synchronizing institution strategies, (iii) designing KMS architecture, (iv) auditing system and knowledge asset, (v) forming KMS team, (vi) developing KMS blue print, (vii) constructing KMS, (viii) disseminating KMS, (ix) Managing KMS, and (x) evaluating and maintaining KMS. In first part of the study, was presented a designed KMS architecture that applied on irrigation management system in East Java area.

The general conclusions of designing human knowledge management system are (i) the developed system is able to be implemented in Indonesia by staging and selectively without leaving local community wisdom, and (ii) the system is not only to modernize irrigation system but also development of institution and human capital and effective collaboration among the stakeholder (community).

**KEY WORDS:** Human Capital, Knowledge Management System, Irrigation Modernization.

### RESUME

Le principal problème des systèmes d'irrigation et de la gestion en Indonésie était dès le début en raison de l'accent excessive sur la construction d'infrastructures d'irrigation. Il y a eu un manque de participation des parties prenantes dans le développement et la gestion de l'irrigation. En tenant compte de ces problèmes, l'objectif de l'étude est de concevoir une

<sup>1</sup> Lecturers in Department of Agricultural and Biosystem Engineering Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur Yogyakarta 55281, INDONESIA ; E-mail : lilik-soetiarso@ugm.ac.id

nouvelle notion de capital humain qui sera mise en œuvre dans le système d'irrigation, en particulier pour soutenir la modernisation de l'irrigation en Indonésie.

Depuis 2009, le gouvernement indonésien, soutenu par certains établissements, a déjà commencé à moderniser le concept et la stratégie d'irrigation afin d'améliorer l'efficacité et la durabilité du système d'irrigation. Il existe cinq piliers de la modernisation de l'irrigation en Indonésie: (i) la disponibilité de l'eau, (ii) l'infrastructure d'irrigation, (iii) la gestion de l'irrigation, (iv) la gestion institutionnelle de l'irrigation, et (v) la ressource humaine (la base de gestion du savoir). La présente étude portait uniquement sur le pilier de la gestion des connaissances.

Le capital humain peut être qualifié de compétences collectives, de connaissances ou d'autres actifs intangible d'individus qui peuvent être utilisés pour créer une valeur économique pour les individus, leurs employeurs ou leur communauté.

Le mécanisme et la conception du système de gestion des connaissances (KMS) peuvent être décrits comme suit; (I) l'analyse de l'infrastructure existante, (ii) la synchronisation des stratégies institutionnelles, (iii) la conception de l'architecture KMS, (iv) le système d'audit et l'actif du savoir, (v) la formation de l'équipe KMS, (vi) le développement de l'impression bleue KMS, (vii) la construction de KMS, (viii) la diffusion de KMS, (ix) la gestion de KMS, et (x) l'évaluation et le maintien de KMS. Dans la première partie de l'étude, on a présenté une architecture KMS conçue qui s'appliquait au système de gestion de l'irrigation dans la région de East Java.

Les conclusions générales de la conception du système de gestion des connaissances humaines sont (i) le système développé peut être implémenté en Indonésie par mise en scène et sélectivement sans ignorer la sagesse de la communauté locale, et (ii) le système n'est pas seulement de moderniser le système d'irrigation mais aussi du développement de l'institution et le capital humain et une collaboration efficace entre les parties prenantes (la communauté).

**Mots-clés** : le capital humain, le système de gestion du savoir, la modernisation de l'irrigation.

## Evaluation and Improvement of Center-Pivot Irrigation Systems

### Évaluation Et Amélioration Des Systèmes D'irrigation À Pivot Central

Saif Hameed Abed Al-katb<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

The main objective of this research is to improve the performance of movable center pivot sprinklers irrigation systems, and examine the hydraulic uniformity coefficient according to Christiansen (1972) and Heermann and Hein (1968) under different system layout. A physical model of center pivot system has been designed and built. The model has one span 2m and 1m height holding 10 sprinklers and the distance between the sprinklers is 15cm. The objective of this model is to examine the improvement of the uniformity coefficient by changing the water supply from the pivot point to the middle of the main pipe line. Software program named (EPANET2) used as a theoretical approach to confirm the physical model through the comparison between the results of model and the software program outputs. The physical model results indicated that the uniformity coefficient increased about 5.0 % by changing the traditional system layout, and this is done by changing the water supply from one edge of the system to the middle point of the main pipe. Software program results confirm the physical model results and the average improvement in the uniformity coefficient is 5.5% as compared with the traditional system layout. The field data also gathered from one field system located at Hilla City (C.P.). The field data has been used to prove the possibility of applying the ENANET software program practically. The discrepancy between the program outputs and the C.P. field system was about 5%. Therefore, the EPANET2 software program used as a tool to predict the behavior of the sprinkler field system under different layouts and different operating pressures.

**KEY WORDS;** Center-Pivot Irrigation System (C.P.), Uniformity Coefficient (CU), Physical model (P.M), EPANET2 Software Program.

#### RESUME

Cette recherche vise à améliorer la performance des systèmes d'irrigation des arroseurs à pivot central et d'examiner le coefficient d'uniformité hydraulique selon Christiansen (1972) et Heermann et Hein (1968) sous différentes conceptions de système. Un modèle physique de système de pivot central a été conçu et construit. Le modèle avait une portée de 2m et 1m de hauteur tenant 10 arroseurs et la distance entre les arroseurs était de 15cm. Ce modèle vise à examiner l'amélioration du coefficient d'uniformité en changeant l'alimentation en eau du point de pivot au milieu de la canalisation principale. Le Programme logiciel appelé (EPANET2) est utilisé comme approche théorique pour confirmer le modèle physique à travers la comparaison entre les résultats du modèle et les rendements du programme logiciel. Les résultats du modèle physique indiquent que le coefficient d'uniformité a augmenté d'environ 5,0% en modifiant la disposition du système traditionnel, ce qui se fait en modifiant l'alimentation en eau d'un bord du système au point central du tuyau principal. Les résultats du programme logiciel confirment les résultats du modèle physique. L'amélioration moyenne du coefficient d'uniformité est de 5,5% par rapport à la disposition traditionnelle du système. Les données de terrain ont également été recueillies à partir d'un système de terrain situé à Hilla City (C.P.). Les données sur le terrain ont été utilisées pour prouver la possibilité d'appliquer le logiciel ENANET pratiquement. L'écart entre les rendements du programme et le système de

<sup>1</sup> M.Sc Water Resources Engineer,; Ministry of Water Resources/Center of Studies and Engineering Designs; Iraq-Baghdad- ALrabee st. – N.42 – S.46; Telephone number;00964770272569; Email; sha\_alkatb@yahoo.com or gded\_2004@yahoo.com



terrain (à pivot central) était d'environ 5%. Par conséquent, le logiciel EPANET2 est utilisé comme outil pour prédire le fonctionnement du système de terrain d'arrosage sous différentes dispositions et différentes pressions de fonctionnement.

**Mots clés :** Système d'irrigation à pivot central (C.P.), coefficient d'uniformité (CU), modèle physique (P.M), programme logiciel EPANET2

## Water Resources Management through Remote Sensing Data

### Gestion Des Ressources En Eau Sur La Base Des Données De Télédétection

Iuliia Danylenko<sup>1</sup>, Yuriy Mykhailov<sup>2</sup>, Serhij Liutnitski<sup>3</sup>, Vsevolod Bohaienko<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

Planning of water resources use for irrigation is often difficult due to insufficient and untrustworthy statistical data. Inaccuracies in the data can only be identified comparing their values with estimations obtained using alternative measurement means, e.g. remote sensing.

The problem of irrigated lands identification using satellite imagery has been widely researched and a number of algorithms tested on extensive range of conditions. In arid Kherson region of Ukraine, the authors' analysis shows that an error of not more than 25% in the estimation of irrigated lands area can be obtained even with the simplest NDVI index calculated from satellite imagery. As plants' response to irrigation changes with vegetation growth, accurate assessment of water supply using remote sensing requires large sequence of satellite imagery covering the periods of important growth stages and knowledge of the spatial distribution of crops. The process is based on the hypothesis that crops biomass directly depends on irrigation efficiency in arid climate. Such a dependency has been obtained by the authors for the particular districts of Kherson region. They estimated the effectively used irrigation water volumes and averaged them over the crops. Calculations with such approach are less influenced by inaccuracies in initial data.

**KEY WORDS:** Irrigation, remote sensing data, water management, spectral indices.

#### RESUME

La planification de l'utilisation des ressources en eau pour l'irrigation est souvent difficile en raison des données statistiques insuffisantes et peu fiables. Les inexactitudes dans les données ne peuvent être identifiées qu'en comparant leurs valeurs avec des estimations obtenues en utilisant d'autres moyens de mesure, par exemple Télédétection.

Le problème de l'identification des terres irriguées en utilisant d'images satellitaires a été largement étudié et un certain nombre d'algorithmes ont été testés sur une vaste gamme de conditions. Dans la région aride de Kherson en Ukraine, l'analyse des auteurs montre qu'une erreur de plus de 25% dans l'estimation de la superficie des terres irriguées peut être obtenue même avec l'indice NDVI le plus simple calculé à partir de l'image satellitaire. Etant donné que la réaction des plantes à l'irrigation change avec la croissance de la végétation, une évaluation précise de l'approvisionnement en eau par télédétection exige une grande séquence d'images satellitaires couvrant les périodes d'étapes de croissance importantes et la connaissance de la répartition spatiale des cultures. Le processus se base sur l'hypothèse

- 
- 1 Head of Laboratory, Institute of Water Problems and Land Reclamation, 37, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: julia\_danilenko@ukr.net
  - 2 Leading Expert, Institute of Water Problems and Land Reclamation, 37, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: mihailov1333@gmail.com
  - 3 Senior Specialist, Institute of Water Problems and Land Reclamation, 37, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: lutnizkii@ukr.net
  - 4 Senior Researcher, Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, 40, Glushkovave., Kyiv, Ukraine, e-mail: sevab@ukr.net

selon laquelle la biomasse des cultures dépend directement de l'efficacité de l'irrigation dans le climat aride. Une telle dépendance a été obtenue par les auteurs pour les districts particuliers de la région de Kherson. Ils ont estimé les volumes d'eau d'irrigation utilisés efficacement et les ont établi en moyenne sur les cultures. Les calculs avec une telle approche sont moins influencés par les inexactitudes dans les données initiales.

**Mots-clés** : Irrigation, données de télédétection, gestion de l'eau, indices spectraux.

## Estimation of the Irrigation Systems Efficiency by Remote Sensing

### Estimation De L'efficacité Des Systèmes D'irrigation Par Télécommande

Olena Vlasova<sup>1</sup>, Anatoliy Shevchenko<sup>2</sup>, Kateryna Shatkovska<sup>3</sup>  
and Mykhailo Ryabtsev<sup>4</sup>

#### ABSTRACT

In this study, the dynamics of irrigation was considered in assessing the efficiency of irrigation systems on a large areas. Remote sensing data with different spatial resolutions such as 15 – 60 m (Landsat) and 4000 m (NOAA, AVHRR) provides an opportunity to carry out researches on the different spatial levels. The use of remote sensing data of local and regional levels gave the opportunity to conduct a long-term annual analysis of the irrigated areas of the Kherson region of Ukraine. These territories are characterized by flooding and secondary salinization of soils due to the irrigation influence.

By the remote sensing data for monitoring at the local level were calculated spectral indices NDVI (vegetation), NDWI and NWI (water), NDSI (salt). Proposed to use indices-indicators  $I_F$  (actually irrigated areas),  $I_{NDWI}$  (efficiency of the sprinklers equipment),  $I_{NWI}$  (efficiency of land's protection from flooding) and  $I_{ME}$  (multicriterial evaluation index). The proposed index-indicators been processed on the irrigated areas of Kherson region.

For monitoring at the regional level used the following indices: TCI (Temperature Condition Index), VCI (Vegetation Condition Index), SMN (is derived from no noise NDVI) NOAA / NESDIS system, which have been analyzed by long-term period in the worked out by us program «AnalistNOAA». It was established, that the areas of irrigation on the Kakhovs'ka irrigation system have a stable operation level (except 2001-2005) The study recommended upgrading of sprinkler equipment. Proposed methods of evaluation have shown that systems operate generally effective and expedient to increase irrigation areas.

**KEY WORDS:** Irrigation System, Operation's Efficiency, Spectral Indices, Indices-Indicators, Soil, Secondary Salinization.

#### RESUME

Dans cette étude, la dynamique de l'irrigation a été prise en compte dans l'évaluation de l'efficacité des systèmes d'irrigation sur de vastes zones. Les données de télédétection avec différentes résolutions spatiales telles que 15 à 60 m (Landsat) et 4 000 m (NOAA, AVHRR) permettent d'effectuer des recherches sur les différents niveaux spatiaux. L'utilisation des données de télédétection aux niveaux local et régional a permis d'effectuer une analyse annuelle à long terme des zones irriguées de la région de Kherson en Ukraine. Ces territoires

- 1 Ph.D. in Agriculture, Senior researcher of Department of Water Resources, Institute of Water Problems and Land Reclamation, National Academy of Agricultural Sciences, 03022, Ukraine, Kyiv, 37, Vasylykivska Str.; E-mail: elena\_vl2001@ukr.net
- 2 Ph.D. in Agriculture, Head of Department of Water Resources, Institute of Water Problems and Land Reclamation, National Academy of Agricultural Sciences, 03022, Ukraine, Kyiv, 37, Vasylykivska Str.; E-mail: monitoring\_protect@ukr.net
- 3 Junior researcher, Department of Water Resources, Institute of Water Problems and Land Reclamation, National Academy of Agricultural Sciences, 03022, Ukraine, Kyiv, 37, Vasylykivska Str.; E-mail: katyashatkovska@ukr.net
- 4 Ph.D. in Engineering Science, Chief hydrogeologist of KakhovskyHydrogeological-Reclamation Expedition of Kherson Regional Department of Water Resources, State Agency of Water Resources of Ukraine, 74988, Kherson region, Tavriysk, 22, Ivan Franko Str.; Email address: khggme@gmail.com

sont caractérisés par des inondations et une salinisation secondaire des sols en raison de l'influence de l'irrigation.

Grâce aux données de télédétection pour la surveillance au niveau local, il était possible de calculer les indices spectraux NDVI (végétation), NDWI et NWI (eau), NDSI (sel). Il a été proposé d'utiliser des indices-indicateurs IF (en fait les zones irriguées), INDWI (efficacité des équipements des arroseurs), INWI (efficacité de la protection des terres contre les inondations) et IME (indice d'évaluation multicritère). Les indicateurs-proposés ont été traités sur les zones irriguées de la région de Kherson.

Pour le suivi au niveau régional, on utilisait les indices suivants: l'indice TCI (Temperature Condition Index), VCI (Vegetation Condition Index), SMN (dérivé de NDVI sans bruit) NOAA / NESDIS, qui a été analysé à long terme dans notre programme «AnalystNOAA». Il a été établi que les zones d'irrigation du système d'irrigation de Kakhovs'ka ont un niveau d'exploitation stable (sauf 2001-2005). L'étude a recommandé la mise à niveau des équipements d'arrosage. Les méthodes d'évaluation proposées ont montré que les systèmes fonctionnent généralement efficacement pour augmenter les zones d'irrigation.

**Mots clés :** Système d'irrigation, efficacité de l'exploitation, indices spectraux, indices-indicateurs, sol, salinisation secondaire.

## Increasing Irrigated Agricultural Production Using ICT and Modern Management: A Case Study from Madhya Pradesh, India

Augmentation De La Production Agricole Irrigée Utilisant Les TIC Et La Gestion Moderne : Étude De Cas De Madhya Pradesh, Inde

Martin Burton<sup>1</sup> and Joop Stoutjesdijk<sup>2</sup>

### ABSTRACT

During the period 2009-10 to 2015-16 the irrigated area in Madhya Pradesh increased from 0.85 million ha to 2.91 million ha. During the same period the *rabi* (dry season) food grain production in the state increased from 16 million metric tonnes to over 37 million metric tonnes. The significant increase in irrigated area has been attributed to improved management approaches adopted by the State's Water Resources Department (MPWRD). Though the change in management style adopted by senior management in the MPWRD was undoubtedly at the core of this increase in irrigated area, the development of a web-based management information system (MIS) was a central tool in the process. This paper discusses the genesis and development of this tool under the World Bank funded Madhya Pradesh Water Sector Restructuring Project (MPWSRP) and the measures adopted to facilitate its development and uptake by the Department. The paper analyses the management approach adopted and the role played by the web-based MIS in these management processes. The paper concludes that the availability of timely, accurate and transparent data is fundamental to the modern management of irrigation and drainage schemes.

**KEY WORDS:** Irrigation Management, Irrigation Service Delivery, ICT, Management Information Systems, Data Management, Performance-Based Management.

### RÉSUMÉ

Au cours de la période 2009-2010 à 2015-2016, la superficie irriguée au Madhya Pradesh est passée de 0,85 million ha à 2,91 millions ha. Au cours de la même période, la production de céréales alimentaires du *rabi* (saison sèche) au Madhya Pradesh est passée de 16 millions de tonnes métriques à plus de 37 millions de tonnes métriques. L'augmentation significative de la superficie irriguée est due aux approches de gestion améliorées adoptées par le Département de ressources en eau de l'État (MPWRD) (Julaniya et al, 2016). Bien que le changement de style de gestion adoptée par la direction générale du MPWRD ait été sans aucun doute au centre de cette augmentation de la superficie irriguée, le développement d'un système d'information de gestion (SIG) en ligne constituait un outil central dans le processus. Cet article traite de la genèse et du développement de cet outil dans le cadre du Projet de restructuration du secteur de l'eau du Madhya Pradesh financé par la Banque Mondiale, et des mesures adoptées pour faciliter son développement et son adoption par le Département. L'article analyse l'approche de gestion adoptée et le rôle joué par le SIG en ligne dans les processus de gestion. Le document conclut que la disponibilité de données précises, transparentes et à temps est fondamentale pour la gestion moderne des systèmes d'irrigation et de drainage.

<sup>1</sup> Independent consultant, Water Resources and Irrigation Management, Spring Cottage, Itchen Stoke, Alresford, United Kingdom. Email: martinaburton@btinternet.com

<sup>2</sup> Lead Irrigation Engineer, World Bank, 1818 H Street NW, Washington DC, 20433, USA. Email: jstoutjesdijk.worldbank.org

## RS Based Drought Monitoring to Map Irrigation Needs of Central Eastern European Region

Surveillance De La Sécheresse Avec Télédétection Pour Cartographier Le  
Besoin D'irrigation De La Région D'europe Centrale Et Orientale

Attila Nagy<sup>1</sup>, János Tamás<sup>2</sup> and János Fehér<sup>3</sup>

### ABSTRACT

This study focuses on identification of agricultural drought characteristics and elaborates a monitoring method, which could result in appropriate early warning of droughts before irreversible yield loss and/or quality degradation occur. The spatial decision supporting system to be developed will help the farmers in reducing drought risk of the different regions by plant specific calibrated drought indexes.

The study area was the Tisza River Basin in Central Europe within the Carpathian Basin. In this region, there is intensive agricultural activity. Floods and droughts often occur in the same year, or even in the same vegetation period.

For the investigations normalized difference vegetation index (NDVI) was calculated from 16 day moving average chlorophyll intensity and biomass quantity data. In the first step, we statistically normalized the crop yield maps and the MODIS satellite data. Then the drought-induced crop yield loss was classified. The crop yield loss data were validated against the regional meteorological drought index values (SPI), the water management and soil physical data. As a result, five drought risk levels were developed to identify the effect of drought on yields: Watch, Early Warning, Warning, Alert and Catastrophe. In this study the impact of drought on wheat and maize price, concrete programming of a user friendly drought monitoring and yield loss mapping process and possible integration practices of drought monitoring and yield loss forecasting method were assessed and developed. The remote sensing based Agricultural Drought Monitoring and Yield Loss Forecasting Method can identify the possible intervention areas. Plant specific calibrated yield loss maps and the developed spatial decision supporting system gives precise information for farmers on drought risk of the different region.

**KEY WORDS:** Biomass monitoring, drought effects and risks, normalized difference vegetation index (NDVI), remote sensing, river basin.

### RESUME

Dans le cadre de cet projet, cette étude se concentre sur l'identification des caractéristiques de la sécheresse agricole, et on développe une méthode de surveillance (avec l'application de données de télédétection), ce qui pourrait donner un préavis approprié des sécheresses avant que des pertes de rendement irréversibles et / ou une dégradation de la qualité se produisent. Le système de soutien à la décision spatiale à développer aidera les agriculteurs dans la réduction du risque de sécheresse des différentes régions par des indices de sécheresse calibrés spécifiques à la plante.

1 Assistant Professor, University of Debrecen, Institute of Water and Environmental Management H-4032 Debrecen, Böszörményiút 138., Hungary E-mail: attilanagy@agr.unideb.hu

2 Professor, University of Debrecen, Institute of Water and Environmental Management H-4032 Debrecen, Böszörményiút 138., Hungary E-mail: tamas@agr.unideb.hu

3 Hon. Associate Professor University of Debrecen, Institute of Water and Environmental Management H-4032 Debrecen, Böszörményiút 138., Hungary E-mail: janos.fehér@famife.hu

La zone d'étude était le bassin fluvial de Tisza en Europe centrale dans le bassin des Carpates. Dans cette région, il existe une activité agricole intensive où les terres arables constituent environ 72%. L'apparition d'inondations et de sécheresses se produit souvent la même année, ou même dans la même période de végétation. La sécheresse agricole est influencée par plusieurs facteurs complexes, qui sont compliqués à mesurer. Pour les mesurer, il faut beaucoup de temps et de ressources. La perte de rendement n'est mesurable qu'à un stade ultérieur.

