



**SOUS LE PARRAINAGE DE MR LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DE LA PECHE
MARITIME, DU DEVELOPPMENT RURAL ET DES EAUX ET FORETS**

**UNDER THE SPONSORSHIP OF MR THE MINISTER OF AGRICULTURE, FISHERIES,
RURAL DEVELOPMENT, WATER AND FORESTS**

PROCEEDINGS / COMPTES RENDUS

5th Interregional CIGR Conference on

**CHALLENGES OF WATER MOBILIZATION AND SOIL CONSERVATION IN
BETTER ADAPTING TO CLIMATE CHANGE**



5ème conférence interrégionale de la Commission Internationale du Génie Rural sur le thème

**DEFIS DE MOBILISATION DE L'EAU ET DE CONSERVATION
DES SOLS EN VUE D'UNE MEILLEURE ADAPTATION AUX CHANGEMENTS
CLIMATIQUES**

10 to 13 September 2019

Conference Center / Centre de Conférences - Mohammed VI Foundation

Rabat – MOROCCO

Editor : Pr El Houssine BARTALI anafide.ma@gmail.com

Table des matières-Table of content

- Impact du changement climatique sur l'envasement du barrage Bin El Ouidane, Maroc , A. Chaaou, M. Chikhaoui, M. Naimi3
- Irrigation de complément à partir de Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement (BCER) et Information Climatique dans le Sahel Burkinabè, *Dr Dial NIANGI, Pr Hamma YACOUBAI, Dr Vivien Chaim DOTOI*2766
- A Mathematical model using different design approaches for better sediment AND Water management in irrigation Canals, [*ISHRAGA S. OSMAN, AWAD M. ALI, HOZAIFA KHALID, MAAB ALBAGERAND AMAL IBRAHIM*]2779
- Study of the Physico-Chemical Quality of Groundwater in the Sidi Yahya Region, Gharb, Morocco, *M. Lahmar^{1,2}, N. El Khodrani², S. Omrania³, H. Dakak², A. Douaik², H. Iaaich², M. El Azzouzi¹, M. Mekkaoui¹ and A. Zouahri²*2794
- Efficience d'utilisation de l'eau dans les systèmes de culture du périmètre irrigué du Tadla, *Ahmed Bouaziz, Bassou Bouazzama et Khaoula Akdim*2806
- Evaluating a gravity-flow irrigation district to improve water and land productivity : case study of Lis Valley, Portugal, *JOSÉ M. GONÇALVES^{1,4*}, MANUEL NUNES¹, RUI EUGÉNIO², SUSANA FERREIRA¹, CARMEN RECONDO⁵, HENRIQUE DAMÁSIO², MARGARIDA TEIXEIRA³, MADALENA GONÇALVES³, FÁTIMA OLIVEIRA¹*2824
- Development of an integrated model to assess the impact of practices and land use on agricultural production in Morocco under climate stress, over the next twenty years, *Nassima AMIRI*2843
- Expérience marocaine du Partenariat Public-Privé dans le domaine de l'irrigation, *R. Tanji¹, M. Ouhssain²*2845
- Modelisation du percement des barrages en beton poids et contreforts pour la realisation des prises d'eau, *AIT ABDERRAHMANE Fatima Zahra¹, YIBOUE Komlan¹, BARTALI El Houssine¹, ABBASSI SABER Anas²*2855
- La lutte pour l'eau: strategie des agriculteurs pour palier a la penurie de l'eau dans le perimetre de Beni Amir". *Nawal EL HAOUARI*2866

Impact du changement climatique sur l'envasement du barrage Bin El Ouidane, Maroc , A. Chaou, M. Chikhaoui, M. Naimi

IAV Hassan II, PO. Box6202, Madinat Al Irfane, Rabat, Maroc

Courriel: abdelwahedchaou@gmail.com

Introduction

L'érosion hydrique des sols est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée (BouKheir *et al.*, 2011). Au Maroc, l'action conjointe des variations climatiques (températures élevées et déficit pluviométrique) et des activités humaines dégrade le couvert végétal et accélère le phénomène d'érosion (Chikhaoui et Naimi, 2011). En effet, 40 % des terres au Maroc sont affectées par l'érosion hydrique (FAO, 1990), dont 12,5 millions d'hectares de terres affectées sont des terrains de culture et de parcours (Naimi *et al.*, 2004). Ce phénomène prépondérant à l'amont des bassins versants se traduit par la réduction de la capacité de stockage des barrages suite à l'envasement.

La perte de capacité de stockage d'eau des barrages due à l'envasement est un défi crucial. Cette perte constitue l'une des conséquences les plus graves de l'érosion hydrique à l'amont des bassins versants. Au cours de la période 1952-2008, le barrage Bin El Ouidane a perdu 184 millions de m³ d'eau (Figure1), avec une moyenne de l'ordre de 4,9 Mm³ par année (Guourfi *et al.*, 2018).

Le changement climatique va altérer le cycle hydrologique mondial avec une augmentation de la température de surface, une modification des régimes des précipitations et de l'évapotranspiration (Bates *et al.*, 2008). Le changement d'intensité et de fréquence des précipitations affectera les débits des cours d'eau. Par conséquent, une augmentation des intensité des inondations et des sécheresses sera attendue, avec des impacts substantiels sur les ressources en eau au niveau local et régional (Vicuña *et al.*, 2011). Parmi les régions les plus touchées par les effets néfastes du changement climatique figurent les pays d'Afrique du Nord (Rochdane *et al.*, 2014). Les précipitations devraient diminuer et la température devrait augmenter dans toute la région méditerranéenne. En particulier, le Maroc se distingue comme l'un des pays les plus vulnérables au changement climatique (Simonneaux *et al.*, 2015).

Le changement climatique augmente la vulnérabilité de la retenue des barrages à l'envasement. Pour évaluer cet effet, la prédiction de l'évolution du climat, en l'occurrence, la pluviométrie aiderait les

décideurs et les gestionnaires des ressources en eau à prédire les pertes en sols futures et à anticiper l'adaptation au changement climatique. Les prévisions climatiques se basent généralement sur les Modèles Climatiques Généraux (GCM) qui restent les seuls outils à disposition afin d'évaluer l'impact du changement climatique futur (Choukri et al., 2016).

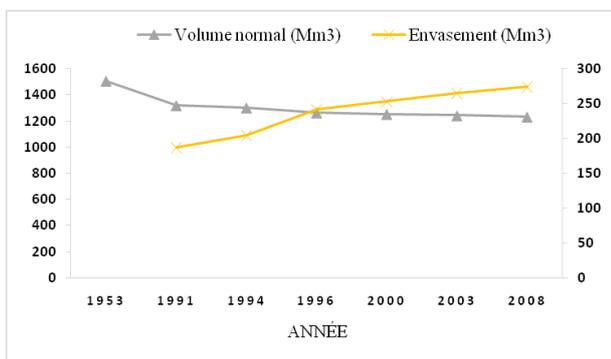


Figure 1. Volume d'eau normal et volume perdu par envasement du barrage Bin El Ouidane durant le période (1953 - 2008) (ABH Oum Er-Rbia)

Matériels et méthode

Zone d'étude

Le bassin versant retenu comme zone d'étude est l'unité hydrologique qui alimente le barrage Bin El Ouidane (1,38 milliard de m³). Il s'agit du sous bassin versant à l'amont du barrage Bin El Ouidane qui comprend l'amont du sous bassin versant de l'Oued El Abid et son affluent Oued Ahançal. Administrativement, le bassin versant à l'amont du barrage Bin El Ouidane fait partie des provinces d'Azilal et de Béni-Mellal. Le climat régnant dans la région

est de type semi-aride. Le bassin à l'amont du barrage Bin El Ouidane est constitué essentiellement par des formations calcaires, marno-calcaires, marneuses et gréseuses (Dahani et Aounini, 2013).

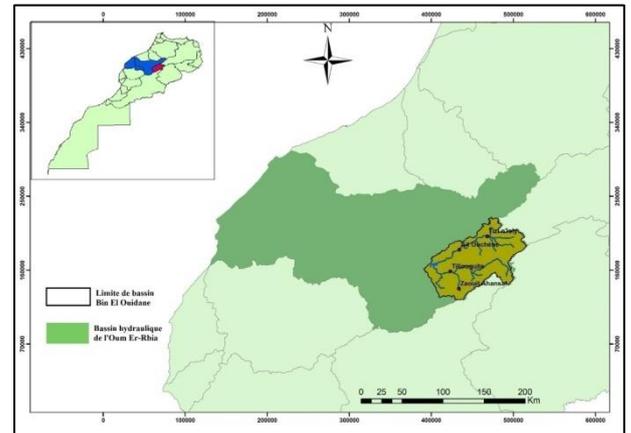


Figure 2. Situation géographique de la zone d'étude.

Méthode

Cette étude vise à quantifier la perte actuelle de sol par l'équation universelle révisée (RUSLE) et à évaluer l'impact du changement climatique sur le taux d'envasement du barrage Bin El Ouidane. L'équation RUSLE intègre six facteurs, comme indiqué ci-dessous:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Où A est la moyenne annuelle des pertes en sol en T/ha/an ; R est l'érosivité des pluies (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) ; K est l'érodibilité des sols (t h MJ⁻¹ mm⁻¹) ; LS est la longueur et l'inclinaison de la pente (adimensionnelle) ; C est le couvert végétal (adimensionnel) ; P est la pratique antiérosive (adimensionnelle).

Le processus de modélisation est basé sur les données de télédétection Sentinel-2A, les modèles altimétriques numériques, les données de précipitations CHIRPS de la zone d'étude, ainsi que les cartes lithologiques existantes. Deux des scénarios ont été générés à l'aide des données des modèles climatiques mondiaux simulés avec CNRM-CM5 et MIROC5 (Figure 3). Les variations moyennes potentielles de la charge des sédiments projetées par ces scénarios, induites par le climat, ont ensuite été analysées pour l'horizon 2050.

Modèle	Pays	Centre de modélisation	Résolution
CNRM-CM5	France	Centre National de Recherche Météorologique	30 seconds
MIROC5	Japon	Atmosphere And Ocean Research Institute (University of Tokyo)	30 seconds

Figure 3. Modèles climatiques sélectionnés.

Résultats

La figure 4 montre la variation annuelle et saisonnière des précipitations pour la période 2040-2060 et la période de référence (1970-2000). Les précipitations moyennes annuelles au niveau de la zone d'étude connaîtraient une variation entre -1 et 14 % selon les modèles adoptés. Cette tendance à la hausse des précipitations annuelles ne se fait pas uniformément au cours des saisons, et un net changement de répartition des pluies saisonnières est clairement visible, avec une augmentation des pluies d'été et d'automne et une diminution des pluies d'hiver et du printemps (Figures 4B et 4C).

L'analyse de l'évolution du facteur R fait apparaître une variabilité selon les quatre combinaisons de modèles et de scénarios adoptés : une augmentation qui pourrait atteindre 25 % selon le modèle MIROC 5 contre une diminution de l'ordre de 1 % suivant le modèle CNRM-CM5 (Figure 5A). En outre, l'analyse des tendances saisonnières de l'érosivité des précipitations a montré une augmentation pendant l'été et l'automne pour les modèles et scénarios climatiques utilisés dans cette étude (Figures 5B et 5C). Cette augmentation est très préoccupante et le risque d'érosion hydrique est élevé étant donné l'absence de couverture végétale en cette période. L'analyse de l'évolution de la dégradation spécifique au niveau du bassin versant a montré quelques différences selon les quatre combinaisons modèles-scénarios climatiques adoptées (Figure 6). La dégradation spécifique varie entre 6,07 et 8,55 T.ha⁻¹.an⁻¹, ce qui représente une perte moyenne de capacité de stockage de 4,3 et 3,3 Mm³ par an sur la période 2040-2060.

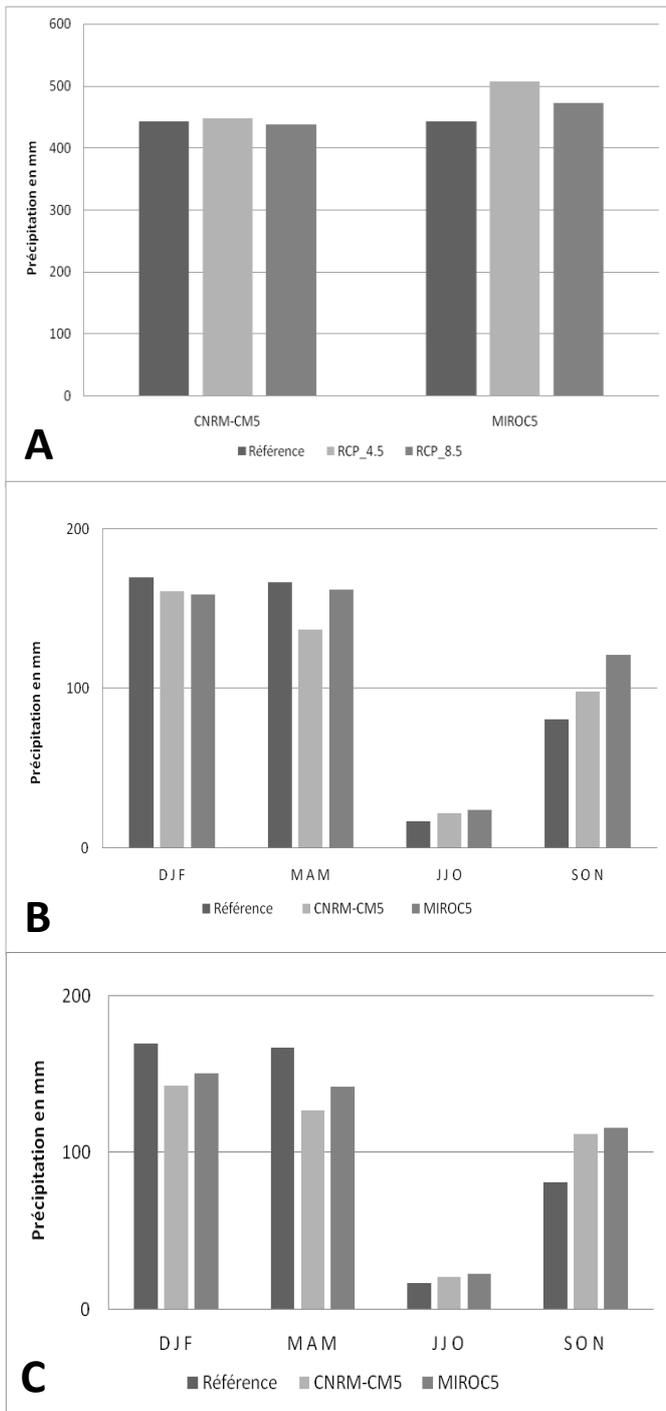


Figure 4. Tendances futures des précipitations par rapport à la référence. A : annuelles, B : saisonnières selon le scénario RCP4.5, C : saisonnières selon le scénario RCP8.5.

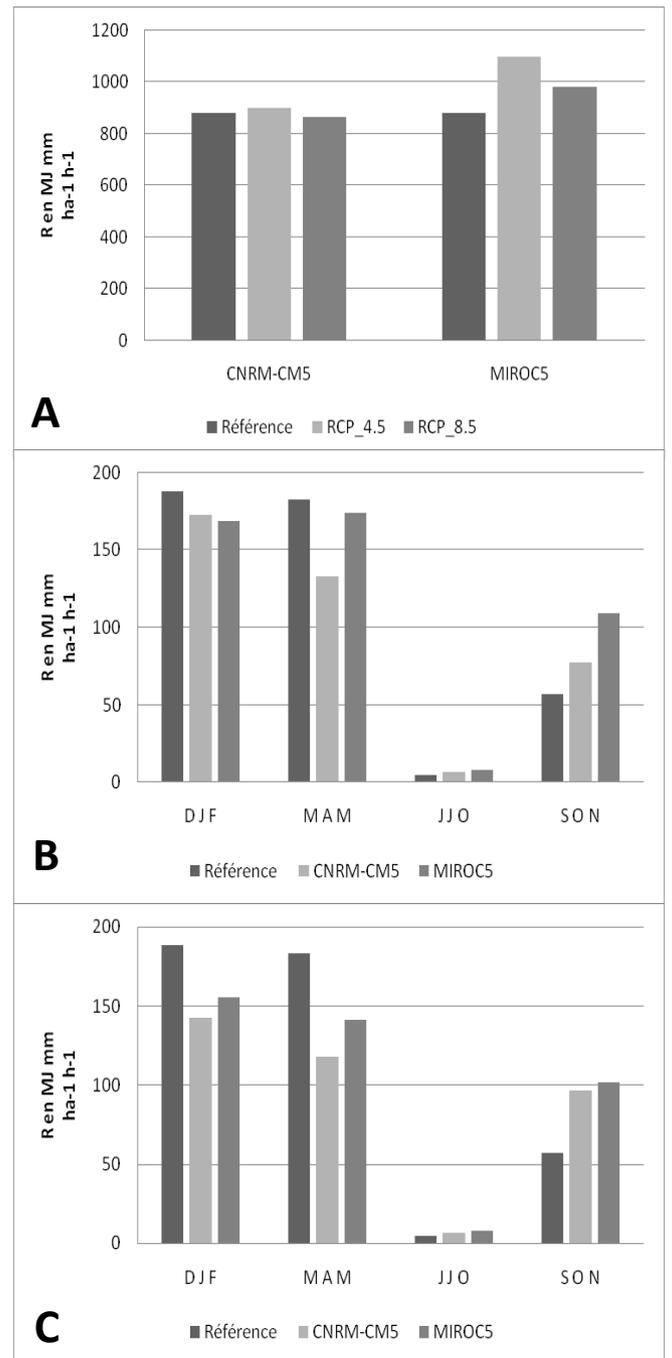


Figure 5 . Tendances futures du facteur R par rapport à la référence. A : annuelles, B : saisonnières selon le scénario RCP4.5, C : saisonnières selon le scénario RCP8.5.

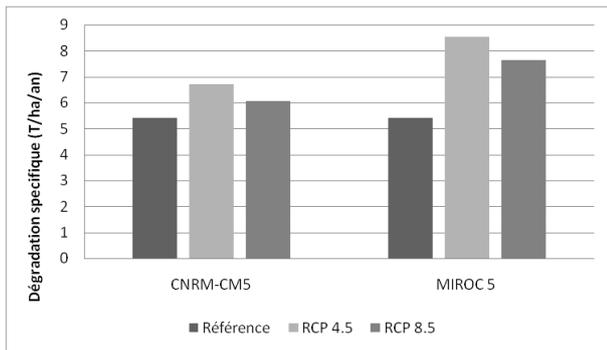


Figure 6 .Tendances futures du facteur R par rapport à la référence. A : annuelles, B : saisonnières selon le scénario RCP4.5, C : saisonnières selon le scénario RCP8.5.

Conclusion

La présente étude a permis d'évaluer l'état actuel et futur des pertes en sol à partir de l'application du modèle RUSLE et des projections climatiques produites par deux Modèles Climatiques Globaux et selon deux scénarios de changement climatique.

L'utilisation des données CHIRPS a permis d'estimer les précipitations et de contourner le problème de disponibilité et de densité du réseau d'observation. Les résultats obtenus révèlent que l'érosion au niveau du bassin versant à l'amont du barrage de Bin El Ouidane varie de 0,12 à plus de 1 961 T/ha/an, avec une perte totale de 28 416 000 T/an, soit 44,4 T/ha/an en moyenne. L'analyse de l'évolution de la dégradation spécifique au niveau du bassin versant fait apparaître une variabilité selon les quatre combinaisons de modèles et de scénarios adoptés. Elle varie entre 6,07 et 8,55 T/ha/an, soit une perte moyenne respective de volume d'eau de 4,3 et 3,3 Mm³/an pour la

période 2040-2060. Ces résultats sont très déterminants dans l'orientation et l'adoption des mesures d'adaptation pour contrôler l'impact des changements climatiques.

Remerciement

Nous tenons à remercier l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques ainsi que le Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST) pour leur support financier. Nous remercions aussi l'IAV Hassan II pour son support logistique sur le terrain.

Références

- Amoussou, E., Trambly, Y., Totin, H. S., Mahé, G., & Camberlin, P. (2014). Dynamique et modélisation des crues dans le bassin du Mono à Nangbéto (Togo/Bénin). *Hydrological Sciences Journal*, 59(11), 2060-2071.
- Bates, B., Kundzewicz, Z. & Wu, S. (2008). *Climate change and water*. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.
- Bou Kheir R., Girard M-Cl., Khawlie M & Abdallah C. (2011). Érosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique.
- Chikhaoui, M. & Naimi, M. (2012). Dégradation des sols dans le Rif marocain. *Revue : Homme, Terre & Eau*, 149: 56-60
- Choukri, F., Chikhaoui, M., Naimi, M., Raclot, D. & Pepin, Y., et Lafia, K. (2016). Impact du changement climatique sur l'évolution de

l'érosivité des pluies dans le Rif Occidental (Nord Du Maroc). *European Scientific Journal*, 12(32), 79-93

Dahani M. et Aounini F.E. (2013). Evaluation de la qualité du produit NDVI-MODIS pour cartographier la végétation (Application au niveau du bassin versant d'Oued El Abid). Mémoire de Licence Sciences et Techniques. Université Sultan Moulay Slimane, Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal.

FAO (1990) Conservation des ressources naturelles en zones arides. Cahier FAO: Conservation des sols 50:62

Gourfi, A., Daoudi, L., & Shi, Z. (2018). The assessment of soil erosion risk, sediment yield and their controlling factors on a large scale: Example of Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 147, 281-299.

Naimi M., Tayaa M et Ouzizi S. (2004). Cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc). *Revue Sécheresse*, volume 1E, numéro 2

Rochdane, S., Bounoua, L., Zhang, P., Imhoff, M. L., Messouli, M., & Yacoubi-Khebiza, M. (2014). Combining satellite data and models to assess vulnerability to climate change and its impact on food security in Morocco. *Sustainability*, 6(4), 1729-1746.

Simonneaux, V., Cheggour, A., Deschamps, C., Mouillot, F., Cerdan, O., & Le Bissonnais, Y. (2015). Land use and climate change effects on

soil erosion in a semi-arid mountainous watershed (High Atlas, Morocco). *Journal of arid environments*, 122, 64-75.

Vicuña, S., McPhee, J., & Garreaud, R. D. (2011). Agriculture vulnerability to climate change in a snowmelt-driven basin in semiarid Chile. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 138(5), 431-441

Irrigation de complément à partir de Bassins de Collecte des Eaux de Ruissellement (BCER) et Information Climatique dans le Sahel Burkinabè, *Dr Dial*

NIANGI, Pr Hamma YACOUBAI, Dr Vivien Chaim DOTOI

¹Laboratoire Eaux Hydro-Systèmes et Agriculture (LEHSA) Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). 01 BP 594 Ouagadougou 01, Burkina Faso.

Cette présente recherche a été menée dans les provinces du Bam et du Yatenga localisées dans le Sahel burkinabè confronté depuis quelques décennies à une dégradation continue de ses ressources naturelles liées à la fois à la variabilité climatique et à l'action anthropique. Cette situation a entraîné d'énormes difficultés pour une agriculture essentiellement pluviale avec une baisse moyenne des rendements céréaliers de l'ordre de 43%.

à pareille situation, les paysans burkinabè ont eu à adopter plusieurs stratégies d'adaptation. Il s'agit essentiellement de techniques de conservation des eaux et des sols comme le zaï, les cordons pierreux ou les demi-lunes. Malheureusement celles-ci se sont révélées peu efficaces face à la fréquence de plus en plus élevée des poches de sécheresse et de leurs durées de plus en plus longues. Dans ce sens, la mobilisation et la gestion intégrée et durable des ressources en eau constituent un impératif pressant pour gérer l'impact négatif de la variabilité climatique. C'est ce qui a justifié notre recherche par la pratique de l'irrigation de complément à travers la valorisation des eaux de ruissellement stockées dans des bassins. La méthodologie consiste à étudier d'abord les poches de sécheresse et voir comment apporter l'eau aux cultures durant ces longues poches de sécheresse à travers l'eau de ruissellement stockée dans des bassins de collecte des eaux de ruissellement (BCER) situés à proximité des champs de cultures. L'expérimentation de l'irrigation de complément a été effectuée sur deux parcelles cultivées avec le maïs comme spéculation : une parcelle témoin PT conduite en régime pluvial strict et une parcelle expérimentale PE irriguée durant les séquences sèches intra-saisonnières.

L'évaluation agronomique des PE et PT a montré que la pratique de l'irrigation de complément permet l'accroissement de la productivité du maïs. Globalement, l'écart de rendement entre les PE et PT est de 0,74 t/ha au cours de la campagne 2012-2013, 1,52 t/ha en 2013-2014 et 0,98 t/ha en 2014-2015. Ces écarts mettent en exergue l'impact positif de la pratique de l'irrigation de complément sur la maïsiculture dans la mesure où elle a contribué à accroître les rendements.

Mots clé : Sahel burkinabè, BCER, Irrigation de complément, Poches de sécheresse

I. Introduction :

Depuis les années 1970, les fluctuations climatiques préoccupent les communautés de chercheurs, créant ainsi un enjeu tant scientifique que géopolitique . En effet, plusieurs voix s'accordent à dire que le continent africain est le plus touché par les effets de la variabilité climatique (Mahé, 1995). Entre autres, la zone du Sahel a connu des périodes de sécheresse sur les trois dernières décennies qui se sont caractérisées par leur intensité, leur durée et leur extension spatiale (Mahé et al., 2002).

En effet l'analyse de la pluviométrie à différentes échelles temporelles dans cette région montre la non stationnarité des hauteurs pluviométriques et même une discordance des séries pluviométriques à partir des années 1970 (Albergel, 1984; Mahé et al., 2002; Mara, 2010). Cette incertitude de la pluviométrie se manifeste par un hivernage relativement court et irrégulier, marqué par l'apparition de plus en plus fréquente de poches de sécheresse.

Dans pareille situation, l'amélioration de la rétention en eau par les barrages, les cuvettes et l'utilisation efficiente de l'eau de pluie à travers des systèmes d'irrigation devient essentielle pour augmenter la production et faire face à des régimes de pluies de plus en plus irréguliers (Reij et al., 2009). Cette démarche a été adoptée depuis fort longtemps par les producteurs subsahariens qui ont mis en place plusieurs stratégies de parade (Zougmore et al., 2000 ; Malley et al., 2004 ; Temesgen, 2007), surtout dans la zone sahélienne pour faire face aux déficits hydriques de plus en plus fréquents. Parmi ces stratégies on peut citer : la construction de diguettes antiérosives, les techniques du *zai* et de demi-lunes développées au Burkina Faso, au Niger et au Mali ainsi que l'utilisation des variétés précoces. Cependant, ces techniques se sont avérées moins efficaces en cas de poches de sécheresse fréquentes et récurrentes avec comme conséquences une grande incertitude sur le calendrier cultural, la baisse des rendements mais surtout la perte de récolte. Au vu des caractéristiques du climat de cette région, un certain nombre de questions se pose : comment matérialiser les dates de début et de fin de la saison pluvieuse ? Quelles alternatives innovantes développées pour sécuriser la production agricole et améliorer les revenus des agriculteurs ? Comment exploiter les eaux de ruissellement pour reconstituer le stock hydrique du sol durant les séquences sèches? C'est dans ce contexte que cette étude a été menée avec comme objectif général l'augmentation des rendements à travers une approche reposant sur l'irrigation de complément et l'information Climatique. Il s'agit d'une stratégie d'adaptation dans le secteur agricole qui constitue l'une des priorités du Programme d'Action National d'Adaptation (PANA) à la variabilité et aux changements climatiques développé au Burkina Faso en 2007. La

stratégie retenue comprend l'irrigation de complément via des bassins de collecte des eaux de ruissellement (BCER), la mise à disposition de l'information climatique de pré-campagne.

II. Matériels et méthodes :

2.1. Localisation de la zone d'étude

Cette présente a été effectuée dans la partie sahélienne burkinabè principalement dans les provinces du Bam et du Yatenga (Figure 1)

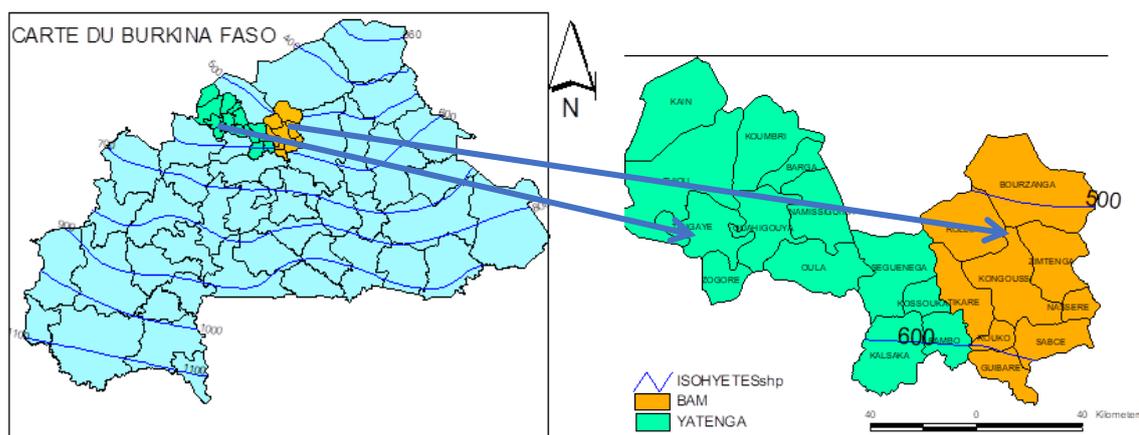


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Le climat de type sahélien est régi par les déplacements du front intertropical (FIT) provenant de la rencontre de deux masses d'air de température différente : l'harmattan (vent frais et sec) de direction Nord-sud et la mousson (vent chaud et humide) de direction Sud-Nord. Le climat de la zone est caractérisé par une saison sèche allant de novembre à mai et une saison humide de juin à octobre. La pluviométrie moyenne interannuelle se situe entre 550 et 750 mm. Les températures moyennes mensuelles à Ouahigouya varient de 18°C (minima) à 42°C (maxima). Les sols de la zone d'étude rencontrés dans la zone d'étude sont généralement des lithosols sur cuirasse qui sont des sols superficiels, très peu épais, des sols ferrugineux appauvris qui sont assez profonds et présentant une texture sableuse ; ce sont les plus dominants dans la région. Les sols peu évolués sont également rencontrés et ont une texture graveleuse à sableuse et à faible capacité de rétention en eau. Ces différents types de sols sont généralement très pauvres en matières organiques (inférieurs à 0,2%). Quant à la végétation, elle est principalement composée de deux grandes formations: les steppes (herbeuses et arbustives) et les territoires agroforestiers. Les steppes sont constituées de formations ligneuses et graminéennes recouvrant très peu le sol. On les retrouve sur les buttes des versants, les collines, les bas de glacis et les vieilles jachères. Le tapis herbacé est discontinu et de taille basse, inférieure à 80 cm de hauteur. Quant aux territoires agroforestiers, leur couvert végétal est plus ou

moins dense. Les bas-fonds et les bordures des cours d'eau sont habités par ces territoires (Koussoubé, 2007; Thiombiano et Kampmann, 2010).

La végétation (herbacée et arbustive) est en voie de disparition dans les zones fortement dégradées et couvre moins de 5% de la superficie des sols. Les causes sont dues aux besoins en bois de chauffe pour les populations en forte croissance et à la pression du bétail sur les ressources fourragères. Par conséquent, les sols se dégradent rapidement générant la formation de croûtes superficielles très imperméables aux pluies.

2.2. Matériel

2.2.1. Bassin de collecte des eaux de ruissellement (BCER) :

Dans le cadre de la mise en œuvre du projet « irrigation de complément et information climatique », quinze (15) bassins de collecte des eaux de ruissellement (BCER) ont été construits dans les deux provinces. Il s'agit de bassin de forme trapézoïdale avec des capacités variant entre 200 et 300 m³(Figure2)



Figure 2 : Bassin de Collecte des eaux de ruissellement (BCER)

2.2.2. Dispositif expérimental :

L'expérience a été menée sur une parcelle de 0,2 ha cultivée en maïs (*Zea mays* (L.)). La variété choisie a été la même que celle retenue lors de l'étude statistique de la campagne. En rappel, il s'agit de la variété Barka à cycle court (80 jours), résistante à la sécheresse et dont le rendement potentiel est de l'ordre de 5,5 t.ha⁻¹. Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher randomisé avec quatre blocs et quatre traitements (Figure 3).

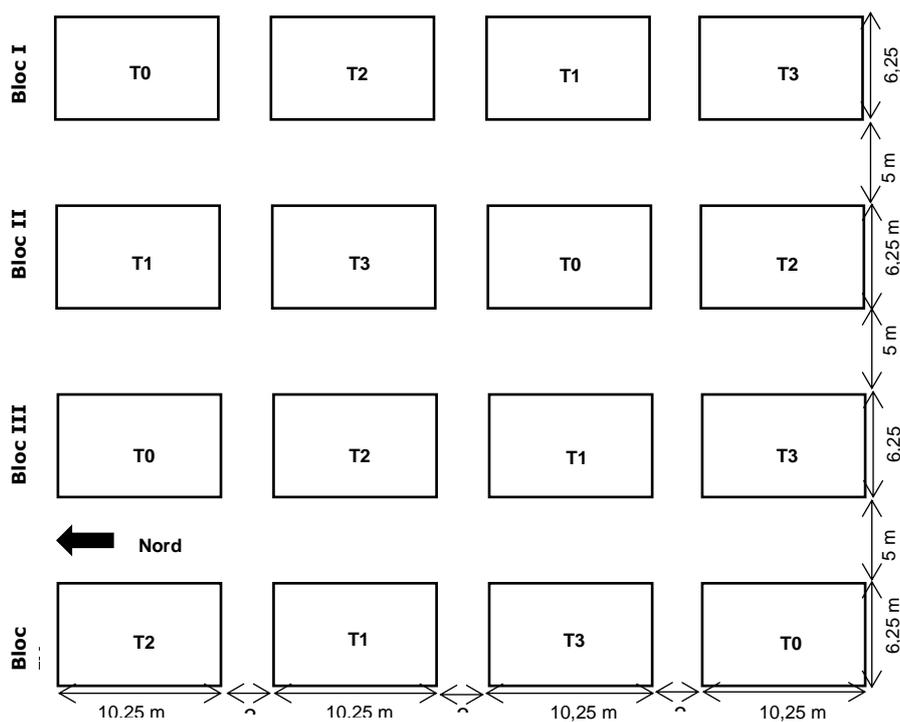


Figure 3 : Dispositif expérimental pour l'irrigation de complément

La description des traitements considérés se présente comme suit :

Traitement 0 (T0) : parcelle témoin conduite en régime pluvial ;

Traitement 1 (T1) : apport de 2 irrigations de complément, l'une en début du stade floraison, l'autre en début du stade fécondation ;

Traitement 2 (T2) : apport de 2 irrigations de complément, l'une en début du stade floraison, l'autre en début du stade remplissage des grains ;

Traitement 3 (T3) : apport de 3 irrigations de complément, la première en début du stade floraison, la seconde en début du stade fécondation et la troisième en début du stade remplissage des grains.

2.3. Méthodes :

2.3.1. Dates de début et de fin de saison

Ce sont des éléments très importants dans la production agricole dans le sens où cela pourrait contribuer à minimiser l'impact des variations climatiques sur la production agricole. L'utilisation de la prévision saisonnière peut constituer une action d'adaptation aux changements climatiques et

éventuellement conduire à une bonne marche vers la sécurité alimentaire. Les paramètres agroclimatiques sont le début, la longueur de la saison et éventuellement la fin de saison.

2.3.2. Définitions des différents critères de détermination des débuts et fin de saison

Le début de saison selon Sivakumar correspond à la date X à laquelle une quantité de 20mm de pluies aura été recueillies en 3 jours consécutifs après le 1er Mai sans période sèche supérieure à 7 jours dans les 30 jours qui suivent. La fin de saison Y est le jour où, après le 1er septembre, il n'y a plus de pluies pendant deux décades. La Longueur de la saison est obtenue tout simplement en effectuant la différence Y-X.

