

# CLIMATE CHANGE IMPACTS ON SOIL AND WATER RESOURCES

Chandra A. Madramootoo<sup>1</sup>

General Reporter

During the 21st ICID Congress in Tehran, the Symposium normally chaired by the President ICID, is to deal with the topic of “Climate Change Impacts on Soil and Water Resources”.

President had kindly consented to provide needed support.

In response to the ‘Call for Papers’, encouraging country papers, one each from the concerned National Committees, there had been a set of nine responses (one is assigned to poster presentation – Algeria).

All the papers are in line with the Symposium topic. However, there is one paper that stands out as global and provide the overarching situation of future food security compulsions. This is a key contribution and may deserve a full presentation opportunity.

- *“Feeding a growing population: The challenge for land and water”* by  
FAO’s Land & Water Division Director Dr. Parviz Koohafkan

The FAO’s paper postulates that the world’s population would continue to rise. Today’s population of around 7 billion is expected to increase to about 9 billion by 2050 (UN, 2009). By this time, another one billion tonnes of cereals and 200 million extra tonnes of livestock products will need to be produced every year (Bruinsma, 2009). The imperative for such agricultural growth is strongest in developing countries, where the challenge is not just to produce food but to ensure that families have access to the food. The challenge of providing sufficient food for everyone worldwide has never been greater.

Dr. Koohafkan points out that almost 1 billion people are undernourished, particularly in Sub-Saharan Africa (239 million) and Asia (578 million), today. Even if agricultural production doubles in developing countries by 2050, one person in twenty still risks being undernourished – equivalent to 370 million hungry people, most of whom will again be in Africa and Asia. Such growth would imply agriculture remaining an engine of growth, vital to economic development, environmental services and central to rural poverty reduction. In recent decades, the world’s farmers have responded to increased demand with remarkable improvements in productivity and output. Today the developing world is producing more than twice as much food as it did fifty

<sup>1</sup> President, ICID and Canadian National Committee of ICID (CANCID), James McGill Professor, Dean, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, McGill University, Macdonald campus, Canada, E-mail : chandra.madramootoo@mcgill.ca

years ago, while the net global cultivated area has only grown by 12%. Over the same period, the world population has more than doubled from 3.3 billion in 1965 to nearly 7 billion in 2011.

The policies, practices and technologies needed to boost production and strengthen food security have long been discussed. Institutional mechanisms, the development of trade and markets and the financial facilities needed to raise productivity in a sustainable way have been negotiated at the international level. At national level, measures to raise output and strengthen food security are being put in place, including investment in pro-poor, market-friendly policies, institutions and incentives, as well as the infrastructure and services needed to improve productivity. Yet the challenge still remains.

The second paper of generic nature reporting on China is on “Impacts of climate change on groundwater” from Gao Zhanyi et al.

Groundwater remains the important water source for both domestic water supply and irrigation in north and northwest China. Due to over development of groundwater for decades, groundwater table has been continually declining in some areas. Consequently surface subsidence and sea water intrusion are getting induced, and irrigation and drinking water supply in rural are getting lesser. With climate change this situation aggravates. Climate change induced the extreme draught and flood events more frequently, which presents a daunting challenge to groundwater management. To seek solution for safe water supply and sustainable groundwater management under climate change condition, a research carried out in the pilot area of Cangzhou city, Hebei province provides the impact of climate change on groundwater using statistical method based on the long-term historical. Bringing out the future scenerio by developing and applying groundwater models are aimed at in the paper.

The country submissions are divided between three continents, viz. Asia (Japan, Chinese Taipei, Korea, Iran, Azerbaijan), Africa (South Africa) and Americas (USA). These are dealt with region wise.

## Asia

- *“Impact of climate change on water resources and adaptation measures in the Chao Phraya river basin” by Tetsuro Miyazato et al. (Japan)*

The Author had presented a hydrological model for the Chao Phraya river basin in Thailand to evaluate the impact of climate change on irrigation systems in the basin. The model had been used both for flood and drought conditions, and study the impacts of climate change on irrigation systems.

By 2100, at the 50-year probability drought, total available water resource will decrease; the average rainfall will be less by 350 mm/year compared with the present condition. Regarding the priority of new dam construction in the northern part of the Chao Phraya river basin, 5 catchment areas had been chosen for comparison of future water resource development: 1) Upper Ping dam, 2) Upper Taeng dam, 3) Link canal between Mae Ngad – Mae Kuang

dam, 4) Mae Ngad dam and 5) Phrae. A link canal between Mae Ngad- Mae Kuang dam and Phrae area has been suggested as the top priority for construction of irrigation facilities from the view point of the possible future climate change.