La télédétection de la biomasse végétale est l'une des solutions les plus importantes pour mesurer les sécheresses agricoles et ses effets. Pour les enquêtes, la normalisation de la différence de l'indice de végétation (NDVI) a été utilisée pour calculer à partir de l'intensité de la chlorophylle et de la quantité de biomasse en moyenne mobile de 16 jours. Dans la première étape, nous avons normalisé statistiquement les cartes de rendement des cultures et les données satellitaires MODIS. Ensuite, les valeurs de perte de rendement des cultures induites par la sécheresse ont été classées. Les données sur la perte de rendement des cultures ont été validées par rapport aux valeurs régionales de l'indice de sécheresse météorologique (SPI), à la gestion de l'eau et aux données physiques du sol. L'objectif de cette méthode était de déterminer la congruence des données dérivées des données spectrales et des mesures de terrain. En conséquence, cinq niveaux de risque de sécheresse ont été développés pour identifier l'effet de la sécheresse sur les rendements: surveillance, alerte précoce, avertissement, alerte et catastrophe. Dans cette étude, l'impact de la sécheresse sur le prix du blé et du maïs, la programmation concrète d'un suivi convivial de la sécheresse et du processus de cartographie des pertes de rendement et des pratiques d'intégration possibles de la surveillance de la sécheresse et de la méthode de prévision des pertes de rendement ont été évalués et développés. La méthode de prévision de la perte de rendement et de la prévention de la sécheresse et de la prévention à distance peut effectivement indiquer une anomalie des sécheresses et des pertes de rendement et peut identifier les zones d'intervention possibles. La méthodologie est également appropriée pour l'alerte précoce des sécheresses, car la perte de rendement peut être prédite 2 mois avant la perte de rendement irréversible et / ou la dégradation de la qualité réalisée dans le cas du blé et du maïs. Selon les cartes de perte de rendement calibrées spécifiques à la plante, le système de soutien à la décision spatiale développé fournit des informations précises aux agriculteurs sur le risque de sécheresse de la région différente. Les résultats offrent une identification exacte de la télédétection et des outils de données SIG pour la surveillance et la prévision de la sécheresse agricole, qui fournit éventuellement des informations sur la mise en œuvre physique des niveaux de risque de sécheresse.

**Mots-clés :** Surveillance de biomasse, effets et risques de sécheresse, différent indice de végétation normalisé (NDVI), télédétection, bassin fluvial.



## Managerial Solutions to Improve Water Distribution in Irrigation Networks Using ICSS Hydrodynamic Model

Les Solutions D'encadrement Pour Ameliorer La Distribution D'eau Dans Les Reseaux D'irrigation En Utilisant Le Modele Hydrodynamique ICSS

Ostovari, S<sup>1</sup>, Monem, M. J<sup>2</sup> and Hashemi Shahedani, S. M<sup>3</sup>.

### ABSTRACT

Water shortage has caused many problems in most parts of the world especially in arid regions. One such problem is non-realization of the actual potentials of irrigation networks. With correct use of available water resources in irrigation networks these problems can be reduced to a good extent. In this research the present condition of an irrigation network under water deficit situation is investigated, and non-structural, or managerial options for reducing the problems are studied. The case study is for the secondary east Aghili canal situated at the Gotvand irrigation network. The hydraulic behavior of the canal and operational scenarios are simulated using the ICSS hydrodynamic model. At the first step of the study the present conditions of the canal are simulated considering 0, 20, and 40% water shortage with no operational response. Performance of the canal is evaluated using adequacy, efficiency and equity indices. At the next step operational scenarios for performance improvement of the canal are defined and simulated. The results show that application of managerial operation has improved the adequacy and efficiency indices by about 5 to 10% for all intakes, and equity index is improved by 4% for the whole canal.

**KEY WORDS:** Irrigation networks, Managerial scenarios, Water shortage.

### RESUME

La pénurie d'eau a causé de nombreux problèmes dans la plupart des régions du monde, en particulier dans les régions arides. Un tel problème est la non-réalisation des potentiels réels des réseaux d'irrigation. Avec l'utilisation correcte des ressources en eau disponibles dans les réseaux d'irrigation, ces problèmes peuvent être réduits de façon importante. Dans cette recherche, l'état actuel d'un réseau d'irrigation en situation de déficit hydrique est étudié et des options non structurelles ou d'encadrement pour réduire les problèmes sont étudiées. L'étude de cas concerne le canal Aghili secondaire situé au réseau d'irrigation Gotvand. Le comportement hydraulique du canal et les scénarios opérationnels sont simulés à l'aide du modèle hydrodynamique ICSS. À la première étape de l'étude, les conditions actuelles du canal sont simulées compte tenu de la pénurie d'eau de 0,20 et 40% sans réponse opérationnelle. La performance du canal est évaluée à l'aide des indices de l'adéquation, de l'efficacité et de l'équité. À l'étape suivante, les scénarios opérationnels pour l'amélioration de la performance du canal sont définis et simulés. Les résultats montrent que l'application de l'opération d'encadrement a amélioré les indices d'adéquation et d'efficacité d'environ 5 à 10% pour toutes les prises, et l'indice des équités a amélioré de 4% pour l'ensemble du canal.

**Mots clés:** les réseaux d'irrigation, les scénarios d'encadrement, la pénurie d'eau. Top of Form.

1 M. Sc. Graduate of Hydraulic Structure Department, TarbiatModares University.

2 Associate Professor of Hydraulic Structure Department, TarbiatModares University.

3 Assistant Professor of Irrigation and Drainage Department, Abureyhan Campus, Teran University.

## Faire Plus, Mieux Et Plus Vite : Les TICS Pour Le Developpement Et La Gestion De La Petite Irrigation En Afrique De L'ouest

Do More, Better and Fast: ICTS for Development and Management of Small Irrigation in West Africa

Caroline Figuères<sup>1</sup>, François Onimus<sup>2</sup>, Clément Ouédraogo<sup>3</sup>

### RESUME

Les technologies de l'information et de la communication (TICs) sont un outil incontournable pour permettre l'amélioration de la performance des systèmes d'irrigation. Leur mise en œuvre demande une approche adaptée aux besoins des acteurs, assurant leur appropriation optimale pour l'obtention de résultats durables. Cet article présente la méthodologie innovante utilisée pour intégrer les TICs dans le programme PARIIS-SIIP, dès la phase de la formulation. Il présente les résultats obtenus à ce stade de développement ainsi que des recommandations pour une mise en œuvre efficace du programme.

**Mots-clés:** ICT4D, irrigation, innovation sociale, Afrique de l'Ouest, PARIIS.

### ABSTRACT

Information and communication technologies (ICTs) are an indispensable tool for improving the performance of irrigation systems. Their implementation requires an approach adapted to the needs of the actors, ensuring their optimal appropriation for the achievement of lasting results. This article presents the innovative methodology used to integrate ICTs into the PARIIS-SIIP program, from the formulation phase. It presents the results obtained at this stage of development as well as recommendations for the successful implementation of the program.

**KEY WORDS:** ICT4D, irrigation, social innovation, West Africa, PARIIS.

1 cfiguereswork@gmail.com, Consultant Eau & TIC pour le développement, La Haye (Pays-Bas)

2 fonimus@gmail.com, Expert sectoriel eau à la Banque Mondiale, Washington (USA)

3 clement.ouedraogo@cilss.int, Coordonnateur du PARIIS au CILSS, Ouagadougou (Burkina Faso)

## A DSS for Fertigation Management Based on a Growth and Transpiration Model for Greenhouse-Grown Tomatoes

Une Gestion D'irrigation Fertilisante Pour Dss, Basée Sur Une Croissance Et Une Transpiration Modèle Pour Les Tomates De Serre

A. Martinez-Ruiz<sup>1</sup>, I.L. López-Cruz<sup>1</sup>, A. Ruiz-García<sup>1</sup>, J. Pineda-Pineda<sup>2</sup>, J.V. Prado-Hernandez

### ABSTRACT

Today, agriculture has the challenge of dealing with the integration of productivity, product quality, and environment preservation. These objectives are sometimes conflicting with maximum yield, which often requires the application of large amounts of nitrogen fertilizer, increasing the risk of nitrogen leaching. Growers must therefore adapt new fertilization strategies to achieve a desired production, and quality, but also environmental protection. Thus, it is valuable to develop precision irrigation and fertilization management practices based on temporal and spatial variability of the system by using decision support systems. An experiment was carried out during autumn-winter, in which a tomato (*Solanum lycopersicom* L.) crop "CID F1" was grown in a hydroponic system, with a density of 3.5 plants m<sup>-2</sup>. Plants were transplanted on August 21, 2015. A HOBO weather station (Onset Computer Corporation) was installed inside of the greenhouse. Temperature and relative humidity were measured with a S-TMB-M006, and global radiation was measured with a S-LIB-M003 sensor. In the experiment, three plants were chosen randomly for the sample every ten days to measure dry matter, leaf area index, and nitrogen uptake accumulation. Crop transpiration was measured every minute by means of a weighing lysimeter located in a central row of the greenhouse. The device includes an electronic balance (scale capacity =120 kg, resolution g) equipped with a tray carrying four plants for the experiment. The recently developed HortSyst dynamic model, in discrete time, which predicts dry matter production, nitrogen uptake, leaf area index, photo-thermal time, and crop transpiration can be used for nitrogen management and irrigation scheduling in soilless tomato culture in Mexican greenhouses. Based on this dynamic model, a decision support system can be developed that could be used to help greenhouse growers to improve their current fertigation practice. So far, the HortSyst model has been calibrated and evaluated for a tomato crop; however, it can be easily applied to other greenhouse crops.

**KEY WORDS:** DSS model, horticultural systems, irrigation programming, simulation model, water consumption.

### RÉSUMÉ

Aujourd'hui, l'agriculture a pour défi de traiter avec l'intégration de la productivité, la qualité des produits et préservation de l'environnement. Ces objectifs sont parfois en conflit avec le rendement maximal, ce qui nécessite souvent l'application de grandes quantités d'engrais azoté, augmentant le risque de lessivage de l'azote. Cultivateurs doivent donc adapter les nouvelles stratégies de fertilisation pour parvenir à une production désirée et de qualité, mais aussi la protection de l'environnement. Ainsi, il est utile de développer des pratiques de gestion d'irrigation et la fertilisation de précision basées sur la variabilité spatiale et temporelle du système à l'aide de systèmes décisionnels. Une expérience a été menée au cours de

1 Agricultural Engineering Graduate Program, University of Chapingo, Chapingo, Mexico. \* Corresponding author mara2883@hotmail.com

2 Soils Dept., University of Chapingo, Chapingo, Mexico

l'automne-hiver, où une culture de la tomate (*Solanum lycopersicom* L.) « CID F1 » a été cultivée dans un système hydroponique, avec une densité de 3,5 plantes m<sup>2</sup>. Les plantes ont été transplantées le 21 août 2015. Une station de météo HOBO (Onset Computer Corporation) a été installée à l'intérieur de la serre. La température et l'humidité relative ont été mesurées avec un S-TMB-M006 et le rayonnement global a été mesurée avec un capteur S-LIB-M003. Dans l'expérience, trois usines ont été choisis au hasard pour l'échantillon tous les dix jours pour mesurer les matières sèches, indice de surface foliaire et accumulation d'absorption d'azote. La transpiration de la récolte a été mesurée chaque minute au moyen d'un lysimètre de pesage situé dans une rangée centrale de la serre. Le dispositif comprend une balance électronique (capacité = 120 kg, résolution g) équipé d'un bac transportant quatre usines pour groupesatellite. Le modèle dynamique HortSyst récemment développé, en temps discret, qui prédit sec importe photo thermique temps, indice de surface foliaire, absorption d'azote, production et culture transpiration peut être utilisée pour la gestion de l'azote et insoilless culture de tomate en serre mexicaine de calendriers d'irrigation. Basé sur ce modèle de dynamique, un système de soutien de décision peuvent être développé qui pourraient servir à aider les producteurs à effet de serre afin d'améliorer leur pratique actuelle de la fertigation. Jusqu'ici, le modèle HortSyst a été étalonné et évalué pour une culture de tomate ; cependant, il peut être facilement applique autres cultures sous serre.

**Mots clés :** Modèle DSS, systèmes horticoles, programmation d'irrigation, modèle de simulation, consommation d'eau.

## Monitoring Performance of a Small Scale Irrigation System Under El Nino Strike Using Remote Sensing

Suivi De La Performance D'un Système D'irrigation À Petite Échelle  
Sous L'attaque El Nino Utilisant La Teledetection

Revalin Herdianto<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Tampo Irrigation District in West Sumatra, Indonesia, is a small irrigation system lied on hilly terrain, from 800 m to 300 m above sea level. This district is a semi-technical irrigation system fed by a combination of irrigation water and rain. In year 2015 this district suffered from drought as part of El Nino phenomenon. Most farms produced only one third of their normal harvest, which was around 6 tons per hectares. Almost half of the area failed, and that was in the lower district. Lack of monitoring system and early detection technology were thought as two primary factors of the failure, apart from water scarcity. Therefore, a cost-efficient and available remote sensing data are proposed as long term solution for anticipation of similar event in the changing climate.

Two remotely sensed vegetation indices, Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), together with Land Surface Temperature (LST) onboard MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) satellite were used as indicators of vegetation health and vigor. Time series EVI and NDVI were analyzed from year 2000 to 2016 for the study area. Both EVI and NDVI are available in 250 m resolution, 23 datasets per year. LST are available in 1 km resolution at every 8 days or 46 datasets per year. LST were resampled to 250 m and aggregated to 23 datasets per year. DEM for study area was acquired from ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-Global Digital Elevation Model) in 30 m resolution. An interview was conducted to farmers in the irrigation district.

The analysis of vegetation conditions in Tampo by comparing the year 2012 (high productivity) and 2015 (El Nino event), showed the level of plant stress peak in September 2015. However, the existence of technical irrigation covering some areas of Tampo reduced the impact of drought caused by El Nino events. However, the drought that peaks at the end of 2015 does not seem to be restricted by vegetation, which shows a response of EVI value, which is a representation of photosynthetic activity and canopy density. Once again, EVI exhibits high sensitivity to detect crop conditions, both healthy and stressful, in response to water availability. This method has shown its potential to detect drought events and responses of a system to water availability which may be used as a mean to evaluate irrigation performance.

**KEY WORDS:** El Nino, EVI, NDVI, LST.

### RESUME

Le district d'irrigation de Tampo à West Sumatra, en Indonésie, est un petit système d'irrigation qui se trouve sur un terrain montagneux, de 800 m à 300 m au-dessus du niveau de la mer. Ce district est un système d'irrigation semi-technique alimenté par une combinaison d'eau d'irrigation et de pluie. En 2015, ce district a fait face à la sécheresse dans le cadre du phénomène El Nino. La plupart des exploitations n'ont produit qu'un tiers de leur récolte normale, soit environ 6 tonnes par hectare. Près de la moitié de la région a échoué, et c'était

<sup>1</sup> Politeknik Negeri Padang, Indonesia, E-mail: revalin.herdianto@gmail.com

dans le quartier inférieur. Le manque de système de surveillance et la technologie de détection précoce ont été considérés comme deux facteurs principaux de l'échec, à l'exception de la pénurie d'eau. Par conséquent, les données de télédétection rentables et disponibles sont proposées comme une solution à long terme en prévision d'événements similaires dans le cadre du climat changeant.

Deux indices de végétation dérivés des données de télédétection, l'Indice de végétation amélioré (EVI) et l'indice de végétation de différence normalisé (NDVI), ainsi que la température de la surface terrestre (LST) à bord du satellite MODIS (spectroradiomètres imageurs à résolution moyenne (MODIS)) ont été utilisés comme indicateurs de la santé et de la vigueur de la végétation. Les séries chronologiques EVI et NDVI ont été analysées de l'an 2000 à 2016 pour la zone d'étude. Les deux EVI et NDVI sont disponibles dans la résolution de 250 m, 23 ensembles de données par an. LST sont disponibles dans une résolution de 1 km tous les 8 jours ou 46 ensembles de données par an. LST ont été rééchantillonnées à 250 m. et agrégées à 23 ensembles de données par an. Le DEM pour la zone d'étude a été acquis chez ASTER GDEM (radiomètre spatial perfectionné pour la mesure de la réflectance et des émissions thermiques terrestres - modèle numérique d'élévation mondial) dans une résolution de 30 m. Une entrevue a été menée auprès des agriculteurs du district d'irrigation.

L'analyse des conditions de végétation à Tampo en comparant l'année 2012 (haute productivité) et 2015 (événement El Nino) a montré le stress subi par une plante en septembre 2015. Cependant, l'existence d'une irrigation technique couvrant certaines zones de Tampo a réduit l'impact de la sécheresse causée par les événements El Nino. Cependant, la sécheresse qui atteint son essor à la fin de 2015 ne semble pas être limitée par la végétation, ce qui montre une réponse de la valeur EVI, qui représente une représentation de l'activité photosynthétique et de la densité de la couverture. Encore une fois, l'EVI présente une grande sensibilité pour détecter les conditions de récolte, à la fois saines et stressantes, en réponse à la disponibilité de l'eau. Cette méthode a montré son potentiel pour détecter les événements de sécheresse et les réponses d'un système à la disponibilité de l'eau qui peut être utilisé comme moyen pour évaluer les performances de l'irrigation.

**Mots-clés:** El Nino, EVI, NDVI, LST.

## Multispectral Imagery Acquired from UAV Platforms for Robust Estimation of Corn Crop Coefficient

### Imagerie Multispectrale Acquis Des Plateformes D'UAV Pour Une Estimation Robuste Du Coefficient De Récolte De Maïs

Mariana de Jesús Marcial-Pablo<sup>1</sup>, Waldo Ojeda-Bustamante<sup>2</sup>, Ronald E. Ontiveros-Capurata<sup>3</sup>, Sergio I. Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Precision irrigation (PI) involves the efficient estimation and application of irrigation in space and time. One component of PI demands the best irrigation requirement estimation possible at farm level and the spatial knowledge of crop coefficient (Kc) with high temporal resolution. This type of information can be obtained by remote sensors mounted on satellites or manned airplanes, but it comes at a high cost, low frequency and coarse spatial resolution. A low-cost alternative is based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with multispectral cameras. In this aspect, the main objective of this work was to estimate the crop coefficient (Kc) of corn from multispectral images acquired from a UAV platform.

A corn field was monitored during an agricultural season. Meteorological, agronomic, and irrigation data were measured on-site. A multicopter UAV, equipped with two high resolution cameras (visible and multispectral), was used. The images were acquired at a mean UAV height of 52 m with a spatial resolution of 2.1 cm per pixel, at 11 different dates distributed in different crop phenological stages. The photogrammetric restitution of the images by each date was done with the PIX4D software to generate two orthomosaics: visible and multispectral. Geometric correction of the orthomosaics was performed aided with ground control points.

Normalized difference vegetation index (NDVI) values were estimated without including the soil, using multispectral orthomosaics classified in three classes (crop, crop shadow, soil shadow and bare soil) and using the classification algorithm OBIA (Object Based Image Analysis). Kc values were estimated from experimental data as a function of cumulative growing degree days (GDD). A linear regression model was fitted with Kc and NDVI values.

The maximum mean NDVI was 0.767 at 1033 GDD. The resulting regression model among NDVI and Kc values was  $Kc_{NDVI} = 1.6586 (NDVI) - 0.0334$  ( $r^2 = 0.9741$ ). Using the Kc-NDVI model, the spatial crop ET can be estimated locally.

The results indicate that the NDVI values calculated from high spatial resolution images allow better estimation of the Kc spatial variability than by satellite images.

**KEY WORDS:** Multispectral remote sensing, vegetation index, NDVI, UAV, precision irrigation.

- 1 Master of science and water technology. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Posgrado en Ciencia y Tecnología del Agua especialidad en Sistemas Hidráulicos. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. Email: serchjimenez.1990@gmail.com
- 2 Irrigation engineering submanager. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. Email: wojeda@tlaloc.imta.mx
- 3 Catedra CONACyT. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Riego y Drenaje. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México. Email: rononti@gmail.com

## RÉSUMÉ

L'irrigation de précision (PI) implique l'estimation efficace et l'application de l'irrigation dans l'espace et le temps. Un des éléments de PI exige la meilleure exigence d'estimation d'irrigation possible au niveau de l'exploitation et la connaissance spatiale du coefficient de la culture (Kc) avec une haute résolution temporelle. Ce type d'information peut être obtenu par des capteurs de télécommande montés sur satellites ou d'avions avec un pilote, mais il arrive à un coût élevé, la basse fréquence et la résolution de sptail grossier. Une alternative peu coûteuse est basée sur l'utilisation de véhicules aériens sans pilote (UAV) équipé de caméras multispectrales. Dans cet aspect, l'objectif principal de ce travail était d'estimer le coefficient de la culture (Kc) de maïs des images multispectrales acquises depuis une plate-forme UAV.

Un champ de maïs a été suivi durant la saison agricole. Les données météorologiques, agronomiques et d'irrigation ont été mesurées sur place. Un drone multicopter, équipé de deux caméras haute résolution (visibles et multispectrales), a été utilisé. Les images ont été acquises à hauteur de drone anmean de 52 m avec une résolution spatiale de 2,1 cm / pixel, à des dates différentes 11 distribués dans cropphenological différents stades. La restitution photogrammétrique des images de chaque date a été faite avec le logiciel PIX4D pour générer deux orthomosaïques : visible et multispectrale. La correction géométrique de l'orthomosaïque a été effectuée avec l'aide de points de contrôle au sol.