2.3.3. Détermination des séquences sèches par les scènes de Markov

L'établissement d'un modèle statistique est nécessaire pour l'application des chaînes de Markov ; Il se définit selon les relations suivantes :

- Considérons une séquence de n jours consécutifs : Soit $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ une série n variables aléatoires prenant les valeurs $x_i = d$ (*dry = sec*) et $x_i = w$ (*wet = humide*). Ainsi par exemple $x_2 = d$ signifie que le second jour de la séquence est sec et $x_5 = w$ signifie que le 5è jour est humide.
- Soit $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ la probabilité que la séquence (x_1, x_2, \dots, x_n) se réalise c'est-à-dire que $P(x_1)$ est la probabilité que l'évènement du jour n 1 de la séquence se produise et ainsi de suite jusqu'à l'ordre n.

L'application de la propriété de Markov à l'ordre 2 conduit à l'équation 1 :

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1) \times P(x_2/x_1) \times P(x_3/x_2, x_1) \times \dots \times P(x_n/x_{n-2}, x_{n-1}) \quad (\text{éq.1})$$

Cette équation permet de calculer les différentes probabilités de combinaisons contenues dans la séquence. Ainsi pour déterminer l'état (pluvieux ou sec) d'un jour donné l'on se réfèrera sur l'état des deux jours précédents. À l'ordre 3, logiquement l'état des trois jours précédents permettront de prévoir l'état du jour dont il s'agit.

La chaîne de Markov du 2nd ordre nécessitera la détermination du nombre de séquences sèches de longueur supérieure ou égale à deux jours. Comme annoncé plus haut une séquence sèche est d'office un temps sans précipitations ou encore avec précipitation n'atteignant pas le seuil fixé pour l'étude. La notation sera adoptée dans le reste du raisonnement de l'étude :

- (*wd*) définie un jour sec précédé d'un jour pluvieux et sa probabilité sera noté P_{wd}

Ainsi l'expression qui permettra d'avoir la probabilité d'avoir deux jours secs encadrés de pluies est donnée par l'équation 2

$$P_{wddw} = P(d/dw) \times P(w/dd) \quad (\text{éq.2})$$

Avec $P(d/dw)$ =la probabilité d'avoir un jour sec sachant que la veille c'était sec et l'avant-veille humide ; $P(w/dd)$ = La probabilité d'avoir un jour pluvieux sachant que les deux jours d'avant étaient secs. $P_{wddw} = P_{wdd} \times P_{ddw}$, elle sera noté q_2 e. Lorsqu'on généralise en considérant pour n jours secs on obtient à partir de l'équation 3.

$$q_n = P(d/dw) \times P(d/dd) \times \dots \dots \dots \times P(d/dd) \times P(w/dd) = P_{wdd} \times P_{ddd}^{n-2} \times P_{ddw} \quad (\text{éq.3})$$

P_{wdd} correspond à la probabilité d'avoir un jour sec sachant que la veille et l'avant-veille étaient respectivement sec et pluvieux. Comme il s'agit de probabilité conditionnelle sera l'évènement complémentaire serait donc avoir un jour pluvieux avec le même état initial à savoir jour sec précédé de jour pluvieux. En d'autres termes les évènements «avoir deux jours secs après un jour pluvieux » et « avoir un jour sec encadré de deux pluies sont des évènements complémentaires, la somme de leur probabilité vaut 1. Ainsi $P_{wdd} = 1 - P_{wdw}$

P_{ddd} est la probabilité d'avoir un jour sec après deux jours secs et puisque selon les chaînes de Markov d'ordre 2, l'état d'un jour donné ne dépend que ceux des deux jours précédents, les évènements(ddd)et($wddd$) sont équivalents donc $P_{ddd} = P_{wddd}$. Pourtant ($wddd$) est l'évènement complémentaire de($wddw$). Donc $P_{wddd} = P_{ddd} = 1 - P_{wddw}$

$P_{ddw} = P_{wddw}$ Parce que selon la même logique des chaînes de Markov à l'ordre 2, l'état d'un jour donné ne dépend que de ceux des deux jours précédents.

En conclusion pour les chaînes de Markov du 2è ordre, la probabilité qu'une séquence sèche dure n jour est donnée par 'équation 4 :

$$q_n = (1 - P_{wdw})(1 - P_{wddw})^{n-2}(P_{wddw}) \quad (\text{éq.4})$$

Pour les chaînes de Markov à l'ordre 3, nous utilisons l'équation 5

$$q_n = (1 - P_{wddw})(1 - P_{wdddw})^{n-3}(P_{wdddw}) \quad (\text{éq.5})$$

Les différentes probabilités contenues dans l'expression des chaînes de Markov du second et du 3^e ordre sont calculées respectivement à partir des équations 6, 7 et 8.

$$P_{wdw} = \frac{\text{Nombre de séquences } wdw}{\text{Nombre de séquences } wd\dots} \quad (\text{éq.6})$$

$$P_{wddw} = \frac{\text{Nombre de séquences } wddw}{\text{Nombre de séquences } wdd\dots} \quad (\text{éq.7})$$

$$P_{wdddw} = \frac{\text{Nombre de séquences } wdddw}{\text{Nombre de séquences } wddd\dots} \quad (\text{éq.8})$$

Ainsi pour les probabilités empiriques la probabilité qu'une séquence sèche dure n jours est donnée par l'équation 9.

$$q_n = \frac{\text{Nombre de séquences de } n \text{ jours secs}}{\sum_{i=1}^{30} \frac{\text{Nombre de séquence } wd\dots dw}{i \text{ fois}}} \quad (\text{éq.9})$$

La démarche consistera à identifier les séquences sèches selon les critères établis plus haut et effectuer les différents calculs pour faire ressortir les distributions de probabilités.

2.3.3. Irrigation de complément et Rendements

Selon les traitements l'irrigation de complément est conduite en tenant compte des différentes phases phénologiques de la culture. Les rendements au niveau des différentes parcelles ont été déterminés à partir de la méthode de carrés de rendement. Un carré de rendement est un carré posé de manière aléatoire dans un sous échantillon ou dans la totalité des parcelles des exploitations échantillons afin de déterminer un rendement moyen après la récolte. Pour calculer le rendement dans le carré, on divise la production totale pesé en kg par la surface du carré (équation 10).

$$R(\text{kg/ha}) = \frac{P(\text{g})}{S(\text{m}^2)} \times 10 \quad (\text{éq.10})$$

avec R : le rendement

P : le poids de la récolte dans le carré de rendement

S : la surface du carré

Pour cette étude, nous avons utilisé trois carrés de rendements de 1mx1m par parcelle, ce qui nous a permis de retenir la moyenne à partir de l'équation 11.

Rendement moyen: $R_{moy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ (éq.11)

Avec n : nombre de carré de rendement par parcelles

X_i : Rendement par carré de rendement (kg/ha)

III. Résultats et discussion

3.1. Date de début et de fin de la saison des pluies

Nous tenons à rappeler que les dates de début et de fin reposent sur les éléments suivants :

- **Début de saison :**

Date de contrôle de début de saison: 1 mai

Total pluie pour le démarrage : 20 mm,

Nombre de jour pour le recueillir : 3 jours

Nombre de jours secs significatifs : $n = P/1.8 + 1$ avec $P \geq 36$ mm et $n = 20$

Seuil de pluie significatif : 0.1 mm

Durée de contrôle de sécheresse : 20 jours

- **Fin de saison :**

Date de contrôle de la fin de saison : 1er septembre

Seuil de référence de pluie : 1,9 m

Nombre de jours de pluie $< 1,9$ mm = 20 jours

En utilisant les critères de Sivakumar sur les données pluviométriques annuelles des deux principales stations que sont Ouahigouya et Kongoussi sur la période 1961-2012, nous remarquons que les dates de début de saison sont variables d'une année à l'autre et d'une région à l'autre. Quant aux dates de fin de saison, elles sont plus ou moins stables (Fig.4 et 5).

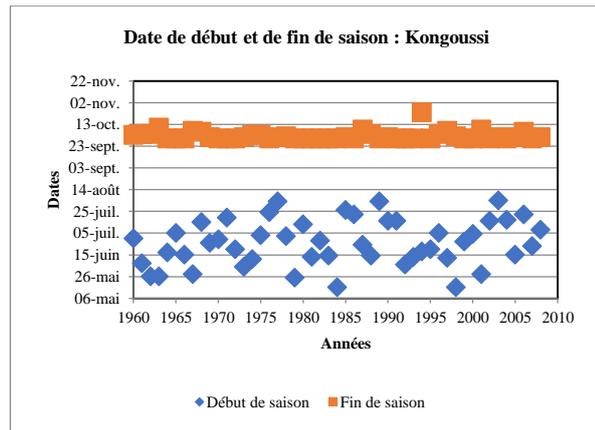
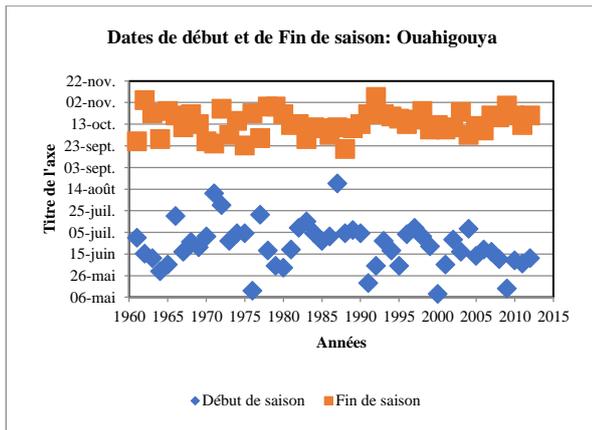


Figure 4 : Dates de début et de Fin de saison: Ouahigouya **Figure 5: Dates de début et de Fin de saison: Ouahigouya**

L'examen de la figure 4 montre que la date de début de saison la plus précoce pour la station de Ouahigouya est le 12 Mai correspondant à l'an 1976. Par contre c'est en 1987 que nous avons le démarrage le plus tardif (19 Août) ce qui correspond à la période de la deuxième grande sécheresse survenue sur les bandes tropicales de l'Afrique de l'Ouest.

Quant à la figure 5, elle révèle que pour la station de Kongoussi les années 1998 (16 mai) et 2003 (31 juillet) représentent respectivement les dates de début précoce et tardive pour notre série d'observations. Ces différentes fluctuations témoignent d'une très forte variabilité de l'installation de la saison pluvieuse dans le Sahel burkinabè (Ozer., et al., 2005).

En ce qui concerne les dates de fin de la saison pluvieuse, les dates les plus précoces se situent généralement dans la troisième décennie de septembre et les plus tardives dans la première décennie de novembre (Ouédraogo, 2010).

Pour ce qui concerne la longueur de la saison agricole, elle varie entre 70 à 162 jours pour la localité de Kongoussi et de 46 à 169 jours pour Ouahigouya. Nous remarquons également que les années les plus pluvieuses ne correspondent pas forcément aux saisons les plus longues. D'où la conclusion qu'au Sahel que l'étalement de la saison agricole est plus fonction d'une bonne répartition temporelle des pluies non de l'importance des quantités enregistrées.

3.2. Etude des séquences sèches

La figure 6 montre les probabilités d'apparition de différentes séquences sèches sur notre zone d'étude.

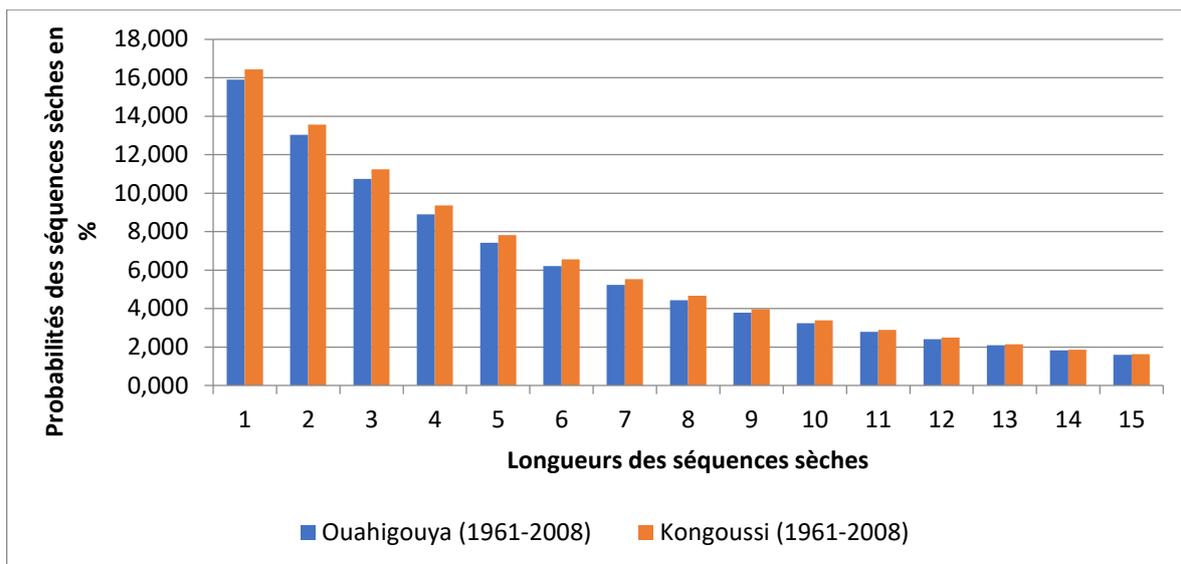


Figure 6: Distribution des séquences sèches à Ouahigouya et à Kongoussi

La problématique de l'étude des séquences sèches est axée sur l'impact qu'elles peuvent avoir sur le déroulement du cycle végétatif. Cette figure 6 montre que des probabilités non négligeables de séquences sèches plus ou moins longues pouvant apparaître durant la saison pluvieuse entraînant du coup une diminution des rendements. En effet, l'interruption momentanée de la saison des pluies par une période sèche plus ou moins longue (≥ 5 jours) peut endommager les récoltes, si par exemple la période sèche arrive au moment de la pollinisation ou avant que les récoltes ne commencent leur maturité.

3.3. Irrigation de complément et rendement

La figure 7 présente les rendements obtenus durant les 3 années d'intervention

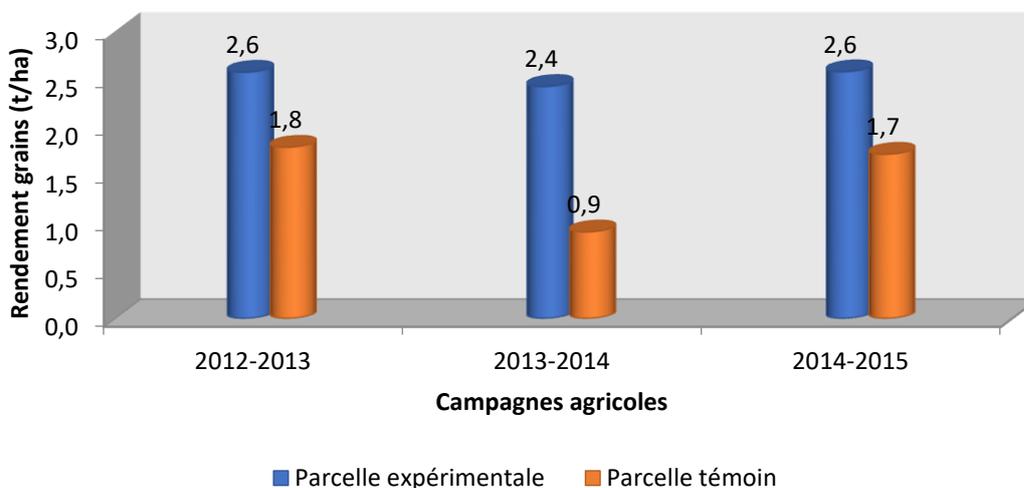


Figure 7 : Rendements moyens par campagne agricole sur les parcelles expérimentales et témoin pour l'ensemble des sites du Bam et du Yatenga

L'analyse montre que les rendements moyens sont globalement plus élevés sur les parcelles sous irrigation de complément (PE) que sur les parcelles sous régime pluvial (PT). L'écart de rendement entre PE et PT a été de 0,8 ; 1,5 et 0,9 t/ha respectivement durant les campagnes 2012-2013 ; 2013-2014 et 2014-2015 soit un gain moyen de 1,1 t/ha(Doto,2016). Ce résultat confirme l'avantage de la pratique de l'irrigation de complément puisque sous une emblavure de 0,2 ha, le paysan sahélien peut gagner 0,22 t de maïs grain.

IV. Conclusion

Cette présente recherche visait à évaluer l'importance de l'irrigation de complément à travers les BCER dans un contexte de changement climatique. La démarche suivie reposait sur la détermination des dates de début et de fin de saison pluvieuse et de l'existence de poches de sécheresse. Cette démarche a été effectuée dans le Sahel burkinabè au niveau des provinces du Bam et du Yatenga. L'irrégularité des pluies dans cette zone montre l'importance d'une irrigation d'appoint. En effet, ces trois campagnes agricoles d'expérimentation de l'irrigation de complément ont donné des résultats plus ou moins reluisants dans l'ensemble. Les rendements obtenus sur parcelles irriguées sont très importants comparés à ceux sur parcelle témoin. Cette recherche a révélé qu'en présence d'une séquence sèche d'un mois, un BCER d'environ 286 m³ de capacité permet de couvrir les besoins en eau d'irrigation de complément sur deux décades.

V. Références bibliographiques

Albergel, 1984; Albergel, J., Carbonnel, J.P., Grouzis, M., 1984. Péjoration climatique au Burkina Faso. Cahiers ORSTOM série Hydrologique, XXI (1), 3-19.

Koussoubé, A., 2007. Dynamique du couvert végétal et de la production agricole du bassin versant de Tougou (au nord du Burkina Faso). (No. Mémoire de DESS). Département de Géographie, Université de Ouagadougou, 187 pages.

Mahé G. et Olivry J. C., 1995. Variation des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et Centrale. Sécheresse, 1(6): 109-117.

Mahé G., Dray A., Paturel J. E., Cres A., Koné F., Manga M., Cres F. N., Djoukam J., Maïga A.,

Malley, Z.J.U., Kayombo, B., Willcocks, T.J., Mtakwa, P.W., 2004. Ngoro :an indigenous, sustainable and profitable soil, water and nutrient conservation system in Tanzania for sloping land. *Soil and Tillage Research*, 77(1): 47–58.

Mara, F., 2010. Développement et analyse des critères de vulnérabilité des populations sahéliennes face à la variabilité du climat: le cas de la ressource en eau dans la vallée de la Sirba au Burkina Faso (PhD Thesis). Université du Québec à Montréal.

Ouédraogo M., Conway D. et SERVAT E., 2002. Climatic and anthropogenic impacts on the flow regime of the Nakambe River in Burkina Faso. *IAHS Publ.*, 274: 69-75.

Ouédraogo, M., Dembélé, Y., Somé, L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso, *Sécheresse*, 21(2) : 87-96.

Ozer, P., Cathérine, B., & Bernard, P. (2005). Analyse Climatique de la région de Gouré, Niger oriental récentes modifications et impacts environnementaux. Cyberge: *European Journal of Geographhy*.

Reij, C., Tappan, G., Smale, M., 2009. Agroenvironmental transformation in the Sahel: Another kind of "Green Revolution" (IFPRI Discussion Paper No. 00914), 2020 Vision Initiative. International Food Policy Research Institute.

Temesgen, M., 2007. Conservation Tillage Systems and Water Productivity Implications for Smallholder Farmers in Semi-arid Ethiopia. PhD thesis. Taylor & Francis/Balkema, Leiden, The Netherlands.

Thiombiano, A., Kampmann, D., 2010. Atlas de la Biodiversité de L'Afrique de L'Ouest, Tome II: Burkina Faso. Goethe-Universität Frankfurt am Main, Geowissenschaften/Geographie.

Zougmoré, R., Guillobez, S., Kambou, N., Son, G., 2000. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil Tillage Res.* 56, 175–183.

A Mathematical model using different design approaches for better sediment AND Water management in irrigation Canals, [ISHRAGA S. OSMAN, AWAD M. ALI, HOZAIFA KHALID, MAAB ALBAGERAND AMAL IBRAHIM]

essokrab@hotmail.com, awad96najm@gmail.com

ABSTRACT

The Gezira Scheme is facing severe sediment accumulation in its irrigation canals. The sediments accumulate up in the head reach and along the canals, create water delivery difficulties, pose serious threats to the system network, such as blocking the off-take pipes and gates, raise canal beds and reduce canal conveyance capacity. Now more than 60% of the annual operation budget goes to sediment clearance. This study aimed to improve the design procedure to achieve better sediment and water management. The irrigation canals were designed using different approaches to maintain stable canals. A model has been developed using C Sharp language to design the irrigation canals based on regime theory, tractive force, and maximum permissible velocity. From the simulation of Zananda Major Canal found that the design obtained from Maximum permissible velocity (New approach) is the best one since the total amount of sediment deposition occurred are less than the other sections. The developed software has been applied for the design of Zananda Major canal (Gezira Scheme),

however, it's applicable used it widely in the design of any irrigation canals according to the different soil types and different properties.

Keywords : Gezira Scheme, Irrigation canals, Zananda major canal, sediment deposition, Design of irrigation canals.

RESUME

Le périmètre de Gezira est confronté à une grave accumulation de sédiments dans ses canaux d'irrigation. Les sédiments s'accumulent dans la partie supérieure de la tête et le long des canaux, créent des problèmes d'approvisionnement en eau, posent de graves problèmes pour le réseau, tels que le blocage des tuyaux et des portes de collecte, l'élévation du fond des canaux et la réduction de la capacité de transport des canaux. Désormais, plus de 60% du budget de fonctionnement annuel est consacré à la dépollution des sédiments. Le but de cette étude était d'améliorer la procédure de conception afin de parvenir à une meilleure gestion des sédiments et de l'eau. Les canaux d'irrigation ont été conçus en utilisant différentes approches pour maintenir des canaux stables. Un modèle a été développé en langage C Sharp pour concevoir les canaux d'irrigation sur la base de la théorie du régime, de la force de traction et de la vitesse maximale admissible. Une simulation de Zananda Major Canal a montré que la conception obtenue à partir de la vitesse maximale admissible (nouvelle approche) est la meilleure, car le nombre total de dépôts de sédiments survenus est inférieur à celui des autres sections. Le logiciel développé a été appliqué à la conception du canal majeur de Zananda (schéma de Gezira), mais il est applicable à une large utilisation dans la conception de tous canaux d'irrigation en fonction des différents types de sol et de différentes propriétés.

Mots clés : Schéma de Gezira, canaux d'irrigation, Zananda canal majeur, dépôt de sediments, conception de canaux d'irrigation

INTRODUCTION

Various techniques are applied to deliver water from a source (river, reservoir) to an irrigation scheme such as sprinklers, drops, fallows, canals, etc. Each system is depending on different principles and theories, but the mobility of water through irrigation canals by gravity remains complex. Particularly, the unlined canals are composed of natural materials which are erodible. Furthermore, the design of the canals should prevent the sediments from deposition throughout the canal which lead, when it's happened, to serious problems on the entire system. The procedure for designing an irrigation system is not that obvious to be managed manually. So, a mathematical model is needed to clarify the design process.

Vanoni (1975) stated that the water demand pattern could be forecasted if the canal design is based on a comprehensive assessment of the operation. Chang (1985) stated that during the design stage, controlling the sediment problem could be achieved by maintaining the continuity in sediment transport in the irrigation canals (Osman *et al*, 2017). Paudel (2010) found that both proper design and management of the irrigation system, lead to a possible reduction in sediment accumulation problem.

This paper aims to develop a mathematical model that assists in designing the unlined irrigation canals with different design approaches, besides suggesting the suitable theory to be used for the design of the major canals. The model was applied in a selected major canal in the Gezira Scheme. In a further study, the HEC-RAS model was used to simulate the sediment based on different design approaches in order to minimize the sediment accumulation which eventually leads to a decrease in the maintenance and operation costs.

MATERIALS AND METHOD

Numerical model development

The irrigation canals are arranged into reaches that are broken by hydraulic structures. The model designs the cross-section of each reach canal separately but represents the longitudinal profile as a combination of all the reaches of one canal.

The computation starts from the upstream to the downstream and determines different parameters depending on the used theory of design. The theories provided by the model, the required inputs, and the presented outputs are detailed below.

Design Theories

A properly planned, designed and constructed canal network is central in satisfying the aspirations of an irrigation scheme sustainably. The design of a canal is a complicated process of fixing its shape, slope, and size based on different aspects like quantity and quality of water to be conveyed, type of canal to be constructed, the region through which it passes, socio-economic setting, climate, soil type, etc. The process becomes complex when the canal's boundary is erodible and when the canal carries sediment with water. Undesired erosion and deposition along the canal system have become a central obstacle for irrigation schemes and a lot of money and effort have been spent to find methods for stable canal design (K. P. Paudel, 2009).

Chow (1983), Raudkivi (1990), HR Wallingford (1992), Simons and Sentürk (1992), and others mention four methods for the design of stable canals:

- ✓ Regime theory method;
- ✓ Tractive force method;
- ✓ Maximum permissible velocity method.
- ✓ Rational method.

(A) Regime theory method

The regime design techniques perform sets of empirical equations based on observations of canals and rivers that have obtained dynamic stability. An alluvial canal is stated to be ‘in regime’ or in dynamic stability when, over some suitably extended time, its depth, width, and slope maintain to average or equilibrium values. There may be seasonal deposition or erosion in the canal but the overall canal geometry in one water year remains fixed. This can only appear when the sediment input to the canal matches the average sediment transporting capacity, sediment deposition through periods of high sediment input staying supported by periods of scouring when the sediment input is low (Depeweg et al, 2014).

For the design of stable canals in the Gezira scheme in Sudan, the Lacey constants and the Manning coefficient (n) have been reviewed in **Table 1**. Gismalla (2009) mentioned that the general equations of the regime method are:

$$P = K_p Q^{1/2} \tag{1}$$

$$A = K_a Q^{5/6} \tag{2}$$

$$S_o = K_s Q^{-1/6} \tag{3}$$

Where:

P = wetted perimeter (m)

Q = discharge (m³ /s)

A = cross-sectional area (m²)

So = bed slope (cm/km)

Kp, Ka, Ks = constants (-)

Table 1: Different constants for the design of stable canals in Gezira

Parameters	Main canal 10 reaches	Major canal 29 reaches	All canals
N	0.021	0.017	0.018

Kp	4.55	5.51	5.26
Ka	2.75	2.6	2.64
Ks	14.57	13.9	14.5

Note: n: Manning roughness, Kp, Ka, Ks = constants (Gismalla, 2009).

The Regime theory has limitations for the discharge value Q corresponding to each value of side slope z as marked throughout this study. The discharge should be higher than a particular value Qmin. for main and major canals as specified in **Table 2**. Otherwise, another method of design should be adapted to design the following reaches.

Table 2: Qmin. values for main and major corresponding to each side slope for Gezira scheme

Side Slope (z:1)	Qmin. for Main (m ³ /s)	Qmin. for Major (m ³ /s)
Nearly vertical	1.45	0.11
¼:1	0.62	0.05
½:1 to 1:1	0.65	0.05
1:1	0.85	0.07
1½:1	1.97	0.15
2:1	5.14	0.37
3:1	30.39	2.19

(B) Maximum Permissible Velocity (New Approach)

The maximum permissible velocity is such velocity that will not cause erosion. This velocity is challenging to determine and is very changeable; it can only be evaluated with experience and sound judgment. Moreover, the section will be designed to generate velocity corresponding to the maximum velocity could be resisted by the canal materials.

This velocity couldn't occur if the canal capacity is relatively small, which appears in the major canals of the Gezira scheme. So, the original theory has been modified and a New Approach was invented by the authors seeking to overcome this limitation of design. The New Approach states that "the design of an irrigation canal is based on the maximum velocity could be produced by the canal capacity but not greater than the maximum velocity could be resisted by the canal material".

Table 3 presents the maximum permissible velocities depending on the bed material. The United States Bureau of Reclamation (USBR) has derived from these velocities the corresponding tractive force values.

Table 3: Maximum permissible velocities and the corresponding tractive force values (Depeweg et al, 2014).

Material	Manning N	Clear water		Silt-Loaded water	
		V	τ	V	τ
		(m/s)	(N/m ²)	(m/s)	(N/m ²)
Fine sand, colloidal	0.02	0.46	1.30	0.76	3.61
Sandy loam, non-colloidal	0.02	0.53	1.78	0.76	3.61
Silt loam, non-colloidal	0.02	0.61	2.31	0.91	5.29
Alluvial silts, non-colloidal	0.02	0.61	2.31	1.07	7.22
Ordinary firm load	0.02	0.76	3.61	1.07	7.22
Volcanic ash	0.02	0.76	3.61	1.07	7.22
Stiff clay, very colloidal	0.025	1.14	12.51	1.52	22.13
Alluvial silts, colloidal	0.025	1.14	12.51	1.52	22.13

Steps of Maximum permissible velocity

Manning coefficient (n), max permissible velocity(V), side slope (z) depends on type of soil and can be obtained from tables.

- 1) Assume bed slope (s).
- 2) Calculate the hydraulic radius (R):

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (4)$$

3) Calculate the cross sectional area (A):

$$Q = A * V \quad (5)$$

4) Calculate the wetted parameter P:

$$P = \frac{A}{R} \quad (6)$$

5) Calculate water depth (y) By solving Eqn. (1) & (2):

$$A = (b + z * y) * y \quad (7)$$

$$P = b + 2 * y * \sqrt{1 + z^2} \quad (8)$$

6) Calculate the bed width (b).

Regarding that, the design of irrigation canals using the *New Approach* follows the same procedures. But the exception is that the maximum permissible velocity will be reduced, in trial and error process, till the design parameters have been identified.

(C) Tractive Force Method

The tractive force methods are in use for boundary shear stress and sediment transport relations. They use the idea of static stability of a canal in which there is no movement of material (both in the bed and side slopes). For a given design discharge, the canal dimensions and bed slope are identified considering the flow velocity not exceeding a permissible velocity or boundary shear stress not exceeding its critical value of a bed and bank material. (K. P. Paudel, 2009).

Steps in permissible tractive force method

- 1) Assume b/y and z, with Q, s, and n known.
- 2) Assume tractive force on sides is critical (as opposed to tractive force on level ground).
- 3) With b/y and z, enter Figure 8 left to determined Cs in the acting unit tractive force on the sides Ts:

$$T_s = C_s \gamma y S \quad (9)$$

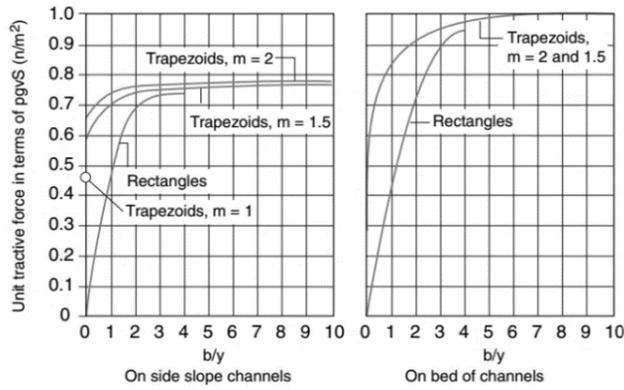


Figure 8: Maximum unit tractive force in term of $\gamma\gamma S$ (Depeweg et al., 2014)

With d_{25} and grain shape, find the angle of repose θ from **Figure 9**.

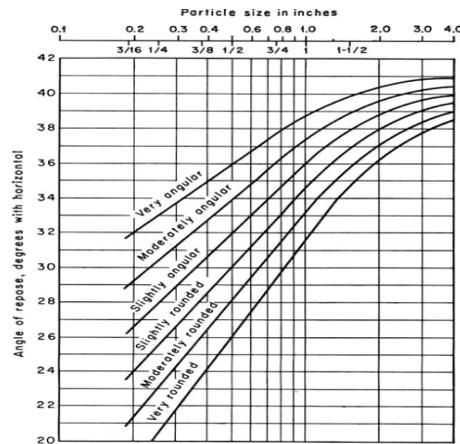


Figure 9: Angles of repose of non-cohesive material (Chow, 1959)

4) Calculate ϕ from:

$$\tan \phi = 1/z \quad (10)$$

5) Calculate K from:

$$K = \left[1 - \left(\frac{\sin \phi^2}{\sin \theta^2} \right) \right]^{1/2} \quad (11)$$

6) Determine permissible unit tractive force on level ground τ_L from **Figure 10** or **Figure 11**. (If the material differs from sides and bottom, this could be either τ_{Lb} based on the material on the bottom or τ_{Ls} based on the material on the sides).

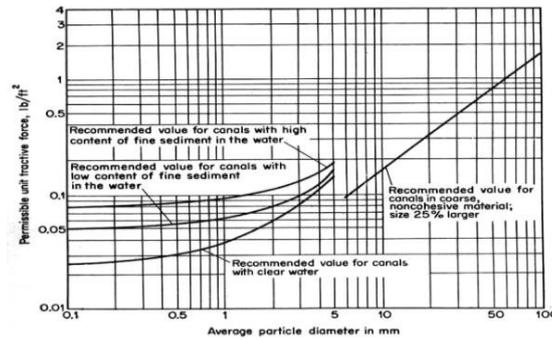


Figure 10: Recommended permissible unit tractive force for canals in non-cohesive material (Chow, 1959)

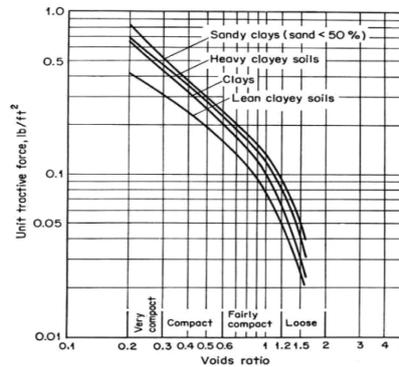


Figure 11: Permissible unit tractive forces for canals in cohesive material (Chow, 1959)

7) Calculate the permissible unit tractive force on the sides:

$$\tau_s = K \tau_L \quad [or \tau_s = K \tau_{LS}] \quad (12)$$

8) Set permissible and acting unit tractive forces equal: $\tau_s = \tau_s$

$$\tau_s = C_s \gamma y S \quad (13)$$

9) Solve for flow depth y :

$$y = \tau_s / (C_s \gamma S) \quad (14)$$

10) With y and b/y , calculate $b = y (b/y)$.

11) With Q , b , z , S , and n known, design channel to find y_n .

12) Test to confirm that: $y_n \leq y$

- If not satisfied, assumed b/y is too small. Assume a greater value and return to step 11.
- If satisfied: $y = y_n$

13) Once b/y is determined by trial and error, enter Figure 8 to determine C_b in the acting unit tractive force on the bottom TL:

$$T_L = C_b \gamma y S \quad (15)$$

14) Calculate $T_L = C_b \gamma y S$

15) Compare acting unit tractive force T_L with permissible unit tractive force on level ground τ_L calculated in step 7. [OR: with τ_{Lb} if different materials]

- If $T_L \leq \tau_{L(b)}$, the sides control the design. The design is OK.
- If $T_L > \tau_{L(b)}$, the bottom controls the design. In this case, make $T_L = \tau_{L(b)}$.

Then recalculate:

$$y_n = \tau_{Lb} / C_b \gamma S \quad (16)$$

16) With new y_n and b/y , recalculate b and confirm y_n (from Manning equation) Otherwise, assume new b/y until y_n calculated (from Manning equation) agrees with y_n in the previous step.

Irrigation Canals Design software

To design the irrigation canals using the previously discussed theories, a mathematical tool is needed to simplify the complexities of the design procedures. Irrigation Canals Design (ICDesign) software is a mathematical model that was developed by the authors of this paper using C# language. The new software has two main features as detailed below:

a. Design of irrigation canals:

ICDesign software has a very simple interface that is very easy to use when designing an irrigation canal or a series of irrigation canals using one of three theories (Regime theory, Tractive Force method for cohesive or non-cohesive soils, and Maximum Permissible Velocity (New Approach)) using different required inputs as illustrated in **Figure 12** to **Figure 16**.