- *Climate change adaptation strategies for agricultural water management in Taiwan by Ching-Chung Chang et al. (Chinese Taipei)*

Being a densely populated small island of steep hills Taiwan has difficulties to store water for irrigation. Approximately 70% of water used for irrigation is drawn from rivers. Planning for water resources allocation and distribution is uncertain due to the uneven temporal and spatial distribution of water and the distinctive dry and wet seasons. Though the annual rainfall has not changed much over Taiwan, there have been more frequent droughts and floods that may be attributed to climate change phenomenon. The impacts of climate change on the agricultural water resources in Taiwan could affect both water quantity and hydrologic pattern. For water quantity, the paddy rice that grows faster and shortens its total growth period as a result of higher average temperatures, need a look. However, as the solar radiation increases, the average total evapotranspiration for each rice-crop period could rise by 2.1% and 6.8% within the future 30 years and 60 years, respectively. For hydrologic pattern, the climate change will cause more uneven temporal and spatial distribution of rainfalls. In consequence, higher intensity rainfalls and more frequent severe droughts are expected. The extreme weather alters stream flow patterns and reduces the reservoir capacities due to sedimentation. These have made the Irrigation Associations' (IAs) dependence on reservoir water supply risky to operate the existing irrigation schemes.

To cope with these issues, the Council of Agriculture in Taiwan has been strengthening (i) the multi-functional irrigation infrastructure; (ii) improving the basic environment for agricultural production; (iii) developing productive, (iv) ecologic and living functions of agricultural water resources; (v) building up national Geographic Information System for irrigation; (vi) upgrading irrigation management efficiencies and (vii) ensuring full uses of the resources of IAs to develop water resources related industries. The Council plans the following policies: developing the new reuse water resource, regulating shift of remaining water, building ponds for storage, strengthening irrigation management and establishing a rule on shift of water resource. To face the climate change effect in future, proposed adaptation strategies and direction for Taiwan's agriculture are: developing sustainable agriculture, ensuring food self-sufficiency for food security, renovating irrigation infrastructure and changing cultivation pattern.

- *Projecting future paddy irrigation demands in Korea by Chung, Sang-Ok (Korea)*

The impacts of climate change on paddy irrigation water demands in Korea have been analyzed. High-resolution (27 x 27 km) climate data for the SRES A2 scenario produced by the Korean Meteorological Research Institute (METRI) and the observed baseline climatology dataset were used. The outputs from the ECHO-G GCM model were dynamically downscaled using the MM5 regional model by the METRI. The Geographic information system (GIS) was used to produce maps showing the spatial changes in irrigation water requirements for rice paddies. The results showed that the growing season mean temperature for future scenarios

was projected to increase by 1.50C (2020s), 3.30C (2050s) and 5.30C (2080s) as compared with the baseline value (1971-2000). The growing season rainfall for future scenarios was projected to increase by 0.1% (2020s), 4.9% (2050s) and 19.3% (2080s). Assuming cropping area and farming practices remain unchanged, the total volumetric irrigation demand was projected to increase by 2.8% (2020s), 4.9% (2050s) and 4.5% (2080s). These projections are contrary to the previous study that used HadCM3 outputs and projected decreasing irrigation demand. The main reason for this discrepancy is the difference with the projected rainfalls of the GCMs used. The temporal and spatial variations were large and should be considered in the irrigation water resource planning and management in the future.

- *Risk analysis and integrated water resources management based adaptation strategies for Zayandeh Rud Irrigation System, Iran by Nazanin Shah Karami et al. (Iran)*

Iran recognizes that one of the most important consequences of climate change would be its impacts on water resources. Evaluation of adaptation strategies to cope with this phenomenon is an essential action. For this purpose, in the paper presented, the uncertainties of 7 AOGCM models with A2 emission are evaluated for the Zayandeh Rud basin during two future periods (i.e. 2010-2039 and 2070-2099) and probability distributions of possible changes on rainfall and temperature are estimated. Similarly, impacts of these changes are evaluated on water resources and agricultural decision indices (e.g. water supply, crop yield, irrigation demand and water use efficiency). The DSSAT package is applied to assess different adaptation strategies at the field level. These strategies include changing cultivar, increasing irrigation efficiency, planting dates and deficit irrigation. Also, trans-boundary water project and changing dam operation are the evaluated strategies at basin level. To apply these strategies with respect to integrated water resources management paradigm, an allocation water model has been proposed. The results show that changing cultivar and water transfer would have higher positive impacts on the decision indices.