Les valeurs de l'indice de végétation différentielle normalisé (NDVI) ont été estimées sans inclure le sol, à l'aide d'une classification des orthomosaïques multispectrales en trois catégories (culture, récolte ombre, ombre de sol et sol nu) et à l'aide de l'algorithme de classification OBIA (Object base Image Analysis). Les valeurs de Kc ont été estimées à partir des données expérimentales en fonction du cumul des jours de degré croissant (GDD). Un modèle de régression linéaire était muni de valeurs Kc et NDVI.

Le maximummean NDVI était 0,767 à 1033 GDD. Le modèle de régression qui en résulte entre les wasKcNDVI de valeurs NDVI et Kc =  $1.6586 (NDVI) - 0.0334$  ( $r^2 = 0.9741$ ). En utilisant le modèle Kc-NDVI, la culture spatiale ET peut être évaluée localement.

Les résultats indiquent que les valeurs NDVI calculées à partir des images de haute résolution spatiale permettent une meilleure estimation de la variabilité spatiale de Kc que par images satellite.

**Mots clés** : Multispectral distance détection, indice de végétation, NDVI, UAV, irrigation de précision.



## Application of Remote Sensing for Improvement of Maize Phenology Models Prediction

### Application De La Teledétection Pour L'amélioration De La Prevision Des Modèles De Phénologie De Maïs

Nozar Ghahreman<sup>1</sup>, Mahdi Ghamghami, Parviz Irannejad and Khalil Ghorbani

#### ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is one the major irrigated crops in Iran that provides cereal grains and forage. Water shortage is a limitation to maize production in arid and semi-arid climates of the country. The effects of water stress on maize growth and development vary with timing of stress. Modelling the phasic development of the crops would enable the farmers and decision makers to improve management of available water in under conditions of water scarcity, especially in crop sensitive stages. Crop phenological stages are commonly predicted by using accumulated growth degree days (AGDD). Because AGDD functions do not consider many limiting factors of development, they usually fail to monitor the phenology accurately. Nevertheless, the simplicity of the degree-day method has made it widely popular and can be further improved in combination with remotely sensed indices and data mining tools such as decision tree. In this study a combined model of AGDD and remotely sensed NDVI has been developed for prediction of maize (cv. K407) phenology in Karaj region, Iran using a nine years (2002 to 2010) dataset.

The curve smoothing techniques are widely used in phenology monitoring studies for the curves fitted on ground based observation such as LAI or remotely sensed Vegetation Indices (VIs). However, they are basically used to determine the distinct phenological stages by extracting the curves turning points (i.e. the first and second derivation). For smoothing the existing noises of image processing, Weighing Least Square (WLS) approach was employed. The results of combined phenology model were compared by two frequently used methods based on AGDD and date of sowing. The findings showed that in general, the developed model predicted the first 7 phenological stages of emergence to milky, more accurately comparing to other approaches (with average 2 and 2.5 days difference with observed dates, respectively) but was inaccurate for maturity stage. Our study highlights the need for further improvements in phenological observations in the region.

**KEY WORDS:** AGDD, NDVI, Iran, weighing least square.

#### RESUME

Le maïs (*Zea mays* L.) est l'une des principales cultures irriguées en Iran qui fournit des céréales et des fourrages. La pénurie d'eau donne lieu à une limitation de la production de maïs dans les climats arides et semi-arides du pays. Les effets du stress hydrique sur la croissance et le développement du maïs varient selon le moment du stress. La modélisation du développement phasique des cultures permettrait aux agriculteurs et aux décideurs d'améliorer la gestion de l'eau disponible dans les conditions de pénurie d'eau, en particulier dans les stades sensibles des cultures. Les étapes phonologiques des cultures sont généralement prédites en utilisant les degrés-jours de croissance accumulés (AGDD). Etant donné que les fonctions AGDD ne considèrent pas de nombreux facteurs limitants le développement, ils

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran, nghahreman@ut.ac.ir

ne parviennent généralement pas à surveiller la phénologie avec précision. Néanmoins, la simplicité de la méthode de degrés-jours l'a largement répandue et peut être améliorée en combinaison avec les indices et les outils d'exploration de données de télédétection tels que les arbres de décision. Dans cette étude, un modèle combiné d'AGDD et de NDVI à distance a été développé pour la prévision de la phénologie du maïs (cv. K407) dans la région de Karaj, en Iran, en utilisant un ensemble de données de neuf ans (2002 à 2010).

Les techniques de lissage des courbes sont largement utilisées dans les études de surveillance de la phénologie pour les courbes montées sur l'observation au sol telles que LAI ou les indices de végétation (VIs) par télédétection. Cependant, ils sont essentiellement utilisés pour déterminer les stades phénologiques distincts en extrayant les points de virage des courbes (c.-à-d. la première et la deuxième dérivation). Pour faire disparaître les bruits existants de traitement d'image, on a utilisé l'approche de Moindres carrés pondérés (MCP). Les résultats du modèle de phénologie combiné ont été comparés en utilisant deux méthodes fréquemment utilisées basées sur l'AGDD et la date de semis. Les résultats montrent qu'en général, le modèle développé a prédit les premiers 7 stades phénologiques de l'émergence à laiterie, plus précisément comparé à d'autres approches (avec une différence moyenne de 2 et 2,5 jours avec les dates observées, respectivement) mais était inexacte pour l'étape de maturité. Notre étude souligne la nécessité d'améliorer davantage les observations physiologiques dans la région.

**Mots-clés :** AGDD, NDVI, Iran, Moindres carrés pondérés (MCP).

## Monitoring and Remote Control of Irrigation Operations for Performance Improvement

### Développement De Surveillance Et De La Technologie De Commande A Distance Sur Les Opérations D'irrigation Pour L'amélioration De La Performance Des Systèmes D'irrigation

Susi Hidayah<sup>1</sup>, Aditya Prihantoko and Marasi Deon Joubert Hutadjulu

#### ABSTRACT

Irrigation management for its modernization requires effectiveness and efficiency in the operation of the irrigation network. Limited human resources, the number of constraints, technical capabilities and limitations of the coverage area cause less than optimal implementation of the irrigation network operations. This is as bad as mismanagement on the irrigation network, which adversely affects not only the irrigation network but also the nation as a whole. Solution of these problems require innovation in the operation of the irrigation network. Some of the fundamental features are that the system managers must ensure timely availability of water to the irrigators as per the planned water delivery and in proper time. Monitoring and control technology used in this research is the application of reporting of website based operation, measurement of volumetric discharge, and electromechanical water gate. There are devices that provide irrigation water recording inputs and execution outputs of irrigation water. All systems can be controlled from the irrigation server management room for important observation points in the irrigation area. The use of this new technology would give the perception that varies at each level of irrigation management. The majority of respondents sampling hierarchy in Boro, Tajum, Bondoyudo irrigation area give a good perception, but it has not been successfully implemented fully in the irrigation area because of server instability and sometimes due to hardware problems with the measurement systems.

**KEY WORDS:** irrigation, monitoring, remote control, electromechanical water gate, volumetric discharge measurement devices.

#### RÉSUMÉ

La gestion de l'irrigation avec le concept de modernisation de l'irrigation nécessite une efficacité et une efficacité dans le fonctionnement du réseau d'irrigation. Les ressources humaines limitées, le nombre de contraintes, les capacités techniques et les limites de la chirurgie de la zone de couverture entraînent une mise en œuvre moins optimale des opérations du réseau d'irrigation. En conséquence, la gestion de l'irrigation optimale entraîne une condition de plus en plus endommagée des réseaux d'irrigation. Du point de vue de l'efficacité, en supposant que les mesures de décharge entre les mesures du matin et du soir ont atteint le niveau, plus l'efficacité de l'eau est faible. Certaines choses au-dessus des problèmes nécessitent une innovation dans le fonctionnement du réseau d'irrigation. L'exploitation et l'entretien de l'irrigation et du drainage sont encore encouragés par le schéma d'allocation d'eau semi-demandée et le contrôle en amont, les données de terrain recueillies en temps réel et peuvent être traitées avec la gestion du logiciel et les collecteurs de données de télémétrie. La technologie de surveillance et de contrôle utilisée dans cette recherche est l'application de rapports d'exploitation basée sur le site Web, la mesure des décharges

<sup>1</sup> Young Researcher in Experimental Station for Research and Development of Irrigation, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works and Housing, Cut Meutia Street, P.O. Box 147, 17113Bekasi, West Java, Indonesia; E-mail: hidayahsusi@gmail.com

volumétriques et la porte d'eau électromécanique. Il existe des dispositifs qui fournissent des entrées d'enregistrement d'eau d'irrigation et des sorties d'exécution d'eau d'irrigation. Tous les systèmes peuvent être contrôlés depuis la salle de gestion du serveur d'irrigation pour des points d'observation importants dans la zone d'irrigation. L'utilisation de cette nouvelle technologie donnerait la perception qui varie à chaque niveau de gestion de l'irrigation. La majorité de la hiérarchie d'échantillonnage des répondants dans Boro, Tajum, région d'irrigation de Bondoyudo donne une bonne perception, mais elle n'a pas été complètement implémentée dans la zone d'irrigation en raison de l'instabilité du serveur. Un dispositif d'urather a eu des contraintes techniques sur les blocs d'alimentation et les systèmes pneumatiques.

## The Zoning of Territories for Justification of Integrated Meliorative Regulation

### Le Zonage Des Territoires Pour La Justification De Règlement Mélioratif Intégré

V. V. Shabanov, V. N. Markin<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Issues of territories ranging in accordance to requirement of different types of reclaimed lands are considered to address the question of the type of land reclamations or their combinations required for the specific natural zones. The attention is paid to hydro, thermal and nutrition factors of soils. The hydro factor is considered to be the main to regulate using technical measures by means of drainage and irrigation systems. The thermal factor is the limiting possibility for agricultural plants' cultivation, because this factor practically cannot be regulated within the field (the factor limits development of plant growing). The nutritious factor of soils can be regulated by means of fertilizing in a dry form or with irrigation water. The offered method allows estimating the necessity of a concrete type of melioration or their combination. The example of division into districts of hydro, thermal and nutritious managements in tundra and taiga zones of Russia is given.

**KEY WORDS:** combined meliorations, justification of melioration influence, division into districts of the territory, requirement of plants, factors of environment of plants, hydro factor of soils, temperature condition, nutrient factor of soils.

#### RÉSUMÉ

Les questions des territoires allant conformément aux exigences des différents types de terres récupérées sont considérées pour d'aborder la question du type de réclamations de terre ou leurs combinaisons nécessaires pour les zones naturelles spécifiques. L'attention est accordée aux facteurs hydroélectrique, thermiques et la nutrition des sols. Le facteur hydro est réputé être le principal pour régler l'utilisation de mesures techniques au moyen de systèmes de drainage et d'irrigation. Le facteur thermique est la possibilité de limitation pour la culture des plantes agricoles, parce que ce facteur ne peut pratiquement être réglementé dans le domaine (le facteur limite le développement de l'élevage d'usine). Le facteur nutritif des sols peut être réglé au moyen de la fertilisation sous une forme sèche ou avec de l'eau d'irrigation. La méthode proposée permet d'estimer la nécessité d'un type concret de melioration ou leur combinaison. On donne l'exemple de division en districts de gestions hydroélectriques, thermiques et nutritives dans les zones de toundra et la taïga de la Russie.

**Mots clés :** méliorations combinées, justification de l'influence de melioration, division en districts du territoire, exigence des plantes, des facteurs de l'environnement de plantes, facteur hydro des sols, conditions de température, facteur en éléments nutritifs des sols.

<sup>1</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow



## Abstract of Papers received in Response to

### Q.61.3: **Adaptability and affordability of new technologies under different socio-economic scenarios**

Adaptabilité et accessibilité des nouvelles technologies selon divers scénarios socio-économiques

---

#### INDEX OF ABSTRACT

---

- R.61.3.01**    **Modernization of Spate Irrigated Agriculture: A New Approach –Traditional Model of Ziquejie Mountain Terraces in China and Scientificities on Irrigation Heritage Perspective**    377  
La modernisation de l'agriculture Irriguée en recrudescence: une nouvelle approche – le modèle traditionnel des terrasses du montagne ziquejie en Chine et les scientificities sur le perspective de la patrimoine de l'irrigation  
*Li Yunpeng, Tan Xuming, Li Ruoxi, Deng Jun, and Liu Jiangang (China)*
- R.61.3.02**    **Physical Model Study to Determine the “Tecorito” Tunnel Capacity in 010 and 074 Irrigation Districts, Sinaloa, México**    379  
Etude du Modèle Physique pour Déterminer la Capacité du Tunnel «Tecorito» dans les Districts D'irrigation de 010 et 074, Sinaloa, México  
Gilberto Salgado Maldonado (Mexico)
- R.61.3.03**    **Automated Irrigation to Determine the Crop Coefficient in Tomato Seedlings in Substrate with Hydroureter**    381  
Irrigation automatisée pour déterminer le coefficient de cultures dans les semis de tomate en substrat avec hydroureter  
*Catariny Cabral Aleman, and Flávio Campos Bastos (Brazil)*
- R.61.3.04**    **Public Policy Proposal for the Operational Management of Aquifers in Mexico**    383  
Proposition de politique publique pour la gestion opérationnelle des aquifers au Mexique  
*Arturo González Casillas, J. Ángel Guillén González, A. Bernardo Espinosa Aguilar Alejandro González Bernal, and Ramón Almejo Bernabe (Mexico)*
- R.61.3.05**    **Modernization of National Irrigation System in the Philippines**    384  
Modernisation du système national irrigation aux philippines: relier design, le fonctionnement et d'alimentation en eau  
Mona Liza F. Delos Reyes and Bart Schultz (*Philippines*)

- R.61.3.06 Travel Cost Method & Multi-Criteria Decision-Making to Evaluate Non-use Value of Coastal Resources in Hsinchu City – Compared with Contingent Valuation Method** 386  
 Méthode de Coût de Voyage & prise de décision multi-critère pour évaluer la non-utilisation des Ressources Littorales de la Ville de Hsinchu - en Comparaison avec la Méthode d'Évaluation Contingente  
*Chiueh, Ya-Wen, and Ya-Hua Liu (Taiwan)*
- R.61.3.07 Sustainable Financial Model in Technology of Irrigation** 388  
 Modele financier durable en technologie d'irrigation  
*María Guadalupe Robles Linares Gándara (Mexico)*
- R.61.3.08 SODIS Method for Reuse of Gray Water in The Irrigation for Production of Seedlings** 390  
 Méthode SODIS pour la Réutilisation des eaux Grises dans L'irrigation pour la Production de Semis  
*Catariny Cabral Aleman, Ana Carolina Gasparotto Silva, and Bruna De Souza Pereira (Brazil)*
- R.61.3.09 Rainfall Distribution and Vegetation Greenness: A Case Study of Small Farmers in Umkhanyakude Dist., Kwazulu Natal, South Africa** 392  
 Repartation De Pluie Et Vegetation Vert: Une Étude De Cas Des Petites Agriculteurs Au District D'umkhanyakude, Kwazulu Natal, Afrique Du Sud  
*Maponya Pi, and Mpandeli Sn (South Africa)*
- R.61.3.10 Modernization of Irrigation Systems of Ukraine** 394  
 Situation actuelle et approches À la modernisation technique des systèmes d'irrigation en ukraine  
*M. Romashchenko, and O. Dekhtiar (Ukraine)*
- R.61.3.11 Innovative Operations for Reservoir Safety Monitoring – Experience of Agongdian Reservoir at Southern Taiwan** 396  
 Operations Innovantes pour la Surveillance de la Securite du Reservoir – L'experience du Reservoir de Agongdian au Sud de Taïwan  
*Huang Shih-Wei<sup>0F</sup>, Huang Jen-Kai<sup>1F</sup>, Cheng Chang-Chi<sup>2F</sup>, and Jan Ming-Young<sup>3F</sup> (Taiwan)*
- R.61.3.12 The Impact of Basin Deterioration in the Infrastructure of Irrigation Districts in Mexico** 398  
 L'impact de la détérioration des bassinshydrographiques dans l'infrastructure des districts d'irrigation au Mexique  
*Lomeli V. Ramón, and Álvarez G. Nazario (Mexico)*
- R.61.3.13 Adaptation to Climate Change: Impact of Capacity Building, India** 400  
 Adaptation aux Changements Climatiques: Impact du Renforcement des Capacités, Inde  
*K.R.Kakumanu, K. Yella Reddy, M. Balasubramanian, U.S.Nagothu, and K. Sunitha (India)*



- R.61.3.14 Tile Drainage: A Strategy to Cope with the Food Challenge Facing Mexico** 402  
Le drainage agricole souterrain: Une des stratégies contre l'insécurité alimentaire du Mexique  
*Hector Arias, Stevecraft, Carlos Baldenebro, Rodrigo Patron, Jesustarriba; Arturo Gonzalez, Heber Saucedo, Rodolfo Namuche, Nahúm García, and Carlos Fuentes (Mexico)*
- R.61.3.15 Competitiveness of Modular Canal Lining - Case Study in Ciujung Irrigation Area, Banten** 404  
Compétitivité de Paroi Modulaire de Canal - Étude de cas de la Zone D'irrigation De Ciujung, Banten  
Hanhan A. Sofiyuddin, M. Uzae, Mulyadi, and Eko W. Irianto (Indonesia)
- R.61.3.16 Storage State Approach for Identifying Improvement Needs in Minor Tanks, Sri Lanka** 406  
Approche d'état de stockage pour identifier les besoins d'amélioration dans les réservoirs mineurs, Sri Lanka  
*K.T.N.Perera, H.M.Jayatillake, and T.M.N.Wijayaratna (Sri Lanka)*



## Modernization of Spate Irrigated Agriculture: A New Approach – Traditional Model of Ziquejie Mountain Terraces in China and Scientificities on Irrigation Heritage Perspective

La Modernisation De L'agriculture Irrigee En Recrudescence: Une Nouvelle Approche – Le Modele Traditionnel Des Terrasses Du Montagne Ziquejie En Chine Et Les Scientificites Sur Le Perspective De La Patrimoine De L'irrigation

LI Yunpeng<sup>1</sup>, TAN Xuming, LI Ruoxi, DENG Jun, LIU Jianguang

### ABSTRACT

Terrace is the effective and widespread mode of mountain agriculture. The issues such as water resources storage and drainage, structure stability of terraces, impact on the conservation of soil and water, its adaptive and influencing mechanism to natural and social environment, are not only the important engineering technical issues among the terraces creating and operating, but also the key topics of heritage research. Covering a total area of 6416 hectares, Ziquejie Terraces located in south China are built on hills with altitude of 460m-1540m and surface slope of 25-40. Because of its long history more than 1000 years and simple but systematic irrigation and drainage system, Ziquejie Terraces had been enrolled in The World List of ICID Heritage Irrigation Structure in 2014 as an unique example of agricultural irrigation type. Based on systematic analyzing background of its creation, influences on the ecological environment and human society, components and characteristics of irrigation and drainage system in terraces area, scientific and cultural values as heritage in this paper, there reveal a traditional pattern of mountain agricultural development under the population pressure and mechanism of background adaptation and environment response. The study shows that the creation of Ziquejie Terraces has specific natural conditions. As a exemplification of overall planning and exploitation of water and land resources, Ziquejie Terraces reflect ancient Chinese philosophy that least projects could afford largest comprehensive benefits. The successful experiences of Ziquejie Terraces should be reference of modern agricultural development in the mountain areas.

**KEY WORDS:** Terrace, irrigation and drainage, heritage, traditional model, agriculture, environment, ecology, China.

### RESUME

La culture terrasse est le mode efficace et répandu de l'agriculture de montagne. Les problèmes tels que le stockage et le drainage des ressources en eau, la stabilité de la structure des terrasses, l'impact sur la conservation du sol et de l'eau, son mécanisme d'adaptation et d'influence sur l'environnement naturel et social ne sont pas seulement les problèmes techniques d'ingénierie importants pour créer et opérer les terrasses, mais aussi les thèmes clés de la recherche sur le patrimoine. Couvrant une superficie totale de 6416 hectares, les terrasses de Ziquejie, situé dans le sud de la Chine, sont construites sur des collines de l'altitude de 460 m à 1540 m, et de la pente de surface de 25° à 40°. Grâce à son histoire longue de plus de 1000 ans et d'un système d'irrigation et de drainage simple mais systématique, les terrasses de Ziquejie avait été inscrite dans la liste mondiale de la structure d'irrigation du patrimoine de la CIID en 2014 comme un exemple unique du type d'irrigation agricole. Basé sur l'analyse systématique des antécédents de sa création, les influences sur l'environnement écologique et la société humaine, les composantes et les caractéristiques du

<sup>1</sup> Engineer in Water History Department, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, D-736, 3# South Yuyuantan Road, Beijing 100038, China; E-mail: liyp@iwhr.com

système d'irrigation et de drainage dans les terrasses, les valeurs scientifiques et culturelles comme patrimoine dans ce document, un modèle traditionnel de développement agricole de montagne, sous la pression démographique et le mécanisme de l'adaptation de fond et la réponse de l'environnement, se révèle. L'étude montre que la création des terrasses de Ziquejie a des conditions naturelles spécifiques. En tant qu'exemple de la planification générale et de l'exploitation de l'eau et des ressources terrières, les terrasses de Ziquejie reflètent la philosophie chinoise ancienne selon laquelle les moindres projets pouvaient offrir les plus grands bénéfices compréhensives. Les expériences réussies des terrasses de Ziquejie devraient servir comme référence pour le développement agricole moderne dans les zones de montagne.