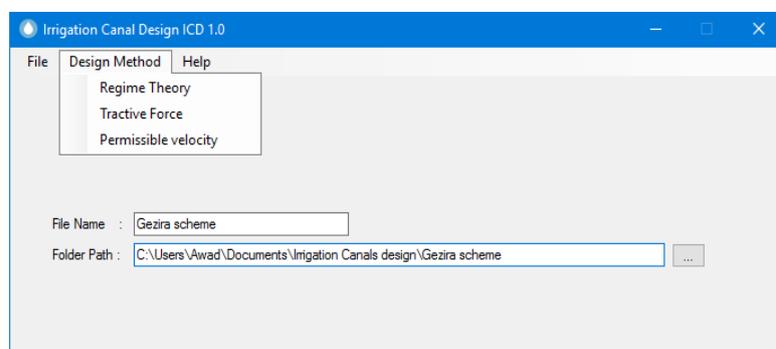


Figure 12: Main window, design method bar

The name of canal

The type of canal (main; major)

The ground level at the upstream of first reach

Discharge of each reach of the canal

Length of each reach of the canal

Side slope based on side material
(Rock; Muck and peat soils; Stiff clay or earth with concrete lining; Earth with stone lining or earth for large channels; Firm clay or earth for small ditches;

Head losses accruing due to hydraulic structures

Discharge (m ³ /s)	Reach Length (Km)	Wetted Perimeter (m)	Area (m ²)	Bed Width (m)	Water Depth (m)	Side Slope	Slope (Cm/Km)	Ground Level U/S (m)
3.522	9	10.341	7.424	6.224	0.921	2	11.269	413.298

Figure 13: Regime theory inputs

The water conditions
(Clear water or silt-loaded)

Bed material to determine the value of manning coefficient and maximum permissible velocity and can be edited

Slope of each reach of the canal

Soil Condition (Moist; dry; wet)

Type of Soil (Top soil; Loam; Sand; Gravel; Broken rock)

Void Ratio (Loose; Fair; Well; Very well)

Bed material (Sandy clays; Heavy clay soils; Clays; Lean clayey soils)

Discharge (m ³ /s)	Reach Length (Km)	Slope (Cm/Km)	Wetted Perimeter (m)	Area (m ²)	Bed Width (m)	Water Depth (m)	Side Slope	Final Velocity (m/s)
3.522	9	10	8.954	6.906	2.817	1.283	2	0.51

Figure 14: Maximum permissible velocity (New Approach) inputs

Longitudinal slope

Canal Material (Cohesive Soil; non-cohesive)

Soil Condition (Moist; dry; wet)

Type of Soil (Top soil; Loam; Sand; Gravel; Broken rock)

Void Ratio (Loose; Fair; Well; Very well)

Bed material (Sandy clays; Heavy clay soils; Clays; Lean clayey soils)

Discharge (m ³ /s)	Reach Length (Km)	Wetted Perimeter (m)	Area (m ²)	Bed Width (m)	Water Depth (m)	Side Slope	Slope	Ground Level U/S (m)
3.522	9	7.32	5.117	2.262	1.131	2	0.0001	413.298

Figure 15: Tractive force for Cohesive Soil inputs

Side Particle Shape (Very angular; Moderately angular; Slightly angular; Slightly rounded; Moderately)

Type of the soil in the sides of the canal with diameter d_{50} and d_{25}

Type of the soil in the bottom of the canal with diameter d_{50} and d_{25}

Discharge (m ³ /s)	Reach Length (Km)	Wetted Perimeter (m)	Area (m ²)	Bed Width (m)	Water Depth (m)	Side Slope	Slope	Ground Level U/S (m)
3.52	9	2.764	0.729	0.854	0.427	2	0.0001	0

Figure 16: Tractive force for Non-Cohesive Soil inputs

b. Presenting the outputs:

The designed canal or series of canals will be presented in three different ways: table of results, cross-sections, and longitudinal profile as shown in Figure 17, Figure 18 and Figure 19.

Table	Cross-Section	Profile							
	Wetted Perimeter (m)	Area (m ²)	Bed Width (m)	Water Depth (m)	Side Slope	Slope (Cm/Km)	Ground Level U/S (m)	Ground Level D/S (m)	Head Loss (m)
▶	58.975	196.679	41.048	4.009	2	6.203	400	396.458	0.3
	50.585	152.294	34.18	3.668	2	6.528	396.158	394.839	0.3
	45.591	128.069	30.13	3.457	2	6.758	394.539	393.052	0.3

Figure 17: Outputs, Table tab

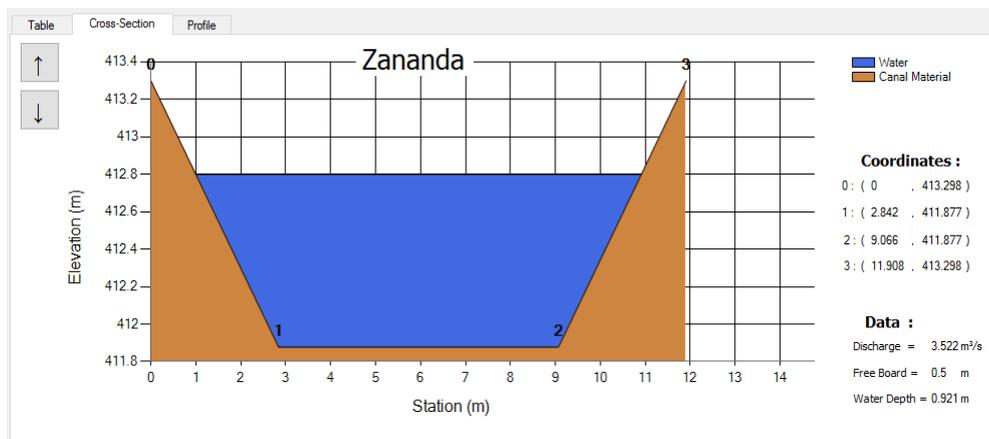


Figure 18: Outputs, Cross-sections tab

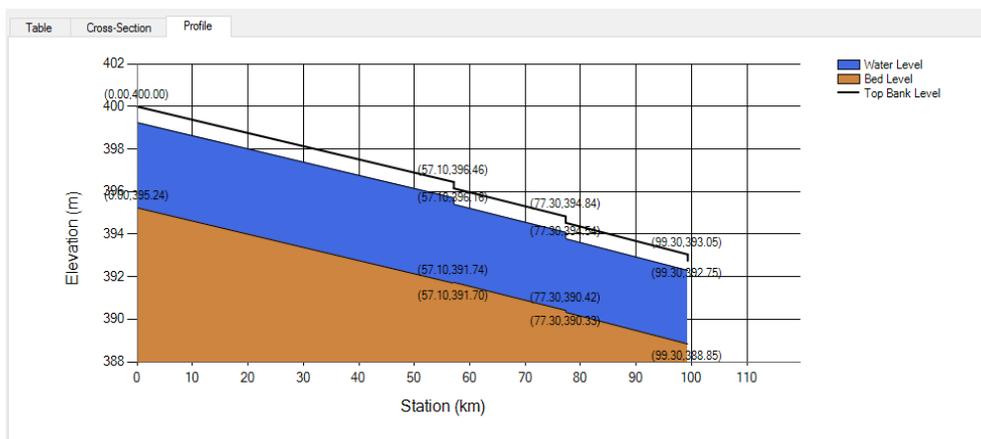


Figure 19: Outputs, Profile tab

Model application

The model was applied in Zananda Major Canal. Figure 20 is a schematic diagram of the study area and the design main parameters are given in Table 4. In the case of sediment transport in the irrigation canal, the best section will be achieved when the flow area is minimum and the flow velocity is high to accelerate more sediment to be transported downstream. Consequently, the maximum

permissible velocity (New Approach) is the best design approach in the case of sedimentation. This result is agreed with the result of simulation of sediment transport in the selected canal using the HEC-RAS model based on different design approaches by applying ICDesign software in another study and the collected data from fieldwork during the flood season between July and October when the sediment concentration is high. The model gives less sediment with maximum permissible velocity design sections.

In the design of the Gezira scheme canals, the rational method cannot be applied because of certain limitations: The rational method includes, amongst others, the method of White, Bettis, and Paris (1982) and Chang (1985). The rational method is useful for the design of stable canals with very specific flow conditions. For canals with large fluctuations in discharge and sediment load the method is inadequate to represent precisely the sediment transport process and the conveyance of the sediment load through the entire canal network (Depeweg et al., 2014).

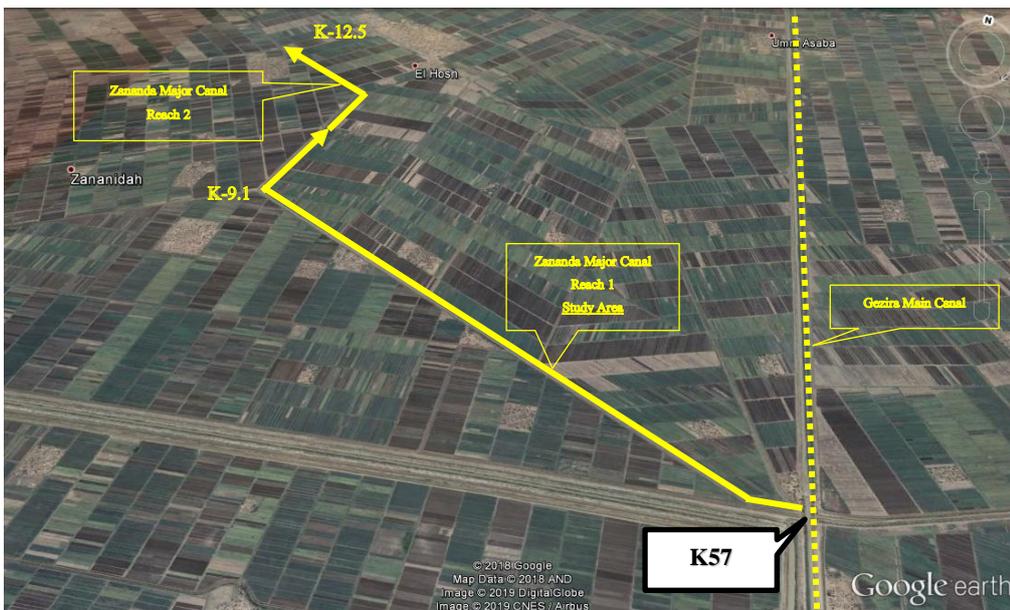


Figure 20: Satellite image for Zananda major canal path and location

Table 4: Main design parameters of Zananda major canal

Design Theory	Water Depth (m)	Top Width (m)	Bed width (m)	Flow Area (m ²)	Velocity (m/s)
Regime	0.9	9.12	6.2	7.18	0.49
Max. Permissible Velocity (New approach)	1.29	7.95	2.82	6.9	0.51
Tractive force	1.31	11.1	2.26	7.12	0.49

CONCLUSION

ICDesign software is used to design a single canal or a series of irrigation canals using the Regime theory, Tractive force method (for cohesive and non-cohesive materials) or Maximum Permissible Velocity (New Approach) with various required inputs. A detail of the design cross-section and longitudinal profile can be presented.

It was found that the best theory of designing the major canal is the Maximum Permissible Velocity when dealing with sediment transport in irrigation canals noting that the original theory of Maximum Permissible Velocity has been modified by the authors of this paper during this study in order to overcome its limitation of design when the discharge is relatively small which appears in the major canals of Gezira Scheme. The results of the simulation show a good agreement with the field data. Therefore, the developed model can be used widely in the design of irrigation canals.

REFERENCES

- Chow, VenTe, (1983). Open channel hydraulics. McGraw Hill International Book Company. Tokyo, Japan.
- Chow, V. Te. (1959). Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company.
- Depeweg, H., Paudel, K. P., & V, N. M. (2014). *Sediment Transport in Irrigation Canals : A New Approach* (1st ed.). CRC Press/Balkema.
- Gismalla, Y. A. (2009). Sedimentation Problems In The Blue Nile Reservoirs And Gezira Scheme: A Review. *GEZIRA JOURNAL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES*, 4(2), 1–19.
- Osman, I. S., Schultz, B., Osman, A., & Suryadi, F. X. (2017). Effects of different operation scenarios on sedimentation of the Gezira Scheme, Sudan. *Online 27 December 2016 in Wiley Online Library (Wileyonlinelibrary.Com)*, 89(December 2016), 82–89. <https://doi.org/10.1002/ird.2023>
- Paudel, K. P. (2009). *Role of sediment in the design and management of irrigation canals*. CRC Press/Balkema.
- Paudel, K. prasad. (2010). *role of sediment in the design and management of irrigation canals*. CRC Press/Balkema.
- Raudkivi, A.J., (1990). Loose Boundary Hydraulics. 3rd Edition. Pergamon Press. Great Britain.

Simons, D. & F. Senturk, (1992). Sediment Transport Technology. Water Resources Publications. Colorado, USA.

Vanoni V.A. (1975) Sedimentation Engineering Practice. American Society of Civil Engineers, Manuals and Reports on Engineering Practice, No. 54, 745 p.

White W R, Bettes R, Paris E. Analytical approach to river regime . J. Hydr. Div., ASCE, 1982, 108(10): 1179-1193

Study of the Physico-Chemical Quality of Groundwater in the Sidi Yahya Region, Gharb, Morocco, *M. Lahmar*^{1,2}, *N. El Khodrani*², *S. Omrania*³, *H. Dakak*², *A. Douaik*², *H. Iaaich*², *M. El Azzouzi*¹, *M. Mekkaoui*¹ and *A. Zouahri*²

¹Laboratory of Materials, Nanomaterials and Environment Physicochemistry Team, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco.

²Research Unit on Environment and Conservation of Natural Resources, Regional Center of Rabat, National Institute of Agricultural Research (INRA), Rabat, Morocco.

³Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Waters and Environment, CERNE2D, Faculty of Sciences, Mohammed V University, Rabat, Morocco.

*Corresponding author. E-mail: lahmar.mbark@gmail.com

Abstract

Groundwater is the most important natural resource which cannot be optimally used and sustained unless its quality is properly assessed. The aim of this work is to study the physico-chemical quality of groundwater in the water table of the Sidi Yahya region (Gharb, Morocco). We have carried out a qualitative study of the water in different sites of their irrigated perimeter of Sidi Yahya. In fact several measurements (pH and groundwater depth) and laboratory analysis (ionic balance) were conducted to determine the physico-chemical characteristics of water. We prospected 33 wells distributed into 6 zones: A, B, C, D, E, and F. Data were statistically analyzed using the analysis of variance (ANOVA). The results showed that the depth of water table varied between 6 and 96 m and that 51.5% of the wells were highly to extremely saline, thus inadequate for irrigation. The studied zones do not have the same salinity level. In fact, the B and F zones represent a significantly higher salinity compared to other zones. Similarly, the difference was statistically significant between zones for pH, electrical conductivity, calcium, and nitrates. In conclusion, the use of waters of low quality for the irrigation leads to soil degradation by an accumulation of salts. This accumulation is more or less important depending on the quality of water, the nature of the soil, the climate and the technique of irrigation.

Keywords: Groundwater, Quality, Physico-chemical, Sidi Yahya, Morocco.

1. Introduction

Water is an essential element for life of all living beings, thus, it deserves a special attention, especially because of population growth and the growing demand for foods. Accordingly it is highly threatened by human activities [1]. In fact, the agricultural sector is considered the first consumer of water in the world. Moreover, the non-rational use of fertilizers and pesticides and the lack of awareness about the environmental protection generate the pollutants, which could affect the physicochemical and biological quality of water bodies and aquifers. The groundwater is a resource of drinking water mostly required in the worldwide. Therefore, various studies [2-5] have shown that the groundwater

plays a vital role, either for consumption as drinking water or of other purposes such as irrigation. However, the misuse of this resource leads to its deterioration in terms of quality and quantity, threatening food security in the world [6].

In this context, the present work is interested in the study of the physicochemical quality of groundwaters of the water table of the Sidi Yahya region (Gharb, Morocco), which is characterized by intensive agricultural activities.

2. Materials and Methods

2.1 Study area

The city of Sidi Yahya is a municipality within the province of Sidi Slimane and is part of the region of Rabat-Sale-Kenitra. The geographic coordinates of the study area are $34^{\circ}18'33''$ N for latitude and $6^{\circ}18'41''$ W for longitude. Sidi Yahya is located about 26 km north east of the city of Kenitra. The city of Sidi Yahya is located at the South East Gharb plain, on the transition zone between the Maâmora and the Gharb water tables; it is a very low but large basin that covers an area of 616000 ha [7]. The climate of the region is marked by the oceanic influence, within a sub humid bioclimatic zone with a moderate temperature in winter and higher air humidity and lower temperature.

2.2 The prospected wells

We have prospected 33 wells, across the region of Sidi Yahya. These wells are divided into 6 zones: A, B, C, D, E, and F (Fig.1). The depth of the water table varies between 6 and 96 m. The samples were collected during May and October 2018 with a mean annual precipitation of 537 mm. They were conditioned, and then transported in a cooler at 4°C to the laboratory for analysis in the Research Unit on the Environment and Conservation of Natural Resources belonging to the National Institute of Agricultural Research in Rabat. Table 1 summarizes the whole physicochemical parameters measured as well as the methodology followed.

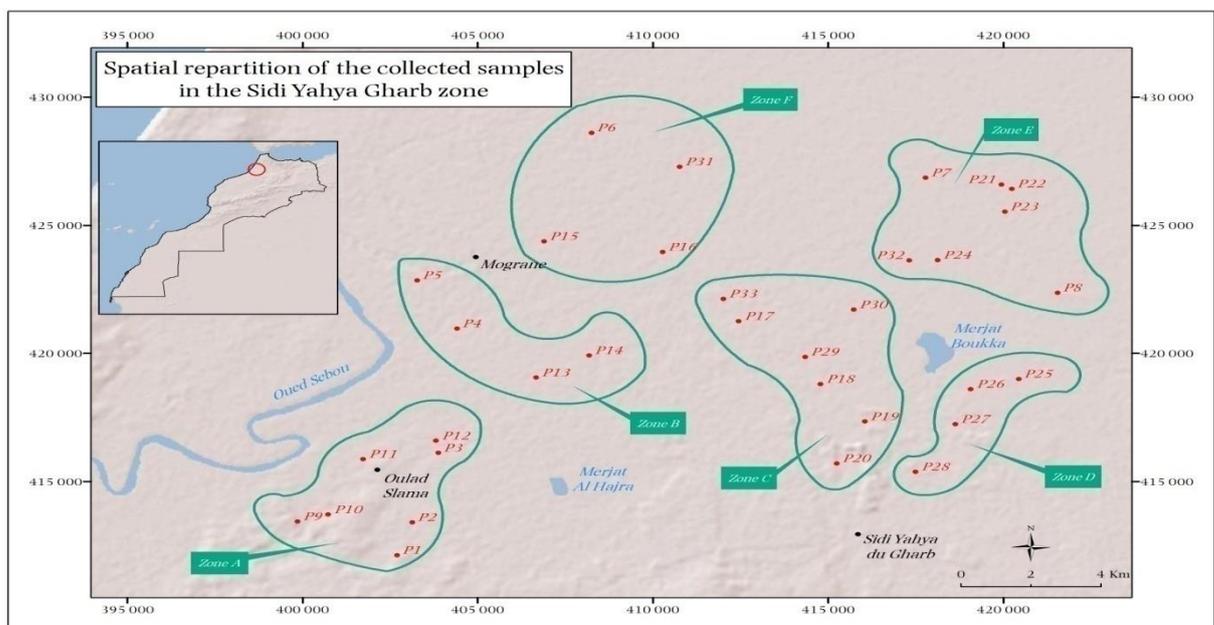


Fig. 1: Presentation of the study area and prospected wells.

2.3 Statistical analysis

All the water parameters were processed using the one factor analysis of variance (ANOVA) to check whether there is a difference between the 6 zones.

ANOVA will verify if the means of the different quality parameters for the 6 zones are statistically different [8]. The significance of the difference between the zones is expressed by the F ratio of Fisher-Snedecor as well as the corresponding probability value (p-value). The difference is considered statistically significant when this p-value is less than 0.05. When ANOVA results are statistically significant, a multiple comparison of means using the Duncan test has been done [9].

Table 1: Physico-chemical parameters measured with the corresponding methods used [10].

Parameters	Abbreviation	Unit	Methods used
Electrical Conductivity	EC	dS/m	Conductivimeter
Hydrogen Potential	pH	-	pH-meter
Calcium	Ca ²⁺	meq/l	Complexometrywith EDTA (0.02N)
Magnesium	Mg ²⁺	meq/l	Complexometrywith EDTA (0.02N)
Sodium	Na ⁺	meq/l	Flame photometry
Potassium	K ⁺	meq/l	Flame photometry
Chloride	Cl ⁻	meq/l	Mohr's method
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	meq/l	Acido-basic titration (HCl 0.05N)
Sulfate	SO ₄ ²⁻	meq/l	Nephelometricmethod
Carbonate	CO ₃ ²⁻	meq/l	Acido-basic titration (HCl 0.05N)
Nitrate	NO ₃ ⁻	ppm	Steam distillation

3. Results and Discussion

The results of various physicochemical parameters measured are presented in table 2. In this table, weexpressed the values in means ± standard deviations.

Table 2: Means ± standard deviations of the physicochemical parameters for the studied zones and the ANOVA significance test.

Parameters	Zones						Signification	
	A	B	C	D	E	F	F value	p value
EC(dS/m)	1.58±1.14	3.38±1.95	1.10 ±1.14	0.28±0.085	0.39±0.27	2.41±3.10	3.14	0.023
pH	6.80± 0.33	7.11± 0.13	7.10± 0.26	7.25±0.12	7.26±0.037	7.27±0.42	3.35	0.017
Ca ²⁺ (meq/l)	4.88±2.66	7.55±2.58	3.66±1.53	5.30±1.77	2.30±0.83	4.55±3.40	3.44	0.015
Mg ²⁺ (meq/l)	2.10±1.16	4.73±1.96	3.56±2.27	2.86±0.50	2.18±0.38	5.18±4.41	2.06	0.101
Na ⁺ (meq/l)	9.80±12.10	26.44±21.53	7.86±9.54	4.75±1.16	5.96±3.35	25.68±41.36	1.48	0.228
K ⁺ (meq/l)	0.04±0.02	0.06±0.02	0.04±0.02	0.05±0.01	0.04±0.02	0.10±0.06	2.47	0.057
Cl ⁻ (meq/l)	13.11±15.13	33.20±24.30	10.30±8.85	8.85±3.28	5.50±1.78	21.00±26.22	2.24	0.079
HCO ₃ ⁻ (meq/l)	5.21±1.63	3.87±1.10	4.53±1.84	4.25±0.64	7.35±3.93	4.50±2.98	1.62	0.188
CO ₃ ²⁻ (meq/l)	0.71±0.42	0.81±0.31	0.60±0.32	0.87±0.63	1.30±1.11	1.25±0.35	1.18	0.342
NO ₃ ⁻ (meq/l)	0.88±0.63	0.36±0.61	0.15±0.20	0.01±0.00	0.01±0.00	0.13±0.22	4.84	0.003
SO ₄ ²⁻ (meq/l)	0.25±0.45	2.73±3.43	1.01±4.28	-0.42±0.74	-0.26±0.70	9.91±19.30	1.43	0.244

We will detail below the results of each parameter as well as the comparison between the different studied zones. Excluded from this analysis are the Mg²⁺,Na⁺,K⁺, Cl⁻,SO₄²⁻,CO₃²⁻ and bicarbonate (HCO₃⁻) because they have not presented any significant difference between the zones (p value ≥0.05).

3.1 Electrical Conductivity and Salinity of water

3.1.1 Electrical conductivity of water

Regarding the salinity, we performed a one-way analysis of variance (ANOVA) for the studied zones. The obtained results show a statistically significant difference (F=3.14; p < 0.05), which explains that the studied zones donot have the same levels of salinity in terms of electrical conductivity (Fig.2).

Salinity, which is significantly higher in the zone B compared to the F zone, would be due to the fact that the zone B is located toward the downstream of the Sebou River. This implies that the soil

in the zone B accumulates, in addition to fertilizers used locally, those emanating from the zone F and transported by the river.

The fact that the zones B and F represent a higher salinity level compared to the other zones could be explained by the proximity of the Sebou River which makes these zones more suitable for crop intensive production. This makes them more exposed to the intensive use of fertilizers and pesticides.

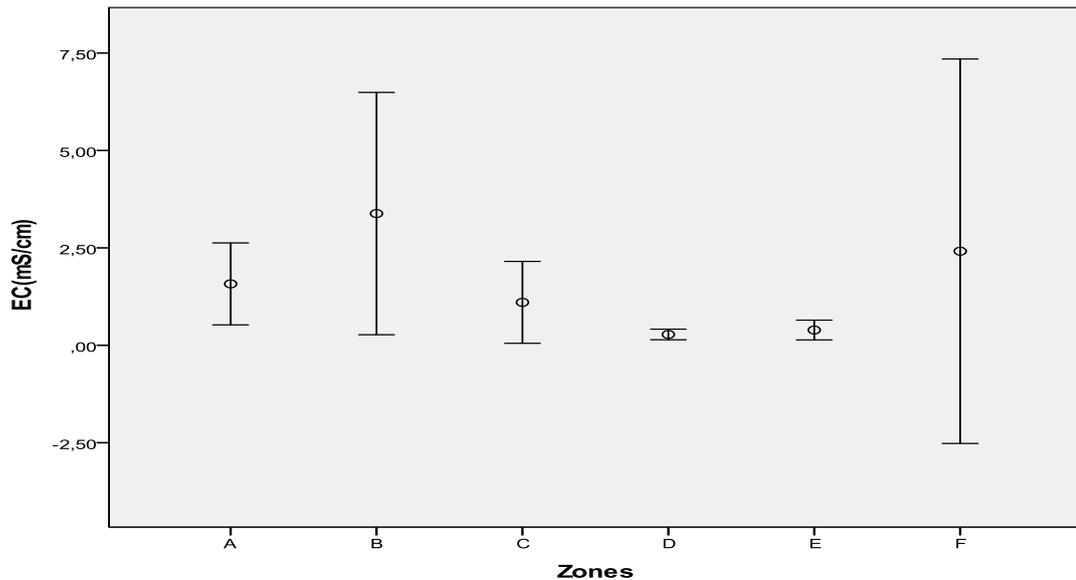


Fig 2: Repartition of means as EC in function of the zones.

Subsequently we have made a comparison of means using the Duncan test [9] which revealed the existence of three groups:

- The first group represented by zones A, C, D and E with an average of 0.84dS/m.
- The second group corresponds to the zones A, C and F with an average of 1.70dS/m.
- The third group corresponds to the zones A, B, F and with an average of 2.45dS/m.

3.1.2 Salinity of water

Table 3 presents the classification of waters according to the U.S. standards for the classification of irrigation water. It is clear from these results that 51.5% of the wells belong to classes C3, C4, and C5. These waters are considered to be highly to extremely saline and therefore, unsuitable for irrigation because they have a higher potential for soil salinization and may cause significant yield reduction, especially for sensitive crops.

Table 3: Distribution of irrigation water's salinity in the Sidi Yahya region, following the USSLS standards [11].

Salinity class	symbole	EC (dS/m)	Number of wells	% wells
Non saline	C1	<0.25	9	27.30
Averagely saline	C2	0.25-0.75	7	21.20
Highly saline	C3	0.75-2.25	11	33.34
Very highly saline	C4	2.25-5	4	12.12
Extremely saline	C5	>5	2	6.04

3.2 Potential hydrogen

The pH of water is the rate of hydrogen ion concentration. It indicates the acidic or alkaline nature of water. The pH has correlation with the variables that affect the hydro-chemical interactions and the concentrations of the ions in the water such as the temperature which has a significant effect on the pH rate [12, 13].

The distribution of pH as a function of the zones revealed a significant difference ($F=3.35$; $p=0.017$) which implies that this parameter differs from one zone to the other. In fact, the results of the Fig.3 show that the water of the study zones is neutral.

Subsequently we have done a multiple comparison of means using the Duncan test which revealed the existence of two different groups of zones:

- The first group contains the zones A, B, and C, with a mean of 7.0
- The second group corresponds to zones B, C, D, E, and F with a mean of 7.2

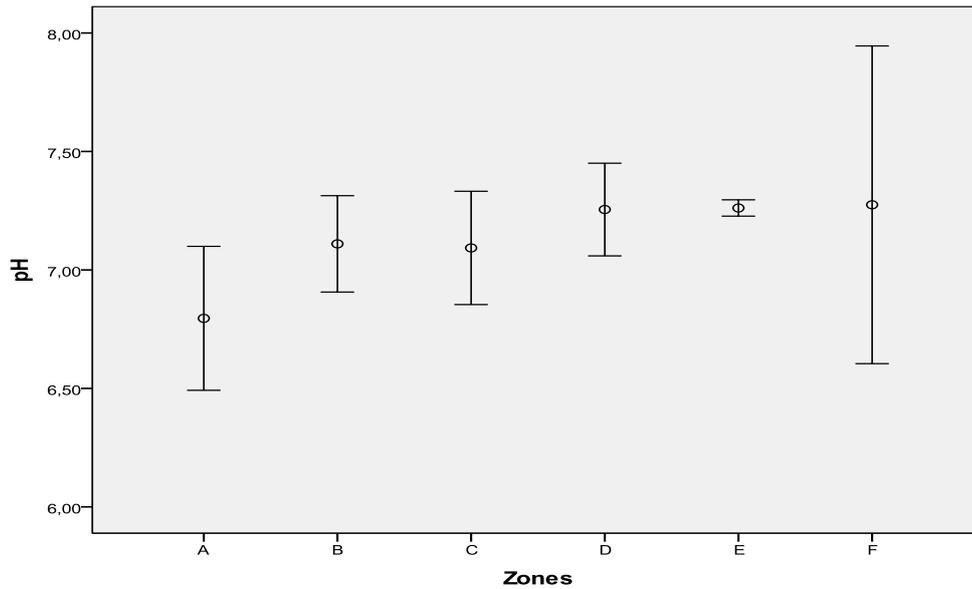


Fig 3: Repartition of means of pH as function of the zones.

3.3 Ionic balance

3.3.1 Calcium

The analysis showed a statistically significant difference ($F=3.44$; $p < 0.05$). The comparison of these levels shows the existence of two groups (Fig.4) between the zones regarding calcium. It can be seen that the zone B always presents the highest content in calcium.

Calcium is present in all groundwaters. Most of their concentrations in natural water might be due to the chemical weathering and the erosion of rocks and minerals containing calcium, such as limestone, magnetite, aragonite, and calcite (CaCO_3).

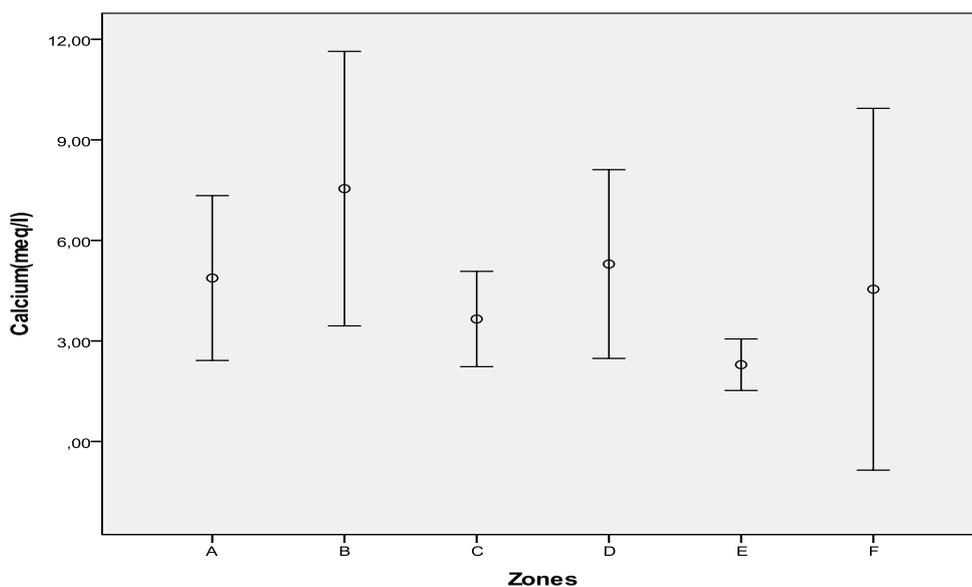


Fig 4: Repartition of means of calcium as function of the zones.

3.3.2 Nitrate

Nitrates levels are significantly different between the zones ($F=4.84$; $p < 0.05$). The comparison of these levels shows the existence of two groups (Fig.5). In fact, the A zone (located toward the upstream in the Sebou river) is the most concerned by the high content of nitrates. This is due, mainly to the misuse of nitrogen fertilizers, as well as the technique of irrigation used (surface irrigation). In fact, the excess of generated nitrogen pollutes the groundwater [14-15]. Therefore, one way to stop the nitrate cycle is to use less fertilizer according to the real needs of cultivated crops.

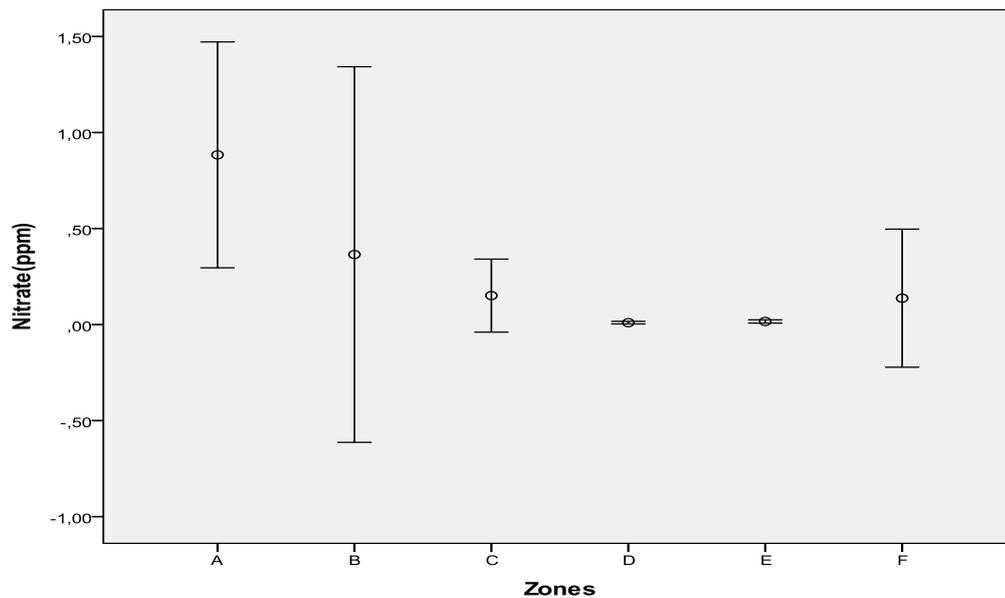


Fig 5: Repartition of means of Nitrate as function of the zones.

3.4 Water alkalinity

The use of the Richard diagram [11] allows to assign to each water a corresponding class of quality in terms of salinization and alkalisation risks, when this water is used for irrigation (Fig.6). Table 4 gives the distribution of salinity and alkalinity classes of the studied waters. The quality classes of waters that dominate are: C1-S1, C3-S1, C2-S1, and C4-S3.

Table 4: Repartition of salinity and alkalinity classes of the waters.

Class of salinity(C) and alkalinity(S)	Number of Wells	% Wells
C1-S1	9	27.3
C2-S1	6	18.2
C2-S2	1	3.0
C3-S1	9	27.3
C3-S2	2	6.0
C4-S3	4	12.2
C5-S4	2	6.0

It follows that the irrigation water of Sidi Yahya has a high risk of salinization and a low to high risk of alkalinization. Groundwater falling in the C3-S1 and C3-S2 classes is considered to be of moderate quality to irrigate semi-tolerant crops, whereas that in high salinity classes (C4-S3) and (C5-S4) are not suitable for irrigation[16] under ordinary conditions, but may be used for salt-tolerant plants on permeable soil with special management practices [17].