- *Climate change and the water resources of the Azerbaijan Republic by Farda Imanov et al. (Azerbaijan)*

Azerbaijan Republic has limited water resources, with river water resources of 30.9 km<sup>3</sup> of which, 10.3 km<sup>3</sup> is the country's share and the rest 20.6 km<sup>3</sup> are parts of transboundary rivers. The current total water abstraction is 12 km<sup>3</sup> annually and it exceeds the available river water resources. About 68% of the available water is used for irrigation. The two main factors responsible for gradual shortfall in the river water availability namely, climate change and development activities, have undergone conspicuous changes in the recent decades in Azerbaijan. It is necessary and feasible to quantify such changes for future planning. Studies have indicated that the annual river flow to Aras has decreased by 63% and at Kura by 58% in comparison with the natural flow during the years 1996-2006. The phenomenon of climate change has drastically increased the frequency of extreme events (floods, mud flow, droughts etc.). Instance for devastating floods in the previous 100 years downstream of Kura had been just 2 times; however in the last 10 years such floods have already occurred 4 times (2003, 2006, 2007, 2010).

Estimation of the impact of climate change on water resources has been carried out for the years 1961-1990 years and it was used as a baseline for GISS and GFDL-3 scenarios. Interesting results obtained from the model PRECIS is that the difference of sum of precipitations and evaporation in the territory of Azerbaijan has significantly decreased. While precipitations increased by 20-80%, the increase in evaporation was higher. The net result was a decrease in the water supply in the territory by an average amount of 0.2-0.5 mm/day. This is a big constraint to increase water allocation for irrigation to meet the increasing demand.

- *“Impacts of climate change on groundwater” (China)*

Groundwater remains the important water source for both domestic water supply and irrigation in north and northwest China. Due to over development of groundwater for decades, the Authors, Gao Zhanyi et al, report that the groundwater table has been continually declining in some areas. Consequently surface subsidence and sea water intrusion are getting induced, and irrigation and drinking water supply in rural are getting lesser. With climate change this situation aggravates. Climate change induced the extreme draught and flood events more frequently, which presents a daunting challenge to groundwater management. To seek solution for safe water supply and sustainable groundwater management under climate change condition, a research carried out in the pilot area of Cangzhou city, Hebei province provides the impact of climate change on groundwater using statistical method based on the long-term historical. Bringing out the future scenerio by developing and applying groundwater models are aimed at in the paper.

## **Africa**

- *Adaptation to climate variability in SADC farming systems by Sue Walker (South Africa)*

Southern African Development Community (SADC) is a semi-arid region with scarcity of water for crop production each year, so coping strategies have been developed by local small farmers over many years. But, these may not hold under climate change scenarios, unless adaptation strategies are evolved. Adaptations incur costs; to farmers, governments and societies or communities and may not be able to prevent damages occurring at a range of inter-linking scales. One of the most important aspects is to manage natural resources and maintain a sustainable farming system. A range of interventions are possible in any farming system, but they usually all hinge on the feasibility of alternative choices in weather sensitive decisions at several levels – strategic for long-term planning, tactical for seasonal period planning, or operational for day to day activities.

A range of alternative technical adaptations that have been used in SADC countries such as alternative cropping patterns and planting dates, community participatory agrometeorological extension services and the use of action research cycle to introduce alternatives to communities. If there are climate forecasts at different time scales and farmers know how to use them to select from range of options available, then there is always a way to develop an alternative sustainable farming system. However, these different ways of managing the natural resources under a more variable climate do need to be tested for local acceptability

as an intervention. As many of the livelihoods of farmers in SADC countries are threatened due to low soil fertility and low crop production there is a desire for change. Therefore it is vital that there is a good group of multidisciplinary intermediaries that can work together to help the farmers to use the available climate and agrometeorological information to develop alternative interventions that are viable in their own farming systems.

## Americas

- *CALSIMETAW and WEAP models for water demand planning by Mohammad Rayej et al. (USA)*

The CALSIMETAW computer model estimates crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and evapotranspiration from applied water (ET<sub>aw</sub>) for use in California water resources planning. The model accounts for soils, crop coefficients, rooting depths, seepage, etc., that influence crop water balance. It provides spatial soil and climate information and it uses historical crop category information to provide seasonal water balance estimates by combinations of county and detailed analysis units (DAU/County). The seasonal water balance is used to estimate the ET<sub>aw</sub> by crop category for each DAU/County combination over the State. The model uses monthly PRISM (USDA-NRCS) data or a weather generator to estimate daily maximum and minimum air temperatures and rainfall from monthly means. Reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) is estimated from a calibrated Hargreaves-Samani equation that accounts for spatial climate differences. In addition to using historical data, CALSIMETAW can use near-real-time data from the combination of weather station and remote sensing data to provide current ET<sub>c</sub> and ET<sub>aw</sub> estimates. The ability to use forecast weather data from the National Weather Service is currently under investigation. Using the weather generator, CALSIMETAW projects possible impacts of climate change on water demand.