**Mots-clés:** la culture en terrasse, l'irrigation et le drainage, la patrimoine, le modèle traditionnel, l'agriculture, l'environnement, l'écologie, la Chine.

## Physical Model Study to Determine the “Tecorito” Tunnel Capacity in 010 and 074 Irrigation Districts, Sinaloa, México

Etude Du Modèle Physique Pour Déterminer La Capacité Du Tunnel «Tecorito» Dans Les Districts D’irrigation De 010 Et 074, Sinaloa, México

Gilberto Salgado Maldonado<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Humaya channel system integrates a series of hydraulic structures and channels with more than 200 km length development, its construction dates back to more than 50 years. In its conveyance branch or dead segment, the “Tecorito” tunnel is located between the 7+923 Km and 9+169 with a total distance of 1, 246 m, diameter of 6.50 m lining in polished finish concrete and slope of 0.00103. It was initially designed for a 110 m<sup>3</sup>/s discharge to irrigate 100,000.

Deterioration of the channel and the increase on the irrigation demand, requires rehabilitation and to increase the canal and its structures to a 120 m<sup>3</sup>/s discharge.

Interaction in the hydraulic behavior of structures and channel reaches, as well as the analysis techniques used in the original design and the uncertainty of the geometry of the final construction (as it was made), greatly hinder the study based on a classic desktop analysis.

In addition, given the closed pipe length, presents a “long culvert” behavior. The classification of the type of flow that occurs in the Tecorito tunnel, can be done in different ways, the most general is based on three parts which constitute the whole and which exercise primary control of capacity and performance: entry, canal, and exit. Commonly, one of these conditions determines the flow regime.

The physical model in scale of 1:33 designed by the Froude similarity law. The model was built in a space approximately 75m long with reaches of canal upstream and downstream built of fine finish concrete. The tunnel was represented by acrylic 20cm diameter pipe.

The result of 70 tests in total, driven in seven series shows the change of the tunnel capacity in relation with the entry and exit conditions.

The deductions can be used to establish detailed boundary conditions for the design of the channels in the reaches upstream and downstream from the tunnel, which is important, since it directly influences in the depths of these channels and therefore costs, even on a possible modification of the head structure, the Andrew Weiss diversion dam.

**KEY WORDS:** Irrigation Tunnel, Long Span Culvert, physical model.

### RESUME

Le système de canal Humaya intègre une série de structures hydrauliques et de canaux ayant la longueur de plus de 200 km, dont la construction remonte à plus de 50 ans. Dans son secteur de transport ou secteur mort, le tunnel «Tecorito» est situé entre les 7+923 Km et 9+169 ayant une distance totale de 1.246 m, un diamètre de revêtement de 6,50 m en béton fini poli et une pente de 0,00103. Il était initialement conçu pour un débit de 110 m<sup>3</sup>/s pour irriguer 100 000.

<sup>1</sup> Water Technologist, Mexican Institute of Water Technology (IMTA). Hydraulic Coordination. <http://www.gob.mx/imta>, E-mail: [gsalgado@tlaloc.imta.mx](mailto:gsalgado@tlaloc.imta.mx)

La détérioration du canal et l'augmentation de la demande d'irrigation nécessitent une réhabilitation et l'augmentation du canal et de ses structures à un débit de 120 m<sup>3</sup>/s.

L'interaction entre le comportement hydraulique des structures et des canaux, ainsi que les techniques d'analyse utilisées dans la conception originale et l'incertitude de la géométrie de la construction finale (telle qu'elle a été faite) entravent considérablement l'étude sur la base d'une analyse documentaire classique.

De plus, compte tenu de la longueur de tuyau fermé, il présente un comportement de «aqueduc long». La classification du type de débit qui se produit dans le tunnel de Tecorito peut se faire de différentes façons, la plus générale est basée sur trois parties qui constituent l'ensemble et qui exercent un contrôle primaire de la capacité et de la performance: l'entrée, le canal et la sortie. Généralement, l'une de ces conditions détermine le régime d'écoulement.

Le modèle physique à l'échelle 1:33 est conçu par la loi de similarité de Froude. Le modèle a été construit dans un espace ayant une longueur d'environ 75 m avec des tronçons de canal en amont et en aval construits en béton fini raffiné. Le tunnel était représenté par un tuyau en acrylique ayant un diamètre de 20 cm.

Le résultat de 70 essais au total, piloté en sept séries, montre la variation de la capacité du tunnel en relation avec les conditions d'entrée et de sortie.

Les déductions peuvent être utilisées pour établir les conditions limites détaillées pour la conception des canaux dans les tronçons en amont et en aval du tunnel, ce qui est important, car il influence directement la profondeur de ces canaux et le coût, même après une éventuelle modification de la structure de la tête du barrage de dérivation Andrew Weiss.

**Mots-clés:** Tunnel d'irrigation, aqueduc à longue portée, modèle physique

## Automated Irrigation to Determine the Crop Coefficient in Tomato Seedlings in Substrate with Hydroureter

Irrigation Automatisée Pour Déterminer Le Coefficient De Cultures Dans Les Semis De Tomate En Substrat Avec Hydroureter

Catariny Cabral Aleman<sup>1</sup> and Flávio Campos Bastos

### ABSTRACT

Production in protected environments or greenhouses is an important option for producers of vegetable, ornamental, medicinal, aromatic and other seedlings. The objective of this study was to obtain the weekly crop coefficient (kc) for tomato seedlings produced in substratum with waterproofing polymer and irrigated by automatic system of localized irrigation. The experiment was conducted in a greenhouse in the Department of Agricultural Engineering, Viçosa-MG, Brazil. The irrigation system was micro sprinkler, consisting of 4 emitters per tray of seedlings, so that each tray constitutes a separate experimental unit. The method for estimation of Reference Evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) was Penman - Monteith FAO56. The weighing lysimetry was used to obtain the variation of the tray mass. Two consecutive daily weights at intervals of 60 minutes (during the morning shift), were recorded for 5 sample units (SU) arranged in a completely randomized design. Each SU had a tray of 128 cells. The values of kc obtained were used to calibrate the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) estimates used in the later stages. Weekly Kc values were generated. Irrigation was managed so that the crop did not undergo water stress during the moulting phase. For the conditions tested it was possible to obtain kc values between 0.72 and 2.86 for the substrate without hydrogel and 0.81 to 3.46 for the substrate with hydrogel. It should be considered that the production stage of seedlings is very demanding in water and in protected environment conditions it is possible to obtain high kc values.

**KEY WORDS:** Water need; Water economy; Automatic Irrigation.

### RESUME

La production dans les environnements ou les serres protégés est une option importante pour les producteurs de semences végétales, ornementales, médicinales, aromatiques et autres. Cette étude vise à obtenir le coefficient de culture hebdomadaire (kc) des semis de tomates produits dans un substrat avec un polymère imperméable à l'eau et irrigués par le système automatique d'irrigation localisée. L'expérience a été menée dans une serre au Département du génie agricole, Viçosa-MG, au Brésil. Le système d'irrigation utilisé était le micro asperseur, composé de 4 émetteurs par plateau à semis, de sorte que chaque plateau constitue une unité expérimentale distincte. La méthode d'estimation de l'Evapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) était Penman - Monteith FAO56. La lysimétrie de pesée a été utilisée pour obtenir la variation de la masse de plateau. Deux poids quotidiens consécutifs à l'intervalle de 60 minutes (pendant le quart du matin) ont été enregistrés pour 5 unités d'échantillons (SU) disposées dans une conception totalement aléatoire. Chaque unité échantillon avait un plateau de 128 globules. Les valeurs de kc obtenues ont été utilisées pour étalonner les estimations de l'évapotranspiration d'un couvert (ET<sub>c</sub>) utilisées dans les étapes ultérieures. Les valeurs Kc hebdomadaires ont été générées. L'irrigation a été gérée de telle sorte que la culture n'a pas subi de stress hydrique pendant la période de mue. Pour les conditions

<sup>1</sup> Professor of Universidade Federal de Viçosa, Avenue Ph Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa-MG, E-mail: catariny@ufv.br

testées, il était possible d'obtenir des valeurs  $k_c$  entre 0,72 et 2,86 pour le substrat sans hydrogel et de 0,81 à 3,46 pour le substrat avec de l'hydrogel. Il est à noter que le stade de production des semis est très exigeant dans l'eau et, dans les conditions environnementales protégées, il est possible d'obtenir les valeurs élevées de  $k_c$ .

**Mots-clés** : Besoins en eau; économie de l'eau; irrigation automatique.



## Public Policy Proposal for the Operational Management of Aquifers in Mexico

### Proposition De Politique Publique Pour La Gestion Opérationnelle Des Aquifers Au Mexique

Arturo González Casillas<sup>1</sup>, J. Ángel Guillén González<sup>2</sup>, A. Bernardo Espinosa  
Aguilar<sup>3</sup>, Alejandro González Bernal<sup>4</sup>, Ramón Almejo Bernabe<sup>5</sup>

#### ABSTRACT

World statistics indicate that from 2011 to 2050 human population will increase from 7 to 9.3 billion, with a 60% increase in food demand. There will be a commensurate increase in the demand for potable water, industrial need and for agriculture. In Mexico, groundwater accounts for 34% of the water required for agriculture and for the greatest percentage of water for meeting the needs of the population and the industry. The official information on the 653 aquifers in Mexico indicates that 16% are over-exploited. As determined by data from CONAGUA, published in 2015, there are 104 over-exploited aquifers, with an accumulated annual volume of 5,999 Hm<sup>3</sup>. The proposal is to have the regulating agencies responsible for managing water resources—CONAGUA, CFE, and SAGARPA—act in an integrated fashion in order to carry out a strict supervision and to establish concrete mechanisms for eliminating all the wells without allocation entitlement and the electricity subsidies of users who overexploit the volume stipulated in their water allocation deed. A public policy should be established nationwide for promoting new groundwater management regulations, where institution cited jointly supervise and restructure the allocation of water volumes in over-exploited aquifers.

**KEY WORDS:** COTAS, preferential rates, overdrafted, governance, hidro-aquifers.

#### RÉSUMÉ

Les statistiques mondiales indiquent que l'année 2011 à 2050, la population mondiale devrait augmenter de 7 milliards à 9.3 milliards, avec une augmentation de 60 % des besoins alimentaires, ainsi que les besoins d'eau pour approvisionner les centres de population en croissance constante, l'industrie et l'agriculture. Au Mexique, les eaux souterraines fournissent 34 % des eaux requises dans l'agriculture. L'information officielle qui mentionne des 653 aquifères du Mexique, 16 % sont classés comme surexploités, ce qui permet de préciser avec des données de l'Conagua publiées en 2015, indique que se trouvent 104 aquifères surexploités et un volume de la surexploitation de l'ordre de 5,999 Hectómetros cubes par an (Hm<sup>3</sup>/an). Il est proposé que les institutions de réglementation responsables de la ressource eau CONAGUA, CFE et SAGARPA, Intégrées sur le plan institutionnel, d'effectuer une surveillance stricte et établir des mécanismes concrets pour supprimer tous les puits sans titre de concession, en éliminant les subventions à l'énergie électrique des utilisateurs qui surexploitent le volume prévu dans son titre de concession.

1 Subcoordinator of operation and maintenance of hydro-agricultural infrastructure. Mexican Institute of Water Technology. ([www.gob.mx/imta](http://www.gob.mx/imta)); E-mail: [arturo\\_gonzalez@tlaloc.imta.mx](mailto:arturo_gonzalez@tlaloc.imta.mx)

2 Hydraulics Specialist. Mexican Institute of Water Technology. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos., CP. 62550, Mexico. E-mail: [guillen@tlaloc.imta.mx](mailto:guillen@tlaloc.imta.mx).

3 Sistemas Agrícolas Mexicanos; E-mail: [consultoria.samex@gmail.com](mailto:consultoria.samex@gmail.com)

4 PhD Student UNAM, [alejandra.gonzalez@st.ib.unam.mx](mailto:alejandra.gonzalez@st.ib.unam.mx)

5 Pdte. U.R. Usmajac, Jalisco, México. E-mail: [unidad.de.riego.usmajac@gmail.com](mailto:unidad.de.riego.usmajac@gmail.com)

## Modernization of National Irrigation System in the Philippines

### Modernisation Du Système National Irrigation Aux Philippines: Relier Design, Le Fonctionnement Et D'alimentation En Eau

Mona Liza F. Delos Reyes<sup>1</sup> and Bart Schultz<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The mediocre performances of irrigation systems in Philippines is attributed to the shortcomings either in the design, technology, system operation, maintenance and management, policy or a combination of these factors, and, more recently, to changes in weather patterns. Conventional rehabilitation works had little impact on increasing the actual irrigated areas. Irrigation modernisation, defined as a process of technical, managerial and institutional upgrading is considered as a strategic way to improve the performance of canal irrigation systems.

This study examined the irrigation technology and management techniques employed in two sample national irrigation systems that face water shortage and destructive floods during the dry and wet cropping seasons, respectively. The objectives of the study were to identify technology constraints, cost-effective improvement practices and potentials for improving the irrigation system performance with a view to formulating a relevant modernisation approach for national irrigation systems and other irrigation systems in a similar situation. The study used a logical design framework, field measurements and selected procedures of the Mapping System and Services for Canal Operation Techniques (MASSCOTE) as analytical tools.

The findings show that inconsistencies among the design philosophy, system and operational objectives, flow control structures and water supply of the irrigation systems are root causes of their sub-optimal performances. Construction of drainage water reuse facilities, implementation of system-wide cropping calendars and water delivery schedules, adjustments of cropping calendars to avoid drought- and flood-prone periods, development of supplemental sources of irrigation water, and adoption of irrigation rotation and alternate wetting and drying irrigation techniques have helped achieving optimal irrigation service possible under the particular circumstances of the irrigation systems.

**KEY WORDS:** Irrigation modernisation, irrigation performance, diagnostic assessment, MASSCOTE.

#### RÉSUMÉ

L'expansion dans la zone de service d'irrigation globale a été une stratégie clé du gouvernement Philippin pour atteindre ses objectifs d'autosuffisance du riz, la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté rurale. La construction de nouvelles installations d'irrigation, la restauration et la réhabilitation des systèmes d'irrigation existants ont été menées avec vigueur par l'Agence Nationale de l'Irrigation. Plus de 214.000 ha de nouvelle aire de service ont été générés et environ 804.000 et 194.000 ha ont été réhabilités et restaurés, respectivement, au cours de la période 2010-2015. Cependant, une analyse des tendances dans les pays développés des zones de services d'irrigation et les périmètres irrigués réels suggère que les

1 University Researcher in Land and Water Development, IAE-CEAT University of the Philippines Los Baños, College Los Baños, Laguna, Philippines; E-mail: mfdelosreyes@up.edu.ph or mona\_dlreyes@yahoo.com

2 Professor in Land and Water Development, UNESCO-IHE Institute for Water Education, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, the Netherlands; E-mail: b.schultz@unesco-ihe.org

zones de services d'irrigation se détériorent à un rythme rapide. Il indique également que les efforts de réhabilitation et de restauration ne suffisaient pas à combler l'écart entre la zone de service d'irrigation et les zones desservies effectivement.

Les performances médiocres des systèmes d'irrigation en termes de superficie réelle irriguée sont attribuées aux défauts soit dans la conception, la technologie, le fonctionnement du système, la maintenance et la gestion, la politique ou une combinaison de ces facteurs, et, plus récemment, à des changements dans les conditions météorologiques et végétations des bassins fluviaux alimentant les systèmes d'irrigation. La baisse des étiages et des débits plus élevés en haute des rivières accentueraient les effets des défauts. réhabilitation conventionnelle, les travaux qui impliquent principalement la restauration des structures à leur conception d'origine, a eu peu d'impact sur l'augmentation des superficies irriguées réelles. la modernisation de l'irrigation, définie comme un processus de mise à niveau technique, de gestion et institutionnel visant à améliorer le service d'irrigation aux agriculteurs, est considéré comme un moyen stratégique pour améliorer la performance des systèmes d'irrigation du canal. experts d'irrigation individuels dans l'académie de monde universitaire et l'agence d'irrigation gouvernement reconnaissent et ont plaidé en faveur de projets d'intervention système basé sur la modernisation.

Cette étude a examiné les techniques de gestion des technologies de l'irrigation et de l'eau utilisées dans deux systèmes d'irrigation nationaux échantillons qui font face à la pénurie d'eau et des inondations dévastatrices au cours de la culture sèche et humide saisons de culture, respectivement. Les objectifs de l'étude étaient d'identifier les contraintes technologiques, les pratiques d'amélioration rentables et potentiels pour améliorer les performances du système d'irrigation avec une vue fin de la formulation d'une approche de modernisation pertinente pour les systèmes nationaux d'irrigation et d'autres systèmes d'irrigation dans une situation similaire. L'étude a utilisé un cadre de conception logique, les mesures sur le terrain et les procédures du Système de Cartographie et des Services Techniques Opération Canal (MASSCOTE) comme outils d'analyse.

Les résultats montrent que les incohérences entre la philosophie de la conception, du système et des objectifs opérationnels, les structures de contrôle de la circulation et l'approvisionnement en eau des systèmes d'irrigation sont les causes profondes de leurs performances sous-optimales. La construction des installations de réutilisation des eaux de drainage, la mise en œuvre des calendriers de culture l'échelle du système et des calendriers de distribution d'eau, des ajustements de calendriers culturaux pour éviter les périodes sécheresse et aux inondations, le développement de sources supplémentaires d'eau d'irrigation, et l'adoption de rotation de l'irrigation et le mouillage alternatif et séchage les techniques d'irrigation ont contribué à la réalisation de service optimal d'irrigation possible dans les circonstances particulières des systèmes d'irrigation. Un examen attentif de la cohérence logique entre les technologies d'irrigation sélectionnées, la distribution de l'eau et les techniques d'application et la disponibilité de l'approvisionnement en eau formerait une partie cruciale d'une planification de la modernisation de l'irrigation pertinente pour les systèmes d'études de cas et d'autres systèmes d'irrigation dans des situations similaires.

**Mots-clés:** Modernisation de l'irrigation, la performance de l'irrigation, l'évaluation diagnostique, MASSCOTE.

## Travel Cost Method and Multi-Criteria Decision-Making to Evaluate Non-use Value of Coastal Resources in Hsinchu City – Compared with Contingent Valuation Method

Méthode De Coût De Voyage & Prise De Décision Multi-Critère Pour Évaluer La Non-Utilisation Des Ressources Littorales De La Ville De Hsinchu - En Comparaison Avec La Méthode D'évaluation Contingente

Chiueh, Ya-Wen<sup>1</sup> and Ya-Hua Liu<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The total length of Hsinchu coastline is about 17 km. In 2003, Hsinchu City Government proposed the wetland of 17 km of “Splendid Coastline” project. The project has a bike route along the shoreline, a complex recreation center in Hsinchu Fish Harbor with a Sailboat Sports Park, Environmental Education Center and Gagnon Canal, establishing a recreation area in Hsinchu City. The benefits of tourism brought by visitors’ recreational activities cannot be measured with general market price, and must be evaluated with non-market goods assessment. Travel Cost Method (TCM) and Contingent Valuation Method (CVM) are common economic efficiency assessment methods for recreation spots. This study estimated the overall economic benefits of Hsinchu coastline by Travel Cost Method and Contingent Valuation Method, combined with Multi-criteria decision-making (MCDM) to understand the proportion of “natural scenery”, “activities and cultural experiences”, “leisure and sports”, “shopping and dining” and “heritage” in minds of tourists, and calculate separately the economic benefits they brought to Hsinchu City, and finally estimate the overall coastline economic benefits of Hsinchu City by two methods. Combining the result of TCM and CVM, the annual overall economic efficiency of 17km Hsinchu coastline was NT\$ 6.412 billion and all efficiency values were between the travel cost per person per trip and the CS values per person by CVM. Thus, it was inferred that the real effective value of user’s use value and non-use value should be within the possible range covered by the three.

**KEY WORDS:** Hsinchu coastline, travel cost method, contingent valuation method, multi-criteria decision-making, economic value

### RÉSUMÉ

La longueur totale des côtes de Hsinchu est d'environ 17 km. En 2003, le gouvernement de la ville de Hsinchu a proposé la zone humide de 17 km du projet « Splendide littoral ». Le projet comporte un itinéraire cyclable le long du rivage, un complexe de centre de loisirs dans le port pêcheur de Hsinchu avec le Parc Sportif de Voile, le Centre d'éducation environnementale et Canal Gagnon, et la création d'une aire de loisirs dans la ville de Hsinchu. Les avantages du tourisme par les activités récréatives des visiteurs ne peuvent pas être mesurés avec des prix de marché et doivent être évalués avec l'évaluation des biens non marchands. La Méthode de coût de voyage (TCM) et la Méthode d'Évaluation de Contingent (CVM) sont les méthodes d'évaluation de la rentabilité communes pour les lieux de loisirs. Cette étude a estimé les avantages économiques globaux du littoral Hsinchu par la méthode du coût de voyage et méthode la d'évaluation contingente, combinée à la prise de décision multicritère (MCDM) pour comprendre la proportion de « paysage naturel », « activités et expériences culturelles », « loisirs et sports », « commerces et des restaurants » et « patrimoine » dans l'esprit des

1 Professor, Department of Environmental and Cultural Resources, National Tsing Huw University, Taiwan  
2 Teacher, Hsing Lung Primary School, Hsinchu County, Taiwan. Master, Depart. of Env. and Cultural Resources, National Hsinchu Univ. of Education, Taiwan

touristes, et calculer séparément les avantages économiques qu'ils ont apporté à la ville de Hsinchu et enfin estimer les avantages économiques globaux du littoral de la ville de Hsinchu par deux méthodes. En combinant le résultat de TCM et CVM, l'efficacité économique globale annuelle des 17km de côtes de Hsinchu était de NT\$ 6,412 milliards et toutes les valeurs de rendement ont été entre le coût du voyage par personne et par voyage et les valeurs de CS par personne par CVM. Ainsi, il a été déduit que la valeur efficace réelle de valeur d'usage de l'utilisateur et la valeur de non-usage devrait être dans la fourchette possible couverte par les trois.