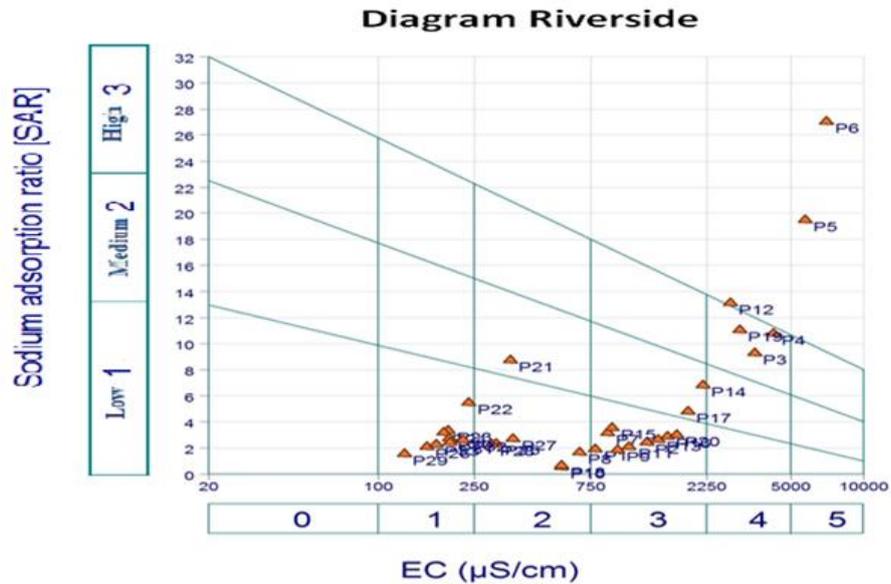


Fig 6: Diagram of salinization and alkalinisation risks of waters in the region of Sidi Yahya Gharb.

SAR: Sodium adsorption ratio ($\text{meq}^{1/2}\text{L}^{-1/2}$).

EC : Electrical conductivity to 25 °C ($\mu\text{S/cm}$).

3.5 Hydrochemistry

According to the Piper diagram we distinguish four types of chemical facies that characterize Sidi Yahya Gharb Waters (Fig.6):

- Chloride sulphated-and calcium-magnesium (29.0%).
- Sodid chloride potassium and sodid sulphate(29.0%).
- Sodium and potassium bicarbonate (16.0%)
- Calcium-magnesium and bicarbonate (26.0%)

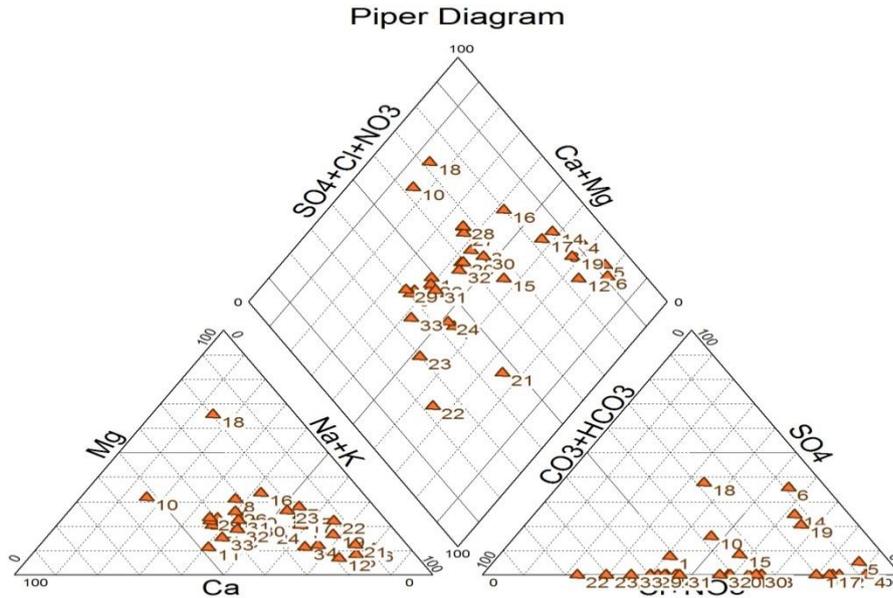


Fig .6: Piper Diagram of irrigation water of the Sidi Yahya.

Conclusion

The suitability of water for irrigation is based on many factors like the quality of this water, soil types, grown crops, cropping practices, etc. When dissolved ions are in excess in irrigation water, they affect harmfully plants and agricultural soils, both physically and chemically, therefore reducing the productivity. In fact, the study carried out in this work has allowed us to characterize the quality of irrigation waters of the Sidi Yahya region. It has shown:

- A higher salinity in the zones B and F compared to the other zones. This high level of salinity was more pronounced in the F zone.
- The groundwaters belonging to downstream zones in the region (more than 51.5 % of water) have a higher potential for soil salinization and may cause significant yield reduction, especially for sensitive crops. This was mainly related to the influence of Sebou River waters, water depth and to the geological nature of the aquifer.
- A worrying level of contamination of groundwater by nitrates was observed in some zones. A rational use of nitrogen fertilizers will contribute to overcome this situation.
- A low to high risk of alkalisation. In fact, 100% of the waters studied have values of SAR less than 28.

- A dominance of four classes of salinity and alkalinity: C1-S1, C3-S1, C2-S1 and C4-S3. In order to overcome this situation of water degradation in the Sidi Yahya region, farmers should use efficiently and rationally the fertilizers as well as water saving irrigation techniques as well as salt tolerant crops.

Acknowledgements: The present work has the objective to contribute to the enhancement of the sustainable development of agriculture in the region of Rabat-Salé-Kénitra. We want to thank all the people who have helped us in the field and in the laboratory throughout this work.

References

- [1] Nshimiyimana F.X., ElBlidi S., ElAbidi A., Faciu M.E., Udahemuka J.C., Benammi F., Lazar G., Soulaymani A., and Fekhaoui M, *J. Mater. Environ. Sci*, 8 (2016) 2760-2770.
- [2] El Khodrani N, Zouahri A, Douaik A, Omrania S, Iaaich H, Yahyaoui A, Fekhaoui M., *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(2017) 2339–2346.
- [3] Dakak H, Zouahri A, Iaaich H, Moussadek R, Ekhadir M, Douaik A, Souidi B, Benmohammadi A., *Revue des Régions Arides*, 33(2014) 75–79.
- [4] Zouahri A, Dakak H, Douaik A, El Khadir M, Moussadek R., *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(2015) 4184.
- [5] El Oumlouki K. , Moussadek R., Douaik A., Iaaich H., dakak H., Taoufiq Chati M., Ghanimi G., El Midaoui A., El Amrani M. and Zouahri A., *Irrigation and Drainage*, 67(2018) 1-14.
- [6] Matini L., Moutou J., Kongo-Mantono M, *J. Afrique Sci. Rev. Int. des Sci. Technol*, 5 (2010) 82-98.
- [7] Fathallah Z., Elkharrim K., Fathallah R., Hbaiz E M., Hamid C., Ayyach A., Elkhadmaoui A., Belghyti D., *Larhyss Journal*, 20 (2014) 57-69
- [8] Blanc L., Chessel D. et Dolédec S., *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 348 (1998) 1 -21.
- [9] Duncan D.B, « Multiple rang and multiple F tests », *Biometrics*, 11 (1955) 1.
- [10] Rodier J., *The Analysis of Water*, (Paris, 8th Edition, 1996).
- [11] U.S.S.L.S. (United State Salinity Laboratory Staff), US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. (1954).
- [12] ASTM, Annual book of ASTM standards Part 31 Philadelphia, PA, ASTM, (1976) p 178.
- [13] APHA, Standard methods for the examination of water and wastewater, (1989) 17th^{ed} Washington USA. <http://dx.doi.org/10.2307/3001478>.

- [14] Belghiti M.L.,Chahlaoui A. , Bengoumi D., El moustaine R., *Larhyss Journal*, 14 (2013) 21.
- [15]Bouknana D., Hammouti B., Salghi R., Jodeh S., Zarrouk A., Warad I., Aouniti A., Sbaa M., *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (2014) 1039-1058.
- [16] Hamadaoui F., AboubakerAlzwi S., Alibrahmi E., El kharrim K., Belghyti D., NouredineLotfi N.,*International Journal of Environmental & Agriculture Research* ,4 (2018) 56-64.
- [17]Khodapanah L, Sulaiman WNA, Khodapanah N. , Groundwater quality assessment for different purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. *European Journal of Scientific Research*, 36(2009)543–553

Efficiencia d'uso de l'agua en los sistemas de cultivo de perímetro irrigado de Tadla, Ahmed Bouaziz, Bassou Bouazzama et Khaoula Akdim

Auteur Répondant : hmadbouaziz@gmail.com

Résumé

La disponibilité des ressources en eau dans la région méditerranéenne et précisément au Maroc est limitée et irrégulière dans l'espace et dans le temps. L'adoption des stratégies qui valorisent ces ressources comme l'irrigation par goutte à goutte s'impose pour une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau. Le présent travail vise à comprendre l'état actuel de la valorisation agronomique et économique de l'eau dans le périmètre irrigué du Tadla. Ainsi, à travers des enquêtes menées auprès de 25 agriculteurs, le niveau de valorisation de l'eau par les cultures et les systèmes de culture a été déterminé. L'élaboration d'une typologie des exploitations agricoles a été effectuée à partir d'une base de données déjà disponible. Les résultats ont montré qu'il existe cinq types d'exploitations agricoles : les petites exploitations arboricoles et les grandes exploitations arboricoles, les moyennes exploitations céréalières, les moyennes exploitations diversifiées et les grandes exploitations maraichères. Nos résultats montrent que l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) varie selon le mode d'irrigation et le type de culture. Ainsi, elle varie de 0.7 kg/m³ pour l'olivier irrigué par goutte à goutte à 19.1 kg/m³ pour l'oignon sous irrigation gravitaire. Pour la valorisation économique de l'eau, nos résultats révèlent une meilleure efficacité pour la culture de l'oignon (soit de 34.3 Dh/m³) alors que pour la culture de niora, la valorisation économique n'est que de 15.4 Dh/m³ sous irrigation localisée. La comparaison entre les différents modes d'irrigation montre que l'irrigation au goutte à goutte est plus valorisante par rapport au gravitaire pour l'ensemble des cultures étudiées (par exemple, la VE des agrumes sous irrigation localisée est de 9.4 Dh/m³ alors qu'elle est seulement de 4.7 Dh/m³ en gravitaire). Quant aux systèmes de culture, ceux incluant l'oignon donnent les meilleures efficacités d'utilisation de l'eau avec 19.3 Dh/m³ (blé dur-oignon), 19.2 Dh/m³ (blé tendre-oignon), 18.7 Dh/m³ (betterave-oignon). Les plus faibles efficacités sont obtenues pour les systèmes blé dur-betterave, blé tendre-betterave avec respectivement 3.7 et 3.6 Dh/m³. Bien que l'irrigation au goutte à goutte montre de meilleures efficacités, les potentialités agronomique et économique ne sont cependant pas encore atteintes.

Mots clés : Irrigation localisée, gravitaire, efficience d'utilisation de l'eau, valorisation, systèmes de culture, typologie.

Abstract

The availability of water resources in Mediterranean region and especially in Morocco is limited and irregular, both in space and in time. The adoption of strategies that value and save these resources, such as drip irrigation, is essential for better water use efficiency. This work aims to understand the current state of water efficiency in the irrigated perimeter of Tadla. Thus, through surveys of 25 farmers, the level of water valorization by crops and cropping systems was determined. The typology of farms was carried out from a readily available database. The results showed that there are five types of farms: the small tree farms and large tree farms, the average cereals farms, the average diversified farms and the large vegetable farms. In addition, the water use efficiency (WUE) varies from one irrigation mode to another and from one crop to another. It varies from 0.7 kg/m³ for olive crop under drip irrigation to 19.1 kg/m³ for onion crop irrigated by gravity. The onion crop has shown the best economic valorization of water which was 34.3 Dh/m³. However, the economic water valorization of niora crop was 15.4 Dh/m³. The comparison between different irrigation methods shows that drip irrigation is more rewarding compared to gravity and this is for all studied crops (i.e, the economic valorization of citrus fruit is 9.4 Dh/m³ under drip irrigation and only 4.7 Dh/m³ under gravity-fed irrigation). As for cropping systems, those including onion give the best water use efficiencies with 19.3 Dh/m³ (onion - durum wheat system), 19.2 Dh/m³ (onion - soft wheat system) 18.7 Dh/m³ (onion - sugar beet system). The lowest efficiencies are obtained for durum wheat – sugar beet and soft wheat - sugar beet systems with 3.7 and 3.6 Dh/m³ respectively. Although drip irrigation shows better efficiencies, the agronomic and economic potential has not yet been achieved.

Key words: drip irrigation, water use efficiency, valorization, crop systems, typology

Introduction

La rareté des ressources hydriques est un problème majeur dans la région méditerranéenne. Cela est dû à l'effet combiné de l'augmentation de la demande en eau liée notamment à l'accroissement démographique, ainsi qu'aux changements climatiques par l'irrégularité des précipitations et la succession des années de sécheresse. C'est pourquoi, le développement agricole dans les zones à déficit hydrique chronique passe nécessairement par l'irrigation ou une utilisation adéquate de technique de *dry-farming* (Bouaziz et al, 2004). Dans ce contexte de raréfaction croissante des ressources en eau, l'équilibre entre l'offre et la demande en eau sera de plus en plus difficile à assurer surtout pour la satisfaction de la demande en eau agricole qui au Maroc consomme plus de 80 % des ressources en eau mobilisées. Dans ces conditions, le développement du secteur de l'irrigation et sa durabilité requièrent la maîtrise de la demande en eau d'irrigation et son économie (Belghiti, 2004) à travers l'adoption de nouvelles techniques et leur maîtrise par les agriculteurs.

Comme l'eau est considérée un des facteurs limitants de la production de différentes cultures, notamment dans les régions (semi-)arides, la gestion de l'irrigation est importante pour maximiser la production par m³ d'eau apportée (Doorenbos et al, 1979). Cela implique une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau par les différents systèmes de culture afin de mieux valoriser ces ressources en eau (Abdel-Dayem et McDonnell, 2012). L'efficacité et la productivité de l'eau sont des indicateurs utilisés dans de nombreuses disciplines scientifiques, généralement pour rendre compte des pertes en eau qui surviennent au cours de son usage ou des produits générés par une unité d'eau consommée (Kambou, et al, 2014). Les définitions du terme d'efficacité utilisé par la communauté intéressée par l'irrigation diffèrent selon les disciplines scientifiques concernées (Bouaziz et Belabbes, 2002). Selon Kambou et al (2014), l'efficacité de la productivité de l'eau correspond à une mesure de l'efficacité du processus physiologique de production de biomasse et de formation de rendement des cultures, liée à leur consommation réelle en eau. L'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE), quant à elle, est le rapport entre le rendement récoltable et l'eau utilisée pour obtenir cette production par unité de surface (Bouaziz et Belabbes, 2002). Du point de vue agro-économique, l'efficacité est définie comme étant le

rapport entre la valeur monétaire de la production d'une unité de surface et le coût de l'eau d'irrigation nécessaire à la réalisation de cette production (ibid). Elle peut également être définie par rapport au volume d'eau apportée. En effet, ces derniers avaient démontré qu'il existe un grand écart entre les efficacités réelles et potentielles et avaient appelé à utiliser l'eau d'irrigation à bon escient à travers une meilleure valorisation technique, économique et sociale.

Le périmètre irrigué de Tadla se situe dans une zone caractérisée par un climat semi-aride où les principales précipitations se concentrent entre décembre et février. En été, les cultures reçoivent moins d'eau à cause de la rareté des ressources hydriques (Bouazzama et al, 2012). En outre, les superficies agricoles conduites en irrigation localisée sont passées de 3 015 ha en 2000, à 25 000 ha en 2012 (ORMVAT, 2016) en profitant de la disponibilité de l'eau de la nappe phréatique qui leur permet d'irriguer librement leurs cultures. Le présent travail vise à comprendre l'état actuel de la valorisation de l'eau dans le périmètre irrigué du Tadla. Pour ce, les systèmes de production agricoles du Tadla ont été caractérisés et un état des lieux de la valorisation de l'eau par les systèmes de culture et par les cultures elles-mêmes a été élaboré. Cette valorisation, concerne aussi bien le volet agronomique qu'économique.

Matériel et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude et questionnaire

L'étude a été réalisée dans la plaine de Tadla qui se situe à 200 km au Sud-Est de Casablanca et à une altitude moyenne de 400 m. Les enquêtes ont été réalisées pendant la campagne agricole 2015-2016 et ont porté sur 25 exploitations agricoles du périmètre irrigué du Tadla, essentiellement la zone de reconversion. Ces choix ont été portés sur la base de la typologie des exploitations de la région, que nous avons établie après traitements des données issues de l'enquête réalisée en 2014 par Akdim, dans le cadre de son Projet de Fin d'Etudes. Pour chacun de ces types, cinq exploitations agricoles ont été enquêtées dont 14 exploitations dans la zone de reconversion (CDA 536), qui se situe dans le périmètre de grande hydraulique (GH), et 11 exploitations dans la zone du piémont, qui est prédominée par les PMH. Concernant le statut foncier des terrains agricoles, 84 % des exploitations ont un statut foncier de type Melk, contre 4 % pour le type Domanial (domaine privé de l'Etat). Ceci correspond approximativement à la répartition à l'échelle de tout le périmètre.

Le questionnaire utilisé traite un certain nombre de questions réparties en trois grandes parties : identification de l'exploitation, l'exploitant, les systèmes de production en traitant divers aspects tels que la taille et le type de l'exploitation, niveau de formation et d'implication de l'exploitant dans la gestion des assolements pratiqués, mode de conduite et de gestion de l'irrigation et l'alimentation en eau de l'exploitation. Des fiches technico-économiques ont été remplies en complément du questionnaire de l'enquête. Elles ont permis de rapporter l'itinéraire technique et les charges des cultures des exploitations en traitant divers volets notamment l'installation des cultures, le suivi de leur croissance et développement, et la récolte. Pour chacun des points de ces différents volets, il a été renseigné l'époque, la fréquence, le mode, les fournitures en intrants, le matériel ainsi que la main d'œuvre utilisée selon la spécificité de chaque opération. Il s'agissait surtout de connaître les coûts occasionnés par ces opérations.

2. Classification Ascendante Hiérarchique

Le traitement des données a été réalisées selon une classification ascendante hiérarchique (CAH). Les variables considérées pour sa réalisation sont quantitatives et réparties en variables d'ordre générale comme la superficie possédée et superficie exploitée, des variables qui renseignent sur les systèmes de culture, telles que la superficie des céréales et la superficie des fourrages, et des variables qui renseignent sur l'élevage telles que les effectifs des bovins, des caprins et des ovins.

3. Besoins en eau des cultures

La méthode utilisée est celle proposée par la FAO, dans le bulletin N°56 (FAO, 1998). La formule se présente comme suit :

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Avec ET_c correspond à l'évapotranspiration de la culture (mm/jr), K_c est le coefficient cultural ; il varie en fonction de la culture et de son stade de croissance-développement, et ET_0 est l'évapotranspiration de référence (mm/jr), elle a été calculée sur la base de la formule de Penman-Monteith. Dans le cadre du présent travail, les données climatiques utilisées reviennent à la station météorologique d'Ouled Rahmoune.

4. Consommation en eau des cultures

La détermination de la quantité d'eau consommée par la culture dépend surtout du mode d'irrigation adoptée par l'agriculteur (Tableau 1). Lors des enquêtes, deux modes d'irrigation ont été identifiés, il s'agit du mode d'irrigation gravitaire et localisé.

Tableau 1. Consommation en eau selon le mode d'irrigation

	Dose brute (m ³ /ha)	Dose totale (m ³ /ha)	Taux de satisfaction (%)
Irrigation gravitaire	Db = N*T*d	Dt = Db + Pe	$T_s = \frac{D_t}{B_e} * 100$
Irrigation localisée	Db = d_g*N_g*t*f		

Avec : Db: dose brute d'eau apportée, N: Nombre total d'irrigation par cycle de culture, T: durée d'irrigation par hectare (h/ha), d: débit en m³/h, d_g: débit du goutteur en l/h, N_g: nombre de goutteurs par hectare, t: durée d'arrosage, f: fréquence d'irrigation, D_t: dose totale d'eau consommée par la culture durant son cycle en m³/ha, P_e: pluie efficace (P_e = 0,8 si P > 75 mm/mois et P_e = 0,6 si P < 75 mm/mois ; P étant la quantité de pluie tombée), T_s: Taux de satisfaction, B_e: besoin en eau de la culture.

5. Efficience d'utilisation de l'eau et sa valorisation économique

Dans cette étude, l'Efficienc e d'Utilisation de l'Eau (EUE) a été calculée en se basant sur la formule qui définit cette notion comme étant le rapport entre le rendement récoltable (Rdt) et l'eau utilisée (ETR) pour obtenir cette production par unité de surface.

La valorisation économique de l'eau peut se calculer en dirhams par mètre cube d'eau utilisée pendant tout le cycle de la culture ou en dirhams de produit par dirhams d'eau si les tarifs de l'eau sont connus et différents d'un mode d'irrigation à l'autre. Pour une valorisation de l'eau

calculée à partir de la marge brute, par exemple, la formule qui exprime le rapport entre la marge brute et le volume d'eau utilisée peut être adoptée (Bouaziz et Belabbes, 2002).

Pour le produit brut par hectare (PB) utilisé dans ce travail, il a été défini comme étant le rendement à l'hectare multiplié par le prix unitaire (PU). Par ailleurs, la valeur ajoutée par hectare (VA) est exprimée par le produit brut diminué des charges de fournitures (semences, engrais ...) et de matériels.

6. Outils de traitement et d'analyse des données

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée par logiciel R (version 3.2.2). Le tableur Excel a été utilisé pour la saisie, la mise en forme des données et les calculs préliminaires.

Résultats

1. Typologie des exploitations agricoles de la région et leur assolement

1.1. Typologie des exploitations

La classification ascendante hiérarchique a montré l'existence de cinq types d'exploitations agricoles (Tableau 2). Le premier type est celui des petites exploitations arboricoles de 6.8 ha en moyenne. Le deuxième type est celui des moyennes exploitations céréalières d'une superficie moyenne de 10.4 ha et dont 55 % sont des céréales. La troisième catégorie est celle des moyennes exploitations diversifiées en céréales, cultures maraîchères, betterave à sucre et cultures fourragères. Ainsi, les troupeaux de ces exploitations ne sont constitués que de bovins (3.8 têtes par exploitation en moyenne). Quant au quatrième type, il est constitué de grandes exploitations maraîchères qui pratiquent notamment la betterave à sucre (53 %) et les cultures maraîchères (44 %) et dont les ovins dominent les troupeaux avec 21.9 têtes en moyenne par exploitation. Pour le cinquième type, il est formé par des grandes exploitations arboricoles dont la superficie moyenne est d'ordre de 56.3 ha, et qui sont emblavées surtout par les agrumes (55 %), suivies par les céréales et les cultures maraîchères. En plus des cultures, les agriculteurs de ces exploitations pratiquent également de l'élevage avec des troupeaux à effectif élevé.

Tableau 2. Différents types d'exploitation agricole

	Types d'exploitation				
	1	2	3	4	5

SAU* moyenne	6.8	10.4	14.7	28.5	56.3
Céréaliculture (%)	23	55	9	0	22
Maraîchage (%)	12	4	17	44	19
Betterave à sucre (%)	0	4	10	53	0
Fourrages (%)	1	22	16	3	3
Arboriculture (%)	64	14	48	0	55
Légumineuses (%)	0	1	1	0	1
Bovins	1.3	0	3.8	2.5	9.7
Ovins	0	0	0	21.9	60
Caprins	0	0	0	0.5	23.3

*SAU : Surface Agricole Utile

1.2. Assolements

Une diversité culturelle importante caractérise la zone d'étude (Figure 1). Ainsi, les agrumes représentent plus de la moitié des superficies cultivées, suivies par la betterave à sucre et le blé dur avec respectivement 56%, 12% et 10%. Cette grande superficie des agrumes est due essentiellement à sa forte valeur ajoutée qui permet aux agriculteurs de générer un revenu important, et par conséquent, de grandes exploitations agricoles dans la zone d'étude sont à vocation agrumicole. En outre, la betterave à sucre occupe en moyenne une large superficie en raison de son important revenu et de l'assistance technique assurée par COSUMAR au profit des agriculteurs de la région.

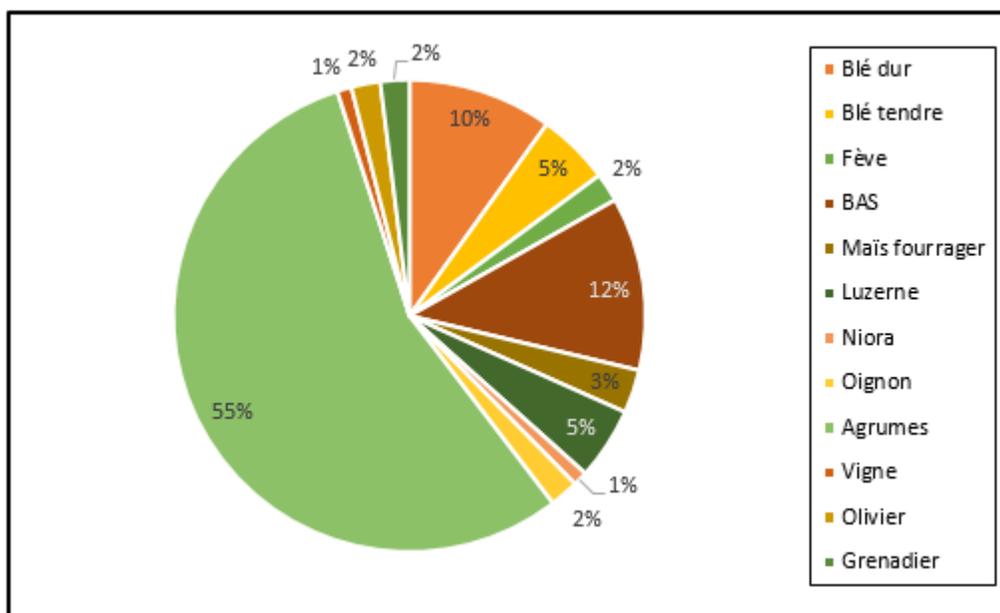


Figure 21. Répartition des superficies cultivées selon les cultures pratiquées durant la campagne 2015-2016 à l'échelle globale des exploitations enquêtées

1.3. Ressources en eau

Pour irriguer leurs cultures, les agriculteurs utilisent l'eau des forages en plus de l'eau de surface. La libéralisation des assolements et la disponibilité de l'eau dans la nappe phréatique étaient les principales causes qui ont encouragé les agriculteurs du périmètre irrigué de Tadla à utiliser de plus en plus les ressources en eau souterraine pour l'irrigation (Hammani et al, 2009). Pailleurs, 11/25 exploitants ont équipé leur SAU en goutte à goutte. De la même manière, 9/25 agriculteurs déclarent posséder un bassin de stockage d'eau dont les capacités varient de 16 000 m³ à 65 000 m³.

2. Valorisation de l'eau par les cultures

2.1. Consommation en eau des cultures et taux de satisfaction des besoins

Les calendriers d'irrigation ont été déduits à partir de déclarations des agriculteurs enquêtés. La consommation en eau de différentes cultures comparée à leurs ETM est représentée dans le tableau 3. Notons que le maïs ensilage irrigué par goutte à goutte, est la culture qui a reçu moins d'apports d'eau pendant cette campagne. Ainsi, les cultures de la luzerne et d'agrumes ont les besoins en eau les plus importants.

Tableau 3. Consommation en eau et taux de satisfaction des cultures

Cultures	Mode d'irrigation	Dose brute (mm)	Pe (mm)	Dose totales (mm)	ETM (mm)	Taux de satisfaction (%)
Agrumes	Gv*	1238	215	1454	835	174
	GG**	931	215	1146		137
Betterave à sucre	Gv	1015	192	1207	757	159
	GG	762	192	954		126
Blé dur	Gv	713	192	905	730	124
	GG	430	192	622		85
Blé tendre	Gv	605	192	797	730	109

	GG	451	192	643		88
Haricot vert	GG	300	38	338	394	86
Luzerne	Gv	1140	215	1356	976	139
	GG	800	215	1015		104
Maïs fourrager	GG	300	17	317	595	53
Niora	GG	450	38	488	588	83
Oignon	Gv	396	11	407	467	87
olivier	GG	800	215	1015	802	127

*Gv : Gravitaire, **GG : Goutte à Goutte

Quant aux volumes d'eau apportés en mode d'irrigation gravitaire, ils dépassent ceux apportés en localisé. Néanmoins, ceci est suffisamment logique étant donné les différences notables entre ces deux modes d'irrigation : le gravitaire étant celui à doses élevées et à fréquences faibles tandis que le localisé consiste à l'application de petite doses d'eau au voisinage immédiat de la zone racinaire à des fréquences élevées. Il s'est avéré qu'une certaine économie d'eau est assurée en irrigant les parcelles par goutte à goutte. Egalement, plusieurs études ont montré que le passage de l'irrigation de surface à l'irrigation localisée permet d'améliorer le rendement des cultures. Par conséquent, le revenu des agriculteurs peut augmenter en adoptant cette technique d'irrigation. Le calcul des taux de satisfaction a montré que les volumes d'eau apportés en mode d'irrigation gravitaire dépassent de loin ceux apportés en localisé et que, pour certaines cultures, les doses dépassent les besoins pour les deux modes d'irrigation confondus. Ces apports excessives d'eau d'irrigation, notamment en mode d'irrigation localisé, peuvent être expliqués par le grand nombre d'agriculteurs de la zone de reconversion collective qui ne maîtrisent pas encore la technique du goutte à goutte. Par ailleurs, étant certaines cultures comme les agrumes ont une forte valeur ajoutée, les agriculteurs ont tendance à irriguer abondamment de manière à éviter les risques de sous-production.

2.2. Rendements des cultures

D'une manière globale et pour la même culture, les rendements obtenus sous irrigation localisée dépassent ceux obtenus en irrigation gravitaire (Figure 2). Ceci traduit l'efficacité de l'irrigation localisée comparée à celle obtenus par le gravitaire étant donné que l'eau est apportée au voisinage immédiat de la zone racinaire avec les engrais qui y sont dissous. Aussi, les agriculteurs peuvent irriguer au besoin contrairement au système gravitaire où ils doivent attendre

leur tour d'eau. Cet écart d'efficiences enregistrées pour les deux modes d'irrigation, est plus important pour les agrumes, la betterave à sucre et la luzerne, de l'ordre d'une vingtaine de tonnes par hectare. Sous irrigation localisée, ces cultures ont donné comme rendement 70.4, 84.5 et 77 T/ha respectivement pour les agrumes, la betterave à sucre et la luzerne, alors qu'en irrigation gravitaire, les rendements enregistrés pour les mêmes cultures sont 53, 68 et 45 T/ha respectivement.

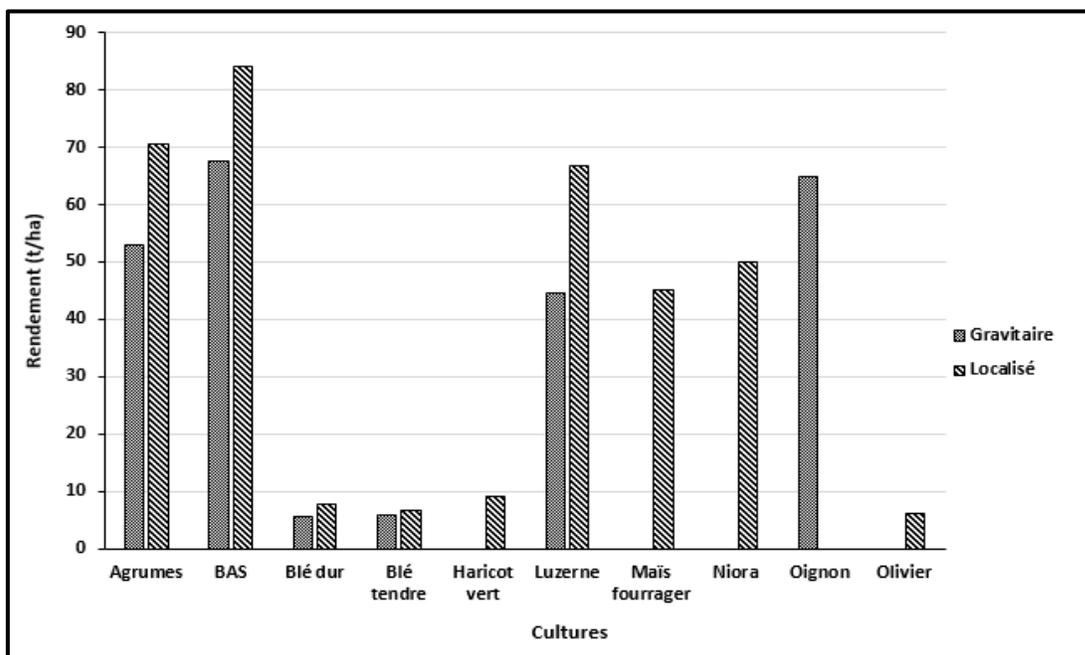


Figure 22. Rendements des cultures selon le mode d'irrigation adopté

En effet, COSUMAR apporte une assistance importante aux agriculteurs pour la conduite de leur betterave à sucre. Dans ce cadre, ils utilisent non seulement les pesticides et les engrais qu'il faut, mais aussi quand il le faut. Notons aussi qu'en irrigation localisée, les rendements des agrumes, de la betterave à sucre, des céréales (blé dur et blé tendre), de la luzerne, du maïs fourrager et de la niora dépassent les moyennes régionales.

2.3. Valeur ajoutée des cultures

Quant aux valeurs ajoutées des cultures, on constate les mêmes tendances que celles des rendements (Figure 3). Ainsi, deux catégories peuvent être distinguées : une première dont les valeurs ajoutées sont importantes et qui englobe l'ensemble des cultures des agrumes, oignon, niora et la luzerne. La deuxième catégorie est caractérisée par des valeurs ajoutées faibles des

cultures de blé dur et blé tendre, betterave à sucre, haricot vert, maïs fourrager et olivier. La valeur ajoutée varie non seulement en fonction de la culture, mais aussi du mode d'irrigation. Après l'oignon ayant une marge brute de 91 300 Dh/ha, les agrumes constituent les cultures à plus forte valeur ajoutée plafonnant à 58 000 Dh/ha pour le gravitaire et 83 500 Dh/ha pour le localisé. Ils sont suivis par la niora avec 69 400 Dh/ha en localisé et la luzerne avec une valeur de 42 900 Dh/ha en gravitaire et 68 500 Dh/ha en localisé. Notons aussi que les prix utilisés sont ceux rencontrés cette année au niveau du marché local, et par conséquent, surtout pour l'oignon dont les prix sont parfois sujets à de fortes fluctuations, ces tendances peuvent ne pas valoir pour un autre lieu et/ou pendant une autre campagne.