As a part of the recent California Water Plan Update (2009), a physically-based water resources model called Water Evaluation and Planning (WEAP) was used to project the impacts of climate change on Agricultural and Urban water demand into the mid-century (2050) planning horizon for the 10 hydrologic regions of California. WEAP is a demand-driven water resources allocation model that integrates sources of supply and demand. It has a powerful scenario-building capability and can be used as a long-term planning tool for water managers and government agencies to explore water management strategies like demand reductions and/or supply augmentations. Similar to CALSIMETAW it uses weather, crop and soil information to estimate ET<sub>aw</sub> under different climate change scenarios, but on a large scale. There exists, however, a great potential to link CALSIMETAW and WEAP for a more detailed representation of ET<sub>aw</sub> in space and time in the future.

# IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES SOLS ET LES RESSOURCES EN EAU

Chandra A. Madramootoo<sup>1</sup>

Rapporteur Général

Au 21<sup>ème</sup> Congrès CIID à Téhéran, le Symposium, présidé par le Président CIID, traitera le thème "Impacts des changements climatiques sur les sols et les ressources en eau».

Le Président avait consenti à fournir le soutien nécessaire.

En réponse à «l'Appel aux Communications», encourageant les rapports de pays, l'un de chacun des Comités Nationaux concernés, on a reçu un jeu de 9 réponses (l'un de ces neuf rapports venant de l'Algérie est marqué pour la présentation d'affiche).

Tous les documents sont en rapport avec le thème du symposium. Cependant, il y a un rapport qui se distingue en tant qu'un rapport mondial et représente la situation globale future des contraintes de la sécurité alimentaire. C'est une contribution principale et mérite d'avoir une opportunité de présentation complète.

- *Fournir nourriture à une population croissante : Défi qui se pose à la terre et à l'eau*, Dr. Parviz Koohafkan, Directeur du Département de la Terre et de l'Eau de la FAO

Le rapport de la FAO indique que la population mondiale continue d'augmenter. Aujourd'hui, le chiffre de la population a atteint le niveau de 7 milliards qui est destinée à augmenter jusqu'à 9 milliards d'ici à l'an 2050 (ONU, 2009). A ce temps là, il sera nécessaire de produire un autre milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes supplémentaires de produits d'élevage chaque année pour satisfaire la demande (Bruinsma, 2009). La nécessité est plus forte dans les pays en développement où il faut relever le défi non seulement de produire la nourriture mais aussi d'assurer que les familles aient accès à la nourriture. Le défi de fournir suffisamment de nourriture pour tout le monde n'était jamais si grande.

Dr. Koohafkan remarque que presque 1 milliard de personnes souffrent de malnutrition, en particulier en Afrique sub-saharienne (239 millions) et en Asie (578 millions) Même si la production agricole des pays en développement est doublée d'ici à l'an 2050, une personne sur vingt risque d'être encore sous-alimentée - Équivalente à 370 millions de personnes affamées, dont la plupart seront en Afrique et en Asie. Une telle croissance implique que l'agriculture reste un moyen de croissance, indispensable au développement économique, aux services environnementaux, et une force centrale pour la réduction de la pauvreté rurale.

<sup>1</sup> President, ICID and Canadian National Committee of ICID (CANCID), James McGill Professor, Dean, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, McGill University, Macdonald campus, Canada, E-mail : chandra.madramootoo@mcgill.ca

Dans les dernières décennies, les agriculteurs du monde ont satisfait la demande accrue avec l'amélioration remarquable de la productivité et du rendement. Aujourd'hui, le monde en développement produit la nourriture plus de deux fois par rapport au temps il y a cinquante ans, alors que la superficie mondiale cultivée nette n'a augmenté que de 12%. Au même temps, la population mondiale a plus que doublé, passant de 3,3 milliards de personnes en 1965 à environ 7 milliards de personnes en 2011.