**Mots-clés** : Littoral de Hsinchu, méthode du coût voyage, méthode d'évaluation contingente, multicritère valeur de prise de décision, économique

## Sustainable Financial Model in Technology of Irrigation

### Modele Financier Durable En Technologie D'irrigation

María Guadalupe Robles Linares Gándara<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

This investigative work developed by Fundación para el Desarrollo Sustentable (FDS), supported by Climate Works through Initiative of Climática Mexicana, started in 2015, on the hypothesis: The use of renewable energy for power generation for irrigated agriculture, is a feasible climate change mitigation and adaptation strategy.

Such approach was strengthened when Paris agreement entered into force on November 4th 2016, and became a commitment for Mexico to comply Climate Responsibilities by accepting targets and deadlines established to reduce GHG and short-lived air pollutants emissions, and their effects, when ratified by the Mexican Senate.

This research clearly showed both, technological and financial feasibility to reach 100% agricultural surface irrigated with underground water, through the capitalization of the subsidy to electrical price of pumping usage, redirecting it to acquisition and installation of equipment for renewable energy generation, and create a holistic efficient energetic-productive model, that means, energy and water supply and usage.

The current scheme of electrical subsidies, distortions price formation, promotes inefficiencies in usage of water, soil and energy and is certainly, a heavy burden to public finances. Implementing the model would boost competitiveness of agriculture through technified pump irrigation, reducing electricity cost, helping aquifer recharge, and benefits must vulnerable segment to electricity cost and water scarcity.

#### RESUME

Ce travail d'enquête développé par Fundación para el Desarrollo Sustentable (FDS), soutenu par Climate Works via Initiative de Climática Mexicana, a débuté en 2015, sur l'hypothèse: L'utilisation d'énergie renouvelable pour la production d'énergie pour l'agriculture irriguée est une atténuation possible du changement climatique et de la stratégie d'adaptation.

Une telle approche a été renforcée lorsque l'accord de Paris est mis en vigueur le 4 novembre 2016 et est devenu un engagement pour le Mexique à respecter les responsabilités climatiques en acceptant les objectifs et les délais établis pour réduire les émissions de GES et les émissions de polluants atmosphériques de courte durée, et leurs effets, lorsqu'ils sont ratifiés par la Sénat mexicain.

Cette recherche a clairement démontré à la fois la faisabilité technologique et financière pour atteindre 100% de surface agricole irriguée avec des eaux souterraines, grâce à la capitalisation de la subvention au prix électrique de l'utilisation du pompage, en la réorientant vers l'acquisition et l'installation d'équipements pour la production d'énergie renouvelable et en créant un modèle holistique énergétique-productif et efficace, c'est-à-dire l'approvisionnement et l'utilisation de l'énergie et de l'eau.

<sup>1</sup> Doctora en Antropología Social. Universidad Iberoamericana. Ciudad de México, Fundación para el Desarrollo Sustentable, A.C.; Paseo de la Reforma 222 T1 P 18, Col. Juárez, Delegación Cuauhtémoc, Ciudad de México CP 06600. E mail: guadalupe@fds.org.mx

Le système actuel de subventions électriques, la formation des prix des distorsions, favorise l'inefficacité dans l'utilisation de l'eau, du sol et de l'énergie et constitue certainement un lourd fardeau pour les finances publiques. La mise en œuvre du modèle renforcerait la compétitivité de l'agriculture grâce à l'irrigation par pompage technicisé, réduisant les coûts d'électricité, aidant à recharger les aquifères, et les bénéficiaires doivent être vulnérables aux coûts de l'électricité et à la pénurie d'eau.

## SODIS Method for Reuse of Gray Water in the Irrigation for Production of Seedlings

### Méthode SODIS Pour La Réutilisation Des Eaux Grises Dans L'irrigation Pour La Production De Semis

Catariny Cabral Aleman<sup>1</sup>; Ana Carolina Gasparotto Silva<sup>2</sup>; Bruna de Souza Pereira<sup>3</sup>

#### ABSTRACT

The SODIS (Solar Water Disinfection) method uses solar radiation (light and heat UV-A) to destroy pathogenic bacteria and viruses in water. The objective of this work was to use the SODIS method in the treatment of gray water from washing machines and later to verify the effects under the production of seedlings. The experiment was carried out in the municipality of Lucélia-SP, Brazil. The collected water was filtered through sand and charcoal filter and later packed in a PET bottle. The bottles were closed and exposed to incident solar radiation under aluminum plates for 45 days. After obtaining solar treated water, its pH and EC were measured. In the second stage, the treatments were: rinsing reuse water, rinsing wash water and water supply. These treatments were applied in trays of seedlings grown in protected environment, in a completely randomized design, with 3 treatments and 10 replicates. The evaluated parameters of the seedlings were: height and fresh weight. The data were analyzed using AOV and the Scott-Knott test to compare means at 5% size of Type I error. The pH of the water decreased after the SODIS treatment and the EC increased by comparing the water collected after the washing and rinsing and water processes after the solar treatment. There were no significant differences for height and fresh weight of the seedlings comparing reuse water and water supply. It was possible to conclude that although more studies are needed on the SODIS method, it is possible to use it in irrigated agriculture in the production of seedlings provided that water quality assessments are carried out.

**KEY WORDS:** water use saving; water resources; irrigated agriculture.

#### RÉSUMÉ

La méthode SODIS (Solar Water Disinfection) utilise le rayonnement solaire (chaleur et lumière UV-A) pour détruire les bactéries pathogènes et les virus dans l'eau. L'objectif de cette étude était d'utiliser la méthode SODIS dans le traitement des eaux grises de machines à laver et de plus tard vérifier les effets sous la production de semis. L'expérience a été menée dans la municipalité de Lucélia-SP, Brésil. L'eau recueillie a été filtrée par le filtre à sable et à charbon de bois et plus tard, conditionnée dans une bouteille en PET. Les bouteilles ont été fermées et exposées au rayonnement solaire incident sous les plaques d'aluminium pendant 45 jours. Après l'obtention d'une eau traitée solaire, son pH et son EC ont été mesurés. Dans un deuxième temps, les traitements étaient : rinçage de l'eau réutilisée, rinçage de l'eau de lavage et approvisionnement en eau. Ces traitements ont été appliqués dans les plateaux de semis cultivés en milieu protégé, dans un endroit complètement aléatoire, avec 3 traitements et 10 répétitions. Les paramètres évalués des semis étaient : taille et poids frais. Les données ont été analysées à l'aide et du test de Scott-Knott et de AOV pour comparer les moyens à 5 % de la taille du Type I erreur. Le pH de l'eau a diminué après que le traitement de SODIS et la Communauté européenne ait augmenté en comparant l'eau recueillie après le lavage et le processus de rinçage et de l'eau après le traitement solaire. Il n'y a pas de différence

1 Avenue Ph Rolfs, campus Universitário, departamento de Engenharia Agricola, Viçosa, +55, Brazil, E-mail: catariny@ufv.br

2 Centro Universitário de Adamantina, Brazil, E-mail: carol\_louina\_12@hotmail.com

3 Centro Universitário de Adamantina, Brazil, E-mail: brunasouza1993@hotmail.com



significative pour la hauteur et le poids frais des semis en comparant l'eau réutilisée et l'approvisionnement en eau. Il a été possible de conclure que, bien que d'autres études sont nécessaires sur la méthode SODIS, il est possible de l'utiliser dans l'agriculture irriguée dans la production de semis sous réserve que les évaluations de la qualité des eaux soient effectuées.

**Mots-clés** : économie d'utilisation d'eau ; ressources en eau ; agriculture irriguée.

## Rainfall Distribution and Vegetation Greenness: A Case Study of Small Farmers in Umkhanyakude Dist., Kwazulu Natal, South Africa

Repartition De Pluie Et Vegetation Vert: Une Étude De Cas Des Petites Agriculteurs Au District D'umkhanyakude, Kwazulu Natal, Afrique Du Sud

Maponya PI<sup>1</sup> and Mpandeli SN<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The distribution of rainfall and the greenness of vegetation varied significantly in the UMkhanyakude district. There is also subsistence agriculture, which is practiced throughout the district. This agricultural activity consists of the production of crops for domestic consumption (e.g. corn, beans and sweet potatoes) in small gardens and fields close to the homesteads, as well as extensive stock farming (cattle and small livestock) on communal land. The aim of the study was to describe the rainfall distribution and vegetation greenness in the UMkhanyakude district. The following objectives were followed: (1) To describe the status of 24-month rainfall distribution in the Umkhanyakude district (2) To describe the current vegetation greenness in the Umkhanyakude district (3) To describe the socio economic characteristics of selected smallholder farmers and their production status as a results of rainfall distribution. The standardized precipitation index (SPI) for 24 months and normalized difference vegetation index (NDVI) was used in this study.

A questionnaire was also used to collect data on 60 agricultural projects with 577 beneficiaries in the Umkhanyakude district. The purposive sampling method was used to cover the uniform or homogeneous characteristics of farmers and data was coded, captured, and analysed using SPSS. The 24 SPI maps showed that severe to extreme drought conditions occurred at the longer time scale over some parts of Umkhanyakude district while in the shorter time scale (October to December 2016) the Umkhanyakude district was relatively wet. The NDVI showed a cumulatively lower vegetation greenness except in the period October to December 2016. The smallholder farmers in the district indicated that the rainfall distribution has affected their farming production as majority rated production the 1<sup>st</sup> challenge.

**KEY WORDS:** Drought, Rainfall Distribution, Vegetation Index, Agricultural Production, Umkhanyakude District, Kwazulu Natal, South Africa.

### RESUME

La répartition des précipitations et la végétation verte varie considérablement dans le district d'UMkhanyakude. Il existe également une agriculture de subsistance, qui est pratiquée dans le district. Cette activité agricole comporte la production de cultures destinées à la consommation domestique (par exemple, le maïs, les haricots et les patates douces) dans les petits jardins et les champs proches des fermes, ainsi que l'élevage (bétail et petit bétail) sur les terres communautaires. L'étude vise à décrire la répartition des précipitations et la verdure de la végétation dans le district d'UMkhanyakude. Les objectifs suivants ont été suivis: (1) Décrire l'état de la répartition des précipitations de 24 mois dans le district de Umkhanyakude (2) Décrire la verdure actuelle de la végétation dans le district de Umkhanyakude (3) Décrire les caractéristiques socio-économiques de certains petits agriculteurs et leur statut de

1 Project Manager, Agric. Research Council: Vegetables and Ornamental Plants, Pretoria, South Africa.  
2 Research Manager, Water Research Commission, Pretoria, South Africa & Professor, Univ. of Venda, Dept of Geography and Geo – Information, South Africa.

production en raison de la répartition des précipitations. L'indice standardisé de précipitation (SPI) pendant 24 mois et l'indice de végétation différentiel normalisé (NDVI) ont été utilisés dans cette étude.

Un questionnaire a également été utilisé pour recueillir des données concernant 60 projets agricoles ayant 577 bénéficiaires dans le district d'Umkhanyakude. La méthode d'échantillonnage intentionnel a été utilisée pour couvrir les caractéristiques uniformes ou homogènes des agriculteurs et les données ont été codées, capturées et analysées à l'aide de SPSS. Les 24 cartes SPI ont montré que les conditions de sécheresse sévères à extrêmes se sont produites à plus long terme dans certaines parties du district d'Umkhanyakude dans l'intervalle de temps plus court (octobre à décembre 2016), le district d'Umkhanyakude était relativement humide. Le NDVI a affiché une végétation verte cumulativement inférieure, sauf dans la période d'octobre à décembre 2016. Les petits agriculteurs du district ont indiqué que la répartition des précipitations a affecté leur production agricole car la majorité a déclaré la production comme le 1<sup>er</sup> défi.

**Mots-clés** : Sécheresse, répartition des précipitations, Indice de végétation, production agricole, district d'Umkhanyakude, Kwazulu Natal, Afrique du Sud.

## Modernization of Irrigation Systems of Ukraine

### Situation Actuelle Et Approches À La Modernisation Technique Des Systèmes D'irrigation En Ukraine

M. Romashchenko<sup>1</sup>, and O. Dekhtiar<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

The climate of Ukraine does not permit sustainable agriculture without irrigation in the Southern regions due to increasing aridity. Hence, there is a considerable potential for the irrigation development. The water economy complex constructed in the last century and comprising the ramified surface and subsurface irrigation network with sprinklers, pump stations and other structures are not properly used.

In order to define measures for modernization and rehabilitation of the existing systems, the current state of the irrigation sector has been analyzed and assessed, as well as the reasons of the unsatisfactory condition of the irrigation systems and irrigated lands. The existing trends need to be accounted for when improving functioning, operation, maintenance and management of the irrigation systems.

The assessment has indicated a high energy consumption in water pumping for irrigation, high seepage and unproductive losses of the transported water. On the background of regular annual increases in the electricity prices, the top priority is application of new potent approaches to address the problem of energy and resource use inefficiency of the irrigation systems.

For the latest two years, Ukraine has been cooperating with the World Bank in the issues of rehabilitation and development of the irrigation systems and has been receiving a proper support from the World Bank's experts in development of the relevant Strategy. The NAAS Institute of Water Problems and Land Reclamation is the academic institution co-developing the draft of the said Strategy on the part of Ukraine. The authors expect that the proposed approaches will be properly reflected in the final version of the Strategy, while implementation thereof will facilitate efficient utilization of the irrigation potential to build up crop production in the changing climate conditions.

**KEY WORDS:** irrigation systems, climate change, modernization, energy efficiency, rehabilitation strategy, Ukraine.

#### RÉSUMÉ

Les conditions climatiques naturelles dans plusieurs régions du Sud de l'Ukraine se caractérisent par l'impossibilité d'une production agricole durable sans irrigation. Les données des observations météorologiques multiannuelles témoignent d'aridité croissante du climat et des conditions d'aggravation de l'humidification naturelle.

L'Ukraine présente un potentiel considérable pour le développement de l'irrigation. Le complexe de l'économie de l'eau, qui a été construit au siècle dernier et qui se compose et se compose d'un réseau d'irrigation ouvert et sous-sol avec des machines à l'aspersion,

1 Dr. En., Academician of NAAS, Director of the Institute of Water Problems and Land Reclamation, 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine; mykhailo.rom@gmail.com

2 PhD., Head of the Department of Land Reclamation, Institute of Water Problems and Land Reclamation, 37 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine; Oksana.Dehtiar@gmail.com

des stations de pompage et d'autres structures hydrotechniques pour un certain nombre de raisons n'est pas utilisé correctement.

Afin de définir des mesures de modernisation et de réhabilitation des systèmes existants, l'état actuel du secteur de l'irrigation a été analysé et évalué, ainsi que les raisons de l'état insatisfaisant des systèmes d'irrigation et des terres irriguées. Les tendances existantes ont été définies et doivent être prises en compte lors de l'amélioration du fonctionnement, de l'exploitation, de la maintenance et de la gestion des systèmes d'irrigation.

L'évaluation mise en place a indiquée une intensité énergétique élevée du pompage d'eau pour l'irrigation, des infiltrations élevées (parfois jusqu'à 40%) et des pertes improductives de l'eau transportée. Dans le contexte d'une augmentation annuelle régulière des prix de l'électricité, la priorité absolue est l'application de nouvelles approches puissantes pour résoudre le problème de l'efficacité énergétique et des ressources des systèmes d'irrigation, ce qui facilitera l'efficacité de l'irrigation et réduira la part décroissante du secteur de l'économie de l'eau dans la consommation globale d'énergie du pays.

L'introduction de mesures à grande échelle et à l'appui de la nouvelle révolution verte contribuera également à l'amélioration de l'efficacité énergétique et des ressources des systèmes d'irrigation, à savoir: - l'utilisation simultanée dans la mesure maximale des avantages de la zone des tarifs d'électricité et de l'hydroélectricité; - capacités de stockage optimisées des canaux principaux; - l'installation de capacités photovoltaïques le long des canaux d'irrigation et leur exploitation en profitant des tarifs «verts» existants; - l'utilisation des terres inutilisées le long des canaux pour les cultures énergétiques et pour la production ultérieure de chaleur et d'électricité etc.

Au cours des deux dernières années, l'Ukraine a coopéré avec la Banque Mondiale dans les domaines de la réhabilitation et du développement des systèmes d'irrigation et a reçu un soutien adéquat des experts de la Banque Mondiale dans le développement de la stratégie pertinente. L'Institut des problèmes de l'eau et de l'amélioration foncière (Académie nationale des sciences agraires), a été sélectionné en fonction d'organisation partenaire local dans la conception initiale de stratégie. Les auteurs s'attendent à ce que les approches proposées soient correctement reflétées dans la version finale de la Stratégie, tandis que la mise en œuvre facilitera l'utilisation efficace du potentiel d'irrigation pour initier la production végétale dans les conditions climatiques changeantes.

**Mots-clés:** systèmes d'irrigation, changement climatique, modernisation technique, efficacité énergétique, réhabilitation, Stratégie, Ukraine.

## Innovative Operations for Reservoir Safety Monitoring – Experience of Agongdian Reservoir at Southern Taiwan

Operations Innovantes Pour La Surveillance De La Securite Du Reservoir – L'experience Du Reservoir De Agongdian Au Sud De Taiwan

Huang Shih-Wei, Huang Jen-Kai, Cheng Chang-Chi, Jan Ming-Young

### ABSTRACT

Agongdian reservoir is an earth dam and the design flood is by controlled by a vertical shaft pipe and free fall spillway and totally in 431 cms. More than 4000 ha irrigated area depend the reservoir water supply during harvest seasons. According to the operation rule curve, reservoir stores water from September to the next year March, in order to supply water for paddy rice requirement. And the reservoir keeps low water level preparing for flood detention during the wet season (May to August). Since these frequently operation of water level, the owner of reservoir installs many inspection instrument at the dam site to make sure the stability of slope and reliability of groundwater seepage.

Piezometers data are collected to monitor groundwater seepage variation; water stages around the record the real time reservoir levels; seismograph is very important to detect the earthquake damages immediately; and the inclinometers check the slope stabilization. Expect some of the piezometers were installed during construction periods; most of the instruments are setup in these decades. Due to the regulation of reservoir inspection codes in Taiwan, the reservoir owner should prepare the dam safety data for auditing at any moments, so most of the observation data are collected automatically and real time links to consultant firms for further analysis in case of needed.

Reservoir safety is the most important work for reliable irrigation supply system. This paper presents a detail sequences on dam safety inspection that applying new techniques and precisely analysis tools. Due to the environment and climate properties, Taiwan faces a lot of earthquakes and torrential floods that make reservoirs inspection system become the learned experiences can be share for all.

**KEY WORDS:** Agongdian reservoir, Dam safety inspection, Reservoir safety monitoring.

### RÉSUMÉ

Le réservoir de Agongdian est un barrage en terre et le flux de conception est contrôlé par un déversoir à tuyau en puit vertical et le déversoir en chute libre a un total de 431 cms. Plus de 4000 ha de la superficie irriguée dépendent de l'approvisionnement en eau du réservoir pendant les saisons de récolte. Selon la courbe de règle de fonctionnement, le réservoir stocke l'eau de septembre pour le mois de mars de la prochaine année, afin de fournir de l'eau pour les besoins de riz paddy. Et le réservoir garde un faible niveau d'eau pour éviter les inondations pendant la saison des pluies (mai à août). Depuis ces fréquentes opération de niveau d'eau, le propriétaire du réservoir installe plusieurs instruments d'inspection au site du barrage pour assurer la stabilité de la pente et la fiabilité de l'infiltration d'eau souterraine.

1 Director, Southern Region Water Resources Office of WRA, Taiwan

2 Manager in General, Liming Engineering Consultant, Taiwan

3 Associate Professor, Chien-Hsin University, Taiwan (faber@gmail.com)

4 Associate Professor, I-Shou University, Taiwan (corresponding Author, aqua.jan@gmail.com)

Les données de piézomètres sont recueillies afin de surveiller la variation d'infiltration des eaux souterraines ; le niveau de l'eau sur l'enregistrement montre le niveau des réservoirs en temps réel ; le sismographe est très important pour détecter les dommages du tremblement de terre immédiatement ; et les inclinomètres vérifient la stabilisation de la pente. S'attendre à ce que certains piézomètres aient été installés durant les périodes de construction; la plupart des instruments a été configurée dans ces dernières décennies. En raison de la réglementation des codes d'inspection de réservoir à Taïwan, le propriétaire du réservoir devrait préparer les données de sécurité du barrage pour un audit à tout moment, alors que la plupart des données d'observation est collectée automatiquement et en temps réel des liens aux firmes de consultant pour une analyse ultérieure en cas de besoin.

La sécurité de réservoir est le travail le plus important pour un système d'approvisionnement d'irrigation fiable. Cet article présente des séquences de détails sur l'inspection de sécurité de barrage appliquant de nouvelles techniques et de précis outils d'analyse. En raison des propriétés climatiques et environnementales, Taiwan se retrouve confronté à de nombreux tremblements de terre et des pluies torrentielles qui rendent le système d'inspection des réservoirs des expériences acquises qui peuvent partager au plus grand nombre.