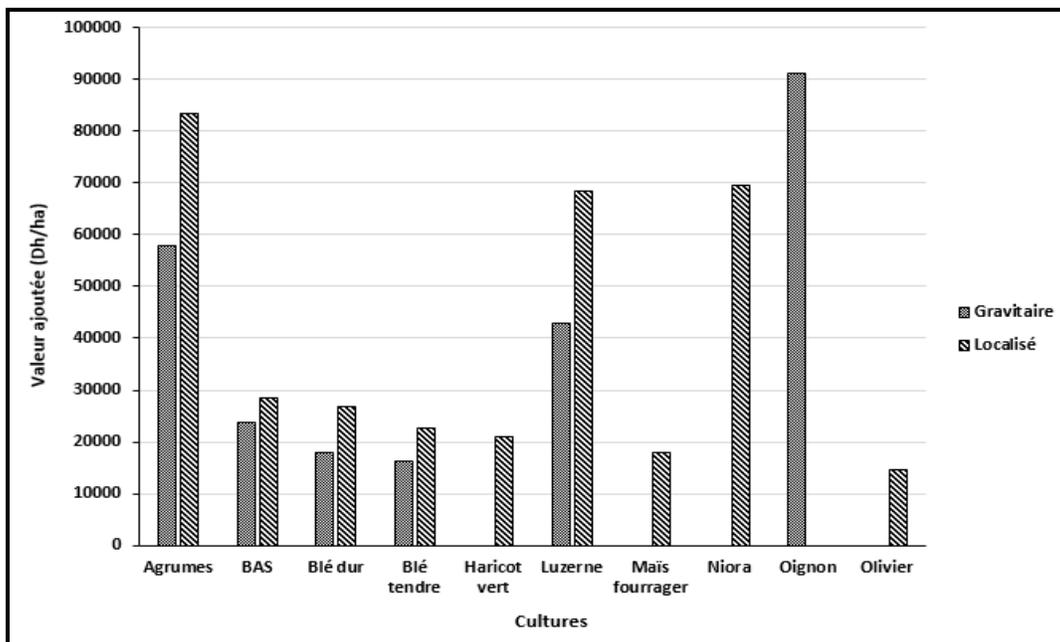


Figure 23. Valeur ajoutée des cultures, selon les modes d'irrigation gravitaire et localisé

2.4. Efficience d'utilisation de l'eau et valorisation économique de l'eau par les cultures

L'efficience d'utilisation de l'eau (EUE) varie énormément d'une culture à une autre et d'un mode d'irrigation à un autre (Tableau 4). Ainsi, elle évolue de 0.7 kg/m³ pour l'olivier en localisé à 19.1 kg/m³ pour l'oignon qui, par la même occasion se pose en culture valorisant mieux l'eau d'irrigation en termes de rendement récoltable.

En effet, les efficacités d'utilisation de l'eau (EUE) sont en parfaite adéquation avec l'évolution des niveaux de rendement obtenus pour les cultures. L'efficacité d'utilisation d'eau en mode d'irrigation localisé dépasse celle obtenue en irrigation gravitaire.

Tableau 4. Valorisation agronomique et économique de l'eau par les cultures

Cultures	Agrumes		Betterave à sucre		Blé dur		Blé tendre		Haricot vert	Luzerne		Mais fourrager	Niora	Oignon	Olivier
	Gv*	GG	Gv	GG	Gv	GG	Gv	GG	GG	Gv	GG	GG	GG	Gv	GG**
EUE (kg/m ³)	4.3	7.8	6.6	11.0	0.8	1.8	0.9	1.7	3.0	3.9	8.3	14.9	11.0	19.1	0.7
Valorisation économique (Dh/m ³)	4.7	9.4	2.4	3.8	2.5	6.1	2.7	6.0	7.1	3.8	8.8	6.1	15.4	34.3	1.8

*: gravitaire, **: goutte à goutte

Les valeurs de la valorisation économique sont plus élevées chez les cultures irriguées par goutte à goutte. Ainsi, elles varient de 1.8 Dh/m³ pour l'olivier à 34.3 Dh/m³ pour l'oignon. Cette forte variabilité peut s'expliquer par les niveaux de rendements et les doses d'eau qui se diffèrent d'une culture à une autre et d'un mode d'irrigation à un autre. Par ailleurs, les cultures n'ont pas la même valeur marchande, et les itinéraires techniques étant différents d'une culture à une autre, il va de soi que les cultures ne supportent pas les mêmes charges et par conséquent, n'aient pas le même niveau de valeur ajoutée.

L'oignon a la plus grande valeur de valorisation économique, surtout, parce qu'elle a relativement, consommé moins d'eau que les autres cultures (Tableau 4).

3. Valorisation de l'eau par les systèmes de cultures

Après l'énumération des différentes successions culturales pratiquées par les agriculteurs, une détermination pour chacune de ces combinaisons, en moyenne annuelle, des marges brutes

dégagées ainsi que de la valorisation économique de l'eau a été réalisée (Tableau 5). En effet, les combinaisons incluant l'oignon donnent les plus importants niveaux de valeur ajoutée et de valorisation économique de l'eau d'irrigation.

Les systèmes de cultures incluant l'oignon ont enregistré les plus grandes valeurs de la valorisation de l'eau d'irrigation avec 26.7 Dh/m³, 26.6 Dh/m³ et 26.1 Dh/m³ pour le système de blé dur-oignon, blé tendre-oignon et betterave-oignon, respectivement. Ils sont suivis par les systèmes basés sur la niora : 9.3 Dh/m³ pour betterave à sucre-niora, et 7.9 Dh/m³ pour blé-niora. Enfin, on retrouve les systèmes blé dur- betterave à sucre (3,7 Dh/m³) et blé tendre–betterave à sucre (3,6 Dh/m³).

Tableau 5. Valeur ajoutée et valorisation économique des systèmes de culture selon les successions culturales pratiquées

Systèmes de culture	Arboriculture	Luzerne	Blé dur-BAS*	Blé tendre-BAS	Blé dur-oignon	Blé tendre - oignon	Blé-haricot vert	Blé-mais	Blé-niora	BAS-oignon	BAS-niora
Valeur ajoutée (Dh/ha)	42736	55659	24181	22883	56682	55384	20929	19914	36999	58781	47854
Valorisation économique (Dh/m ³)	4.5	6.3	3.7	3.6	26.7	26.6	5.1	5.6	7.9	26.1	9.3

*: Betterave à sucre

Sur l'ensemble des exploitations enquêtées, seulement une seule association de cultures a été rencontrée. Il s'agit de l'association du blé dur et d'olivier. Ainsi, ces cultures associées permettent une bonne valorisation de l'eau qui peut dépasser ainsi les monocultures telles que le haricot vert ou encore le blé et l'olivier eux-mêmes.

Discussion

Dans cette étude, il a été montré que l'efficacité d'utilisation de l'eau (EUE) varie selon les cultures, les systèmes de cultures et le mode d'irrigation. En irrigation par goutte à goutte, elle est de 8.3, 14.9 et 11 kg/m³ pour la luzerne, le maïs fourrager et la niora, respectivement. Pour la culture d'oignon sous irrigation gravitaire, l'EUE enregistrée est de l'ordre de 19.1 kg/m³. Il s'est avéré que la culture d'oignon est la plus valorisante de l'eau d'irrigation par rapport aux autres cultures étudiées. Cela est dû essentiellement aux faibles doses d'eau apportée et au prix unitaire de ce produit. Par ailleurs, les valeurs les plus faibles de l'EUE sont enregistrées pour la culture de blé sous irrigation gravitaire. Sous irrigation localisée, l'EUE est 1.8 et 1.7 kg/m³ pour le blé dur et blé tendre respectivement. Les résultats obtenus dans cette étude confirment, dans l'ensemble, ceux trouvés dans plusieurs études antérieures. En 2014, Akdim a montré dans son étude que l'efficacité d'utilisation de l'eau par la culture du blé est de l'ordre de 1 kg/m³. Malgré que le périmètre irrigué du Tadla se caractérise par un climat semi-aride, où les ressources en eau d'irrigation sont en baisse continue, les agriculteurs irriguent de façon excessive les céréales, jusqu'à 9.000 m³/ha durant la saison agricole (Boutfirass et al, 2011). Les rendements sont pourtant faibles par rapport au potentiel, d'en moyenne 4 T/ha.

Une variabilité de la valorisation de l'eau par les cultures d'un périmètre irrigué à l'autre et d'une culture à l'autre ont été notées par Bouaziz et Belabbes (2002). Ainsi, la valeur ajoutée moyenne de l'eau était de 1.7 Dh/m³ et seuls les primeurs et les cultures arboricoles permettaient d'atteindre des valeurs de 22 Dh/m³. Les autres cultures n'excèdent guère 3 Dh/m³. Quant à Moughli et Benjelloun (2002), ils ont rapporté que les niveaux de consommation d'eau dans les périmètres irrigués du Maroc, variaient de 3 000 m³ pour le blé à 16 000 m³ pour la luzerne. Ils ont conclu aussi que seuls les primeurs permettaient des niveaux de valorisation dépassant 3 Dh/m³. En outre, il existe un important gap de rendements à rattraper pour les différentes cultures à travers la maîtrise de l'irrigation et d'autres opérations de l'itinéraire technique des cultures. Akdim (2014) a souligné que les agrumes valorisent mieux l'eau d'irrigation avec une moyenne de 8 Dh/m³. Hammani et al (2009) ont conclu que le coût du m³ pompé variait de 0,4 à 0,54 Dh. Aussi, les volumes d'eau apportés à la luzerne, au maïs fourrager et au bersim ont été de 16 750, 4 956 et 5 700 m³/ha pour des efficacités agronomiques en matière sèche de 0.6, 1.9 et 0.8 kg MS/ha, respectivement. Par ailleurs, une certaine variabilité est constatée chez les agriculteurs en

termes d'efficacités économiques de l'eau. Elles sont en moyenne de 0.16, 1.89 et 0.37 Dh/m³ respectivement pour la luzerne, le maïs fourrager et le bersim (Hammani et al, 2009).

L'efficacités d'utilisation de l'eau par les systèmes de culture incluant l'oignon donnent les plus importants niveaux de valeur ajoutée et de valorisation économique de l'eau d'irrigation, tandis qu'en 2014, Akdim a trouvé que les systèmes des agrumes et tomate-maïs fourrager ont enregistré la meilleure valorisation économique de l'eau à hauteur de 8 et 7.5 Dh/m³ respectivement. Cette différence peut être expliquée par la variabilité des prix unitaires de ces produits d'une année à une autre, et d'une zone à autre. Concernant la valorisation de l'eau par la production animale en incluant les niveaux de valorisation des cultures fourragères, Sraïri et al. (2008) ont souligné qu'au Tadla, il fallait en moyenne 1.5 m³ d'eau par kg de lait et 42 m³ d'eau par kg de poids vif bovin.

Conclusion

Les principales conclusions de la présente étude peuvent être résumées comme suit :

- Cinq types d'exploitations agricoles étaient dégagées au niveau de la zone d'étude à Tadla, et que sont : les petites exploitations arboricoles, les grandes exploitations arboricoles, les moyennes exploitations céréalières, les moyennes exploitations diversifiées, les grandes exploitations maraîchères.
- Une grande variabilité des doses d'irrigation apportées aux différentes cultures a été observée chez les agriculteurs. Pour la majorité des cultures pratiquées, et pour les deux modes d'irrigation (gravitaire et localisé), le taux de satisfaction dépasse 100 %. Ces apports excessifs d'eau d'irrigation peuvent être traduits par une non maîtrise des techniques d'irrigation, surtout l'irrigation localisée qui peut assurer une certaine économie de l'eau. A cause de la forte valeur ajoutée de certaines cultures comme les agrumes, les agriculteurs sur-irriguent leurs parcelles afin d'éviter le risque de sous production.
- La valorisation économique de l'eau, tout comme l'efficacités d'utilisation de l'eau, est très variable selon les cultures, le mode d'irrigation et les systèmes de culture. Ainsi, le prix unitaire de différents produits est susceptible d'être changé d'une année à l'autre et d'une région à l'autre, chose qui peut modifier les valeurs de la valorisation économique de l'eau par les systèmes de cultures et les cultures elles-mêmes. Pour la campagne agricole 2015-

2016, la culture d'oignon, irrigué par gravitaire, semble être la plus intéressante en termes de valorisation agronomique et économique de l'eau d'irrigation.

- Les systèmes de cultures incluant la culture d'oignon permettent une meilleure valorisation agronomique et économique de l'eau d'irrigation. Les systèmes blé tendre-oignon, blé dur-oignon et betterave à sucre-oignon ont enregistré les plus grandes valeurs de valorisation économique qui sont 26.6, 26.7 et 26.1 Dh/m³ respectivement.

Les résultats de ce travail concernent, certes, un nombre limité d'exploitations agricoles. Pourtant, cela n'empêche pas l'intérêt de déterminer l'état actuel de la valorisation agronomique et économique de l'eau par les systèmes de cultures et les cultures elles-mêmes dans le périmètre irrigué de Tadla.

Le présent travail a permis d'obtenir des résultats encourageants qui peuvent être approfondis et confirmés sur un nombre plus large d'exploitations agricoles en assurant un certain suivi et mesures régulières sur la parcelle et d'appliquer des techniques plus efficaces en termes d'utilisation de l'eau d'irrigation telle que l'irrigation déficitaire.

Références

Abdel-Dayem S, McDonnell R., 2012. Water and food security in the Arab region. In: Choukr-Allah R, Ragab R, Rodriguez-Clemente R (eds) Integrated water resources management in the Mediterranean region. Springer Netherlands, pp 285-300.

Akdim, K., 2014. Systèmes de culture et valorisation de l'eau d'irrigation dans le bassin versant d'Oum Rbia (Région de Tadla-Azilal), IAV Hassan II, Rabat: Projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie.

Belghiti M., 2004. Valorisation de l'eau et tarification dans les périmètres de "grande hydraulique" au Maroc, Actes du séminaire : Modernisation de l'Agriculture Irriguée, www.wademed.net, 14 p.

Bouaziz, A., Belabbes, K., 2002. Efficience productive de l'eau en irrigué au Maroc. Homme Terre et Eau, pp. 57-74.

Bouaziz, A., Badraoui M., Agbani M & Darfaoui M., 2004. Valorisation agronomique de l'eau dans les périmètres d'épandage de crue au Sud du Maroc. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée.

Bouazzama B., Xanthoulis D., Bouaziz A., Ruelle P. & Mailhol J-C., 2012. Effect of water stress on growth, water consumption and yield of silage maize under flood irrigation in a semi-arid climate of Tadla (Morocco). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*. Presses Agronomiques de Gembloux, 16 (4), 10 p.

Boutfirass M., Karrou M., Bahri A., Oweis T., Benli B., 2011. Improving water productivity in the Tadla region of Morocco. In: Karrou, M., Oweis, T. and Bahri, A. (eds). Improving water and land productivities in rainfed systems. Community-Based Optimization of the Management of Scarce Water Resources in Agriculture in CWANA. Report no. 8. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. vi + 170 pp.

Doorenbos J.& Kassam A.H., 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No. 33. Roma: FAO.

FAO, 1998. Irrigation and drainage paper No.56 - Crop evapotranspiration, Rome: s.n.

Hammani A., El Masri A., Bouaziz A., Kuper M. 2009. Valorisation de l'eau souterraine par les cultures fourragères dans le périmètre irrigué du Tadla, Maroc. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie.

Kambou, D., Xanthoulis, D., Ouattara, K. & Degré, A., 2014. Concepts d'efficience et de productivité de l'eau (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 18(1), pp. 108-120.

Moughli, E. & Benjelloun, T. M., 2000. Valorisation de l'eau d'irrigation par les productions végétales dans les grands périmètres irrigués au Maroc. *Hommes Terres et Eaux*, Issue 116, pp. 30-38.

ORMVAT, 2016. Monographie de la plaine du Tadla, Fquih Ben Saleh: s.n.

Sraïri, M. T. et al., 2008. Valorisation de l'eau d'irrigation par l'élevage bovin laitier dans le périmètre du Tadla, Maroc. Nabeul, M. Kuper, A. Zaïri. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du troisième atelier régional du projet Sirma.

Evaluating a gravity-flow irrigation district to improve water and land productivity : case study of Lis Valley, Portugal, JOSÉ M. GONÇALVES^{1,4*}, MANUEL NUNES¹, RUI EUGÉNIO², SUSANA FERREIRA¹, CARMEN RECONDO⁵, HENRIQUE DAMÁSIO², MARGARIDA TEIXEIRA³, MADALENA GONÇALVES³, FÁTIMA OLIVEIRA¹

1. Instituto Politécnico de Coimbra, Escola Superior Agrária de Coimbra, Coimbra, Portugal, jmmg@esac.pt*, mnunes@esac.pt, susana.ferreira@esac.pt, foliveira@esac.pt
2. Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Lis, Leiria, Portugal, eugenio-rui@sapo.pt, hdamasio71@gmail.com
3. Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, Portugal, margarida.teixeira@drapc.gov.pt, madalena.goncalves@drapc.gov.pt
4. LEAF - Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Institute of Agronomy, University of Lisbon, Tapada da Ajuda, Lisbon, Portugal
5. Remote Sensing Applications (RSApps) Research Group & Institute of Natural Resources and Territorial Planning (INDUROT), University of Oviedo. Campus de Mieres, Asturias, Spain, mdrecondo@uniovi.es,

* Corresponding author.

ABSTRACT

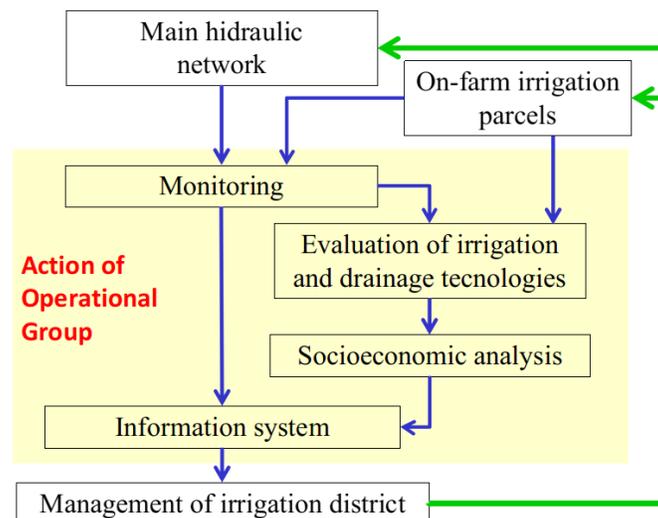
This paper presents the results of a research in progress Operational Group project integrated on the European Innovation Partnership for Agricultural Productivity and Sustainability. Its main objective is to improve the irrigation water management of Lis Valley Irrigation District through the innovation of the management process, aiming the natural resources conservation and a sustainable social and economical agricultural development. It has a gravity fed conveyance system supplied by Lis river and its tributaries, recharged by water pumping from rivers and drainage ditches. The Operational Group project has an experimental workplan focused on the monitoring of the collective supply network that includes the operative assessment and the inflow measurement of the district management sectors supply discharge, and the evaluation of the irrigated areas, agricultural and irrigation practices to identify water management problems and its feasible solutions. On-farm management is evaluated on experimental fields set in private farmers, considering sprinkler and microirrigation of vegetables, surface or sprinkler irrigation with fodder corn and permanent pastures, paddy rice, and drip irrigation of apple fruits. The water balance method was applied in 2018 in the control sectors, being the gross depths between 6470 and 9220 m³/ha, with an average of 7400 m³/ha, and the overall system efficiency between 53% and 72%, with an average of 69%. The pumping irrigation allocation recharge was 9,3% of total irrigation. The water quality analysis allowed to identify some risk situations regarding salinization and microbiological issues, justifying action to solve or mitigate the problems, especially at the level of the farmer's fields, according to the crops and the irrigation systems. The technological innovation is an element of the modernization of irrigation district which justifies the development of multiples efforts and synergies among stakeholders, namely farmers, water users association and the researchers, and which makes the integration of information to support the management a determinative target.

Keywords : Innovation, Operational Groups, EPI-AGRI, Lis Valley, gravity-flow irrigation district, irrigation water saving, irrigation modernization

1. INTRODUCTION

Irrigation districts with gravity fed and conveyance canals have specific operative and water distribution characteristics. The management becomes complex when water flow is manually controlled, appealing active participation of farmers in the establishment of calendars and irrigation times to achieve equitable water partition by on-farm fields. Management is hampered in water running systems without upstream reservoirs that ensure the availability of inlet flows, requiring a greater flexibility of distribution on the collective conveyance. In addition, the possibility of reuse of water from the drainage ditches allows to mitigate the shortage situations and to improve overall utilization the equity in distribution and the respective water productivity. Under these conditions, these systems require a highly interactive management approach between the water users association and the farmer beneficiaries themselves (Playán et al., 2018). The rational management of a collective irrigation should be based on an information system, with data collection based on field monitoring, that provides key data such as irrigation water volumes demanded and supplied, energy consumed on irrigation and drainage, costs of maintaining and conserving infrastructure, cultivated crops and applied irrigation systems.

The entrepreneurial competitiveness of the Portuguese agriculture depends heavily on irrigation (Silva, 2018), a situation evidenced by the Value of Standard Production of more than 5000 euros/ha in irrigation and only 800 euros/ha in the rainfed agriculture (INE, 2017). Irrigation competitiveness results from increased land productivity and control of the effects of climatic variability, but also from the possibility of producing crops with higher added value, such as horticultural crops. The development of modern water management systems (conservation, storage, irrigation and drainage) allows for environmentally and economically sustainable solutions (Backeberg, 2014). Technological innovations, namely on management process, tend to emerge in response to water scarcity, soil constraints, climate change and also new economic opportunities (Lenton, 2014). On one hand, consumer demand for food products is changing for economic reasons or for the perception of sustainability issues related to production.



On the other hand, water management requires the modernization of systems compatible with the overall development of the economy.

Figure 1. Information flowchart of LVID Operational Group Project

This paper presents the LVID case study, namely the results of the Operational Group Project for Water Management in the Lis Valley (RRN, 2019; Oliveira et al., 2019). It aims the improvement of water planning and irrigation management to achieve a sustainable modernization of LVID and its rural development. The overall objective of this project is the improvement of the water use and productivity, as a result of monitorization and field evaluation, integrating the several system components and irrigation district decision-makers (Fig. 1). The

specific objectives are the improvement of planning and management of the collective water distribution, the reduction of energy costs in pumping stations, and the improvement of the on-farm irrigation and drainage practices. This paper presents results obtained relative to water monitoring and irrigation management, particularly during the 2018 season.

2. METHODS

2.1 Characterization of the Lis Valley Irrigation District

LVID is a state initiative project, located in the Center of Portugal, belonging to the counties of Leiria and Marinha Grande (Fig. 2), and managed by the Water Users Association (WUA). It has a total area of about 2000 ha, and its irrigation and drainage systems date back to 1957. The soils are mainly modern alluvial soils of high agricultural quality, but some are subject to poor drainage. The hydraulic infrastructures have the objectives of field drainage defense through slope collectors and valley ditches, and irrigation water supply through several small temporary reservoirs from the Lis River and its tributaries (Fig. 3).



Figure 2. Location of the Lis Valley Irrigation District.

The Perimeter is structured in seven hydraulic blocks designed according to the logic of the drainage network. The irrigation network comprises 17 weirs and 15 pumping stations, collecting water from the Lis, tributaries and drainage ditches, running by water through a gravity

network with channels water conduction. The length of the primary irrigation networks is of about 44,5 km, and the secondary irrigation network consists of 180 km of small lined or earthen channels. In terms of water distribution, the most important problems are the water shortage and poor water quality in the summer (dry) period, and the absence of automation mechanisms to control water levels in the network channels, leading to malfunctions and a high labor load. Under the national rural development program, modernization works are planned to transform the water distribution network of the sub-perimeter I (downstream area, vd. Fig. 2), which will stimulate agricultural development (MAM-GPP, 2014).

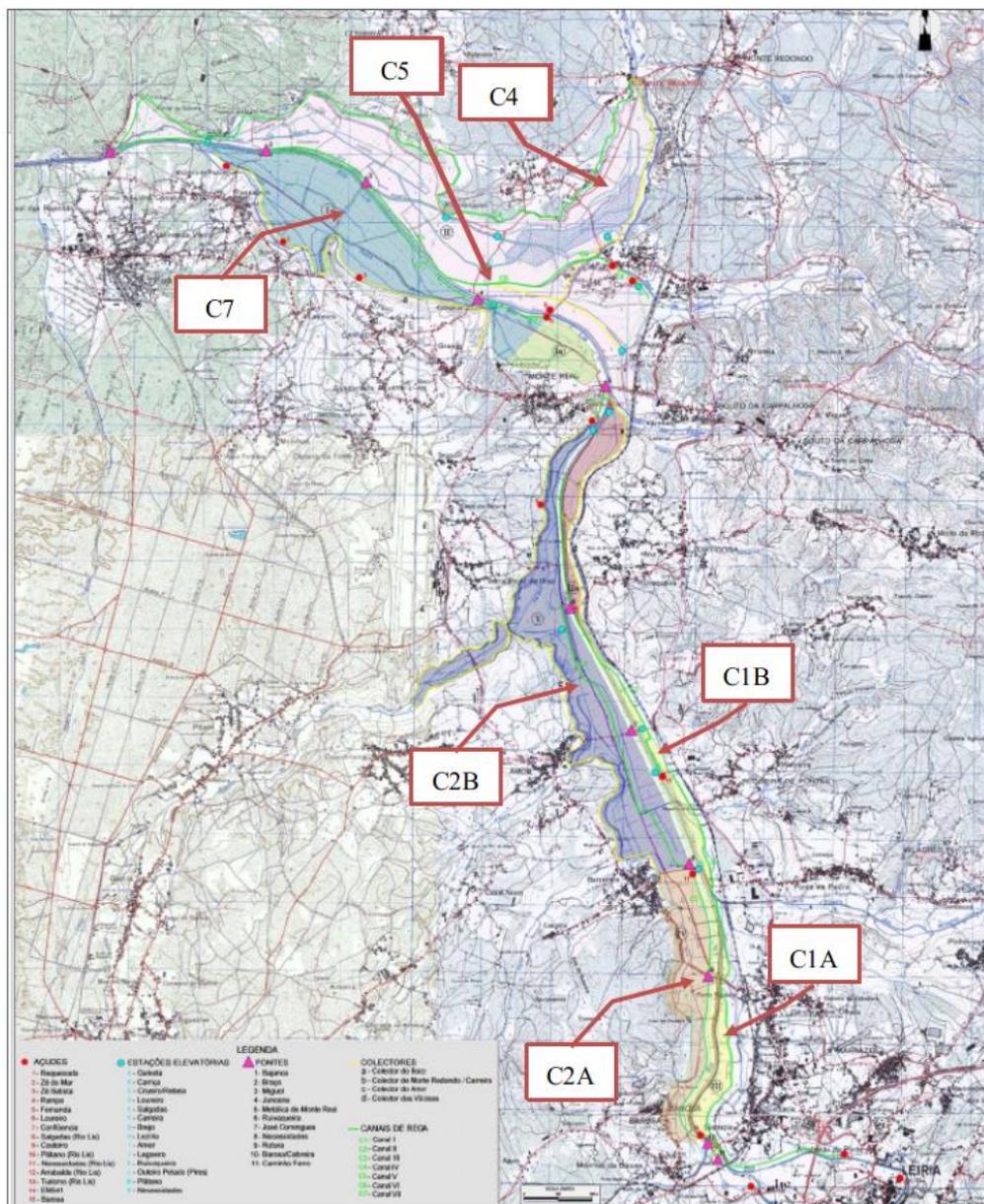


Figure 3. Lis Valley Irrigation District and MCS location (from COBA, 2001).

The structure of the on-farm parcels property is described on Tables 1 and 2, based on a field survey developed by Ferreira et al. (2019). It is characterized by a majority of small parcels, with an average of 0,20 ha, being this aspect an effective constrain to the agriculture sustainability and development. To solve this problem, the reparceling of the fields was projected on the past (COBA, 2001), although it was not implemented. However, in several parts of the irrigation district, the process of aggregation of the parcels was done by farmers, through the leasing of the properties.

Table 1. Indicators of the structure of the parcels property of LVID

Indicators of the structure of the parcels property	Value
Total area of parcels	2136 ha
Number of parcels	10639
Number of owners	3359
Number of parcels per owner	3,16
Average area per owner (ha)	0,635 ha/owner
Average parcel area (ha)	0,200 ha/parcel

Table 2. Number of parcels and area classes distribution

Area classes (ha)	Number of parcels	%
<0,1	4157	39,1
0,1 – 0,5	5909	55,5
0,5 – 1	402	3,78
1 - 5	163	1,53
5 - 20	6	0,06
>20	2	0,02
Total	10639	100

The on-farm assessment of irrigation and drainage practices is of great importance when regarding the general improvement of an irrigation district scale (Replogle and Kruse, 2007). The dominant irrigation technology in LVID is the surface irrigation (Walker and Skogerboe, 1987), by graded furrow or by flooding level basins, applied essentially to fodder maize and permanent pastures. In some cases, it is characterized by a poor land leveling and water distribution by unlined channel, resulting in reduced efficiency; however, the laser precision leveling is applied in the larger fields, which allows a great efficiency improvement (Pereira and Gonçalves, 2018). Pressure systems are becoming of great importance with autonomous pumping. Examples are the

drip or microsprinkler, which is the most representative, used for fruit plants, horticultural and nurseries, and sprinkler systems, including pivots, used for corn, meadows and horticulture. (Martin et al. 2007; Evans et al., 2007). The drainage system works on the surface, through the levelling of the ground and the use of open drains, which lead the water to the collective main drainage network (King and Willardson, 2007).

2.2 Monitoring procedures

The monitoring methodology of collective irrigation systems included the observations of operative practices and the measuring of supply discharges, to evaluate the water derived for irrigation and the energy consumed on pumping stations. The Management and Control Sectors (MCS), mapped in Fig. 3, correspond to the irrigation area supplied by a main canal. This study considered seven MCS, which total area is 1639 ha and the irrigated area 1236 ha. The cultivated crop pattern is presented in Table 3 (2018 data). Pastures are dominant in C1A and C7, rice is significant in C5, and maize prevails in C2A, C2B, C4 and C5. The remaining area excluded from this analysis for operational reasons, corresponds to marginal areas where, in general, the distribution of water is made directly by farmers, without a significant WUA intervention.

MCSs are applied for water volume balance, being the affluence subject of discharge measurement. For this purpose, it has been applied the canal section-velocity method, where the point velocities were measured with an electro-magnetic current meter, brand Valeport, model EM flow meter model 801 flat, about once a week, allowing the determination of 10 days time base of MCS inflow volume. Some MCSs have the complementary inflow from pumping stations. These field measurements follow the procedures presented by Lencastre (1983) and Repogle et al. (1990).

Table 3. MCS irrigated area and crop pattern (2018 data)

SMC	C1A	C1B	C2A	C2B	C4	C5	C7	Total
Blocs	III	III, IIs	IV	V	II	II	I	
Total area, ha	175,6	104,4	189,7	286,2	418,4	207,6	257,1	1639
Irrigated area, ha	114,2	82,8	159,5	214,7	292,8	166,1	205,7	1236
Irrigated area, %	65	80	85	75	70	80	80	75
Maize	20%	18%	43%	33%	61%	60%	9%	38,4%
Pastures	48%	30%	7%	24%	29%	10%	77%	32,6%
Horticulture	5%	13%	14%	11%	4%	0	0	6,0%
Rice	0	5%	0	15%	5%	30%	1%	8,3%

Vineyard	20%	13%	15%	15%	0	0	0	7,3%
Fruits	6%	19%	20%	0	0	0	10%	6,1%

To determine the water demand during the irrigation season - between May and October -, 10-day (decade) meteorological data (ET_0 =reference evapotranspiration, and P =precipitation) were obtained from the Portuguese Institute of the Sea and Atmosphere (www.ipma.pt), regarding the Leiria site. The crop water requirements were calculated based on the soil water balance method by applying the crop area per SMCs presented on Table 3, and the crop coefficients (K_c) were estimated based on Allen et al. (1998).

The following formulas relative to each MCS were applied :

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (1)$$

$$NID = ET_c - P, \text{ if } ET_c > P; \text{ otherwise is null} \quad (2)$$

$$TIA = GIA + PIA \quad (3)$$

$$GIE = NID / TIA \quad (4)$$

Being NID =Net Irrigation Demand, assessed from evapotranspiration deficit; TIA =Total Allocation; GIA =Gravity Allocation; PIA =Pumping Allocation; GIE =Global Efficiency.

Table 4 - Characteristics of Experimental Parcels

Experimental Parcel	Area (ha)	Crop system	Irrigation method	Fertilization	Monitoring
Is.1	5,46	d	MG	FQ	A,E,F
II.1	1,74	a	SS	QC, EB	E
II.2	3,37	c	SA	QC	A,D,E,F
II.3	3,84	b	SE	NA	F
II.4	7,93	a	AR	EO, FQ,CR	B
III.1	10,87	e	SE/AE/MG	QC	A,B,E
IV.1	3,35	a	AS	QC, EA	A,B,E
V.1	2,76	e	SE/AE	QC	A,B,E
<p>Crop system: a. maize & pasture; b. pasture & cereal c. rice; d. fruits; e. horticultural</p> <p>Irrigation method: SA-flooding; SE-border; SS-furrows; AF-solid-set sprinkler; AE-move-gun sprinkler; AR-pivot sprinkler; MG-microirrigation.</p> <p>Monitoring: A. groundwater level; B. Soil fertilization; C. Soil moisture; D. irrigation management; E. water quality and drainage; F. Crop productivity and quality.</p> <p>Fertilization method: NA. None; QC. Chemical conventional; FQ. Chemical Fertigation; CR. Fertigation with liquid manure; EA. Solid poultry manure; EB. Solid cow manure; EO. Other type.</p>					

The on-farm irrigation evaluation was carried out on Experimental Parcels, selected on farmer's fields, mapped in Fig. 5, according to the type of soil, crops, production technologies and irrigation methods. The main characteristics are presented in Table 4. The methodology applied followed Merriam and Keller (1978), Burt et al. (1997) and Pereira et al. (2012). It included the soil water content measured using a TDR probe, the irrigation applied depths, the field distribution uniformity, the soil fertility, the water table depth, and crop productivity.

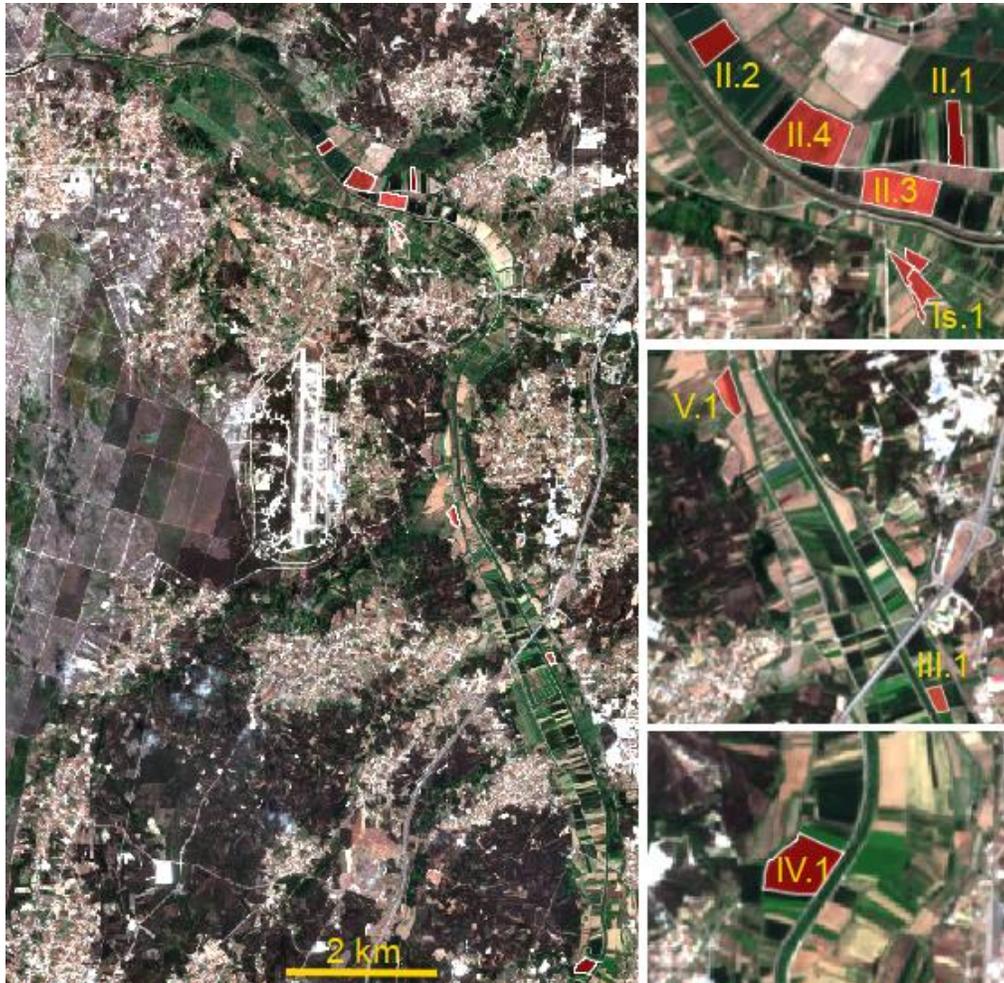


Figure 4. Location of Experimental Parcels. RGB=432 composition of the Sentinel-2 image of 14 July, 2019. The eight experimental parcels have been superimposed in red color (at the right). Details of the parcels of the North, Center and South of the image, respectively (at the left).