Les politiques, les pratiques et les technologies nécessaires pour stimuler la production et renforcer la sécurité alimentaire ont été discutées depuis longtemps. Les mécanismes institutionnels, le développement du commerce et des marchés et des facilités financières nécessaires pour augmenter la productivité de manière durable ont été négociés au niveau international. Au niveau national, les mesures sont prises pour augmenter la production et renforcer la sécurité alimentaire, y compris les investissements en faveur des pauvres, les politiques favorables au marché, les institutions et les incitations, ainsi que les infrastructures et les services nécessaires pour améliorer la productivité. Cependant, il nous reste à relever le défi.

Le deuxième rapport est de nature générique venant de la Chine sur les «Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines" par Gao Zhanyi et al.

L'eau souterraine reste la source d'eau importante de l'approvisionnement en eau domestique et de l'irrigation au nord et au nord-ouest de la Chine. En raison de surexploitation des eaux souterraines depuis des décennies, dans certaines régions la nappe phréatique réduit continuellement. Tous ces facteurs donnent lieu à l'affaissement de surface et à l'intrusion d'eau de la mer, et affectent l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable des régions rurales. Le changement climatique a aggravé cette situation. Les changements climatiques donnent lieu aux événements extrêmes plus fréquents tels que les sécheresses et les inondations, ce qui pose un grand défi à la gestion des eaux souterraines. Un projet de recherche a été effectuée dans la zone pilote de la ville de Cangzhou de la province de Hebei pour rechercher une solution à l'approvisionnement en eau potable et à la gestion durable des eaux souterraines dans la condition du changement climatique. Compte tenu des résultats du projet, ce rapport analyse l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines en utilisant la méthode statistique basée sur les données historiques à long terme. Ce rapport établit des scénarios futurs en développant et en appliquant les modèles d'eau souterraine.

Les rapports des pays sont divisés selon les continents, notamment Asie (Japon, Chine Taipei, Corée, Iran, Azerbaïdjan), Afrique (Afrique du Sud) et Amériques (EU).

## Asie

- *Impact du changement climatique sur les ressources en eau et mesures d'adaptation dans le bassin du fleuve Chao Phraya, Tetsuro Miyazato et al. (Japon)*

L'auteur a présenté un modèle hydrologique pour le bassin fluvial de Chao Phraya en Thaïlande pour évaluer l'impact du changement climatique sur les systèmes d'irrigation dans ledit

bassin. Le modèle considère des cas d'inondation et de sécheresse, et étudie les impacts du changement climatique sur les systèmes d'irrigation.

D'ici à l'an 2100, pour une sécheresse probable d'une période de 50 ans, la quantité totale disponible des ressources en eau diminuera. La moyenne précipitation réduira de 350 mm/an par rapport à la situation actuelle. En ce qui concerne la priorité de construction d'un nouveau barrage dans la partie nord du bassin, 5 bassins versants ont été retenus pour la comparaison du développement des ressources en eau. Il s'agit: 1) du barrage supérieur de Ping; 2) du barrage supérieur de Taeng 3) du canal de liaison entre les barrages de Mae Ngad et de Kuang Mae; 4) du barrage de Mae Ngad; et 5) de la région de Phrae. En conclusion, il est recommandé d'accorder plus de priorité au canal de liaison entre les barrages de Mae Ngad et de Mae Kuang et la région de Phrae pour la construction des installations d'irrigation compte tenu du changement climatique à l'avenir.

- *Adaptation au changement climatique pour la gestion d'eau agricole à Taïwan, Ching-Chung Chang et al. (Chine Taipei)*

Etant une île densément peuplée de petits collines escarpées, il est très difficile pour Taiwan de stocker l'eau pour l'irrigation. Environ 70% de l'eau utilisée pour l'irrigation est tirée de rivières. La planification d'allocation et de distribution des ressources en eau est incertaine en raison de la répartition inégale, spatiale et temporelle de l'eau ; et des saisons sèches et humides distinctes. Bien que les précipitations annuelles n'aient pas beaucoup changé en Taïwan, il y a eu des sécheresses et des inondations plus fréquentes qui peuvent être attribuées au phénomène du changement climatique. Les impacts du changement climatique sur les ressources en eau agricole en Taïwan se composent de deux aspects: la quantité d'eau et le modèle hydrologique. Pour la quantité d'eau, le riz paddy pousse plus vite et il raccourcit sa période de croissance totale en raison de la hausse des températures moyennes. Cependant, comme le rayonnement solaire augmente, l'évapotranspiration totale moyenne pour chaque période de récolte de riz devrait augmenter de 2,1% et 6,8% dans les 30 et 60 futures années, respectivement. Pour modèle hydrologique, le changement climatique va provoquer une répartition plus inégale temporelle et spatiale des précipitations. En conséquence, l'intensité des précipitations plus élevées et plus fréquentes sécheresses sévères sont attendues. Les modèles météorologiques extrêmes modifient le débit et les capacités de réservoir sont réduites dû à la sédimentation. Donc, la dépendance des Associations Irrigation (IA) sur l'approvisionnement en eau des réservoirs cause des risques à l'application des systèmes d'irrigation existants.