**Mots clés :** Réservoir Agongdian, inspection de barrage de sécurité, surveillance de la sécurité de réservoir.

## The Impact of Basin Deterioration in the Infrastructure of Irrigation Districts in Mexico

### L'impact De La Détérioration Des Bassinshydrographiques Dans L'infrastructure Des Districts D'irrigation Au Mexique

Lomeli V. Ramón<sup>1</sup>, and Álvarez G. Nazario<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

In Mexico, the area dedicated to agricultural activities varies between 21 and 24 million hectares annually. The land with irrigation infrastructure amounts to 6.4 million hectares. Mexico ranks seventh place in the world in terms of irrigation areas, which consist of 86 Irrigation Districts with 3.5 million hectares and 39,482 smaller irrigation systems with 2.9 million hectares. The main water supply sources for the irrigation districts are 172 storage dams and 394 diversion dams, most of whose basins are deteriorated due to accelerated deforestation and insufficient soil conservation actions; a situation that has caused damages to the environment, such as soil degradation and erosion. Approximately, 46% of the national territory shows signs of degradation and about 4.3% is affected by physical degradation.

To prevent sediment problems caused by the slopes of canals and drains, the National Water Commission—in coordination with the Mexican Institute of Water Technology—developed and transferred the technology of using light-weight equipment for weed control and allow the growing of grass to protect the slopes, and also facilitate the removal of aquatic weed in canals and drains.

This paper presents an analysis of the main actions to avoid the access of solids in suspension to supply sources and to distribution and drainage networks, as well as the machinery and the equipment to remove them in a cost-effective manner.

**KEY WORDS:** sediment removal, irrigation district maintenance, catchment basins, soil and water conservation works

#### RÉSUMÉ

Au Mexique, la superficie consacrée aux activités agricoles varie entre 21 et 24 millions d'hectares par an. Le terrain doté d'infrastructures d'irrigation s'élève à 6,4 millions d'hectares. Le Mexique occupe la septième place au monde en termes de zones d'irrigation, qui représentent 86 districts d'irrigation, avec 3,5 millions d'hectares, et 39,482 systèmes d'irrigation plus petits, avec 2,9 millions d'hectares. Les principales sources d'approvisionnement en eau pour les districts d'irrigation sont 172 barrages de stockage et 394 barrages de dérivation, dont la plupart des bassins sont détériorés à cause de la déforestation accélérée et des actions de conservation des sols insuffisantes; une situation qui a provoqué des dommages à l'environnement, comme la dégradation et l'érosion des sols. Environ 46% du territoire national présente des signes de dégradation et environ 4,3% est affecté par la dégradation physique.

1 Mexican Institute of Water Technology, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec Morelos, México-mail: lomeli@tlaloc.imta.mx, phone: +52 (777) 3293657

2 National Water Commission, Av. Insurgentes sur 2416, Piso 6, Delegación Coyoacán, CP 04340, Col. Copilco el Bajo. México City, e-mail: nazario.alvarez@conagua.gob.mx, phone: +52-5551744714



Pour prévenir les problèmes de sédiments causés par les pentes des canaux et des drains, la Commission nationale de l'eau — en coordination avec l'Institut mexicain de technologie de l'eau — a développé et transféré la technologie de l'utilisation d'équipements légers pour contrôler les mauvaises herbes et permettre la pousse de pelouse pour protéger les pentes et pour faciliter l'élimination des mauvaises herbes aquatiques dans les canaux et les drains. Cet article présente une analyse des principales actions visant à éviter l'accès des solides en suspension aux sources d'approvisionnement et aux réseaux de distribution et de drainage, ainsi que les machines et les équipements pour les éliminer de manière rentable.

**Mots-clés:** Enlèvement des sédiments, entretien des districts d'irrigation, bassins hydrographiques, travaux de conservation des sols et de l'eau.

## Adaptation to Climate Change: Impact of Capacity Building, India

### Adaptation Aux Changements Climatiques: Impact Du Renforcement Des Capacités, Inde

K.R.Kakumanu<sup>1</sup>, K. Yella Reddy<sup>2</sup>, M. Balasubramanian<sup>3</sup>, U.S.Nagothu<sup>4</sup>, K. Sunitha<sup>2</sup>

#### ABSTRACT

Climate change adversely affects the determinants of agriculture. Adaptation through innovation program was implemented for four years during 2012-2016 to improve the resilience in agriculture and water sectors under Nagarjuna Sagar Project of Krishna River Basin, India. The hypothesis of the study was that the capacity building and implementation programs would be able to enhance adaptation of technologies, reduce cost of cultivation and improve income of the adopters. The main objective of the program was to implement selected adaptation measures at a systems level, develop methodologies for upscaling, build capacity of the relevant agencies, including farmers' networks and women self-help groups to address climate change impacts.

Primary data was collected from 178 farm households from two distributary committees (DCs), namely DC-4 and DC-21 from Nalgonda and Guntur districts in Telangana and Andhra Pradesh states in India. The sample has covered both adopters and non-adopters of water saving interventions from the study area. The double difference method was employed to analyse the impact of adaptation through capacity building and implementation. The water saving interventions includes alternate wetting and drying (AWD) in rice, modified system of rice intensification (MSRI) and direct seeding of rice (DSR). The capacity building and water saving increased the crop yields by 9.62, 9.38 and 7.78 qt<sup>5</sup>/ha through AWD, MSRI and DSR respectively. The three practices have increased the farmers' income and decreased the cost of cultivation in DSR by Rs.11,000 (\$169)/ha.

The methods can be more focused in the canal commands at a larger scale for equal distribution of water to all the head, middle and tail end regions. The scale-up is receiving positive response due to concerted efforts of all the stakeholders towards the common goal in their specified domains.

**KEY WORDS:** Adoption through Innovation, Climate Change, Village Knowledge Centres, Water Saving Methods, Double Difference Method.

#### RESUME

Le changement climatique affecte de manière négative les facteurs déterminant de l'agriculture. Le programme d'adaptation par l'innovation a été mis en place pendant quatre ans au cours de la période 2012-2016 pour améliorer la résilience des secteurs de l'agriculture et de l'eau dans le cadre du projet Nagarjuna Sagar du bassin de la rivière Krishna, en Inde. L'hypothèse de l'étude était que les programmes de renforcement des capacités et de mise en œuvre pourraient améliorer l'adaptation des technologies, réduire les coûts agricoles et améliorer les revenus des adopteurs. Le programme visait à mettre en œuvre les mesures d'adaptation retenus au niveau des systèmes, à mettre au point les méthodologies de mise à l'échelle, à

- 1 National Institute of Rural Development & Panchayati Raj, Hyderabad, India
- 2 Water and Land Management Training and Research Institute, Hyderabad, India
- 3 Indian Council of Agricultural Research, New Delhi, India
- 4 Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås, Norway
- 5 *qt stands for quintal: 1 qt = 100 kg.*

renforcer les capacités des organismes concernés, y compris les réseaux d'agriculteurs et les groupes féminins d'entraide pour lutter contre les impacts du changement climatique.

Les données primaires ont été recueillies auprès de 178 ménages agricoles de deux comités distributrices (DC), à savoir DC-4 et DC-21 des districts de Nalgonda et de Guntur dans les états de Telangana et Andhra Pradesh en Inde. L'échantillon a couvert à la fois les adopteurs et les non-adopteurs d'interventions d'économie d'eau de la zone d'étude. La méthode de la double différence a été utilisée pour analyser l'impact de l'adaptation à travers le renforcement des capacités et la mise en œuvre. Les interventions d'économie d'eau incluent le mouillage et le séchage alternatifs (AWD) du riz, le système modifié d'intensification du riz (MSRI) et l'ensemencement direct du riz (DSR). Le renforcement des capacités et l'économie d'eau ont augmenté les rendements agricoles de 9,62, 9,38 et 7,78 qt/ha par AWD, MSRI et DSR respectivement. Les trois pratiques ont augmenté le revenu des agriculteurs et ont diminué le coût agricole dans DSR de Rs 11 000 (169 \$) par ha.

Les méthodes peuvent être plus concentrées dans les charges d'une prise d'eau à plus grande échelle pour une répartition égale de l'eau dans toutes les régions de tête, de milieu et de l'extrémité. La mise à l'échelle reçoit une réponse positive en raison des efforts concertés de toutes les parties prenantes vis-à-vis de l'objectif commun dans leurs domaines spécifiés.

**Mots-clés :** Adoption par l'innovation, changements climatiques, centres de connaissances des villages, méthodes d'économie d'eau, méthode de la double différence.

## Tile Drainage: A Strategy to Cope with the Food Challenge Facing Mexico

### Le Drainage Agricole Souterrain : Une Des Stratégies contre L'insécurité Alimentaire Du Mexique

Hector Arias<sup>1</sup>, Steve Craft<sup>2</sup>, Carlos Baldenebro<sup>3</sup>, Rodrigo Patron<sup>4</sup>, Jesus Tarriba<sup>5</sup>, Arturo Gonzalez<sup>6</sup>, Heber Saucedo<sup>7</sup>, Rodolfo Namuche<sup>8</sup>, Nahúm García<sup>9</sup>, and Carlos Fuentes<sup>10</sup>

#### ABSTRACT

This paper deals with a drainage strategy to face Mexico's major challenge: food security for its current and future population. The National Development Program of the current administration defined crop priorities and goals for each crop. The irrigation districts in northern Mexico contribute 74.4% of the national production and sustains the largest production of priority crops. Unfortunately, those irrigation districts are threatened by salinity, with about 24% of the northern Mexico irrigation districts are affected by salts. The annual salinization rate was estimated at 11,094 ha/yr. Since the mid-1990s, tile drainage has proved to be a very successful tool to reclaim and control salt affected lands of irrigation districts in Mexico. Moreover, after salinity reclamation, drainage has restored land productivity to competitive levels, showing that tile drainage is a profitable investment that undoubtedly may contribute with the nation's food challenge. Salinity of 600,000 ha in the irrigation districts has reduced 1,471,518 t of priority crops such as corn, wheat, sugar cane and sorghum. The national total production goal is 10'970,000 t. It means that tile drainage rehabilitated lands can potentially contribute to 13.4% of the national production goal. Some companies have invested in machinery and trained personnel to address this mayor threat to food production. The current estimate of land with subsurface drainage is about 100,000 ha. At the current reclamation rate, 5,000 ha/yr, there will be little impact on Mexico's food challenge, unless more land is reclaimed each year at least to cope with the progress of current salinization. The national agricultural policy is designed to assist farmers by funding drainage needs at a 50:50 of cost, but there is still a difficult barrier due to limited matching funding. A strategy is being proposed by researchers and drainage companies, whereby costs can be reduced when drainage installation companies work in neighboring areas. To implement such a strategy, farmers and irrigation district's authorities need to set priorities and devise regional implementation plans. In this way operation costs could be lowered and overall benefits optimized to achieve the target of reaching 13.4% of the food production challenge.

**KEY WORDS:** Irrigation, drainage, salinization.

#### RÉSUMÉ

Cet article traite d'une stratégie de drainage pour faire face au défi majeur du Mexique: la sécurité alimentaire pour sa population actuelle et future. Le Programme Nationale de Développement a défini les cultures prioritaires et les quantités requises. Les périmètres

- 1 The presenter in Hector Arias, Irridren de Mexico, SA de CV, email: hector.arias@irridren.com
- 2 Director, Irridren de México, SA de CV.
- 3 General Manager, Irridren de México, SA de CV
- 4 Director, DRE-Riego, SA de CV
- 5 Director, Agrodren SA de CV
- 6 Subcoord., Op. & Mant., Infraestr. Hidroagr., IMTA
- 7 Subcoord., Contaminación y Drenaje Agrícola, IMTA
- 8 Tecnol. Agua, Titular B, Contaminación y Drenaje Agrícola, IMTA
- 9 Coord., Riego y Drenaje, IMTA
- 10 Tecnol. Agua, Adjunto C, Contaminación y Drenaje Agrícola, IMTA

irrigués au nord du Mexique représentent 74,4% de la valeur de la production agricole et la plus grande production de cultures prioritaires. Malheureusement, les périmètres irrigués sont menacés pour la salinité, autour de 24% de ces périmètres sont affectés par des sels au nord du Mexique. Le taux annuel de salinisation est estimé en 11 094 hectares par an. Depuis le milieu des années 1990, le drainage souterrain s'est avéré un outil concluant pour la réhabilitation et control des terrains détériorés par des sels dans les périmètres irrigués du Mexique. En outre, après élimination des sels en excès, le drainage souterrain a restauré la productivité de la terre à des niveaux compétitifs. Les terres cultivées non-affectées par des sels mais avec un mauvais drainage ont aussi atteint la productivité concurrentielle, montrant que le drainage souterrain représente un investissement rentable que certainement peut contribuer au problème du défi alimentaire. Selon les estimations, la réduction de la production de 600000 ha affectés par des sels représente 1 471 518 t/ha des cultures prioritaires tels que le maïs, le blé, la tomate, la canne à sucre et le sorgho. L'objectif nationales la production de 10 970 000 t/an d'aliments. Cela signifie que le drainage souterrain contribue en 13,4% de l'objectif si nous considérons une salinisation de 1,1 million d'hectares. Les entreprises de drainage ont investi en machines et personnel qualifié pour contenir la menace à la production alimentaire. Cependant, la Surface réhabilitée en 20 anses d'environ 100,000 ha, c'est-à-dire 5,000 ha/an. Cerythmene ne montre pas l'impact au défi alimentaire à moins qu'il dépasse le taux actuel désalinisation, 11 094 ha/an. Les politiques agricoles en vigueur sont destinées à subventionner aux producteurs avec 50% des couts, mais les producteurs sont encore des contraintes financières. Les chercheurs et les entreprises de drainage proposent une stratégie qui consiste à réduire les coûts en faisant des travaux dans des zones compactes. Pour la mise en œuvre d'une telle stratégie, les agriculteurs et les autorités du périmètre irrigué (comme l'ont conseillé les établissements de recherche) doivent établir des priorités et concevoir des plans régionaux. De cette manière, les coûts opérationnels diminuent et les bénéfices totaux sont optimisés pour atteindre l'objectifs de 13,4% du défi alimentaire.

**Mots clés:** Irrigation, drainage, salinisation.

## Competitiveness of Modular Canal Lining - Case Study in Ciujung Irrigation Area, Banten

### Compétitivité De Paroi Modulaire De Canal - Étude De Cas De La Zone D'irrigation De Ciujung, Banten

Hanhan A. Sofiyuddin<sup>1</sup>, M. Uzaer<sup>1</sup>, Mulyadi<sup>2</sup>, Eko W. Irianto<sup>1</sup>

#### ABSTRACT

Leakage and levees sliding are some major problems in the irrigation canal. This is generally caused by damage to the lining structure due to deterioration or poor workmanship. Moreover, rehabilitation measures are generally constrained because of the uniformity of construction quality is difficult to be monitored and it needs a relatively long time to construct. These can be avoided either by using a modular canal lining. This paper discusses the application results of the modular canal lining in KS 1 tertiary canal, Ciujung Irrigation Area, Banten district in Java, Indonesia. In this study, the identification of competitiveness of this canal lining is done through qualitative and quantitative measures. Respondents, including farmers and officers, were asked to fill out questionnaires in accordance with their perception against modular and commonly applied lining (stone masonry). Moreover, labor productivity and financial analyses were conducted to better understand the advantages of this type of lining. The respondents have the perception that modular lining is better than stone masonry lining in terms of strength, lifespan and maintenance costs. However, the modular canal lining has less labor productivity because of the labor are not accustomed to construct this type of lining. Modular canal lining also requires higher initial investment even though in the long-term it has a better financial feasibility than masonry lining. These results imply that though modular lining is very promising as a better alternative to stone masonry lining, the application of this type of lining needs to be supported by innovation to simplify installation or training to improve the skills of the workers.

**KEY WORDS:** Canal Lining, Modular, User Perception, Labor Productivity, Least Cost.

#### RÉSUMÉ

Les fuites et le glissement des digues sont des problèmes majeurs dans le canal d'irrigation. Ceci est généralement causé par des dommages sur la structure de la paroi en raison de la détérioration ou de malfaçons. En outre, les mesures de remise en état sont généralement limitées à cause de l'uniformité de la qualité de construction qui est difficile à surveiller et il y a besoin d'un temps relativement long pour construire. Ce-ci peut être évité en utilisant un revêtement canal modulaire. Cet article traite des résultats de l'application du revêtement de canal modulaire dans le district KS 1 du canal tertiaire, de la zone d'irrigation de Ciujung, dans le district de Banten à Java, en Indonésie. Dans cette étude, l'identification de la compétitivité de ce revêtement du canal se fait grâce à des mesures qualitatives et quantitatives. Les répondants, y compris des agriculteurs et des officiers, ont été invités à remplir des questionnaires selon leur perception contre le modulaire et le revêtement couramment appliqué (maçonnerie). En outre, la productivité de travail et des analyses financières ont été menées pour mieux comprendre les avantages de ce type de revêtement. Les intimés ont l'impression que la doublure modulaire est mieux que la doublure de la maçonnerie en pierre en termes de puissance, de longévité et de coûts d'entretien. Cependant, le revêtement du

- 1 Researcher, Research Center for Water Resources, Ministry of Public Works and Public Housing, The Republic of Indonesia Jl. Cut Meutia, Bekasi, West Java, Indonesia, e-mail: irigasi@pu.go.id; hanhan.ahmad@pu.go.id
- 2 River Basin Organisation of Cidanau-Ciujung-Cidurian, Ministry of Public Works and Public Housing, The Republic of Indonesia, Jl. Ustd. UzairYahya No.1, Serang, Banten, Indonesia

canal modulaire a moins de productivité de travail car la main d'œuvre n'est pas habituée à construire ce type de revêtement. Le revêtement de canal modulaire requiert également un investissement initial plus élevé même si à long terme, il a une meilleure faisabilité financière que la doublure de maçonnerie. Ces résultats indiquent que bien que le revêtement modulaire soit très prometteur comme une meilleure alternative à la maçonnerie en pierre doublure, l'application de ce type de revêtement doit être soutenu par l'innovation pour simplifier l'installation ou de formation pour améliorer les compétences des travailleurs.

**Mots-clés** : Canal doublure, modulaire, perception utilisateur, productivité du travail, moindre coût.

## Storage State Approach for Identifying Improvement Needs in Minor Tanks, Sri Lanka

Approche D'état De Stockage Pour Identifier Les Besoins D'amélioration  
Dans Les Réservoirs Mineurs, Sri Lanka

K.T.N. Perera<sup>1</sup>, H.M.Jayatillake<sup>2</sup> and T.M.N.Wijayaratna<sup>3</sup>

### ABSTRACT

Sri Lanka has a large network of irrigation infrastructure consisting of major reservoirs and over 14,000 working minor tanks. Large in number, uniqueness and scattered nature of these systems have made it difficult to monitor and assess their performance. However, in view of their socio-economic and environmental importance, the government invests heavily on rehabilitation and upgrading of these systems. The current criteria for selection of schemes for such improvement are ad-hoc leading to irrational disbursement of limited resources and at times, haphazard development. In the absence of measured storage data, observation of storage behaviour is proposed to be used for identifying and prioritising improvement interventions in them. A five-state storage behaviour and two indices, namely, the Tank Storage State Index (TSSI) and the Regional Tank Storage State Index (RTSSI) are proposed for use as tools for assessment.

**KEY WORDS:** Minor Tanks, Tank Storage State, Tank Storage State Index (TSSI), Regional Tank Storage State Index (RTSSI), Improvement needs, Prioritising, Selection Criteria.

### RÉSUMÉ

Le Sri Lanka a un vaste réseau d'infrastructures d'irrigation composé de grands réservoirs et de plus de 14 000 petits réservoirs en fonctionnement. En nombre important, la nature originale et le caractère épars de ces systèmes ont rendu difficile la surveillance et l'évaluation de leurs performances. Toutefois, compte tenu de leur importance socio-économique et environnementale, le gouvernement investit lourdement sur la réhabilitation et la modernisation de ces systèmes. Les critères actuels de sélection des programmes pour cette amélioration sont ad hoc menant à décaissement irrationnelle des ressources limitées et parfois, développement aléatoire. En l'absence de données de stockage mesurées, l'observation du comportement de stockage est proposée pour être utilisé afin d'identifier et de définir la priorité de leurs interventions d'amélioration. Un comportement de stockage des cinq États et deux indices, à savoir, le réservoir de stockage État Index (TSSI) et le régional citerne stockage État Index (RTSSI) sont proposés pour une utilisation comme outils d'évaluation.

**Mots clés :** Réservoirs mineurs, état du réservoir de stockage, réservoir de stockage État Index (TSSI), régional citerne stockage État Index (RTSSI), amélioration de besoins, critères de sél.

1 Irrigation Engineer, Designs Branch, Irrigation Department, Baudhaloka Mawatha, Colombo 07, Sri Lanka. E-mail: ktnimali@gmail.com, Tel: +94-71-8505807

2 Senior Consultant Engineer (Planning & Monitoring), Project Management Unit, Uma Oya Multipurpose Development Project, 26, Jawatte Road, Colombo 05. E-mail: hmjaya@gmail.com, Tel: +94-71-8008079

3 Senior Lecturer, Department of Civil Engineering, University of Moratuwa, Katubedda, Sri Lanka. E-mail: tmnwijayaratna@gmail.com, Tel: +94-71-4451364



# International Review Committee

**Question 60:** Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus

## General Reporter Q.60

**VP Prof. Abdelhafid Debbarh (Morocco)**



Dr. Debbarh holds a Doctorate in Agronomic Sciences (IAV Hassan II - Morocco) and Ph.D. from the University of Minnesota (USA). He is a Professor of Higher Education in the field of Sustainable Management of water resources, irrigation and agricultural drainage.