The remote sensing analysis methodology used the Copernicus Sentinel-2 data for crops monitoring of experimental parcels, allowing the determination of vegetation indexes, as

exemplified by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Calera et al., 2017). BOA (Bottom Of Atmosphere) Sentinel-2 orthoimages were used to minimize the effect of the atmosphere and the different solar illumination along the year, determining the average NDVI for the whole parcel area, as well as point assessments. It allows the comparison with handheld field scale measurements of NDVI data collected using a portable spectroradiometer GreenSeeker, Trimble, 1 m above the canopy.

3. RESULTS

The meteorological and crop coefficients decennial data are presented in Table 5. Table 6 presents hydraulic characteristics of the MCS supply flow, namely the maximum and average discharge at the inlet of each MCS, the time duration period of inflow, and the inflow and transfer flow volumes (2018 data). Note that the transfer flow volume corresponds to the water transported on C1 canal from its inlet to outlet; the outlet of C1A is connected with C1B inlet, that is recharged with pumped water; the same applies to canal C2.

Table 5. Meteorological data and MCS average crop coefficients (2018 data)

Month	May			June			July			August			September			October		
Decade	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ET0, mm ⁽¹⁾	35,4	41,6	31,6	25,5	44,7	37,9	37,0	38,6	43,9	37,0	76,3	82,0	35,8	35,4	33,9	34,8	21,3	19,8
P, mm ⁽¹⁾	0,0	0,5	26,0	38,9	1,8	17,6	1,7	0,1	0,1	0,7	0,3	0,7	0,9	0,0	0,1	0,0	0,4	42,9
Kc ⁽¹⁾ (C1A)	0,62	0,65	0,74	0,81	0,83	0,85	0,89	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,87	0,83	0,77	0,72	0,71	0,71
Kc (C1B)	0,61	0,64	0,72	0,79	0,83	0,85	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,87	0,84	0,77	0,72	0,70	0,70
Kc (C2A)	0,43	0,47	0,58	0,69	0,75	0,79	0,88	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,86	0,81	0,68	0,61	0,58	0,58
Kc (C2B)	0,61	0,63	0,71	0,78	0,81	0,85	0,92	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90	0,85	0,77	0,72	0,72	0,72
Kc (C4)	0,53	0,53	0,59	0,66	0,72	0,78	0,91	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,91	0,84	0,72	0,66	0,66	0,66
Kc (C5)	0,57	0,57	0,63	0,69	0,75	0,81	0,93	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,93	0,87	0,75	0,69	0,69	0,69
Kc (C7)	0,79	0,80	0,82	0,84	0,86	0,87	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,85	0,83	0,82	0,82

⁽¹⁾Decade data of Leiria, 2018, from www.ipma.pt; counts of the decades from the beginning of the year; ET0=reference evapotranspiration; P=precipitation; Kc=crop coefficient.

Table 6. MCS supply and outflow characteristics (2018 data)

SMC	C1A	C1B	C2A	C2B	C4	C5	C7
Maximum Discharge (l/s)	231	152	401	244	369	168	240
Average Discharge (l/s)	119	68	195	120	156	71	120
Nb. of days with supply	125	110	159	159	146	151	140

Inflow($10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$)	1289	1958	2682	1776	1966	1012	1456
Outflow($10^3 \text{ m}^3 \text{ year}^{-1}$)	237	-----	1650	-----	-----	-----	-----

Figure 3 presents the results of the decennial water balance at each MCS, namely the net irrigation demand (NID), assessed by the evapotranspiration deficit, $ET_c - P$, the total irrigation allocation (TIA), and the pumping irrigation allocation (PIA), when it is applied. The results show that on decade 17 (2nd of June) (the same for decade 18, for MCS C1A, C1B, C2B) the TIA is less than NID. This result is explained by the fact that the methodology, being very simplified, neglects the effective contribution of soil water, that had been significant due to the fact that the precipitation was very frequent in this period, that implied the null or reduced supply. However, the supply during the decades 17 and 18 had been significant in the other MCS (C2A, C7), due to the different crop types. The peak supply was the normal period between decade 20 (2nd of July) and 24 (3rd of August). MCS C4 and C5 are analyzed together because they share the same surface drainage system, where the drainage water was reused for irrigation by pumping.

The general analysis of these results allows to conclude the supply adequacy according to the on-farm irrigation demand, as well as a satisfactory water distribution equity, as a result of strong collaboration between WUA and farmers.



Figure 5a. NID (◇), TIA (●), and PIA (◆); decade values, in m³, per MCS.

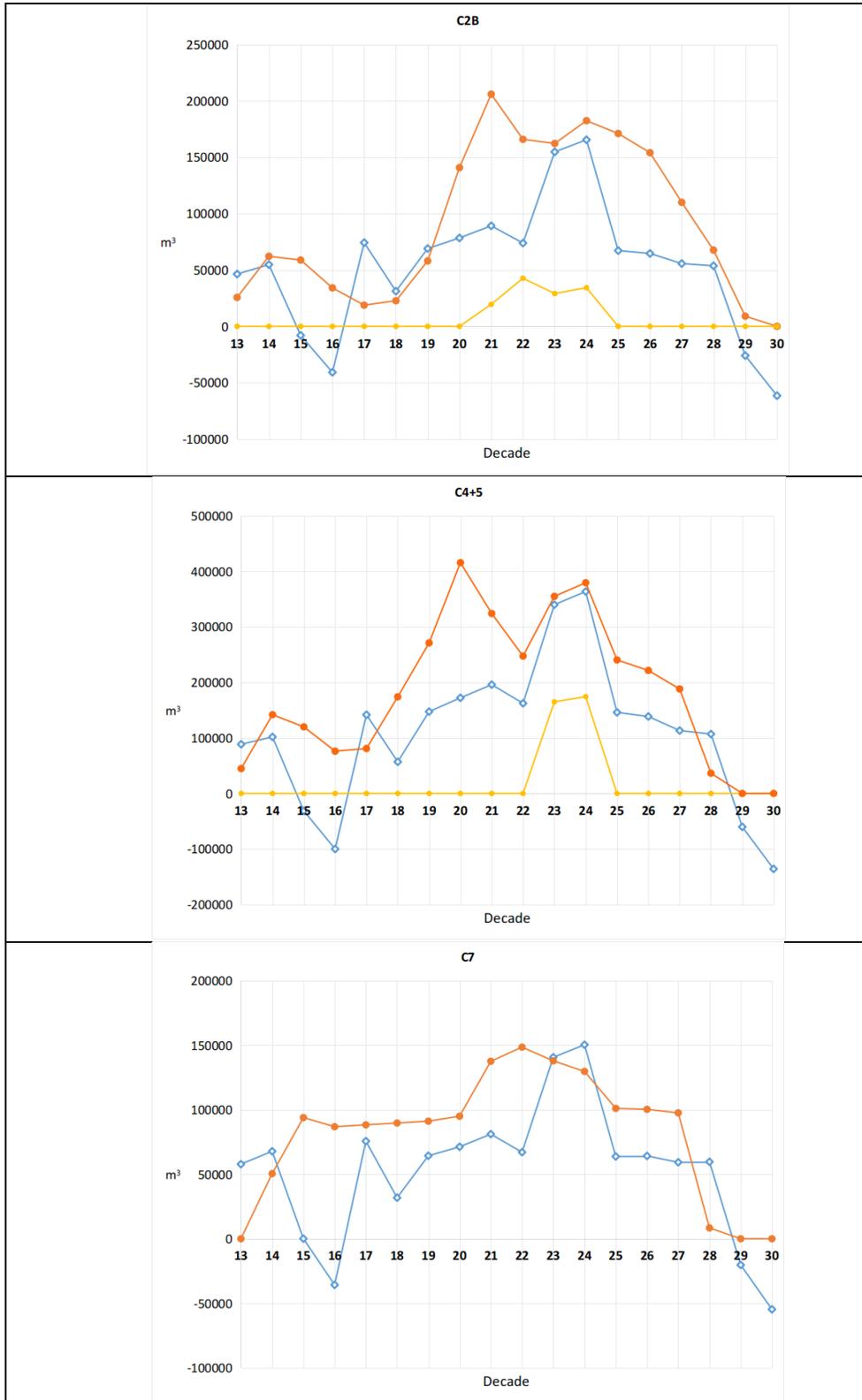


Figure 5b. NID (—◇—), TIA (—●—), and PIA (—●—); decade values, in m³, per MCS.

Figure 6 presents the irrigation season TIA, NID, and PIA, per MCS. TIA varies between 6470 and 9220 m³/ha (C1A and C2A, respectively), with an average of 7400 m³/ha. The values of NID of several MCA are identical, with a minimum on C2A with 4670 m³/ha, and a maximum on C7 with 5130 m³/ha, with an average of 4950 m³/ha. The pumping allocation recharge corresponds to 60% in C1B, 10% in (C4 + C5), 7,6% in C2B, with a global average of 9,3%.

The GIE varies between 0,53 and 0,72 (C1A, and C2A and C7, respectively), with an average of 0,69.

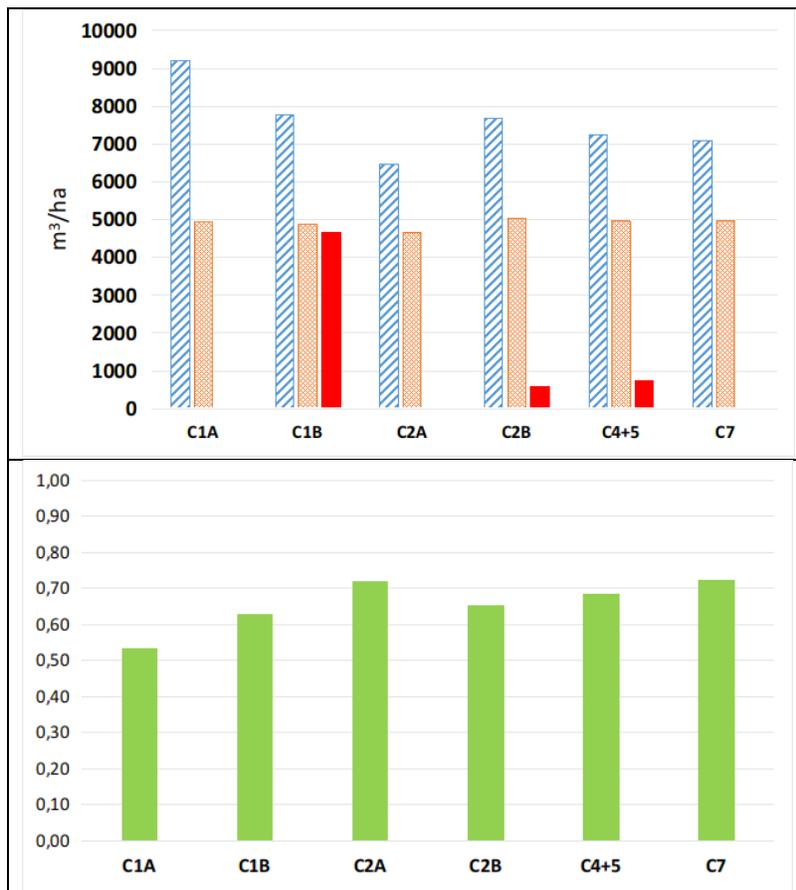


Figure 6. Upper figure: TIA (▨), NID (▤), and PIA (■), values in m³/ha per year and per MCS; Lower figure: GIE per each SMC, ratio (■).

Fig. 7 presents a graph with a time variation of NDVI (experimental parcel II.1 space average data) of a field cultivated with maize crop, both in 2017 and 2018 seasons. NDVI data will be compared with crop yield to determine a statistic relationship aiming to obtain operational information for crop and water management.



Figure 7. Example of NDVI data of II.1 Experimental Parcel, based on satellite remote sensing (Note: yellow bar represent the maize crop season).

4. CONCLUSIONS

This paper presents the experimental results of 2018 on water monitoring in AHVL. In relation to the monitoring of water quantity, field observations and data analysis by the water balance method to the measurement and control sectors, it was possible to conclude that gross allocations between 6470 and 9220 m³/ha were applied. The major constraints of the supply were identified, resulting from the great precariousness of the water transport network in canals, many of them extremely degraded with high water losses. In an overall assessment from the overall system efficiency indicators at the level of each SMC, results were obtained between 53% and 72%, with an average of 69%. Higher efficiencies result from the re-use of drainage water by pumping, thus resulting in increased cost for energy consumption. The results of the physico-chemical and microbiological analysis allowed us to conclude that surface and subsurface waters indicate risk situations at pH, salinization and microbiology level, justifying action to solve or mitigate the problems, especially at the level of the farmer's field.

The experimental activity of the project, in addition to water monitoring, also considers soil monitoring and field evaluation of agricultural practices, leading to a better diagnosis of water supply and drainage problems, and improving the quality of operational practices and reducing waste of water and energy. Potential recipients of the activities of the Operational Group are the

WUA and farmers, consumers and businesses in the region's agricultural factor trading and processing and marketing industries.

The major challenges to implement an effective and sustainable irrigation district development are placed both at off-farm level, managed by WUA, and at on-farm level, managed by individual farmers. Improvements and innovations are required according to the following topics: a) Quality of hydraulic infrastructures to reduce water losses, better water flow control, being advisable more automatic control equipment in the networks; b) Management of collective networks through the implementation of operational plans to adjust the demand for water in each irrigation season with the corresponding distribution, which requires the integration of diverse information in real time; c) On-farm system design with better water application control, improving maintenance procedures, reducing labour and increasing the distribution uniformity; d) Irrigation scheduling through monitoring systems, like automatic weather stations, soil moisture devices or crop remote sensing; and e) Reuse of excess flow at the downstream end of irrigated fields, or from drainage ditches, with a better control of water quality.

Acknowledgments :

Project Grupo Operacional para a Gestão da Água no Vale do Lis (PDR2020-1.0.1-FEADER-030911), funded by PDR2020, cofunded by FEDER, on framework of Acordo de Parceria Portugal 2020, Programa PDR2020, Medida Inovação.

The participation on CIGR First Section 5th Inter-Regional Conference has been funded by LEAF - Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Institute of Agronomy, University of Lisbon, Tapada da Ajuda, Lisbon, Portugal.

REFERENCES

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56, FAO, Rome, 300 p.

Backeberg G.R. 2014. Innovation through research and development for irrigation water management. Irrig. and Drain. 63, 176–185.

- Burt C.M., Clemmens A.J., Strelkoff T.S., Solomon K.H., Bliesner R.D., Hardy L.A., et al. 1997. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 123(6), 423e442.
- Calera A., Campos I., Osann A., D'Urso G., Menent M. 2017. Remote Sensing for Crop Water Management: From ET Modelling to Services for the End Users. *Sensors* 2017, 17, 1104; doi:10.3390/s17051104.
- COBA. 2001. Estudo de impacte ambiental do Projeto de Emparcelamento do Vale do Lis. IHERA, Lisboa (in Portuguese).
- Evans R.G., Wu I., Smajstrala A.G. 2007. Miroirrigation Systems. In Hoffman J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.), Chap. 17, p 632-683.
- Ferreira S., Oliveira F., Gonçalves J.M., Silva F.G., Teixeira M., Gonçalves M., Eugénio R., Damásio H. 2019. Promote the sustainable development of the territory by agricultural innovation. Challenges of organic farming in the Lis Valley, Portugal. Proceedings of X Congreso Ibérico de Agroingeniería, Huesca, Spain (in Portuguese).
- Hoffman J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.) 2007. Design and Operation of Farm Irrigation Systems (2nd Ed.), ASABE, St. Joseph, MI.
- INE 2017. Inquérito à Estrutura das Explorações Agrícolas. Lisboa (in Portuguese).
- King L.G., Willardson L.S. 2007. In Hoffman J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.), Chap. 9, p 289-319.
- Lencastre A. 1983. Hidráulica Geral. Ed. Hidroprojecto, Lisboa (in Portuguese).
- Lenton R. 2014. Irrigation in the twenty-first century: reflections on science, policy and society. *Irrigation and Drainage*, 63, 154–157.
- MAM-GPP - Ministério da Agricultura e do Mar - Gabinete de Planeamento e Políticas 2014. Programa de Desenvolvimento Rural do Continente para 2014–2020 (in Portuguese).
- Martin D., Kincaid C.K., Lyle W.M. 2007. Design and Operation of Sprinkler Systems. In Hoffman J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.), Chap. 16, p 557-631.

Merriam J.L., Keller J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Logan: Utah State University.

Oliveira M.F., Silva F.G., Ferreira S., Teixeira M., Damásio H., Ferreira A.D., Gonçalves J.M. 2019. Innovations in Sustainable Agriculture: Case Study of Lis Valley Irrigation District, Portugal. *Sustainability*, 11, 331; doi:10.3390/su11020331.

Pereira L.S., Cordery I., Iacovides I. 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management*, 108, 39-51.

Pereira L.S., Gonçalves J.M. 2018. Surface irrigation. In: *Oxford Encyclopedia of Agriculture and the Environment*, Subject: Sustainability and Solutions, Agriculture and the Environment, Oxford University Press, Oxford.

Playán E., Sagardoy J.A., Castillo R. 2018. Irrigation Governance in Developing Countries: Current Problems and Solutions. *Water*, 10, 1118; doi:10.3390/w10091118

Replogle J.A., Howell, T.A., Solomon, K.H. 1990. Measuring Irrigation Water. In Hoffman J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.), Chap. 10, p 317-370.

Replogle J.A., Kruse E.G. 2007. Delivery and distribution systems. In: Hoffman G.J., Evans R.G., Jensen M.E., Martin D.L., Elliot R.L. (Eds.), *Design and Operation of Farm Irrigation Systems* (2nd Edition), ASABE, St. Joseph, MI, 347-391.

RRN - Rede Rural Nacional, 2019. <https://inovacao.rederural.gov.pt/2/81-grupo-operacional-para-a-gestao-da-agua-no-vale-do-lis>

Silva F.G. 2018. O futuro do regadio numa lógica integrada de gestão de recursos hídricos. *AGROTEC*, 27, 46–49 (in Portuguese).

Walker W.R., Skogerboe G. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*. PrenticeHall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

Development of an integrated model to assess the impact of practices and land use on agricultural production in Morocco under climate stress, over the next twenty years, *Nassima AMIRI*

ABSTRACT

Climate change is expected to have a significant impact on agricultural production at local and global scale. Higher temperatures and changes in precipitation patterns projected by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) could cause agricultural production to fall in many areas requiring significant changes in farming practices and distribution of agricultural land. A concomitant factor to climate change will be the increase of the population and its distribution and its level of consumption that also influence the strategies of agricultural production, conversion of agricultural land, the type of irrigation and technology development. Determine the consequences of these forcings on land use will depend on our understanding of past changes and market forces on the agricultural sector and how future climate change, technology, the type of irrigation, abundance, government policy vis-à-vis agriculture, the size and distribution of the population will affect agricultural production and its relation to the expansion of agricultural land. It is proposed to develop an innovative methodology that will integrate ground observations, remote sensing, socio-economic and demographic statistics and technology indicators to project the trends and patterns of agricultural land use caused by climate change and human development. A model that links environmental and socio-economic factors to project their impact on the current use of agricultural land and the potential change of this use over the next 20 years

Keywords: Ground observation, remote sensing, demography, technological indicators, land use, climate change, human development.

INTRODUCTION

Climate change is expected to have a significant impact on agricultural production locally and globally. Higher Temperatures and Changes in Rainfall Distribution Projected by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Could Cause Agricultural Production to Decline in Many Regions Requiring Significant Changes in Agricultural Practices and the

geographical distribution of agricultural land. A concomitant factor with climate change will be the increase in population and its distribution as well as its level of consumption which will furthermore influence the strategies of agricultural production, the conversion of agricultural land, the type of irrigation and the technological development.

METHODS

The global commodity market is a mechanism by which agricultural activity responds to supply and demand. It captures both socio-economic and environmental influences on agricultural land use as it incorporates several factors. Prices are sensitive to supply and demand and incorporate the effect of technology, demographics, society and the economy through demand and integrate the effect of climate and agricultural land. So we try to visualize the consequences on the use of future farmland despite demographic pressure and climate change by developing a model that incorporates supply and demand as its main drivers and link them to a function of the price index for a suite of agricultural products traded on the world market of market products. a price index (PI) will be defined as a ratio between the quantities required and the supply of agricultural feeds.

RESULTS AND DISCUSSION

Have significant impacts on human well-being by dealing with several plausible scenarios and exploring how climate change forcing, socio-economic level changes and also technological development would affect the future of agricultural land use over the next 20 years.

CONCLUSIONS

the results are responses representing key elements of future land use planning and streamlining food security policies by:

- ensure food security and promote sustainable development.
- Rebalance in the long term the deficit in the food balance and secure trade as much as possible.
- Act considerably on growth, upgrading and increasing farm income
- carry out a good management of import and export of agricultural products.

Expérience marocaine du Partenariat Public-Privé dans le domaine de l'irrigation, R. Tanji¹, M.Ouhssain²

1. Ingénieur d'Etat du Génie Rural, Chef de service de la Promotion et de la Mise en Place des PPP en irrigation /DIAEA (E mail : tanjirajaa2@gmail.com)
2. Ingénieur d'Etat du Génie Rural, Chef de division de la Promotion et de la régulation des PPP en irrigation /DIAEA

Résumé

Le développement du Partenariat Public-Privé (PPP) dans le domaine de l'irrigation constitue une nouvelle orientation du Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, de Développement Rural et des Eaux et Forêts pour accompagner la stratégie de développement agricole tracée par le Plan Maroc Vert. Cet article exposera l'expérience du Maroc en matière de PPP dans le secteur d'irrigation et les leçons à tirer de cette expérience

Le PPP est un phénomène récent dans le secteur de l'irrigation. L'expérience du Maroc est en effet la première de son genre à l'échelle internationale à travers le projet El Guerdane. Mis en exploitation depuis 2009 par la société Amensouss, le projet alimente en eau 10 000 ha de plantations d'agrumes, regroupant près de 600 agriculteurs, via un transfert de 45 Millions de m³ d'eau à partir du Complexe Aoulouz-Mokhtar Soussi.

Après la réussite du projet El Guerdane approuvée par les banques internationales de développement, le MAPMDREF a lancé plusieurs projets capitalistiques de PPP : le projet d'irrigation pour la sauvegarde de 3200 ha dans la zone côtière Azemmour-Bir Jdid, le projet de dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation de 15 000ha dans la zone de Chtouka et le projet de dessalement pour l'irrigation d'un futur périmètre de 5000ha dans la zone de Dakhla moyennant l'énergie éolienne. D'autres projets en cours de planification par le ministère verront le jour dans les années prochaines.

Ces réalisations auront beaucoup de retombées positives sur différents plans, notamment l'agricole, l'économique et le social. Elles permettront l'amélioration des indicateurs du secteur

irrigué, le développement d'agriculture performante, l'économie de l'eau en ayant recours à l'utilisation des eaux non conventionnelles, la hausse du PIB, la création des milliers d'emplois, etc.

Introduction

Le PPP au Maroc a connu un essor très important depuis la dernière décennie, notamment dans les domaines de concession des services publics d'eau potable, d'assainissement liquide et d'électricité, de gestion des déchets solides et de la propreté, des transports urbains, etc..

Hormis ces services publics, même le domaine de l'irrigation a fait l'objet d'une expérience récente de gestion déléguée avec la mise en œuvre d'un projet PPP type BOT pour la sauvegarde de la zone agrumicole d'El Guerdane sur 10.000 ha dans la région de Souss-Massa, qui souffre d'une pénurie d'eau alarmante. Cette zone qui connaît une surexploitation de la nappe phréatique bénéficie grâce à ce projet d'un complément d'irrigation à partir des eaux superficielles régularisées par les barrages Aoulouz-Mokhtar Soussi. En fait, ce projet est une première mondiale dans le domaine de gestion déléguée du service de l'eau d'irrigation d'un périmètre où les réseaux d'adduction et de distribution de l'eau sont collectifs.

- **Pourquoi le partenariat public-privé ?**

Le constat de l'impuissance de l'Etat à assumer seul le coût d'infrastructures lourdes est aujourd'hui universel. Les contraintes budgétaires et techniques imposent la recherche de financements ailleurs que dans les caisses de l'Etat et le recours à des spécialistes de plus en plus pointus hors de l'Administration.

Mais parallèlement, il paraît non raisonnable de remettre entièrement la tâche de construire et de gérer des infrastructures et des services publics au seul secteur privé. La gestion des services publics doit continuer à relever, ne serait-ce qu'en partie, de l'autorité publique qui est le seul garant de l'intérêt public et de la stabilité sociale et économique du pays.

Le partenariat public-privé apparaît donc comme la voie médiane entre une gestion d'Etat, difficile et dépassée, et une privatisation pure et simple, risquée et porteuse d'émiettement des responsabilités.

- **Types de partenariat public-privé**

Le partenariat public-privé englobe différentes modalités d'association entre l'autorité publique et les entreprises privées, notamment **les concessions, la gestion déléguée de services, les contrats de service et de gérance, l'affermage et les BOT¹**.

Le partenariat public-privé fonctionne sur des principes simples : **deux partenaires, des règles préétablies, un rythme d'avancement, un contrat à respecter, un équilibre mutuel** et en conclusion, **la satisfaction des deux parties**.

Les projets d'irrigation, vue leur importance sur les plans technologique, technique, d'investissement et de gestion, comptent parmi les projets qui s'adaptent le mieux au partenariat public-privé. Les formes de PPP adoptées dans ce cadre diffèrent d'un pays à l'autre. La tendance actuelle tend fortement vers des formes de PPP de type BOT pour les projets d'irrigation. C'est la voie la plus efficace en termes d'investissement, d'efficacité de gestion, de qualité de service et de partage des risques.

- **Les avantages du recours au partenariat public-privé**

Le partenariat public-privé permet d'assurer des services publics de qualité à un moindre coût pour la société et répondre, ainsi, à la demande de la population d'un maillage étroit du territoire en services modernes et adaptés. L'autorité publique peut ainsi favoriser la création et la modernisation d'infrastructures et de services publics sans augmenter la fiscalité ou la dette publique.

Mais le partenariat public-privé n'est pas une simple question de financement. Il est aussi un moyen d'utilisation optimale des compétences propres aux entreprises privées et englobe la notion de prestation de service. L'appel à des sociétés privées permet de bénéficier de technologies modernes respectueuses de l'environnement.

Le partenariat public-privé permet aussi un partage optimal des risques entre l'autorité publique et les prestataires privés. Il favorise une évaluation réaliste des coûts et le respect des délais agréés par les partenaires en début de contrat.

¹ BOT : « Build, Operate, Transfer » : Construire, Exploiter, Transférer

Enfin, il préserve le rôle de décideur, de force d'impulsion et de contrôle de l'autorité publique, qui ne perd pas l'ensemble de ses prérogatives. A l'inverse, le partenariat protège les opérations de construction et d'aménagement des aléas politiques liés aux changements de majorité ou aux effets d'annonce électoraux.

- **_Conditions de réussite du partenariat public-privé**

- **Un contrat définissant le cadre d'accueil et les obligations des parties :** Le partenariat public-privé doit reposer sur des montages appropriés à chaque projet, et non sur des modèles rigides et préétablis. Le contexte juridique et institutionnel doit être pris en compte dans la définition des rôles de chacun des partenaires. Ceux-ci doivent s'assurer préalablement de l'acceptation politique et sociale du projet.

Le contrat doit permettre d'intégrer les événements imprévus survenant en cours de réalisation. La régulation peut reposer sur un organisme tiers indépendant.

- **Un partage équitable des risques :** La concession et en général toutes les activités économiques et financières comprennent une prise de risque. Les projets font toujours intervenir plusieurs acteurs et des risques de différentes origines. Le principe est de ne pas faire reposer tous les risques sur le même acteur, mais au contraire de les répartir en fonction des compétences de chacun d'eux.

Les risques sont de plusieurs natures en fonction de leur origine :

- le risque politique, lié à l'attitude du gouvernement à l'égard du secteur privé notamment dans le contrôle de la tarification, problème particulièrement aigu dans le cas des services publics donnant lieu à la facturation aux usagers-électeurs ;
- le risque monétaire, car les recettes sont parfois perçues en monnaie locale, d'où une sensibilité importante surtout sur la durée de vie d'une concession ;
- le risque économique et commercial, lié à la croissance économique et au développement urbain, dont les variations par rapport aux prévisions engendrent des incertitudes sur l'utilisation du service et les revenus du concessionnaire ;
- le risque financier, lié à l'incertitude sur les taux d'intérêt qui évoluent entre le premier financement et les phases de refinancement qui interviennent ultérieurement ;
- les risques techniques, quand des surcoûts de construction ou d'exploitation apparaissent, soit à cause d'ouvrages mal adaptés, soit à cause de mauvaises estimations économiques.

Chaque intervenant doit donc mesurer les paramètres techniques ou socio-économiques qui décrivent les risques qu'il prend pour fournir une réponse adaptée et s'engager en toute

connaissance de cause. Ensuite, débute une phase de négociation juridico-financière sur les termes et clauses du contrat qui, " sur la base d'une étude reconnue par le concédant et le concessionnaire pressenti ", détermine notamment la fréquentation par les usagers, les modalités de financement, les éventuels problèmes juridiques ou fiscaux, la sensibilité de la rentabilité financière aux aléas (surcoûts, fréquentation réelle, taux d'intérêt réels). C'est dans la détermination de ces clauses qu'apparaissent les différences de financement entre les projets. Elle requiert le soin le plus important.

Un partenariat public-privé réussi repose sur la confiance réciproque des partenaires, ainsi que sur le respect du contrat dans la durée, tant sur les dépenses initialement prévues que sur les obligations incombant à chacun des acteurs.

La rémunération du concessionnaire doit prendre en compte les risques qu'il assume, tant dans les phases de conception que de réalisation et d'exploitation du projet. La puissance publique doit alors veiller lors de la rédaction des clauses du contrat à identifier ces risques, évaluer leur impact, et pallier les effets négatifs en intégrant leur possible survenu. Le contrat doit être un outil évolutif pour répondre à des circonstances nouvelles prévisibles.

- **Un encadrement juridique stable et cohérent** : L'autorité publique prépare le cadre institutionnel et légal nécessaire au développement d'un partenariat public-privé. Ce cadre ne peut répondre à des modèles préétablis. Il correspond au contexte politique et social du pays. Au Maroc, La loi 86 12 sur les contrats PPP fixe les grands principes juridiques nécessaires à la présence de partenaires privés. Cette loi, actuellement en cours d'amendement, doit notamment favoriser l'investissement par des règles claires et transparentes, associées à un contrôle juridictionnel indépendant.
- **Une structure adéquate de financement** : Les financements classiques d'opérations d'investissements paraissent souvent inadaptés aux niveaux des risques, des montants à investir et de la durée de rentabilisation espérée pour la création de nouvelles infrastructures lourdes ou nombreuses à l'échelle d'un territoire. L'intervention de l'autorité publique est toutefois indispensable, justifiée à la fois par l'intérêt socio-économique des projets et par la nécessaire impulsion à donner aux partenaires privés.

Une structuration ad-hoc peut utilement rassembler les apporteurs de fonds. Les outils financiers s'avérant de plus en plus complexes, une typologie devait être dressée de façon assez large pour couvrir les caractéristiques propres aux différentes méthodes de financements de projets.

- **Expérience du Maroc en terme de PPP**

Après la réussite du projet El Guerdane, le MAPMDREF a lancé plusieurs projets capitalistiques de PPP : le projet d'irrigation pour la sauvegarde de 3200 ha dans la zone côtière Azemmour-Bir Jdid, le projet de dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation de 15 000ha dans la zone de Chtouka et le projet de dessalement pour l'irrigation d'un futur périmètre de 5000ha dans la zone de Dakhla moyennant l'énergie éolienne. D'autres projets en cours de planification par le Ministère verront le jour dans les années prochaines.

Il est à signalé que le PPP El Guerdane est en exploitation depuis 2009 soit 10 ans d'exploitation. Les indicateurs de performance de ce projet sont satisfaisants : un taux de recouvrement qui dépasse les 97% depuis le démarrage de l'exploitation, un taux d'efficience du réseau de l'ordre de 97% sur la période (2009-2019) et une relation Client-gestionnaire de l'eau aussi satisfaisante.

C'est à l'instar de cette réussite que d'autres projets ont vu le jour :

- a) Le projet d'irrigation pour la sauvegarde de la zone côtière Azemmour-Bir Jdid : d'un investissement de 365,3 Millions de DH, il sera réalisé dans le cadre d'une concession à un partenaire privé (Société Nouvelle Doukkala des Eaux – SNDKE-) qui aura la charge de participer au financement, concevoir, construire et gérer les infrastructures d'irrigation sur un périmètre de 3200 ha. Le contrat entre les partenaires a été signé le 13 Décembre 2013. Les travaux sont à 100% pour le réseau d'adduction et de 70% pour le réseau de distribution. Le projet permettra la création de 3900 emplois permanents préservés et l'augmentation de la valeur ajoutée de 5% et 13% selon la culture. La mise en eau de ce projet est prévue pour fin 2019.



Chantier Azmmour Bir Jdid

- b) Le projet de dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation de 15 000ha dans la zone de Chtouka : a été structuré en mutualisation avec l'Office National d'Electricité et d'Eau potable (ONEE). Le projet vise à substituer une partie des prélèvements d'eau de la nappe par l'eau produite par l'unité de dessalement de l'eau de mer. Cette unité dont la technique de dessalement est l'osmose inverse à simple passe, aura une capacité à terme de 400 000 m³/j (200 000 m³/j pour l'irrigation et 200 000 m³/j pour l'eau potable). La durée du partenariat sera de 30 ans dont 3 ans pour la conception et la réalisation des ouvrages et 27 ans pour l'exploitation. Le contrat a été signé le 29 juin 2017 et les travaux sont en cours de réalisation. Le coût du projet est de 3.160 MMdh. Il permettra la création de 30 000 emplois permanents préservés de 9 MMDH de valeur ajoutée créée.



Lignes d'osmose inverse

- c) Le projet pour le dessalement de l'eau de mer pour l'irrigation du futur périmètre de 5000 ha à Dakhla. Le projet comprend une unité de dessalement d'une capacité annuelle d'environ 30 Mm³ d'eau, un champ éolien pour approvisionner la station en énergie d'une capacité annuelle de 40 MW. Les terres irriguées seront gérées au profit d'investisseurs agricoles et jeunes promoteurs de la région. Les documents contractuels entre les différents partenaires seront signés dans les jours prochains. Le coût du projet est de : 1.66 MMDhs pour la station de dessalement et 338 Mdh pour le réseau d'irrigation. Ce projet créera 10 000 emplois permanents et près de 500 MDH de valeur ajoutée par an.



Site prévue pour l'unité de dessalement à Dakhla

Conclusion

Aujourd'hui, les avantages du partenariat public privé ne sont plus à démontrer. Les divers montages institutionnels et financiers constituent des solutions adaptées au service de l'eau d'irrigation. Le Maroc, depuis la concrétisation du projet El Guerdane, développe une expérience consistante à ce propos.

Depuis cette première expérience, des efforts louables sont menées en matière d'études de structuration des PPP, de formalisation d'arsenal juridique, tarifaire et fiscale afin d'accompagner

l'intéressement du secteur privé et la préparation de contrats qui garantissent les droits et les obligations de l'ensemble des parties à savoir, l'Etat comme autorité délégante, le partenaire privé et les bénéficiaires utilisateurs de l'eau agricole.