Pour faire face à ces questions, le Conseil de l'agriculture à Taïwan (i) renforce l'infrastructure d'irrigation multifonctionnel, (ii) améliore l'environnement de base pour la production agricole, (iii) développe les fonctions productives, écologiques et celles de vie, des ressources en eau agricole; (iv) crée le Système national d'information géographique pour l'irrigation, (v) met à jour les efficacités de la gestion d'irrigation et (vi) garanti l'utilisation complète des ressources des IA pour développer les industries nécessitant les ressources en eau. Le Conseil prévoit les politiques suivantes: le développement des ressources nouvelles de la réutilisation de l'eau, la régulation du déplacement de l'eau excédentaire, la construction de bassins de stockage,

le renforcement de la gestion d'irrigation et l'établissement d'une règle sur le transfert des ressources en eau. Pour faire face aux effets du changement climatique à l'avenir, suivent les stratégies d'adaptation et les orientations proposées pour l'agriculture de Taiwan: développer une agriculture durable, assurer l'autosuffisance alimentaire pour la sécurité alimentaire, la rénovation des infrastructures d'irrigation et le modèle de culture changeant.

- *Projection future des besoins en irrigation du riz paddy en Corée, Chung, Sang-Ok (Corée)*

Les impacts du changement climatique sur les besoins en eau d'irrigation du riz paddy dans la République de Corée ont été analysés. Des données sur le climat à haute résolution (27 x 27 km) pour le scénario SRES A2 produit par l'Institut coréen de recherche météorologique (METRI) avec celles observées sur la climatologie normale ont été utilisées. Les résultats du modèle MCG ECHO-G ont été déduits dynamiquement à l'aide du modèle régional MM5 de METRI. Le système d'information géographique (SIG) a été utilisé pour produire des cartes montrant la variation spatiale des exigences en eau d'irrigation du riz paddy. Les résultats ont montré que la température moyenne de la saison de culture pour les scénarios futurs devrait augmenter de 1,5 ° C (années 2020), 3,3 ° C (années 2050) et 5,3 ° C (années 2080) par rapport à la normale (1971-2000). La pluviométrie de la saison de culture des scénarios futurs prévoit une augmentation de 0,1 % (années 2020), 4,9 % (années 2050) et 19,3 % (années 2080). En supposant que la zone et les pratiques agricoles restent inchangées, la demande totale volumétrique d'irrigation prévoit une augmentation de 2,8 % (années 2020), 4,9 % (années 2050) et 4,5 % (années 2080). Ces projections sont contraires à l'étude précédente qui a utilisé les résultats de HadCM3 et a projeté une demande d'irrigation qui diminuait. La principale raison de cet écart est la différence entre les précipitations projetées de MCG utilisés. Les variations temporelles et spatiales étaient grandes et devraient être considérées dans la planification des ressources en eau d'irrigation et la gestion dans l'avenir.

- *Stratégies d'adaptation compte tenu de l'analyse des risques et de la gestion intégrée des ressources en eau du système d'irrigation Zayandeh Rud, Nazanin Shah Karami et al. (Iran)*

L'Iran reconnaît que l'une des conséquences les plus importantes du changement climatique est son impact sur les ressources en eau. L'évaluation des stratégies d'adaptation pour faire face à ce phénomène est une action essentielle qui forme les objectifs de l'étude de recherche actuelle. A cette fin, on a évalué les incertitudes de 7 modèles MCGAO avec les émissions d'A2 du bassin Zayandeh Rud pour les deux périodes futures (2010-2039 et 2070-2099) et l'impact des distributions de probabilité des changements possibles sur les précipitations et les températures. De même, les impacts de ces changements sont évalués sur la base des indices de décision des ressources en eau et agricoles (approvisionnement en eau, rendement des cultures, demande d'irrigation et efficacité d'utilisation de l'eau). La méthode DSSAT est appliquée pour évaluer différentes stratégies d'adaptation au niveau de la parcelle. Ces stratégies comprennent le changement des variétés cultivées, l'augmentation de l'efficacité d'irrigation, et l'utilisation d'irrigation déficitaire. En outre, le projet d'eau transfrontalier et le changement de l'exploitation du barrage sont les stratégies évaluées au niveau du bassin. En outre, on a également développé un modèle d'allocation d'eau pour mettre en œuvre

ces stratégies à l'égard de paradigme de la gestion intégrée des ressources en eau. Les résultats montrent que le changement des variétés cultivées et le transfert d'eau aura un impact positif sur les indices de décision.