Since 1978 Prof. Debbarh has held several positions of academic responsibility within the IAV Hassan II. He was appointed as Director of the National School of Agriculture of Meknes in September 1999, then Director of the Training of Managers in the Department of Higher Education in October 2004.

From 1 November 2007 to 20 April 2009, Dr Debbarh held the post of Secretary General of the Department of School Education. From 21 April 2009 until the end of February 2015, he served as Secretary General of the Ministry of Higher Education, Scientific Research and Training of Managers.

Currently, Prof. Debbarh is appointed as Advisor to the President of the International University of Rabat (UIR). Prof. Debbarh, was elected President of the National Association of Irrigation, Drainage and Environment (National Committee of ICID and CIGR) during 2009-2015.

At the international level, Prof. Debbarh assumed the function of President of the Scientific Council of the Agence Universitaire de la Francophonie (2001-2007). Since 2015, he has been appointed Vice-President of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).

Over the years, Prof Debbarh has developed a recognized expertise in water management in agriculture (irrigation, drainage, impacts of irrigation on the environment). He has also acquired expertise in the evaluation of education, training and scientific research programs. He has contributed to the organization of several scientific and technical events in his different fields of expertise. He has also published several scientific publications and technical reports. E-mail: <abdelhafid.debbarh@gmail.com>

**Question 61:** State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings

## General Reporter Q.61

**VP Ding Kunlun (China)**



Dr. Ding Kunlun is the Vice President of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) from 2014 to 2017 and the Chair of Permanent Committee for Technical Activities of ICID from 2017, the Deputy Secretary General of Chinese National Committee on Irrigation and Drainage (CNCID) since 2008. He has worked at China Institute of Water Resources and Hydropower Research (IWHR) in Beijing of China for 34 years with experience in research, technical extension and project management. His specialization includes water-saving irrigation, agricultural land drainage, soil and water management, rural water supply and, rainwater harvesting and utilization. Dr Ding has presented papers at numerous national and international meetings and also served as expert reviewer for conferences and journals. He has published numerous papers/reports at national and international levels. His degrees are: PhD (1998) from Cranfield University, UK; MSc. (1989) from IWHR, China; BSc (1983) from Wuhan University of Water Resources and Electric Engineering, China. Contact <klding2005@aliyun.com>

# International Panel of Experts / Co-Chairs

**Question 60:** Water Productivity: Revisiting the concepts in light of water, energy and food nexus

## Panel Expert/Co-Chair (Q.60.1)

### Mr. Mehrzad Ehsani (Iran), Panel Expert



Mr. Mehrzad Ehsani is the Director General on Integrated Water Resources Management for Iran Central Plateau at Iran Water Resources Management Authority, Iran Ministry of Energy since 2013, as well as, Secretary General for Iranian National Committee

on Irrigation and Drainage (IRNCID), since 2016. Prior to this he has worked as director general on operation of irrigation structures at Iran Water Resources Management Authority for a period of 2010-2013. He has 20 years of experience in research and administration. His specialization includes irrigation management; irrigation scheduling; water productivity; performance assessment; participatory irrigation management and integrated water resources management. Mr. Ehsani has authored, co-authored, and edited around 34 publications, including books, seminar papers, and articles in English and Persian at numerous national and international meetings and also served as expert reviewer for conferences and journals. He has published two books in Persian language on "water productivity in agriculture" in 2003; "Introduction to Virtual Water" in 2009. Mr. Ehsani with contribution of IRNCID experts has translated 14 books into Persian language related to irrigation management. He is currently chairman of ICID working group on water saving in irrigated areas since 2016; and a member of working group on modernization and revitalization of irrigation schemes. He received many awards at national level on involving in researches, projects and papers publication. He also received award for written a book on Introduction of Virtual Water in 2009. Contact [ehsani2@gmail.com](mailto:ehsani2@gmail.com)

from Agroindustrial Engineering at Autonomous University of Chapingo. Dra. Raquel is a member of the National Research System since 2007. She has six research stays at Humboldt University of Berlin in the research areas of modelling and energy efficiency, in Singapore in the research area of Integrated Water and Waste Water Resources Management, in the University of Sydney in Adapting Agriculture and Natural Resources to Climate Variability and Change. She has been a Professor- Researcher in the Agricultural and Mechanical Engineering Department as well as in the Agricultural Engineering and Integral Water Use graduate program at Autonomous University of Chapingo, teaching courses such as: Mathematical Analysis, Differential Equations, Linear Algebra, Statistics, Optimization Techniques and Neural Networks. Her research experience includes water use efficiency and management, optimization and modelling of agricultural systems. She has also published 26 papers in journals as a first author and 21 as a coauthor. Dra. Salazar has participated in 138 national and international meetings.

## Panel Expert/Co-Chair (Q.60.2)

### VP Ian Makin (UK), Panel Expert



Ian Makin is IWMI Director (Asia) and lead specialist for irrigation management, focusing on re-search for improved system performance, (ii) management reform; and (iii) irrigation service delivery. Prior to rejoining IWMI in January 2015, Ian worked at Asian Development Bank, Manila for 9 years (2005-2014) as Principal Water Resources Specialist responsible for providing leadership for investments in water resources management, river basin development, irrigation development and agricultural water management

Ian worked with IWMI from 1996 – 2005 as Principal Water Management Specialist and Regional Director (SE Asia) and (Asia); Program Leader, Applied Information & Modelling Systems; and Leader, Design and Operations Program. Ian was at the Overseas Development Unit of HR Wallingford, UK (1981-1996) working on irrigation system management at different scales in Asia and Africa.

In 2015 Ian was elected Vice President International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).



### Dr. Raquel Salazar Moreno (Mexico), Co-Chair

Dra. Raquel Salazar Moreno get her PhD in Agriculture and Biosystems Engineering, from University of Arizona in USA, her master degree is from Posgraduate College in Mexico, and bachelors

He is chair of the ICID working groups on (i) Revitalization and Modernization of Irrigation, and (ii) European Regional Working Group; and a member of a task team on the ICID-2030 Strategy.

#### Dr. Mauricio Carrillo Garcia (Mexico), Co-Chair



Dr. Mauricio Carrillo is Professor at Irrigation Department of Autonomous University of Chapingo (UACH), Texcoco, México since 1984. Prior to this, He worked as a Professor at National Autonomous University of Mexico (UNAM).

He has been teaching courses for Civil and Irrigation Engineering for more than 30 years. He was graduate program Coordinator of Agricultural Engineering and Integrated Use of Water (IAUIA), 2001-2003 and 2013-2017, and Head of Irrigation Department 2009-2012 in UACH. Dr. Carrillo expertise is in pumping plant systems for irrigation water wells, flowmeters and hydraulics. Currently, he is working in Efficient Use of Energy and Water. Dr. Carrillo has presented in national and international meeting research projects. Also, He has worked in professional projects in México. His degrees are PhD (1999) from The University of Arizona, USA; MI (MSc). In Hydraulics (1987) from Engineering Graduate School (FI) in UNAM, BSc. In Civil Engineering (1981) from UNAM. Contact; <mauricio@correo.chapingo.mx>

research areas include water and food security, water-saving technology, irrigation water management, groundwater management, reuse of wastewater, effect of climate change on irrigated agriculture. As team member or project leader he attended several projects and review activities funded by the World Bank, the Asian Development Bank, the Food and Agriculture Organization (FAO), UNDP. His interested research areas include research and dissemination of water-saving technology, irrigation water management, groundwater modelling, irrigation development and food security, wastewater reuse, drainage and salinity controlling, the effect of climate change on irrigated agriculture.

Dr. Zhanyi Gao has published more 120 papers and 10 books. Among his major publications are: Research and Innovation in Efficient Irrigation Technologies (March 2007); Integrated Wastewater Irrigation and Treatment, in Water Resources Journal (December 2003); Study on Policies for Subsidy of Water Saving in Agriculture, Water Resources Development Research (February 2006); Irrigation Development with Multi Functions in China, in Journal of Economics of Water Resources, (January 2006); Strategy of Grain Security and Irrigation Development in China, in Journal of Hydraulic Engineering, (November, 2008), Coping with Population Growth, Climate Change, Water Scarcity and Growing Food Demand in China in the 21st Century, Coping with Global Environmental Change, Disasters and Security – Threats, Challenges, Vulnerabilities and Risks. He-xa-rgon Series on Human and Environmental Security and Peace, vol. 5 (Berlin – Heidelberg – New York: Springer-Verlag, /2010).

Contact; Email: gaozhy@iwhr.com, zhanyi.gao@hotmail.com and Website: www.iwhr.com

#### Panel Expert/Co-Chair (Q.60.3)

#### VPH Dr. Gao Zhanyi (China), Panel Expert



Dr. Zhanyi Gao is the Chief Engineer of China Institute of Water Resources and Hydropower Research (IWHR). From October 2011 to September 2014 he served as the President of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) and Member of Board

of Governors of WWC. Now he serves as bureau member of Asian Water Council.

He has worked with IWHR since 1989 and served in various capacities in several international and national projects of global nature. His interested

#### Dr. Jesus Chavez Morales (Mexico), Co-Chair



Dr. Jesús Chávez Morales is Congress Question 60.3 Water Security for growth and development, Co-Chair. Nowadays he is working as Associated Researcher Professor of the Hydrosciences Program, of the Postgraduate College, Montecillo Campus Mexico State, México, 1974. Also, he works as Surface Hydrology Cathedra Professor on the Irrigation Department of the Chapingo Autonomous University, Chapingo, Mexico State, México, 1975. He has 52 years of professional experience

in research, training and administration. He has worked as Agronomist Engineer in the Secretariat of Water Resources, in the 005 Delicias, Chihuahua, Mexico, in Irrigation and drainage offices, 1966, and 038 Navojoa, Sonora, Irrigation and drainage offices and in operation, 1968, Irrigation Districts and as supervisor of Irrigation and Drainage offices in the Center and South of Mexico, 1973. Dr. Chavez was General Secretary of the Postgraduate College in Montecillo, State of Mexico, 1999. In the Secretariat of Agriculture Livestock and Rural Development, 1998 and in the Secretariat of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food, he was Delegate in the Federal District in Mexico, 2000. His specialization and his interest fields includes Soil-plant-water relationships; Crop water requirement; irrigation scheduling; Irrigation engineering. Surface Hydrology and Hydrologic and Hydraulic Modeling, GIS and Water Quality as those related with irrigation management. Dr. Chavez has presented papers at national and international meetings, organized Irrigation Congresses of the National Irrigation Specialists in Irrigation Society, and served as expert reviewer for conferences and journals. He has published numerous papers/reports/training material at national and international level. His degrees are: PhD in Engineering (1985) from the University of California, Davis USA; Irrigation and Drainage M.S. (1977) from the Irrigation and Drainage Branch of the Postgraduate College, Chapingo, Mexico State, Mexico; Agronomist Irrigation Specialist Engineer from the Irrigation Department of Irrigation of the Agriculture National School, Chapingo, Mexico State, Mexico 1965. Contact: chavezje@colpos.mx

hydraulic engineering and water resources. During this time, he has analyzed the impacts of flowing water on bridges, dams, levees, and irrigation canals. Dr. Wahlin has a unique blend of research experience and practical experience. For the first half on his career, Dr. Wahlin conducted agricultural research and hydraulic laboratory studies at the U.S. Water Conservation Laboratory, which is part of the U.S. Department of Agriculture/Agricultural Research Service in the United States. For the second half of his career, Dr. Wahlin has gained practical engineering experience while working at WEST. Currently, Dr. Wahlin is the President of the U.S. Committee on Irrigation and Drainage (USCID). He is also a member of ICID's Working Group on Modernization and Re-vitalization of Irrigation Schemes (WG-M&R).

Dr. Wahlin was the chair of the Task Committee on Recent Advances in Canal Automation for the American Society of Civil Engineers (ASCE). Under his guidance, the task committee prepared a Manual of Practice (MOP) on canal automation for irrigation systems. Formally re-referred to as MOP 131 Canal Automation for Irrigation Systems, this book focuses on the technical aspects of modernizing irrigation systems through the use of automated canal control systems. MOP 131 is an essential reference for professionals in agricultural and irrigation engineering, as well as owners, managers, and operators of irrigation water delivery systems.

#### Dr. Heber Saucedo, Co-Chair (Mexico), Co-Chair



Dr. Heber Saucedo is Submanager of Agricultural Drainage in Mexican Institute of Water Technology (IMTA), since 2010. Prior to this he has worked as Researcher in the above mentioned Institute and Professor of Advanced Calculus in the Postgraduate Division of Engineering

Faculty of National University of Mexico (UNAM). He has 20 years of experience in research, training and administration. His specialization includes modeling of surface irrigation and agricultural drainage systems using differential equations, aquifer simulation using Mod-flow and Feflow and execution of several consultancy projects. Dr. Saucedo has presented papers in national and international meetings and also served as reviewer of Journal of Hydrology, Terra, and Water Science and Technology. He has also published 25 papers

#### Question 61: State of knowledge of irrigation techniques and practicalities within given socio-economic settings

##### Panel Expert/Co-Chair (Q.61.1)

#### Dr. Brian T. Wahlin (USA), Panel Expert



Dr. Brian Wahlin is a vice president with WEST Consultants (WEST), a specialty engineering firm focusing on hydraulics, hydrology, sediment transport, and other phases of water resources. Dr. Wahlin has 23 years of experience in

in indexed journals. His degrees are: PhD (2003) from National University of Mexico (UNAM), M.S. (1997) from National University of Mexico (UNAM) and Irrigation Engineer from Chapingo University (1993). Contact hebersaucedo@yahoo.com

**Dr. Kaluvai Yella Reddy, Panel Expert/Co-Chair (India), Q.61.1**



Dr Kaluvai Yella Reddy is a Director at Water and Land Management Training and Research Institute (WALAMTARI), Hyderabad since April 2012. He has more than 30 years of experience in teaching, research, project management and administration. He graduated

in Agricultural Engineering, obtained M.Tech and Ph.D degrees from IIT, Kharagpur and PG Diploma from University of Arizona, USA. He has joined ANGR Agricultural University in 1985 as faculty at College of Agricultural Engineering, Bapatla. He has developed Solar Powered Micro Irrigation System with the support of MoWR, Govt of India. Successfully completed Rs 240 million FAO funded AP Water Management Project. As Technical advisor to Andhra Pradesh Micro Irrigation Project (APMIP), strengthened and supported the Rs 40000 million projects in achieving 1.1 million ha under MI systems in 10 years. He has developed semi-permanent sprinkler irrigation system to overcome the disadvantages of portable sprinkler system. He created employment opportunities for more than 1000 technical persons in Micro Irrigation project.

Reddy received International 'ICID WATSAVE Technology Award' in Lahore Congress (2008). Also received IEI Young Engineer Award (2005), ANGRAU Best Teacher Award (2005), Jain Irrigation Award (2007), IEI Presidents Gold Medal (2009), IEIAPSC Bharat Rat-na Sir Mokshagundam Visveswaraya Award (2011), INCID-Jain Award (2015). Reddy has published more than 75 research papers in national and international journals. He has organized 15 national and International conferences and workshops. Reddy has associated with ILRI of Netherlands, Food and Agricultural Organization, ICEWARM of Australia, NIBIO of Norway, IWMI India and MSSRF of Chennai for research collaborations.

**Panel Expert/Co-Chair (Q.61.2)**

**Dr. Victor Manuel Ruiz Carmona (Mexico)**



Dr Victor M. Ruiz C. is a research engineer in the area of operation and maintenance in the irrigation and drainage department of the Mexican Institute of Water technology. Prior to this, he has worked as professor and researcher at the automation department in Engineering Institute of the National Autonomous University of Mexico. He has 25 year of experience in research, training on control applications to chemical process, canal operation and canal modernization. Dr. Ruiz has presented papers at numerous national and international meetings and served as experts for conferences. He has published numerous papers/reports/training material at national and international level. His degrees are: PhD (1990) on process engineering from Toulouse National Polytechnic Institute, France; M. E. (1986) Electrical Engineering from National Autonomous University of Mexico, Mexico; BSc. Physic Engineer from Iberoamericana University, Mexico.

**Panel Expert/Co-Chair (Q.61.3)**

**VPH Franklin E. Dimick (USA), Panel Expert**



Frank Dimick is a Consulting Engineer with Dimick Water Resources Engineering in Monroe, Utah. Mr. Dimick received a Bachelor of Engineering Science Degree in Civil Engineering in 1966 from Brigham Young University. Upon graduating, he was employed by the Bureau of Reclamation in Sacramento, California. In 1967 he transferred to Coulee Dam, Washington where he worked in the Engineering Branch. In 1977 he was named Chief of the Operations and Maintenance Branch of the Utah Projects Office in Provo, Utah. He transferred to Carson City, Nevada in 1987 where he served as Projects Manager of the Lahontan Basin Projects Office. In 1993, following a two-year assignment as a Liaison Officer in the office of the Commissioner, Washington, D.C., he returned to the Mid-Pacific Regional Office in Sacramento where he served as Assistant Regional Director until he retired in 1996.

After retiring from the Bureau of Reclamation, he went to work for HYA Consulting Engineers in Sacramento. HYA was later acquired by Dames & Moore Group which was in turn acquired by URS Corporation. In June of 2000 he joined Easton Water Resources. In 2002, he formed his own company, Dimick Water Resources Engineering. He is a life member of U.S. Committee on Irrigation and Drainage (USCID) and a member of the American Society of Civil Engineers and the U.S. Society of Dams. He served as a member of the USCID Board of Directors and as a Vice-President of the International Commission on Irrigation and Drainage. He is presently serving as the Chairman of the ICID Working Group on Managing Water Scarcity under Conflicting Demands (MWSCD). Frank and his wife Ethel have been married for 57 years and have 3 children, 6 grandchildren and 2 great-grandchildren.

#### **Dr. Ignacio Sanchez Cohen (Mexico), Co-Chair Q.61.3**



Dr. Ignacio Sanchez Cohen is an agricultural engineer and serves as researcher in the National Institute for Forestry Agricultural and Animal Husbandry Research in Mexico. He has been the research leader of the integrated watershed management research program within this institute. In addition, he was the national coordinator of the water net of the National Council for Science and Technology of Mexico that represents 52 academic and research institutions of Mexico. He holds a Bachelor on irrigated agriculture, a Master on soil and water management and a Ph D on Physical Aspects of Arid Lands from the University of Arizona in the USA. During his years of research experience, he has participated in several international and national projects related to watershed management. His publications involve several research fields around water: hydrology, climate, soils, and the social dimension of water scarcity, which links hard science to decision taking. He is member of the national system of researchers in Mexico (level II), has written five books, is coauthor of three, and has several book chapters as main

author and coauthor. He has participated as main author or coauthor in 157 scientific papers. His research focuses on integrated water management that involves water balance at watershed level and the impacts of climatic extreme events on social variables as well as decision taking in irrigated agriculture. Main issue in his endeavors is to support the decision taking processes based on sound research results among stakeholders. At the present, he is participating in several research projects focusing in the integrated water balance at field level, parameterizing decision simulation models and developing computer water balance models.