Le choix du type de partenariat public-privé pour la réalisation des projets d'irrigation reste tributaire des conditions spécifiques à chaque pays, chaque région et chaque localité en termes de contraintes politiques, sociales, économiques et même culturelles. C'est cela d'ailleurs qui explique la multitude impressionnante des formes de PPP qu'on peut trouver à travers le monde.

Références :

Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. Rapport des options stratégiques du projet El Guerdane, Administration du Génie Rural, 2002.

Mohamed OUHSSAIN, Mahdi ARRIFI. Financement des projets de dessalement des eaux, 2009.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Etude de structuration du projet de partenariat public privé pour l'irrigation de la zone Atlantique entre Azemmour et Bir Jdid, Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole, 2013.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime. Etude de structuration du projet de partenariat public privé pour l'irrigation de la plaine des Chtouka à partir du dessalement des eaux de mer, Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole, 2015.

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts. Etude de structuration du projet de partenariat public privé pour l'irrigation par dessalement des eaux de mer à Dakhla, Direction de l'Irrigation et de l'Aménagement de l'Espace Agricole, 2017.

MODELISATION DU PERCEMENT DES BARRAGES EN BETON POIDS ET CONTREFORTS POUR LA REALISATION DES PRISES D'EAU, AIT

*ABDERRAHMANE Fatima Zahra¹, YIBOUE Komlan¹, BARTALI El Houssine¹,
ABBASSI SABER Anas²*

1 Département de Génie Rural, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc

2 Département de Géotechnique, IFSTTAR, Université Paris-Est, Champs sur Marne, France.

RESUME

Les barrages sont assujettis au cours de leurs durées de vie, à diverses modifications selon les besoins. Ainsi il peut s'avérer nécessaire de réaliser des percements dans le corps de l'ouvrage. Intéressé de savoir si cela est possible sans affecter la stabilité interne de la structure, des études sont nécessaires. C'est ainsi qu'a été modélisé le percement des barrages sous FLAC3D. A cet effet des modèles génériques de barrages poids et contreforts ont été utilisés et les états de contraintes initiaux avant le percement ont été reproduits. Les modèles ont consisté pour les barrages poids en un plot de 15m de largeur et 80m de hauteur conformément à leur construction, et un contrefort de 6m de largeur et 100m de hauteur pour les barrages a contreforts. La loi de comportement mécanique utilisée dans les modélisations est la loi élastoplastique de Mohr-Coulomb

adaptée au béton tout comme à la plupart des géomatériaux.

En ce qui concerne les états initiaux des barrages, ceux-ci ont concerné notamment les phases de construction du barrage et de mise en eau. Un calcul mécanique sous l'action de la pesanteur a d'abord été effectué pour modéliser l'équilibre du barrage sous son propre poids, après construction et avant mise en eau. Puis un autre calcul a été réalisé sous l'action de la pression hydrostatique. Une fois ces étapes réalisées, le percement est simulé par la réalisation d'excavations à différentes profondeurs depuis la crête du barrage. Ces profondeurs varient entre 20 et 60m pour les barrages poids et 20 et 80m pour les contreforts. Les diamètres des excavations varient entre 1m et 4m. Les contraintes maximales générées par l'excavation sont pour les barrages poids supérieurs de 66% par rapport aux

contraintes initialement présentes. Pour les contreforts, elles le sont de 44%. Les déplacements maximaux se situent aux environs de 0,1 mm pour les barrages poids et 0,2 mm pour les contreforts.

MOTS CLES : Percement, Barrages, Poids, Contreforts, Contraintes, Profondeurs, Diamètres.

1. INTRODUCTION

Les ouvrages annexes des barrages que sont les évacuateurs de crue, les vidanges de fond et les prises d'eau constituent des organes hydrauliques essentiels à la stabilité, au bon fonctionnement et à la bonne exploitation des barrages. Séparés de l'ouvrage principal pour les barrages souples et intégrés à ce dernier pour les barrages rigides, leur réalisation ne pose pas de problème lorsqu'ils sont pensés et fait depuis les phases de conception du projet. Cependant selon les destinations du barrage (AEP, Irrigation, AEPI, ...), la nécessité d'ajouter un ou plusieurs de ces ouvrages en phase d'exploitation peut apparaitre. Dans le cas de l'AEP ou l'irrigation par exemple ce sera des prises par souci de renforcement des capacités ou de réorientation des destinations de l'ouvrage.

Ceci se fait couramment par l'ajout d'une prise d'eau à système de pompage pour

franchir le seuil du barrage. Son avantage consiste à éviter une intervention sur le corps du barrage mais celui-ci a un coût de consommation énergétique élevé durant son exploitation.

Il peut ainsi, pour des considérations économiques aussi bien d'investissement que d'exploitation, être justifiés de recourir aux prises sans pompage réalisées par des pertuis à travers le corps du barrage surtout pour les barrages rigides. Les ouvertures nécessaires à ces réalisations font appel à plusieurs méthodes des travaux souterrains pour percer les barrages au niveau souhaité.

Face à cette situation l'une des questions qui se pose est de savoir si tous les barrages sont perçables. L'autre souci est de savoir ce qu'il en est de la stabilité des ouvrages.

Vu que les cas existants au monde de perforation de barrages ne dépassent pas habituellement les 20 m de profondeur et généralement en barrages poids, pas sur barrages à contreforts, des situations pareilles ne sont donc pas fréquentes et sont conçues et réalisées dans des cadres bien définies d'où un manque d'informations dans la littérature à ce sujet.

Ainsi cette étude s'est propose de répondre à 3 principales questions : Peut on percer n'importe quel type de barrage ? Jusqu'à

quelle profondeur peut-on aller ? Et pour quel diamètre de prise ?

2. MATERIELS ET METHODES

La méthodologie adoptée pour la réalisation de cette étude a consisté en :

2.1 Une recherche bibliographique sur le sujet : Ayant consisté à rassembler la documentation disponible (ouvrages de calcul de stabilité des barrages, ouvrages liés au calcul et à l'exécution des tunnels, ouvrages de modélisation numérique, les mémoires de fin d'études traitant de sujets proches, les guides techniques comme l'Eurocode), afin de mieux cerner le contexte de ce travail et recueillir les informations nécessaires.

2.2 La consultation des ingénieurs et spécialistes aussi bien dans le domaine des barrages que de la géotechnique et les tunnels.

2.3 La modélisation qui a consisté en la conception des modèles des différents barrages, ainsi que la simulation du percement des prises de divers diamètres et selon diverses hauteurs. Elle a été réalisée avec le logiciel FLAC3D développée par Itasca et est passé par plusieurs étapes :

2.3.1. Construction des modèles et définitions des conditions aux limites.

Les modèles ont été générés en se basant sur les mailles primitives dont dispose FLAC. En se référant aux dispositions constructives des barrages, les caractéristiques suivantes ont été retenues :

Pour le cas du barrage poids l'on a opté pour un profil trapézoïdal de 80m de hauteur, une pente aval de 0,75 et une largeur de plot de 15m.

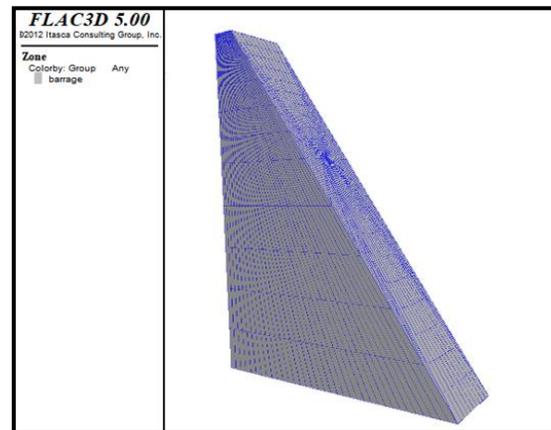


Figure 24: Modèle de barrage poids

Pour celui du contrefort il a été utilisé une géométrie de hauteur 100m, des pentes amont et aval de 0,25 et 0,65 et une largeur de 6m.

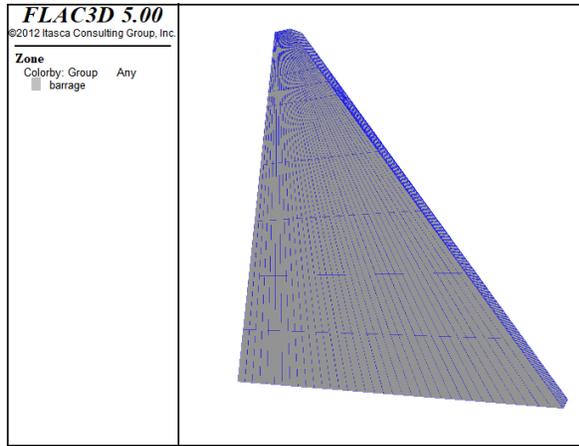


Figure 25: Modèle de contrefort

Après génération du maillage, on applique au modèle des conditions aux limites mécaniques.

Pour le cas du barrage poids, les déplacements ont été fixés dans les directions horizontales (x et y) et au niveau du contact barrage-fondation. (Cf Fig. 3)

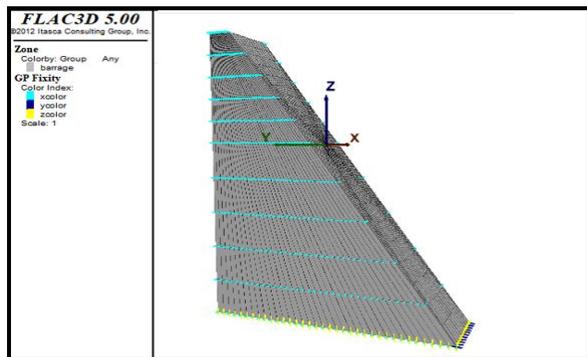


Figure 26 : Conditions aux limites (barrages poids)

Pour celui du contrefort, les déplacements ont été fixés seulement dans la direction horizontale y au pied du parement aval et verticale z à l'interface barrage-fondation.

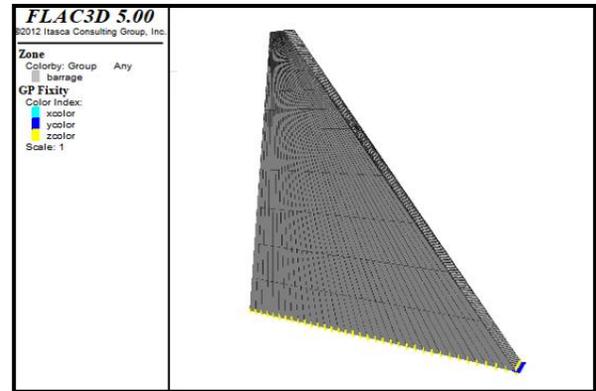


Figure 27: Conditions aux limites (barrages à contreforts)

2.3.2. Mise en équilibre des modèles sous l'action de la gravité : Cette étape correspond à la fin de construction du barrage et l'avant mise en eau

2.3.3. Application de la pression hydrostatique sur le parement amont : C'est l'étape de mise en eau. (Cf Fig. 5 & 6)

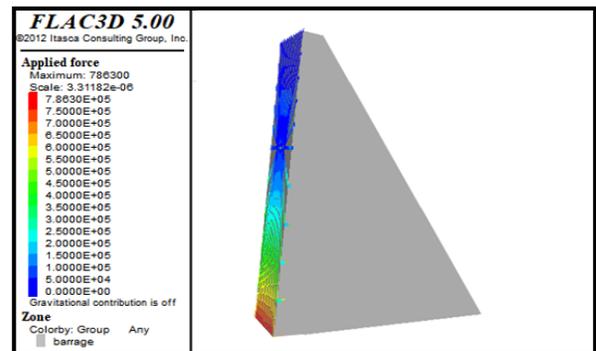


Figure 28 : Application de la pression hydrostatique (barrage poids)

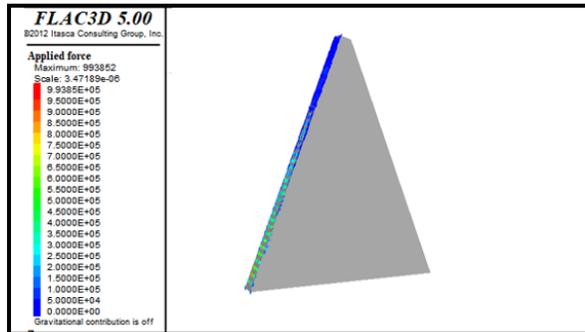


Figure 29 : Application de la pression hydrostatique (barrage à contreforts)

2.3.4. Après cette étape vient celle de l'excavation. C'est ici qu'est simulé la réalisation du percement. L'effet mécanique du forage est simulé en supprimant progressivement les éléments volumiques à l'intérieur de la zone du futur trou afin de ne pas faire une analyse trop défavorable puisqu'en réalité, la réalisation du trou prendra du temps: C'est la dernière étape de la modélisation. Les diamètres des prises simulés varient entre 1000 mm et 4000 mm.

2.4 La confrontation des résultats de la modélisation numérique à ceux d'un calcul analytique effectué sous MATLAB par la méthode de convergence confinement utilisée dans les tunnels.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Avant excavation, les états de contraintes ne provoquent pas de plasticité (rupture) dans le corps du barrage. En effet,

les valeurs de contraintes restent modérées : Les valeurs maximales de compression sont de 2,3 MPa pour les barrages poids (ce qui reste dans les limites acceptables de compression des barrages poids, qui se situent entre 2 et 3MPa pour un ouvrage de 100 m de hauteur (Michel Lino).) et 3 MPa pour les contreforts. Pour les contreforts on note en plus de ces contraintes principales de compression, des contraintes de traction par endroit surtout à l'amont d'une valeur maximale de 0,1 MPa. (Conformément aux données disponibles dans la littérature sur la nature des contraintes dans les barrages)

3.2 L'excavation ne modifie pas l'état de plasticité du béton du corps du barrage même si les états de contraintes sont modifiés Les contraintes seront analysées d'une façon générale et précisément au niveau de 4 points choisis sur la paroi du trou, en voûte, contrevoûte, rein gauche et droit. Il est à préciser que les points de la paroi se comportent de façon symétrique par rapport à l'axe voute contrevoute. Ainsi nous étudierons un seul des deux reins, et sur l'axe de symétrie nous étudierons le point en contrevoûte parce qu'il est le plus défavorable des deux.

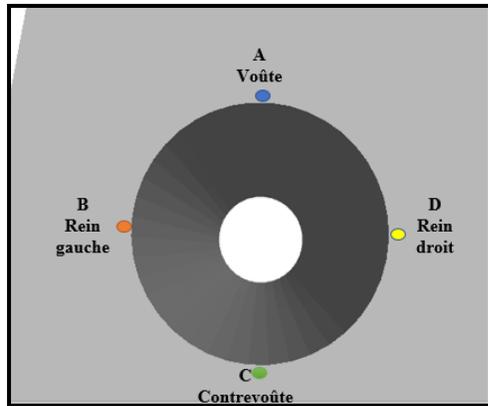
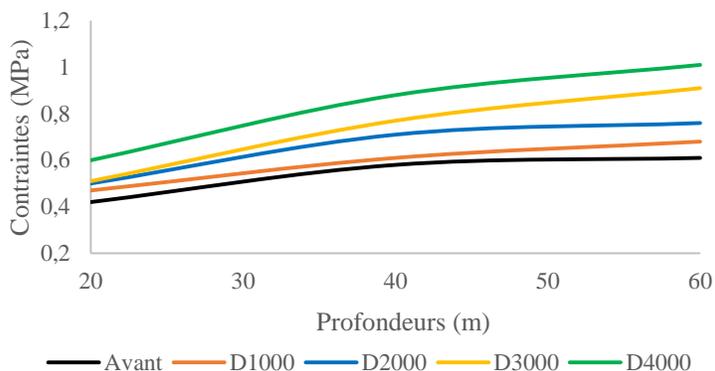


Figure 30: Position des points (vue du parement amont)

En général, on note une augmentation avec la profondeur, des contraintes de compression. Ainsi pour une même profondeur, les plus importantes se situent en contrevoûte au niveau du trou, étant donné que ceux-ci sont les points les plus bas de la paroi du trou. Après excavation ce sont les reins qui ont les contraintes de compression les plus élevées.

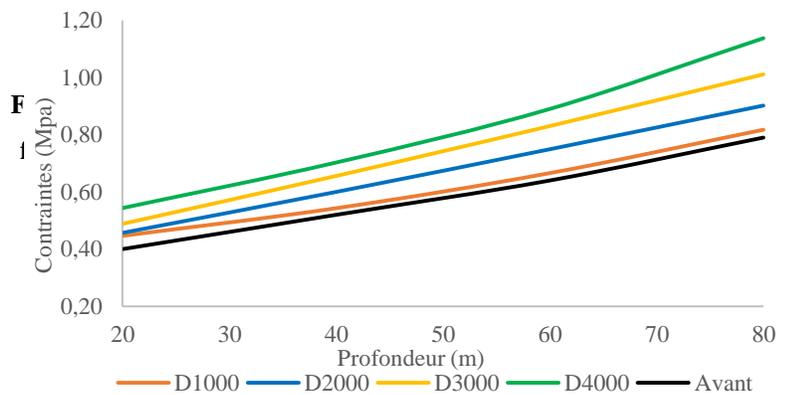
La figure 8 présente les contraintes de compression avant et après excavation au niveau d'un rein pour le barrage poids. Cette courbe montre que plus le diamètre augmente et plus les contraintes dû à l'excavation (couleur) sont importantes. Et que pour un même diamètre l'augmentation se fait avec la profondeur. Ainsi avant



excavation la contrainte de compression maximale est de 0,4 Mpa et passe à 1Mpa après soit une augmentation de 66%.

Il en est de même pour le contrefort

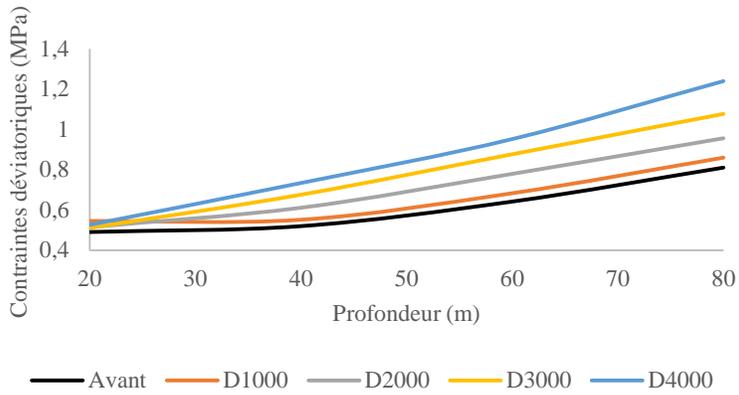
Figure 10 : Contraintes déviatoriques en rein droit (barrages poids)



3.3 Par ailleurs l'excavation provoque des modifications des contraintes déviatoriques (la valeur absolue de la différence entre la principale majeure et la principale mineure), indicateur du cisaillement. On note ainsi :

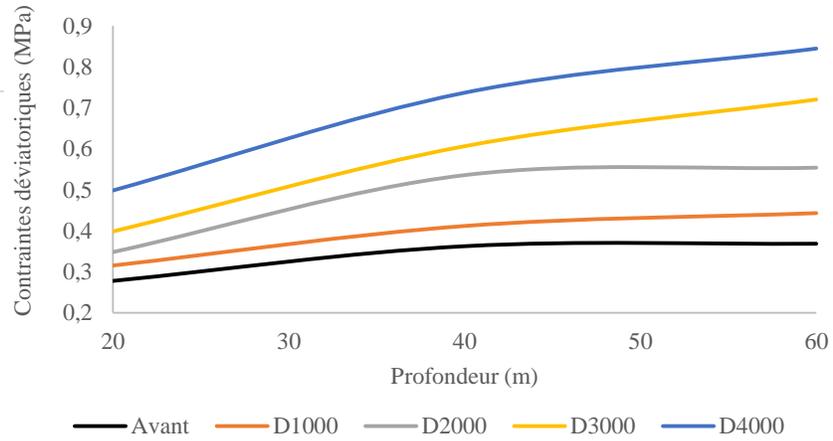
Figure 9 : Contraintes de compression en rein droit en fonction des profondeurs et pour les divers diamètres (barrages à contreforts)

principal mineure), indicateur du cisaillement. On note ainsi :



- Une augmentation de celle-ci au niveau des reins du trou (Cf Fig. 10 et 11) ;

Ceci s'explique par l'existence dans



l'ouvrage, d'un champ de contraintes initial anisotrope dû aux propriétés mécaniques du béton en l'occurrence sa forte cohésion qui fait que la transmission des contraintes dans ce dernier ne se fait pas de façon identique dans toutes les directions.

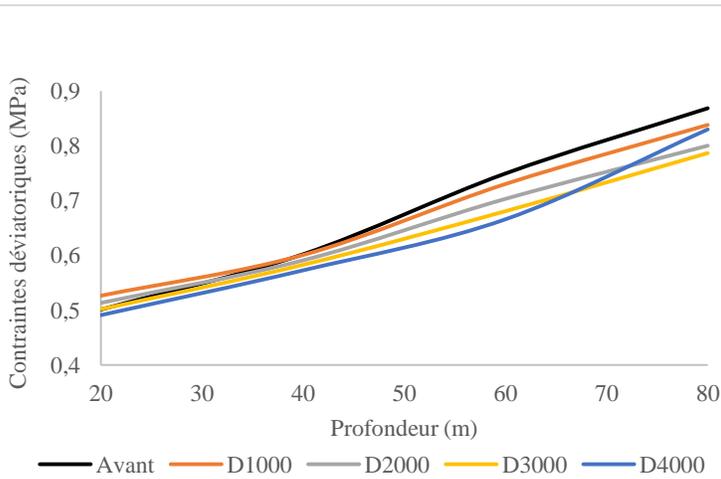
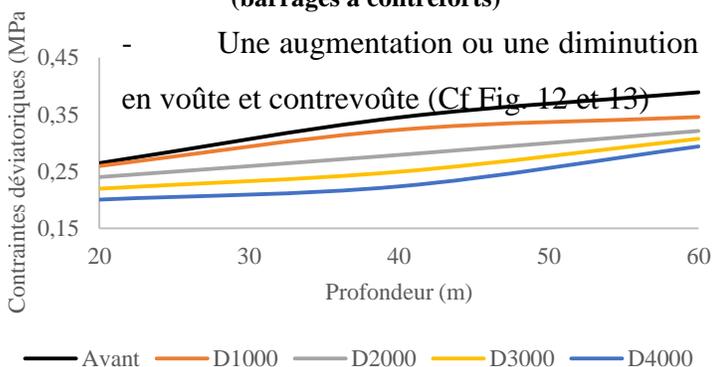


Figure 13 : Contraintes déviatoriques en contrevoute (barrages à contreforts)

- Une augmentation ou une diminution en voûte et contrevoute (Cf Fig. 12 et 13)



En effet le comportement des parois lors du creusement dans un massif dépend fortement du coefficient de poussée au repos K_0 qui exprime le rapport entre la contrainte horizontale et la contrainte verticale dans le massif. Ainsi pour une valeur de $K_0=1$, tous les points de la paroi se comportent de la même manière. Pour un cas anisotrope comme celui du béton les comportements diffèrent. Ainsi, en reins, on obtient toujours une augmentation de la contrainte déviatorique pour toute valeur de K_0 , du fait que les contraintes avant et après excavation

sont toujours de même nature (de compression) en augmentant. Par contre en voûte et contrevoûte, on peut avoir soit une augmentation soit une diminution de la contrainte déviatorique selon les valeurs de K_0 liés à la possibilité d'apparition de contraintes de traction . Pour le cas du béton ceci se produit pour une valeur de K_0 inférieure à $1/3$ (D.Hantz, (2006))

3.4. Pour le champ des déplacements, les résultats de simulation montrent que les plus grands mouvements se produisent selon l'axe y (dans le sens amont aval). Ceux-ci sont de l'ordre de 6 à 8mm. Cela est dû à la pression hydrostatique à l'amont qui pousse le barrage dans ce sens.

Le calcul des déplacements radiaux pour les quatre points montre que l'excavation ne produit pas de grands déplacements dans le corps du barrage. En effet ceux-ci se situent entre 0,01 et 0,1 mm, ce qui est normal vu que les caractéristiques fortes du béton en cohésion et angle de frottement permettent à ce dernier de rester en élasticité. On remarque que ces déplacements augmentent aussi avec le diamètre et la profondeur et ce sans dépasser la valeur maximale autorisée dans les creusements de galerie qui est de 1cm.

Ci-dessous les valeurs moyennes de déplacements radiaux pouvant être utilisés pour avoir des ordres de grandeurs par rapport aux différents diamètres et profondeurs.

Tableau 1: Déplacements radiaux moyens engendrés par l'excavation (barrages poids)

Diamètres (mm)	Profondeurs (m)	Déplacements radiaux (mm)
1000	20	0,010
	40	0,011
	60	0,012
2000	20	0,017
	40	0,013
	60	0,020
3000	20	0,038
	40	0,030
	60	0,050
4000	20	0,059

	40	0,060
	60	0,074

Pour les contreforts Les valeurs de déplacements engendrés par l'excavation sont de 0,003 mm à 0,2 mm selon le diamètre et la profondeur.

	40	0,026
	60	0,034
	80	0,051
D3000	20	0,044
	40	0,063
	60	0,082
	80	0,121
D4000	20	0,083
	40	0,114
	60	0,155
	80	0,197

Tableau 2: Déplacements radiaux moyens engendrés par l'excavation (barrages poids)

Diamètres (mm)	Profondeurs (m)	Déplacements (mm)
D1000	20	0,003
	40	0,006
	60	0,006
	80	0,013
D2000	20	0,021

Les résultats du calcul analytique effectué sous MATLAB valident sur un plan qualitatif les résultats obtenus de la modélisation numérique.

Cependant d'un point de vue quantitatif, ils montrent soit des surestimations soit des sous-estimations des déplacements calculés.

En effet, le rapport entre les valeurs de déplacements calculés par MATLAB et ceux obtenus grâce à la modélisation numérique sous FLAC pour le cas des barrages poids montrent que ces valeurs peuvent être surestimés de 2 à 4. Pour les contreforts ce

rapport peut prendre des valeurs allant jusqu'à 12.

Ceci s'explique par le fait que pour les barrages poids, les hypothèses de la méthode analytique (modèle 2D en déformations planes, déplacements fixés aux limites du modèles) s'approchent un peu plus de ceux du modèle numérique, comparé au cas du contrefort ; Même si ce n'est pas exactement le cas, car comme stipulé précédemment, la modélisation numérique montre que les mouvements selon y sont les plus importants tandis que les hypothèses des modèles analytiques 2D suppose dans ce cas une déformation plane dans le plan (xz).

Par ailleurs, pour le modèle analytique, on note une certaine symétrie entre les déplacements des points en voûte et contrevoûte d'une part, et ceux des reins de l'autre part. Ce qui n'est pas le cas dans le modèle 3D. Ceci est dû au fait que dans les modèles 2D on ne considère pas l'augmentation de la contrainte avec la profondeur au niveau du trou ; la contrainte verticale est considérée constante égale au produit du poids volumique et de la hauteur de couverture du sol (jusqu'au centre du trou). Par contre le modèle numérique 3D tient compte de cette variation de la contrainte.

4. CONCLUSIONS

Au regard de ce qui précède on retient que le comportement des barrages vis-à-vis du percement, comme pour tout massif devant être excavé, dépend de l'état de contraintes initial et des conditions aux limites considérées. Ces contraintes sont entièrement de compression pour les barrages poids mais pour les contreforts, elles peuvent être de traction à l'amont bien que les contraintes verticales soient de compression. Les résultats obtenus à la suite du percement mettent en évidence l'influence du coefficient de poussée au repos K_0 (de facto celle de l'anisotropie) sur le comportement d'un massif (ici le béton) au creusement remettant ainsi en cause l'usage de la méthode de convergence-confinement classique largement utilisée dans le calcul des tunnels pour presque tous les massifs et qui considère que le champ de contraintes initial dans le massif est isotrope ($K_0=1$). Pour des matériaux dont le K_0 diffère de 1, tous les points de la paroi ne se comportent pas de la même manière. Ainsi il y a possibilité d'avoir une augmentation ou une diminution des contraintes déviatoriques. Dans ces situations, il convient d'adapter cette méthode afin d'avoir des résultats reflétant le comportement réel du massif. Cependant

même si l'on réalise cette adaptation, cela ne garantit pas d'avoir des résultats s'approchant de la réalité surtout si les conditions aux limites réelles sont différentes de celles utilisées dans le modèle analytique 2D de convergence-confinement. D'où la nécessité de recourir aux modèles numériques 3D. Pour les cas présentés ci-dessus, le matériau reste en dessous de la limite de rupture définie par le modèle de Mohr-Coulomb, après excavation. Dans le cas des barrages poids les contraintes sont restées de compression, ceux des points en reins ont connu une augmentation maximale de 0,4 MPa soit 66% par rapport à la contrainte initiale. Pour les contreforts les contraintes de traction après excavation restent limitées à 0,1MPa ; celles de compression ont connu une augmentation maximale de 0,35 MPa soit 44% par rapport à la valeur initiale. Ces contraintes augmentent avec le diamètre et la profondeur. Ainsi d'un diamètre à un autre, l'augmentation est en moyenne de 15%. Somme toute, ces contraintes additionnées aux contraintes initialement présentes dans l'ouvrage donnent des contraintes finales qui se situent largement en dessous des valeurs limites de contraintes de compression et de traction du béton (prises respectivement égale à 25 MPa et 2,5 MPa). Au vu des

résultats obtenus, on peut affirmer que les deux types de barrages, poids et contreforts peuvent être percés pour tous les diamètres de 1 à 4m et sur les profondeurs de 20m à 80m sans trop impacter les conditions de stabilité interne de l'ouvrage surtout si ce dernier, en son état initial avant excavation, ne présente pas des mécanismes de rupture (fissuration, grandes contraintes, ...) et qu'il reste dans le domaine élastique.

REFERENCES

- [1] A.J. Schleiss., H.Pougatsch. *Traité de Génie civil Volume 17 : Les barrages, du projet à la mise en service*, 2011

[2] D.Hantz, *Stabilité des cavités*, 2012

[3] M. LINO, *Technique de réhabilitation - Modélisation des barrages poids*, 2001

**LA LUTTE POUR L'EAU: STRATEGIE DES AGRICULTEURS POUR
PALIER A LA PENURIE DE L'EAU DANS LE PERIMETRE DE BENI
AMIR". Nawal EL HAOUARI**

Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Durable et des Eaux et Forêts

nawal.haouari@gmail.com

RESUME

Depuis les conditions de sécheresse survenues dans les années 90, l'ORMVA du Tadla est passé de l'attribution de l'eau à la demande à une distribution en fonction des disponibilités en eau et des besoins des cultures (Calendrier prévisionnel des irrigations). Depuis 2002, l'eau disponible ne couvre plus que 60% de la demande normale du périmètre. Les restrictions par rapport aux allocations normales atteignent 70% certaines années. La gestion de l'eau dans le périmètre est devenue une gestion de la rareté et du risque.

Le présent article propose d'appliquer le cadre conceptuel des "moyens de subsistance", dans une démarche interdisciplinaire, pour étudier les stratégies des usagers de l'eau du périmètre irrigué de Beni Amir, pour accéder à l'eau et gérer la pénurie et ses effets. Nous avons analysé les perceptions de risque chez les usagers et les gestionnaires de l'eau d'irrigation ainsi que les arrangements institutionnels développés par les acteurs pour "survivre" à la sécheresse. L'article a

mis en évidence comment les institutions publiques, les groupements et les individus développent différentes stratégies individuelles et/ou collectives face à des circonstances similaires de pénurie croissante d'eau et, dans quelles mesures, ces stratégies sont-elles efficaces.

L'étude a conclu que les conditions de sécheresse qui règnent sur le périmètre de Beni Amir (Tadla) depuis plusieurs décennies ont incité les gestionnaires de l'eau et les agriculteurs à développer différentes stratégies selon les "attributs" et les "capitaux" dont ils disposent et les ressources et moyens qu'ils arrivent à mobiliser: tandis que les gestionnaires imposent des restrictions, des quotas d'eau et priorisent des cultures spécifiques, conformément aux orientations des Départements Ministériels en charge de la gestion de l'eau, les différentes "catégories" d'agriculteurs ont recours à différentes manœuvres pour accéder à l'eau et rentabiliser au mieux leurs systèmes de cultures, dans le respect (ou non) des règles et lois en vigueur. Le point commun entre ces stratégies est l'orientation vers la diversification du risque pour "survivre" à la pénurie de l'eau.

MOTS CLES: Pénurie de l'eau; gestion de l'irrigation; stratégies des acteurs

Introduction :

Bien que l'eau couvre 70% de la surface de la Terre, les réserves d'eau douce ne représentent que 3% dont seulement 1% est accessible à l'Homme. La population mondiale croît rapidement induisant une augmentation rapide des besoins en eau alors que les ressources en eau disponibles n'augmentent pas pour autant. En effet, en un siècle, la population mondiale a triplé et la consommation d'eau douce a été multipliée par 7. Par ailleurs, les réserves d'eau sont inégalement réparties sur la planète et 85% des habitants vivent dans la partie majoritairement aride. Il est estimé qu'en 2050, plus de 5,7 milliards d'êtres humains manqueront d'eau au moins un mois par an, ce qui représente six humains sur dix.²

Selon L'UNESCO : « les pénuries et les problèmes d'accès à l'eau sont susceptibles de limiter la croissance économique et d'amplifier la pauvreté» et "l'usage excessif de l'eau par l'homme a généré une dégradation de l'environnement, des sols et un tarissement des ressources en eau"³. Un autre constat alarmant fait par l'UNESCO aussi est qu'aujourd'hui, plus de 700 millions de personnes n'ont pas accès à une eau propre et salubre et deux milliards n'ont pas accès à

² ONU, 8ème forum international de l'eau, 2018.

³ Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 2019.

un assainissement adéquat. Les conséquences incluent les maladies contagieuses, la malnutrition et la migration. En effet, depuis 2010, plus de 25,3 millions de personnes sont forcées de migrer annuellement à cause de la sécheresse, un chiffre qui est susceptible d'augmenter dans les années à venir sous l'effet du réchauffement⁴ climatique.

Le Maroc, à l'instar d'une trentaine de pays de la région Mena, dont la Palestine, le Koweït, l'Arabie saoudite, le Qatar, les Émirats arabes unis, Oman ou encore le Liban, pourrait perdre plus de 80% de ses ressources en eau d'ici 25 ans⁵. La prédominance de secteurs très gourmands en eau comme l'agriculture et l'industrie et la forte consommation des ménages marocains, pourraient conduire à une grave pénurie d'ici une vingtaine d'année. D'après ONU-Eau, la demande ménagère devrait augmenter de 30% en 2030 et de 55% en 2050 et à plus court terme, le stress hydrique commencera à atteindre des niveaux critiques au Maroc dès 2020/2025⁶.

En plus de l'instabilité de la pluviométrie et de la dégradation des eaux de surface, le Maroc, qui bénéficie actuellement de 4 milliards de mètres cube d'eaux souterraines, souffre d'un assèchement croissant de ses nappes phréatiques aggravé par la pollution. L'ONU table sur une diminution annuelle de 20 à 50% des eaux souterraines à l'horizon 2050⁷.

Aujourd'hui, la question de l'eau doit être envisagée sous l'angle du risque et sous celui de la dépendance réciproque entre les populations et leur environnement⁸. En effet, la gestion de l'eau doit être considérée comme une gestion de risque, dans la mesure où les conventions qui la régissent ont pour objectif de réduire les aléas aussi bien naturels que techniques. La question de l'eau peut également être abordée sous l'angle de l'équité dans la mesure où les inégalités en matière d'accès à l'eau requièrent des stratégies de gestion de risque très complexes⁹.

Cet article propose d'appliquer le cadre conceptuel des "moyens de subsistance", dans une démarche interdisciplinaire, pour étudier les stratégies des usagers de l'eau du périmètre irrigué de Beni Amir, pour accéder à l'eau et gérer la pénurie et ses effets. Nous analyserons les

⁴ UNESCO, 2019, "Qui sont les exclus de l'eau?".