- *Changement climatique et ressources en eau de la République d'Azerbaïdjan, Farda Imanov et al. (Azerbaïdjan)*

La République d'Azerbaïdjan possède la quantité limitée des ressources en eau. Sur le total des ressources en eau fluviales de 30,9 km<sup>3</sup>, 10,3 km<sup>3</sup> d'eau fait partie du pays et le reste de 20,6 km<sup>3</sup> d'eau vient des rivières transfrontalières. L'abstraction totale actuelle annuelle est de 12 km<sup>3</sup> et ceci excède la limite des ressources en eau disponibles fluviales. Environ 68% de l'eau disponible est utilisée pour but d'irrigation. Le changement climatique et les activités de développement sont les deux facteurs principaux responsables du déficit graduel de la disponibilité de l'eau fluviale. Ces facteurs ont subi des changements remarquables au cours des décennies récentes à l'Azerbaïdjan. Il est nécessaire et faisable d'évaluer de manière quantitative ces changements pour la planification future. Les études ont indiqué que le débit fluvial annuel à Aras a diminué de 63% et à Kura de 58% par rapport au débit naturel lors des années 1996-2006. Le phénomène de changement climatique a augmenté la fréquence d'événements extrêmes (inondations, sécheresses etc). Il y avait 2 cas d'inondation en aval de Kura au cours de 100 dernières années; cependant, il y avait 4 cas d'inondation dans les 10 dernières années (2003, 2006, 2007, 2010).

L'évaluation a été faite de l'impact du changement climatique sur les ressources en eau pendant les années 1961-1990. Le résultat obtenu a été utilisé comme une ligne de base pour les scénarios GISS et GFDL-3. Les résultats intéressants obtenus du modèle PRECIS ont montré que la différence entre la quantité de précipitations et de l'évaporation à l'Azerbaïdjan a diminué de manière significative. Les précipitations ont augmenté de 20-80%, mais l'augmentation de l'évaporation était plus haute. Le résultat net était une réduction de 0,2-0,5 mm/jours de l'approvisionnement en eau. Cela pose une grande contrainte à l'augmentation de l'allocation d'eau en irrigation pour satisfaire la demande croissante.

- *Impacts du changement climatique sur les eaux souterraines, Gao Zhanyi (Chine)*

L'eau souterraine reste la source d'eau importante de l'approvisionnement en eau domestique et de l'irrigation au nord et au nord-ouest de la Chine. En raison de surexploitation des eaux souterraines depuis des décennies, les auteurs Gao Zhanyi et al indique que dans certaines régions la nappe phréatique réduit continuellement. Par conséquent, tous ces facteurs donnent lieu à l'affaissement de surface et à l'intrusion d'eau de la mer, et affectent l'irrigation et l'approvisionnement en eau potable des régions rurales. Le changement climatique a aggravé cette situation dans les dernières décennies. Les changements climatiques donnent lieu aux événements extrêmes plus fréquents tels que les sécheresses et les inondations, ce qui pose un grand défi à la gestion des eaux souterraines. Un projet de recherche a été effectuée dans la zone pilote de la ville de Cangzhou de la province de Hebei pour rechercher une solution à l'approvisionnement en eau potable et à la gestion durable des eaux souterraines dans la condition du changement climatique. Compte tenu des résultats du projet, ce rapport analyse l'impact du changement climatique sur les eaux souterraines en utilisant la méthode

statistique basée sur les données historiques à long terme et établit des scénarios futurs en développant et en appliquant les modèles d'eau souterraine.

## Afrique

- *Adaptation à la variabilité climatique dans les systèmes agricoles de la SADC, Sue Walker (Afrique du Sud)*

La Communauté de développement Sud-Africaine (SADC) s'est formée dans une région semi-aride avec la rareté de l'eau chaque année pour la production de cultures. Donc des stratégies afin d'adaptation ont été développées par les petits agriculteurs locaux depuis de nombreuses années. Mais, elles ne peuvent pas tenir sous les scénarios de changement climatique, à moins que ces stratégies d'adaptation évoluent. Les adaptations encourent des coûts aux agriculteurs, aux gouvernements, aux sociétés ou aux communautés et peuvent ne pas être en mesure de prévenir les dommages survenant à une gamme des échelles inter-liées. Un des aspects les plus importants est de gérer les ressources naturelles et de maintenir un système d'agriculture durable. Une série d'interventions sont possibles dans n'importe quel système d'exploitation, mais ils sont généralement tous les charnières sur la faisabilité des choix alternatifs dans les décisions sensibles aux conditions météorologiques à plusieurs niveaux – ils sont stratégiques pour planifier à long terme, tactiques pour la période de planification saisonnière, ou opérationnels pour les activités quotidiennes.