#### **Dr. Vijay K. Labhsetwar, Congress Coordinator and Reviewer**



Dr. Vijay K. Labhsetwar is a Director at International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), New Delhi, India since 2001. Prior to this he has worked as Professor at Water and Land Management Institute, Aurangabad, India; Research Fellow at Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark; Research Associate at Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA. He has 33 years of experience in research, training and administration. His specialization includes Soil-plant-water relationships; Crop water requirement; irrigation scheduling; soil and water engineering; water and fertiliser; and soil science / agronomy as it relates with irrigation management. Dr Labhsetwar has presented papers at numerous national and international meetings and also served as expert reviewer for conferences and journals. Currently, he is a member of the Editorial Board of ICID Journal "Irrigation and Drainage" since 2005. He has published numerous papers/reports/training material at national and international level. His degrees are: PhD (1984) from Colorado State University, USA; M.S. (1979) from Asian Institute Technology, Thailand; BSc (1978) from JN Agricultural University, India. Contact<vijaylabh@gmail.com>

## International Reviewers

1. Prof. Dr. Tsugihiko Watanabe (Japan) , nabe@kais.kyoto-u.ac.jp
2. Dr. Momir Vranes (Australia) , Momir.Vranes@fao.org
3. Dr. Daniele de Wrachien (Italy), daniele.dewrachien@unimi.it
4. Dr. Nozar Ghahreman (Iran) , nghahreman@alumni.ut.ac.ir
5. Dr. Clarke Ballard (Australia) , ballardc@eftel.net.au
6. Dr. James E. Ayars (USA) , James.Ayars@ARS.USDA.GOV
7. Dr. Takao Masumoto (Japan), masumoto@affrc.go.jp
8. Dr. Waldo Ojeda (Mexico), pherrera@tlaloc.imta.mx
9. Dr. Maury Roos (USA), Maury.Roos@water.ca.gov
10. Dr. Brent Paterson (Canada), brentpaterson27@gmail.com
11. Dr. Sylvain-Roger-Perret (France) , sylvain.perret@cirad.fr
12. Dr. Aynur Fayrap (Turkey) , aynurf@dsi.gov.tr
13. Dr. Young D. Kim (Korea) , youngkim.kr@gmail.com
14. Dr. Man Singh, Project Director of WTC, IARI, mansingh61@ymail.com
15. Dr. Mohammad Javad Monem (Iran), javadmonem@gmail.com



# Author Index

## A

A. Martinez-Ruiz	361
A. Pannunzio	164
A. Ruiz-García	361
A. Singels	136
A.A. Adetoso	136
A.K. Dinkar	345
A.L. Bautista-Olivas	146
A.L. Paraskevopoulos	136
Abd El-Hafeez Zohry	290
Abdelhafid Debbarh	21
Abdullahi Hassan Hussein	235
Abraham Rojano Aguilar	186
Adán Jesús González-Real	214
Aditya Prihantoko	369
Ahmad Mirza Junaid	182
Ahmed Kamal	222
Aidan Senzanje	95
Alberto González-Sanchez	112
Alejandro González Bernal	383
Ali Shahbazi	295
Alok Panday	345
Álvarez G. Nazario	398
Álvarez González	217
Amit Gupta	153
Ana Carolina Gasparotto Silva	390
Ana Laura Santos Hernández	109
Anatoliy Shevchenko	354
Andi Sudirman	234
Ángeles Hernández J. M.	99
Ankook Shin	180
Antenor de Oliveira Aguiar Netto	142
Antonio Guiso	178
Argueta S. Jorge A.	168
Armanto E.	209
Arturo González Casillas	383, 402, 112
Ashraf El Sayed Ismail	101
Asia Khamzina	78
Asjad Imtiaz Ali	222
Aswandi	234
Attila Nagy	357
Aynur Fayrap	213, 87

## B

B.L. Stringam	341
B.T. Wahlin	341
Badra Kamaladasa	107
Bahena-Delgado, G.	99
Bai Jing	339
Bai M. J.	289
Bakri	209

Bart Schultz	384
Bautista-Capetillo C.	140, 85
Behzad Navidi Nassaj	295
Benjamin de Leon-Mojarro	112, 239
Bernardo Espinosa Aguilar	383
Bernd Diekkrüger	78
Bernhard Tischbein	78
Betsie le Roux	138
Bill Garthwaite	203
Bing Xu	132
Bruna de Souza Pereira	390
Buss, P.	123

## C

C. Nicholson	81
C. Walters	81
C.L. Wu	337
Cárdena Burbano	217
Carlos Baldenebro	402
Carlos Fuentes	174, 402
Carlos	217
Carlos Fuentes Ruiz	97
Caroline Figüeres	360
Castillo González J.A.	321, 99
Catalina Romay	327
Catariny Cabral Aleman	381, 390
Cesareo Landeros-Sanchez	74
Chang Eon Park	216
Chansung Oh	201
Chávez-Carlos D.	85
Chen Ning	118
Cheng Chang-Chi	396
Cheng-Haw Lee	301
Chia-Sheng Hsu	144
Chih-Hung Tan	144
Ching-Tien Chen	301
Chiueh	386
Chun-E. Kan	149
Claudia Ringler	190
Clément Ouédraogo	360
Colchero G. Jorge	168

## D

D. Lawler	81
D. Upadhyaya	156
D. Xu	337
Dalton, M.R.	123
Dede Rohmat	119
Delong Tian	132
Deng Jun	73, 377
Di Xu	92, 287, 333



Dilip Yewalekar .....316  
 Dina Caballero-Cinco .....239  
 Dong-Ho Choi.....148, 89  
 Ding Kunlun .....118, 245

**E**

E. A. Holzapfel.....164  
 Edgar Vázquez Núñez .....139  
 Edriman .....76  
 Eduardo Alexis Cervantes Carretero .....158  
 Eko W. Irianto .....404  
 Elahe Kanani .....325  
 El-Gamal, T .....292  
 Eman Sayed.....116, 297  
 Enrique Mejía Saenz .....109  
 Ephraim Sekyi-Annan.....78  
 Erin Priandini .....305

**F**

F. Dufour .....164  
 F. Hussain .....83  
 F. Cruz-Bautista .....146  
 F.X. Li .....337  
 Fahimullah Ziaee .....134  
 Faiz Raza Hassan .....194  
 Faizal Rohmat .....119  
 Fazilet Unlu .....213  
 Felipe Zataráin.....174  
 Felix J.A.....166  
 Félix-Félix J.R.....140  
 Flávio Campos Bastos.....381  
 Flores V. Jorge .....232  
 François Onimus .....360

**G**

G. Delgado Ramirez .....162, 192  
 G. Demarco .....164  
 G. Esquivel Arriaga.....162, 192  
 G. Mason .....81  
 G.M.C.A Perera .....318  
 Gajanan Sawargaonkar .....323  
 Gao Lihui .....118  
 García Asensio .....217  
 García V. Nahún H. ....184, 232  
 García-Aragón J. ....140  
 Ghulam Shabir.....194  
 Ghulam Zakir Hassan.....194  
 Gilberto Salgado Maldonado .....379  
 Gisselle Orozco .....212  
 Gómez L. Luis .....184, 232

González-Trinidad J .....85  
 Graham Hamley .....203  
 Graziano Ghinassi .....178  
 Guan Jianzhao .....73  
 Gustavo Adolfo Hinojosa Cuellar.....104, 207  
 Guy Fipps .....310

**H**

H. Jordaan .....136  
 H. Saucedo-Rojas .....237  
 H.M Jayatillake .....406  
 Haedo Kim.....180  
 Haeruddin C. Maddi.....305  
 Hanhan A. Sofiyuddin .....404  
 Hanyong Um.....201  
 Harri Koivusalo .....335  
 Hashemi Shahedani, S. M.....359  
 Heber Eleazar Saucedo-Rojas .....97, 214  
 Heber Saucedo.....308, 402  
 Hector Arias .....402  
 Heidi Salo .....335  
 Helena Äijö .....335  
 Helene Unland Weiss .....176  
 Hernández-Saucedo, F. R. ....312  
 Herrera Ponce J.C.....321  
 Herryan Kendra .....119  
 Hossein Dehghanisanij.....325  
 Hsiang-Yi Hsu.....144  
 Hua Xie .....190  
 Huang Jen-Kai .....396  
 Huang Shih-Wei .....396  
 Huang Yuyan .....88  
 Humberto I. Navarro-Gómez .....188  
 Hyun-kyu Park .....89, 148

**I**

I.L. López-Cruz .....361  
 Ignacio Sanchez Cohen .....162, 192  
 Inajá Francisco de Sousa .....142  
 Inocente Aragón-Figueroa .....214  
 Iouri Nikolskii-Gavrilov .....74  
 Iuliia Danylenko .....352  
 Ivan Petrovich Aidarov .....74

**J**

J. A. Díaz-Magaña .....237  
 J. Ángel Guillén González, A .....383  
 J. González-Meraz .....237  
 J. Pineda-Pineda .....361  
 J. Tuma .....164

J.S. Liu .....	83
J.V. Prado-Hernandez .....	361
Jaana Uusi-Kämpmä .....	114
Jae-Han Ko .....	89
Jaime Collado .....	131, 241
Jan Ming-Young .....	396
Janaki Meegastenna .....	107
János Fehér .....	357
János Tamás .....	357
Jarot Widjoko .....	209
Javeed Iqbal Bokhary .....	222
Jesús Enrique Vázquez-Lizárraga .....	174
Jesús Rodríguez Rodríguez .....	109
JesusTarriba .....	402
Jiang Xinlan .....	343
Jiangang Liu .....	205
Jinhong Wan .....	205
Joop Stoutjesdijk .....	356
Jorge Antonio Argueta Spínola .....	207
Jorge Flores-Velazquez .....	104
Jorge V. Prado-Hernández .....	188
Jorge Víctor Prado-Hernández .....	239
José Luis Arellano Monterrosa .....	97
José María .....	217
José Murilho Farias Bomfim .....	142
José Rodolfo Namuche Vargas .....	97
Juan García.Rojas .....	308
Juan Manuel Angeles-Hernández .....	104, 176
JunDeng .....	205
Júnez-Ferreira H.E. ....	85
Junghoon Choi .....	201
Junoh Park .....	216
Jyrki Nurminen .....	335

**K**

K. Sunitha .....	400
K. Yella Reddy .....	151, 400
K.R. Kakumanu .....	400
K.T.N Perera .....	406
Kanokporn Sawatpru .....	226
Kaoru Murayama .....	160
Kari Ylivainio .....	114
Kateryna Shatkovska .....	354
Kaushal K Garg .....	323
Kazuhiro Yoshida .....	93
Kazumi Yamaoka .....	76
Keith L Bristow .....	138
Khalil Ghorbani .....	367
Khanita Kamwilaisak .....	170
Khanittha Chaibandit .....	170
Khin Mar Htay .....	76

Koji Morita .....	160
Kwang-Sik Yoon .....	89, 148
Kyung-Sook Choi .....	182

**L**

L. Narayan Reddy .....	151
L.G.Usata .....	303, 299
Lassi Warsta .....	335
Laura Alakukku .....	335
Leonardo Pulido-Madrigal .....	214
Li Chen .....	144
LI Ruoxi .....	118, 377
Li Tie .....	88
Li YN .....	289
LI Yunpeng .....	377
Lilik Sutiarto .....	348
Liu Jiangang .....	73, 377
Liu Leyin .....	88
Liu Qunchang .....	80, 293, 343
Lomeli V. Ramón .....	398
LÜ Shun .....	88
Luis Alonso López Wiley .....	166
Luis Felipe Alcocer Espinosa .....	207

**M**

M. Balasubramanian .....	400
M. McFarlane .....	81
M. R. Abdillah .....	234
M. Romashchenko .....	394
M. Sekhar .....	156
M. Sudhakar Rao .....	156
M. Uzaer .....	404
M.I. Romashchenko .....	220
M.I. Yatsuk .....	220
M.J.Bai .....	337
Mahdi Ghamghami .....	367
Maija Paasonen-Kivekäs .....	335
Manisha Kinge .....	316
Maponya Pland Mpandeli SN .....	392
Marasi Deon Joubert Hutadju .....	369
María Dolores Olvera Salgado .....	176
María Guadalupe Robles Linares	
Gándara .....	388
Mariana de Jesús	
Marcial-Pablo .....	365
Mariko Miyajima .....	160
Mario Alberto Montiel Gutiérrez .....	104
Mario López Pérez .....	158
Mark Gush .....	138
Markus Sikkilä .....	335

Marlene Lagunas Herrera.....158  
 Martin Burton.....356  
 Masoom Hamdard.....134  
 Mauricio Carrillo-García.....188, 239  
 Mauro Íñiguez-Covarrubias.....229  
 McCann, I.R.....123  
 Mehdi Helmi.....172  
 Meijian Bai.....287, 333  
 Merja Myllys.....335  
 Markku Puustinen.....335  
 Michael van der Laan.....138  
 Mika Turunen.....335  
 Minjares J.L.....166  
 Mohamad Ali Fulazzakya.....206  
 Momon Sodik Imanudin.....209  
 Mona Liza Delos Reyes.....384  
 Monem, M. J.....359  
 Montiel Gutiérrez M.A.....321  
 Muhammad Latif.....121  
 Muhammad Usman Rashid.....121  
 Mulyadi.....404  
 Murtiningrum1.....348  
 Mykhailo Ryabtsev.....354

**N**

N.M.N.C. Marapana.....154  
 Nahúm García.....402  
 Nahún H. García-Villanueva.....241  
 Namuche Vargas R.....99  
 Narges Zohrabi.....295  
 Nehal Adel.....116, 297  
 Nicholas P. Sisto.....228  
 Noman Amjad Raja.....121  
 Norio Nawa.....160  
 Nozar Ghahreman.....172, 367

**O**

O. Dekhtiar.....394  
 Obregón G.A.....166  
 Ojeda B. Waldo.....232  
 Olena Vlasova.....354  
 Olga Marchenko.....320  
 Olga Xóchitl Cisneros Estrada.....308  
 Olvera-Salgado M.D.....99, 321  
 Orlando.....217  
 Ostovari, S.....359

**P**

P. Bueno Hurtado.....162, 192  
 P. Teixeira Soria.....164

P.Y. Chen.....83  
 Pacheco Hernández P.....99, 321  
 Pacheco-Guerreo A.I.....85  
 Paolo Spugnoli.....178  
 Parra C. Marco A.....168  
 Parviz Irannejad.....367  
 Pedro Rivera-Ruiz.....239  
 Pengcheng Tang.....132  
 Pérez-Nieto, S.....312  
 Playán E.....140  
 Pooja Kapoor.....111  
 Pradeep Bhalage.....307  
 Pu Qu.....346  
 Pushpraj Singh.....323

**Q**

Qazi Tallat M. Siddiqui.....222  
 Qiu Zhaoning.....293

**R**

R.K.Gupta.....111, 153  
 R.S.Wu.....83  
 Radhika.....231  
 Rafael Briseño.....212  
 Rajesh Nune.....323  
 Ramón Almejo Bernabe.....383  
 Raquel Barajas Lemus.....158  
 Raquel Salazar Moreno.....186  
 Ren Hejing.....80, 293, 343  
 Rendy Firmansyah.....231  
 Renkuan Liao.....224  
 Resfa Fitri.....76  
 Revalin Herdianto.....363  
 Roberto Arellano-Choca.....188  
 Robiyanto H. Susanto.....234  
 Rodolfo Namuche.....402  
 Rodrigo Patron.....402  
 Ronald E. Ontiveros-Capurata.....365  
 Rushena Kupiedinova.....320  
 Ruslan Tkachuk.....320

**S**

S T Sangle.....307  
 S.M.D.L.K. De Alwis.....154  
 S.V. Ryabkov.....303  
 S.V. Usaty.....299  
 Saif Hameed Abed Al-katb.....350  
 Salinas-Tapia H.....140  
 Salwa M. Abou Elella.....105  
 Samiha Ouda.....290  
 Samira Akhavan.....325

Samjhana Thapa .....	203
Sanath Ranawana .....	190
Sanjay Belsare .....	103
Seija Virtanen .....	114
Sekhar Muddu .....	93
Seokman Kang .....	180
Sergei Severinov .....	228
Sergio Iván Jiménez-Jiménez .....	229, 365
Serhij Liutnitski .....	352
Seung-Hwan Yoo .....	89, 148
Seydou Traore .....	310
Shaame Matta Shaame .....	95
Shaohui Zhang .....	287, 333
Sheng Hsin Hsieh .....	149
Shih-Wen Chou .....	149
Shukhrat Mukhamedjanov .....	319
Si Li .....	346
Sigit Supadmo Arif1 .....	348
Songjun Han .....	92
Starr, J.L. ....	123
SteveCraft .....	402
Suardi Natasaputra .....	119
Suhas P Wani .....	323
Süleyman Toy .....	87
Suman Sijapati .....	134
Supasit Konyai .....	170, 226
Susi Hidayah .....	369

**T**

T. Watanabe .....	116, 297
T.L. Wahl .....	341
T.M.N. Wijayaratna .....	406
Takao Masumoto .....	160
Takeo Yoshida .....	160
Talaat El-Gamal .....	91
TAN Xuming .....	377
Tarek A. El Samman .....	105
Thitinun Pongnam .....	314
Tian You .....	211
Timlin, D.J. ....	123

**U**

U.S. Nagothu .....	400
Unland Weiss H.E.K. ....	99, 321

**V**

V. N. Markin .....	371
V. V. Shabanov .....	371
Van Manh Nguyen .....	190
Vertario Trejo Segura .....	176

Vichian Plermkamon .....	314
Victor Alcocer-Yamanaka .....	212
Victor Vladimirovich Pchylolkin .....	74
Vsevolod Bohaienko .....	352

**W**

Waldo Ojeda-Bustamante .....	104, 229, 365
Waleed Abou El Hassan .....	116, 297
Waluyo Hatmoko .....	231
Wang Haili .....	88
Wenyong Wu .....	224
Wu CL .....	289

**X**

Xie Chongbao Gao Hong .....	339
Xiuqing Wang .....	346
Xu D. ....	289
Xu Jingdong .....	80, 293
Xuming Tan .....	205

**Y**

Y Barrios D. J. Natividad .....	184
Y.M. Gadzalo .....	220
Y.N.Li .....	337
Ya-Hua Liu .....	386
Yan Qinghong .....	80, 293, 343
Yanhong Zhao .....	346
Yaqi Hu .....	224
Yasmin Siddiqi .....	190
Ya-Wen Chiueh .....	219
Ya-Wen .....	386
Yessica A. Gómez-Pérez .....	188
Yi-Ju Lin .....	301
Yinong Li .....	287, 333
Youbing Hu .....	346
Yuan Shuai .....	293, 343
Yu-Chuan Chang .....	149
Yunpeng Li .....	205
Yurij Mykhailov .....	352

**Z**

zamat Mukhomedjanov .....	319
Zekun Li .....	132
Zhan Xiaomi .....	88
Zhang SH .....	289
Zhao Yong .....	73
Zhiyong Yang .....	92
Zhou Bo .....	73

# ICID Products & Services Directory



ICID•CIID

***Are you a consultant/ manufacturer/ dealer/ professional institution dealing in irrigation and drainage products/services. Don't miss this opportunity to list your products/ services FREE of cost!***



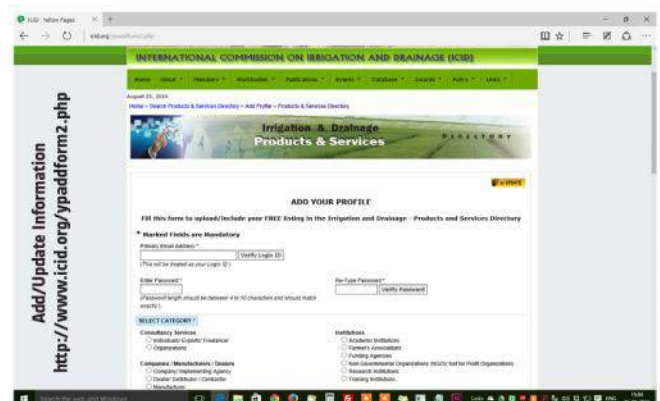
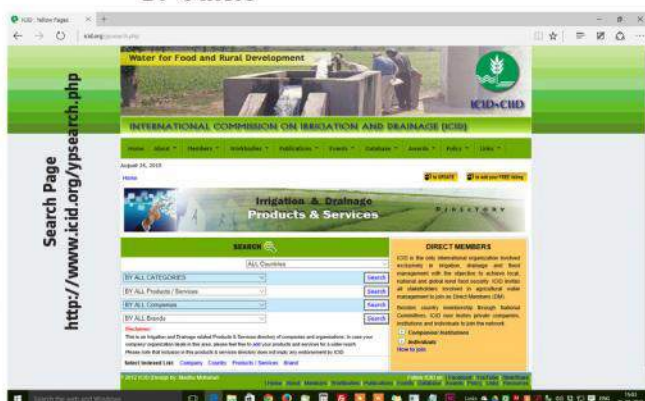
Information dissemination plays a critical role in the field of irrigation, drainage and flood management. For sharing the available knowledge across a wide spectrum of users, ICID has recently launched a new web service on **ICID website** <<http://www.icid.org>> as **"Irrigation & Drainage - Products & Services"** <<http://www.icid.org/ypsearch.php>> to help various stakeholders in locating required services, products and business information through a few clicks.

This online directory provides a platform to enlist all the services and products being provided by consultants, manufacturing companies, dealers, and other professional institutions dealing in irrigation and drainage sector. Any service provider can submit

their information online <<http://www.icid.org/ypaddform2.php>> for inclusion in this directory.

At present, the information is listed/ collected in the following categories and sub-categories:

- A. Consultancy Services** (1. Individuals/ Experts/ Freelancer; 2. Organizations);
- B. Companies / Manufacturers/ Dealers** (1. Company/ Implementing Agency; 2. Dealer/ Distributor / Contractor; 3. Manufacturer; 4. Publisher; 5. Software developers/ vendors);
- C. Institutions** (1. Academic Institutions; 2. Farmer's Associations; 3. Funding Agencies; 4. Govt./ Non-Governmental Organizations (NGO)/ Not for Profit Organizations; 5. Research Institutions; 6. Training Institutions); and
- D. Others**



**Take out your time and join the new online service to enhance your visibility to the irrigation, drainage and flood management community.**

For more information, please contact:

The Secretary General, **International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)**

48 Nyaya Marg, Chanakyapuri, New Delhi 110021, India. E-mail: [icid@icid.org](mailto:icid@icid.org), Website: <http://www.icid.org>



/ icidat



/ icidonline

# 23<sup>ème</sup> International des Irrigations et du Drainage

Mexico City, Mexique, 2017

Hosted by:

MÉXICO  
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



SEMARNAT  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

CONAGUA  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



MXCID

## Mexican National Committee of International Commission on Irrigation and Drainage (MXCID)

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)  
Office of the Director General, National Water Commission  
Insurgentes Sur 2416, 4th Floor, Copilco El Bajo, P.C. 04340,  
Coyoacan, Mexico City, Mexico  
Phone: +52 (55) 56696525  
Email: info@mxcid.mx, contacto@icid2017.org



included in this book contains complete text.  
Of no commercial value.

ISBN 978-81-89610-24-1



9 788189 610241



ICID•CIID

### ICID Central Office:

48 Nyaya Marg, Chanakyapuri, New Delhi 110 021, India  
Tel : +91 11 2611 6837, +91 11 2611 5679, +91 11 2467 9532,  
Fax : +91 11 2611 5962  
E-mail : [icid@icid.org](mailto:icid@icid.org), Website : <http://www.icid.org>



/icidat



/icidorg



/icidonline



/in/icidonline