Une gamme d'alternatives adaptations techniques qui ont été utilisés dans les pays de la SADC comme les modes alternatifs de culture et les dates de plantation alternatives, la communauté des services de vulgarisation participative agro-météorologiques et l'utilisation de cycle de recherche-action pour introduire des alternatives pour les communautés. S'il y a des prévisions climatiques à différentes échelles temporelles et les agriculteurs savent les utiliser parmi la sélection des options disponibles, alors il y a toujours un moyen de développer un système d'agriculture alternative durable. Cependant, ces différentes façons de gérer les ressources naturelles sous un climat plus variable, doivent être testés pour l'acceptabilité locale comme une intervention. Comme de nombreux moyens de subsistance des agriculteurs dans les pays de la SADC sont menacés en raison de faible fertilité des sols et la production agricole faible, il y a un désir de changement. Par conséquent, il est important qu'il y ait un bon groupe d'intermédiaires multidisciplinaire qui peuvent travailler ensemble pour aider les agriculteurs à utiliser le climat et les informations agro-météorologiques disponibles pour développer des interventions alternatives qui sont viables dans leurs propres systèmes agricoles.

## Amériques

- *Modèles CALSIMETAW et WEAP pour la planification des besoins en eau, Mohammad Rayej et al. (EU)*

Le modèle informatique CALSIMETAW évalue l'évapotranspiration des cultures (ET) et l'évapotranspiration de l'eau appliquée (ET<sub>aw</sub>) pour une utilisation en planification des ressources hydriques en Californie. Le modèle tient compte des sols, les coefficients des cultures, des profondeurs d'enracinement, d'infiltration, etc. qui influencent l'équilibre de l'eau de la culture. Il fournit les informations du sol et du climatique particulières à un endroit

et il utilise les données historiques sur la catégorie des cultures pour fournir une estimation des bilans hydriques saisonniers par des combinaisons de comté et des unités d'analyse détaillée (DAU / Comté). Le bilan hydrique saisonnier est utilisé pour estimer le ETaw selon la catégorie de culture pour chaque combinaison DAU / Comté dans l'Etat. Le modèle utilise les données mensuelles fournies par PRISM (USDA-NRCS) ou un générateur météorologique pour estimer les températures quotidiennes minimales et maximales de l'air et des précipitations selon des moyennes mensuelles. L'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) est estimée à partir d'une équation calibrée Hargreaves-Samani qui tient compte des différences climatiques particulières à un endroit. A part ces données historiques, CALSIMETAW peut utiliser les données quasi-temps réel par la combinaison de la station météo et des données de télédétection pour fournir un ET<sub>c</sub> actuel et les estimations d'ETaw. La possibilité d'utiliser les données de prévisions météorologiques du Service météorologique national actuellement fait objet d'enquête. En utilisant le générateur de météo, CALSIMETAW prévoit les impacts possibles du changement climatique sur la demande d'eau.

Dans le cadre de la mise à jour récente de Planification d'eau en Californie (2009), un modèle des ressources en eau d'une base physique appelé l'Evaluation et la Planification d'eau (WEAP) a été mise en œuvre. Ce modèle a été utilisé pour prévenir les impacts du changement climatique sur la demande en eau des secteurs agricoles et urbains dans l'horizon de planification du milieu du siècle (2050) pour les 10 régions hydrologiques de la Californie. WEAP est un modèle d'allocation des ressources en eau et il est axé sur la demande d'eau. Donc il s'agit à la fois des sources d'approvisionnement et de la demande. Il a une puissante capacité de la construction de scénarios et peut être utilisé comme un outil de planification à long terme pour les gestionnaires de l'eau et les organismes gouvernementaux qui explorent des stratégies de gestion de l'eau comme les réductions de la demande et / ou des augmentations d'approvisionnement. Comme CALSIMETAW, il utilise les données météorologiques, celles des cultures et l'information sur les sols afin d'estimer l'ETaw selon les scénarios différents de changement climatique, mais sur une grande échelle. Il existe, cependant, un grand potentiel de relier CALSIMETAW et WEAP pour une représentation plus détaillée des ETaw en espace et au temps dans le futur.