⁵ Américain World Resources Institute (WRI) ; 2015 :«Palmarès des pays manquants le plus d'eau en 2040»,

⁶ Rapport Mondial sur la mise en valeur des Ressources en eau- Mars 2019.

⁷ ONU-Eau, rapport Forum mondial de l'eau ; Corée du sud ; Avril 2015.

⁸ Jean-Paul Billaud ; Sociologie rurale et environnement : renouveau ou dépassement ?
HAL, 2018

⁹ Analyse du basculement des modes d'extraction des eaux souterraines dans le Saïss (Maroc): Vers une reconfiguration des mondes des eaux cachées ?- HAL; 2018.

perceptions de risque chez les usagers et les gestionnaires de l'eau d'irrigation ainsi que les arrangements institutionnels développés par les acteurs pour "survivre" à la sécheresse.

I. Le périmètre de Beni Amir : un contexte de pénurie d'eau croissante

Avant 2002, le volume d'eau alloué au périmètre de Beni Amir dépendait des fluctuations du débit non régularisé de l'oued Oum Errabiaa. Le flux annuel au niveau de la rivière dépassait les 1.148 Mm³. Mais au cours des 20 dernières années, le débit mesuré n'a pas dépassé les 848 Mm³ par an, enregistrant une baisse moyenne de 5 Mm³ par an. En été, quand la demande du périmètre atteint 13 M³/s, le débit régularisé au niveau de Oum Errabia n'excède pas les 5 M³/s

En effet, durant les années 80, l'eau disponible pour le périmètre excédait les besoins et la distribution de l'eau d'irrigation se faisait sur la base de la demande, indépendamment du système d'assolement pratiqué. Ce mode de distribution à la demande a amplifié un certain nombre de problèmes tels que la remontée de la nappe et la salinisation des sols et de l'eau.

Depuis les conditions de sécheresse survenues dans les années 90, l'ORMVA du Tadla est passé de l'attribution de l'eau à la demande à une distribution en fonction des disponibilités en eau et des besoins des cultures (Calendrier prévisionnel des irrigations).

A partir de 2002, l'eau disponible ne couvre plus que 60% de la demande normale du périmètre. Les restrictions par rapport aux allocations normales atteignent 70% certaines années. La gestion de l'eau dans le périmètre est devenue une gestion de la rareté. Aucune amélioration ne peut avoir lieu à court terme, sans que l'efficacité de l'irrigation ne soit améliorée. En effet, la mise en eau du barrage Ahmed Al hansali en 2002 a amplifié davantage le problème de la pénurie d'eau car le volume dont bénéficiait Beni Amir, normalement de 308 Millions de mètres cubes (11000 m³/ha) a été ramené à 240 Millions de mètres cubes (8600m³/ha), en raison de la diminution du débit de la rivière Oum Erbiaa. Par ailleurs, l'approvisionnement des villes avoisinantes en eau douce à partir du barrage Ahmed El Hansali a diminué davantage le volume d'eau disponible pour le périmètre de Beni Amir.

En 2003/2004, le volume alloué au périmètre de Beni Amir a été ramené à 130 millions de mètres cubes (4670 m³/ha) car la réserve au niveau du barrage était très faible. Ce volume représente 41% du volume alloué à l'hectare en année normale.

A partir de 2016/2017, le flux au niveau de Oum Errabiaa a baissé à moins de 750 Mm³ par an, ce qui a acculé le périmètre à une situation de pénurie d'eau chronique et structurelle.

La planification et l'allocation d'eau au périmètre de Beni Amir sont déterminées en fonction de l'approvisionnement de l'Oued Oum Erbiaa (les apports pluviométriques) et après régularisation des volumes par le barrage Ahmed Al Hansali. Le volume distribué au périmètre de Beni Amir dépend également de l'allocation accordée par l'Agence du bassin hydraulique d'Oum Erbiaa dans le cadre de la réunion annuelle de la Commission régionale de l'hydraulique, qui détermine les dotations annuelles des grands usagers (agriculture, eau potable, production électrique, etc).

Tableau 16 : Déficit en eau dans le périmètre de Beni Amir

Année	Dotation normale en Mm 3	Dotation réelle allouée en Mm3	Deficit/année normale (%)
99/2000	308	251	7
2000/2001	308	130	51
2001/2002	240	150	44
2002/2003	270	130	59
2003/2004	270	190	30
2004/2005	270	190	30
2010-2011	270	180	33.5
2016-2017	270	180	33.5

Source : Ministère de l'agriculture 2018

Cet article examine et analyse comment les institutions publiques (ORMVA), les associations (AUEA) et les agriculteurs (usagers) développent des stratégies individuelles et/ou collectives

pour faire face à la pénurie d'eau croissante dans le périmètre irrigué de Beni Amir et à quel point ces stratégies sont-elles efficaces?.

II. Méthodologie

II.1- Concepts

➤ La pénurie d'eau :

La pénurie d'eau est définie comme une situation dans laquelle la demande d'eau, induite par la démographie ou l'usage, dépasse le niveau de l'offre¹⁰. Cette inadéquation peut être due soit à un défaut d'offre, soit à un excès de demande, l'un et l'autre pouvant être conjoncturels ou structurels, en comparaison avec un état d'adéquation de référence. La pénurie est souvent imputable à une insuffisance de l'offre, défaillante ou limitée du point de vue de la demande des utilisateurs. Elle peut cependant résulter d'une croissance temporaire ou tendancielle de la demande face à une rareté absolue de la ressource.

Les pressions résultant de la croissance démographique et de la densité de l'urbanisation augmentent naturellement le nombre de personnes par unité de superficie. Mais l'accent mis sur la «demande» nous oblige à prendre en compte la notion de rareté qui est aussi économique que culturelle. En effet, au delà des trois litres par personne par jour requis pour la survie humaine, la «demande» et le «besoin» ne sont pas des valeurs absolues. La capacité technique avec laquelle les sociétés sont capables de gérer leurs ressources en eau est primordiale. Une pénurie aiguë d'eau peut exister dans un pays simplement parce qu'il n'a pas la capacité de mobiliser son eau dans les barrages, de la traiter et de le distribuer via un système de distribution. La pollution des eaux se traduit également par une forme de pénurie¹¹.

La pénurie d'eau est donc plus qu'une simple question de non-disponibilité « physique » de l'eau. Lorsqu'on parle de rareté, nous devons également prendre en compte sa qualité, son utilisation et son accès. Sexton¹² a fait la distinction entre la pénurie absolue et la pénurie économique, cette

¹⁰ Turton & Ohlsson, *Hydropolitics in the Developing World: A Southern African Perspective*, 1999.

¹¹ Lennart J. Lundqvist, *Sweden and Ecological Governance: Straddling the Fence* published by Manchester University Press Oxford Road, Manchester M13 9NR, UK, 1998.

¹² Clarence Sexton, *Unmasking the New Age Movement*, Murfreesboro, Tennessee : Sword of the Lord Publishers, 1992.

dernière se référant à des choix économiques qui ont créé des gagnants et des perdants. Warner¹³ a ajouté que la principale limite à la disponibilité de l'eau est son "allocation" et donc la pénurie est plus un concept "politique" que technique - Homer-Dixon¹⁴ s'est référé à l'"accès" en utilisant l'expression « capture de la ressource »-.

L'approche des « moyens de subsistance »:

L'approche des moyens de subsistance « livelihood approach » a évolué au cours du temps. Initialement dans cette approche, les pauvres étaient considérés comme des individus apathiques et incapables. Les années 1970 et 1980 ont attiré l'attention sur les situations des familles défavorisées, mettant en évidence leurs vulnérabilités et leur marginalisation, sans aucune mention de leurs attributs ou capacités à changer ou améliorer leurs situations. Aujourd'hui, l'approche des moyens de subsistance vise à représenter la perspective de ces populations pauvres et marginalisées plutôt que celle des bailleurs de fonds et des donateurs, à mettre en évidence les liens entre institutions plutôt que les rôles des individus. Plus important encore, elle cherche à valoriser leurs capacités plutôt que leurs problèmes, dans un contexte de vulnérabilité.

Les moyens de subsistance sont directement liés aux individus, à leurs capacités et ressources et aux activités qu'ils mettent en œuvre pour subvenir à leurs besoins. Ces moyens de subsistance doivent toujours être appréhendés en tenant compte des contextes politique, économique et socioculturel. Ces capacités appelés aussi "attributs" peuvent être le savoir-faire, les capacités intellectuelles et physiques, les facteurs de production et les "réseaux sociaux".

Le cadre conceptuel des moyens de subsistance place les individus, au centre d'un réseau d'influences interdépendantes qui ont un impact sur la façon avec laquelle ils créent des moyens de subsistance pour eux et leurs ménages. Au plus près des individus, et au centre du cadre conceptuel, on trouve les ressources et les biens associés aux moyens d'existence auxquels ils ont accès, à savoir, les ressources naturelles, les technologies, les compétences et les connaissances dont ils disposent pour accéder à l'éducation, à la santé, aux crédits ou aux réseaux d'appui social. L'étendue de leur accès à ces ressources est fortement influencée par le contexte de vulnérabilité dans lequel ils se trouvent, lequel est tributaire des tendances économiques, politiques,

¹³ Warner, Did the Debt Crisis Cause the Investment Crisis? Article in Quarterly **Journal of Economics** **107(4):1161-86**,1992.

¹⁴ Homer-Dixon, Environmental Scarcities and Violent Conflict, The MIT Press 1994.

technologiques, des chocs (épidémies, catastrophes naturelles, guerre civile) et de la saisonnalité (prix, production, perspectives d'emplois).

L'accès aux ressources est également influencé par l'environnement social, institutionnel et politique prévalant, qui a un effet sur les manières avec lesquelles les individus utilisent leurs ressources pour atteindre leurs objectifs de "survie". Ces manières constituent leurs stratégies des moyens d'existence.

Le cadre conceptuel "des moyens de subsistance" sert à identifier les principales contraintes et perspectives des ruraux, telles qu'eux-mêmes les expriment. Il s'appuie sur ces éléments pour les aider à surmonter les contraintes ou à tirer profit des opportunités. Ce cadre constitue une base de réflexion et d'analyse, qui peut être adaptée en fonction des situations¹⁵.

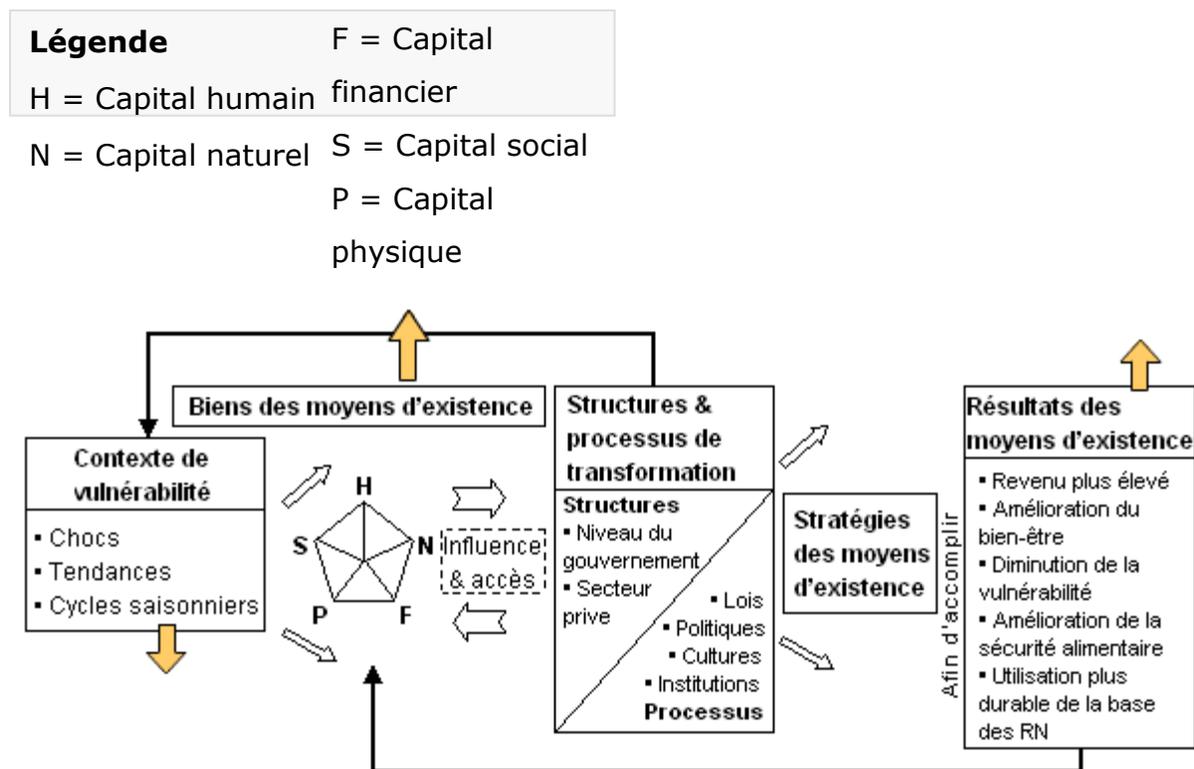


Figure 1: Cadre conceptuel des moyens d'existence

Source : <http://www.fao.org/sd/erp/toolkit/Books/SARDLEARNING/CD-SL/Sources/p%EAche.pdf>

¹⁵ IFAD ; Sustainable livelihood workshops ; 2003.

II-2. Méthode d'investigation

II-1. Caractérisation du système de culture du périmètre de Beni Amir

Le périmètre irrigué du Beni Amir compte près de 7500 exploitations agricoles. Le statut « melk » ou propriété privée représente 91% de ces exploitations. Le reste est sous statut collectif ou domaine privé de l'état.

A l'instar des autres périmètres irrigués, Beni Amir connaît un morcellement important. La taille des exploitations est caractérisée par la dominance des petites exploitations : 82% des exploitations en irrigué ont moins de 5 ha, représentant 41% de la superficie irriguée, dont 47% ont moins de 2 ha. Les exploitations de plus de 20 ha ne représentent que 3% en nombre mais détiennent 34% de la superficie totale irriguée.

Le système de cultures est dominé par les céréalicultures (38%), les cultures fourragères (17%), l'arboriculture (20%), la betterave à sucre (13%) et les cultures maraîchères (12%).

Le système de cultures a connu certains changements durant les vingt dernières années en adaptation avec la pénurie d'eau croissante que connaît le périmètre. Ainsi, La culture du coton qui occupait plus 10 000 ha dans les années 90 a aujourd'hui disparu en raison de ses besoins élevés en eau d'irrigation. La superficie de la betterave à sucre, principale culture industrielle, a connu une nette régression pour ensuite se redévelopper ces 5 dernières années: sa superficie a été réduite de moitié entre 1996 (20.000 ha) et 2005(10.000 ha) pour rebondir à partir de 2016 et atteindre près de 29.000 ha. Néanmoins, cette réduction de la superficie de la betterave à sucre été partiellement compensée par une amélioration des rendements. Cette culture est importante dans le périmètre du fait de la présence dans la région de trois unités industrielles de sucre qui passent des contrats de production avec les agriculteurs pour assurer un niveau minimal d'approvisionnement en betterave assurant la production de sucre.

Les superficies emblavées de céréalicultures sont restées stables malgré quelques fluctuations interannuelles.

La luzerne constitue la principale culture fourragère du périmètre. Cette culture a permis le développement d'un élevage bovin qui fournit 14 % de la production nationale en lait et 6% de la production nationale de viande bovine.

Les superficies occupées par les agrumes et l'olivier restent globalement stables. Un important effort de développement est déployé par l'ORMVAT afin de maintenir des niveaux de productivité satisfaisants.

Le mode d'irrigation gravitaire est le plus répandu dans le périmètre. On estime que plus de 98% des agriculteurs utilisent la "Robta", technique d'irrigation traditionnelle de montagne adaptée aux zones irriguées de la plaine en raison du mauvais état de nivellement des exploitations qui ne favorise pas l'irrigation gravitaire. Des mesures d'efficacité ont montré que cette technique engendre des pertes d'eau d'environ 50% au niveau de la parcelle¹⁶.

L'irrigation localisée connaît un développement important dans le cadre du plan national d'économie de l'eau. La superficie équipée en irrigation localisée est passée de 3 208 ha en 2003 à près de 30.000 ha en 2018, dont 96% concerne l'arboriculture fruitière.

L'irrigation par aspersion n'est pas pratiquée à grande échelle. Quelques grandes exploitations de céréaliculture sont équipées en système canon enrouleur avec pompage privé.

II-2. Déroulement du travail de terrain

Dans cette investigation, nous avons essayé d'analyser et de comprendre les éléments suivants:

- les stratégies de subsistance des 'agriculteurs pour faire face à la pénurie croissante d'eau dans le Beni Amir;
- les particularités des moyens de subsistance et les contraintes des agriculteurs défavorisés (en termes d'accès à l'eau) par rapport aux autres agriculteurs;
- La gestion collective de l'eau et son interaction avec les stratégies individuelles d'accès à l'eau dans un contexte de pénurie.

Afin d'appréhender ces aspects, une méthodologie modulaire de recherche a été adoptée. Il s'agit d'une enquête par sondage auprès d'un échantillon d'agriculteurs et par « focus groups » afin de collecter des données qualitatives sur les caractéristiques de leurs attributs et moyens de subsistance permettant d'élaborer une typologie des agriculteurs du périmètre.

Pour construire notre échantillon d'agriculteurs, les étapes suivantes ont été suivies:

- sélection de deux canaux secondaires;

¹⁶ Projet SID 2016-2020, Coopération Maroc-Belge.

- sélection de trois canaux tertiaires de chaque canal secondaire;
- réalisation d'un diagnostic rural participatif (DRP) au niveau de chaque canal tertiaire pour un diagnostic rapide des caractéristiques des exploitations, en termes de ressources et de moyens de subsistance;
- Choix d'un échantillon d'agriculteurs sur la base du critère de patrimoine/niveau de richesse, qui nous a semblé le plus pertinent pour cette typologie;
- Enquête avec les agriculteurs sur les stratégies des individus ou de groupes pour faire face à la pénurie.

Le Diagnostic Rural Participatif:

La sélection des exploitations a eu lieu après avoir effectué une typologie des exploitations basée sur la méthode du diagnostic rural participatif.

La méthode de diagnostic rural participatif ne vise pas à produire des statistiques ou de l'information chiffrée dans la mesure où elle traite les problèmes de manière qualitative. Elle aide à disposer d'ordres de grandeur et de tendances. Elle permet également de recueillir des informations qui permettent d'expliquer les raisons pour lesquelles un groupe se comporte d'une certaine manière ou bien les facteurs qui expliquent une évolution dans une direction donnée.

Le DRP fait appel à un ensemble de techniques participatives, pour l'essentiel visuelles, qui nous permettent d'évaluer les ressources du groupe et de la communauté, d'identifier les problèmes et les classer hiérarchiquement par ordre d'importance et d'évaluer les stratégies qui permettent de les résoudre.

Cette méthode nous a permis d'identifier le critère ou le facteur de différenciation le plus pertinent du point de vue des agriculteurs. Le critère de "stratification des exploitations" retenu a été unanimement le «patrimoine physique». La population des exploitants de chaque canal tertiaire était divisée en catégories "aisée", "moyenne" et "pauvre". Par la suite, un échantillon aléatoire d'exploitations a été sélectionné dans chaque catégorie.

La stratification selon le patrimoine/niveau de richesse:

Les principales étapes de classement des exploitants selon le critère du "patrimoine" étaient les suivantes:

- Identifier les informateurs clés fiables, en évitant de ne s'appuyer que sur les leaders communautaires;
- Se mettre d'accord avec les informateurs clés sur:
 - les concepts locaux et le langage vernaculaire pour décrire le patrimoine détenu;
 - Le nombre de catégories identifiées dans le cadre du DRP;
 - La définition du travail et du revenu d'un ménage.
- lister les agriculteurs de chaque canal tertiaire et écrire leurs noms sur des morceaux de papier. Ensuite, demander aux informateurs de placer chaque agriculteur dans la catégorie de richesse correspondante, selon leurs propres points de vue;
- revérifier: une fois terminé, prendre chaque feuille et lire les noms placés dans chaque catégorie en demandant de nouveau aux informateurs de s'assurer que les noms sont bien placés dans leurs catégories;
- après vérification, discuter avec les informateurs des caractéristiques de chaque catégorie d'agriculteurs identifiée: «Qu'est-ce que les agriculteurs de chaque catégorie ont en commun? Qu'est ce qui les distingue des agriculteurs des autres catégories?»

La classification selon le patrimoine ou le niveau de richesse nous a permis de disposer d'une base pour l'échantillonnage. Cette typologie a donné lieu à 3 catégories d'agriculteurs (agriculteurs "aisés", agriculteurs "moyens" et agriculteurs "pauvres"). Nous avons donc procédé au choix d'un échantillon aléatoire de chaque catégorie qui consiste à tirer au sort des agriculteurs de chaque catégorie, en veillant à avoir un niveau de représentativité satisfaisant.

Les questionnaires:

Trois types de questionnaires ont été utilisés pour appréhender les stratégies des acteurs pour gérer la pénurie d'eau:

- 1- *Un canevas d'entretien* avec les responsables de gestion de l'irrigation de l'ORMVAT pour identifier et déterminer la stratégie de cette institution face à la pénurie d'eau.

2- *Un questionnaire agriculteur* qui a porté sur les axes suivants:

- ✓ L'identification des agriculteurs et leurs systèmes de cultures;
- ✓ L'évolution des systèmes de cultures sur 15 ans;
- ✓ Les besoins en eau des cultures versus les doses d'irrigation allouées par l'ORMVA;
- ✓ Le recours au pompage des eaux souterraines (volumes, périodes, coût);
- ✓ Les relations avec les exploitants voisins, l'AUEA, l'ORMVA, etc..en matière de gestion de l'eau de surface et de pompage.

Le but étant d'identifier les stratégies et les attributs que les agriculteurs utilisent pour faire face à la pénurie d'eau, nous avons essayé de structurer les modèles d'intervention de chaque agriculteur ou catégorie d'agriculteurs et leur évolution au cours des dernières années en réaction à la pénurie d'eau croissante que connaît le périmètre Beni Amir.

3- *Un questionnaire AUEA* qui s'est intéressé aux fonctions et tâches de gestion de l'irrigation assurées par les AUEA;

II.3. Sélection des canaux secondaires, tertiaires et des exploitations:

✓ Sélection des canaux secondaires:

La sélection des deux canaux secondaires a été réalisée en tenant compte des critères suivants :

-
- Le degré de représentativité des canaux dans le réseau d'irrigation du périmètre de Beni Amir (en termes d'état des infrastructures, du nombre d'agriculteurs, de superficie couverte, etc);
 - Le degré d'organisation des agriculteurs: un secondaire couvert par une AUEA (P13) et l'autre (P11A) sans AUEA, afin d'apprécier les effets de la politique de gestion participative de l'irrigation (GPI) sur les performances de l'irrigation;
 - La position géographique des canaux dans le réseau d'irrigation: le premier situé en amont et le deuxième en aval de la prise d'eau sur le canal primaire.

Tableau 2 : Caractéristiques des canaux secondaires sélectionnés

Canal secondaire	PA11	P13
------------------	------	-----

Nombre de canaux tertiaires	45	48
Superficie (hectares)	2005.2	1697.07
Nombre d'agriculteurs	498	410
Nombre de puits avec stations de pompage	69	236
Surface moyenne par tertiaire (hectares)	45.57	38.11
Nombre d'agriculteurs par tertiaire	11	9

Source : ORMVA DU TADLA 2016

✓ Sélection des canaux tertiaires :

Nous avons procédé à la sélection de trois canaux tertiaires dans chaque canal secondaire après discussion avec les responsables de gestion du réseau et les aiguadiers dans le cadre d'un focus group. La carte des canaux secondaires a été étudiée pour avoir une idée de l'emplacement des canaux tertiaires par rapport au canal secondaire. Nous avons sélectionné six canaux tertiaires sur la base des critères suivants:

- la superficie couverte;
- le nombre d'agriculteurs;
- l'état physique des infrastructures et des équipements d'irrigation;
- le débit d'eau;
- la durée des tours d'eau.

Les tertiaires sélectionnés présentent des caractéristiques similaires afin de permettre la comparaison des efficacités de distribution et la valorisation de l'eau entre eux. Trois tertiaires ont été sélectionnés dans chaque secondaire: un en amont, un au milieu et un en queue du secondaire.

Tableau 3 : caractéristiques des canaux tertiaires

P11A (secondaire)			P13 (secondaire)		
Tertiaire	Superficie (ha)	Nombre d'agriculteurs	Tertiaire	Superficie (ha)	Nombre d'agriculteurs
G1D1	62.92	12	D2B	64.4	13
G2D	61.39	15	D4C	54.05	10

G4B	63.59	15	G7B	44.81	9
------------	-------	----	------------	-------	---

✓ Sélection des exploitations:

La typologie des exploitations réalisée au niveau des tertiaires selon le critère de classification "patrimoine physique" a permis de distinguer trois catégories d'agriculteurs:

- La catégorie « agriculteurs aisés »: les agriculteurs de cette catégorie sont de grands propriétaires terriers (superficie supérieure à 5 hectares), pratiquant l'assolement « betterave-cultures fourragères-olivier », ayant au moins un membre de la famille émigré en Italie ou en Espagne (revenu supplémentaire), pratiquant un élevage bovin et ovin intensif (au moins 20 ovins de race améliorée et 100 ovins) et ayant une autre activité économique autre que l'agriculture (commerce, épicerie, boucherie, etc);
- La catégorie « agriculteurs moyens »: les agriculteurs de cette catégorie possèdent des superficies situées entre 2 et 3.5 hectares, pratiquent un assolement « céréaliculture –luzerne », ont des élevages de petite taille (moins de 10 ovins et de 20 ovins) et n'ont aucune autre activité économique que l'agriculture mais disposent pour la plupart d'un revenu de l'émigration;
- La catégorie « agriculteurs pauvres »: des agriculteurs possédant moins de 2 hectares, qui pratiquent principalement la céréaliculture, ne pratiquent pas l'élevage, n'ont aucun revenu de l'émigration et aucune autre activité ou source de revenu que l'agriculture.

Tableau 4 : Exploitations sélectionnées dans les six canaux tertiaires

Canal secondaire	Canal tertiaire	Catégories		
		Agriculteurs Riches	Agriculteurs moyens	Agriculteurs pauvres
P11A	G1D1	6	4	2
	G2D	8	5	2
	G4B	8	5	2
	Total	22	14	6
P13	D2B	5	3	5
	D4C	3	5	2

	G7B	4	3	2
	Total	12	11	9

Ainsi, l'enquête exploitation a concerné 23 agriculteurs sur un total de 74, ce qui représente 30%, réparties comme suit :

P11A :

- "Agriculteurs Aisés": 6 exploitations sur 22 (27%) ;
- "Agriculteurs Moyens": 4 exploitations sur 14 (28%) ;
- "Agriculteurs Pauvres": 3 exploitations sur 6 (50%).

P13 :

- "Agriculteurs Aisés": 4 exploitations sur 12 (33%) ;
- "Agriculteurs Moyens": 3 exploitations sur 11 (27%) ;
- "Agriculteurs Pauvres": 3 exploitations sur 9 (33%).

III. Résultats: Stratégies des acteurs pour gérer la pénurie de l'eau

III.1. Stratégie de l'ORMVA

III.1.1. Programmation de l'irrigation en année normale

En année normale, les objectifs de l'allocation annuelle de l'eau s'inscrivent dans le cadre de la politique de libéralisation et de désengagement de l'Etat. Ainsi, Le principe de la dotation annuelle par hectare consiste à attribuer un volume d'eau par hectare indépendamment des cultures pratiquées. Ce volume dépend seulement de la dotation annuelle totale accordée au périmètre. Sur cette base, un volume annuel est alloué, au démarrage de la campagne agricole, à chaque exploitation agricole. Ce volume est inscrit sur un chéquier de commande d'eau grâce auquel l'agriculteur peut suivre tout au long de la campagne agricole, les volumes consommés et le reste à consommer. L'agriculteur dispose d'une certaine liberté dans la programmation de l'irrigation de ses cultures (tant que la capacité du réseau le permet) et par conséquent, il peut réserver des volumes d'eau à des cultures qu'il désire installer plus tard dans la campagne agricole.

III.1.2. Programmation de l'irrigation en année sèche

Le programme prévisionnel d'irrigation tient compte des réserves disponibles au niveau du barrage Ahmed El Hansali au 1^{er} septembre, de l'espérance des apports pluviométriques au cours de l'année, de l'estimation des pertes par infiltration et évaporation, des stocks à réserver à la fin de la campagne, ainsi que des programmes prévisionnels de mise en valeur agricole du périmètre.

Le programme prévisionnel d'irrigation en année sèche repose sur les considérations suivantes :

- Eviter d'imposer des restrictions sévères dès le démarrage de la campagne pour ne pas compromettre de façon irréversible l'installation des cultures d'hiver;
- Assurer l'irrigation d'une superficie minimale de betterave et de céréales pour sécuriser la production nécessaire pour le fonctionnement des unités sucrières et le stock céréalier;
- Prévoir des programmes de replis en cas de besoin qui tiennent compte des besoins des cultures d'hiver et des cultures pérennes, en y intégrant des réductions des superficies des cultures de printemps et d'été et des restrictions sur les doses d'irrigation des différentes cultures au besoin.

En cours de campagne agricole, le programme arrêté en septembre peut être révisé en fonction des dotations allouées au périmètre et des apports pluviométriques réels. Des révisions sont effectuées durant le premier semestre de la campagne agricole pour ajuster le programme et les plannings d'irrigation.

Le calendrier prévisionnel d'irrigation est établi par le Bureau de Planification des Irrigations du Service de l'Exploitation du Réseau (dépendant du DGRID). Ensuite, il est proposé pour approbation à une commission composée des autorités locales, de la chambre d'agriculture, de l'Association des producteurs de la betterave sucrière et des AUEA.

Ainsi, en année sèche, la mise en œuvre du programme d'irrigation s'accompagne d'un certain nombre de mesures visant la sécurisation de la production de la betterave et des céréales, la sauvegarde des plantations et des cultures pérennes (cultures fourragères comme la luzerne).

III.1.3. Programmation de l'irrigation du Beni Amir pour l'année 2016/2017

Tableau 5 : Programme prévisionnel de fourniture d'eau pour la campagne 2016-2017

Périmètre	Barrage	Dotation normale en Mm 3	Dotation allouée en Mm3	Déficit /Année normale
Béni Amir	Ahmed Al Hansali	270	170	37%

Source : ORMVA du Tadla 2018

Sur la base du volume d'eau alloué au périmètre des Beni Amir, l'emblavement pour la campagne 2016/2017 a été révisé comme suit :

Tableau 6 : Emblavement révisé pour la campagne 2016-2017

Culture	Situation normale (ha)	Programme révisé (ha)
Céréales	10 000	6 400
Betterave	4 100	2 500
Luzerne	3 700	9 250
Autres fourrages	2 500	0
Maraîchages d'hiver	400	0
Maraîchages d'été	1 000	0
Olivier	3 400	4 100
Autres plantations	0	600
Total	29 200	22 850

Source : ORMVA du Tadla 2018

Tenant compte du volume d'eau allouée au périmètre des Beni Amir, la superficie emblavée a été réduite de 22% durant la campagne agricole 2016/2017, par rapport à une année normale. La fréquence des irrigations a également été revue à la baisse :

A l'analyse, on constate que le programme d'emblavement révisé suite à la réduction de près de 37% de la dotation en eau du périmètre de Beni Amir a porté essentiellement sur les cultures suivantes :

- Les cultures fourragères autres que la luzerne et les maraîchages d'hiver et d'été ont été totalement supprimées;
- Les superficies allouées aux céréalicultures et à la culture de la betterave ont été réduites d'environ 35% ;
- La superficie affectée à la luzerne a été augmentée de 150% ;
- La superficie de l'olivier et des autres plantations arboricoles ont été augmentées de 38%.

A la suite de la réduction des superficies cultivées, les volumes d'eau d'irrigation correspondants et les fréquences ont, à leur tour, été réduits comme suit:

Tableau 7 : Volume d'eau annuel par culture pour la campagne 2016-2017

Culture	Situation normale (Mm3)	Programme 2016/17 (Mm3)
Céréales	60	40
Betterave	56	39
Luzerne	64	63
Autres fourrages	27	0
Maraîchages d'hiver	13	0
Maraîchages d'été	19	0
Olivier	31	25
Autres plantations	10	3
Total	280	170

Source: ORMVA du Tadla, 2018

Tableau 87 : Fréquences d'irrigation révisées pour la campagne 2016-2017

Culture	Situation normale	Programme 2016/17
Céréales	6	4
Betterave	13	9
Luzerne	19	7
Autres fourrages	9	0
Maraichages d'hiver	4	0
Maraichages d'été	12	0
Olivier	11	6
Autres plantations	0	5
Total	74	31

Source: ORMVA du Tadla, 2018

On constate que les allocations d'eau a été supprimées pour l'ensemble des cultures à l'exception de quatre « cultures prioritaires », à savoir les plantations (olivier), la luzerne, la betterave et les céréalicultures, avec des réductions des fréquences des tours d'eau allant jusqu'à 63%.

III.1.4. Stratégie de l'ORMVAt pour gérer la pénurie d'eau

En année sèche, l'Etat à travers l'ORMVA intervient dans l'orientation des choix cultureux des agriculteurs en allouant l'eau prioritairement à quatre cultures qui sont, par ordre d'importance, l'arboriculture, la luzerne, les céréalicultures et la betterave. Ce choix est guidé, d'après nos entretiens avec les responsables de l'irrigation de l'ORMVAT, par la nécessité de sauvegarder les cultures pérennes, de permettre aux unités industrielles sucrières de la région fonctionner; de sauvegarder le cheptel ovin et bovin existant et d'assurer un stock céréalier.

Nous avons cependant constaté sur le terrain un enjeu important que constitue la culture de la betterave, à la fois pour l'ORMVA que pour les unités sucrières. En effet, la betterave sucrière joue un rôle important pour le fonctionnement des unités sucrières de la région. Au début de chaque campagne agricole, l'ORMVA, la chambre d'agriculture, les sucreries et les associations des producteurs de la betterave se réunissent afin de déterminer la superficie minimale à couvrir par la culture de la betterave, en fonction de la disponibilité de la ressource en eau et des incitations accordées aux agriculteurs pour pratiquer cette culture (fourniture des semences, des engrais et des produits phytosanitaires à crédit ; accompagnement technique; irrigation en

priorité). Cette culture est stratégique non seulement pour les unités sucrières afin de leur permettre de fonctionner mais aussi pour l'ORMVA qui compte sur le revenu de cette culture pour garantir le recouvrement direct des redevances d'eau par les sucreries. En effet, les sucreries, après avoir estimé la valeur de la récolte de la betterave à la fin de la campagne agricole, récupèrent les investissements sur la production avancés en début de campagne et procèdent ensuite au paiement des redevances d'eau à l'ORMVA avant de payer le reste aux agriculteurs. Malgré l'illégalité de cette procédure de recouvrement dite à « l'amont », l'Etat ferme l'œil étant donné que cette méthode est efficace et assure le recouvrement de plus de 30 % des redevances d'eau à l'ORMVA.

Quant aux agriculteurs, ils sont réticents vis-à-vis de la pratique de cette culture peu rentable en raison des ambiguïtés qui entourent les dosages du taux de sucre par les laboratoires des Unités de production de sucre et les prix de commercialisation jugés trop bas par rapport aux efforts consentis. Malgré les facilités d'investissement octroyées en début de campagne par les organismes de la filière (semences, engrais, produits phytosanitaires, crédits d'entretien), les agriculteurs arrivent difficilement à tirer un bénéfice de la betterave et préfèrent pratiquer d'autres cultures plus rémunératrices (sésame, menthe, maraîchages d'hiver et de printemps, etc.).

Cette stratégie de crise adoptée par l'ORMVAT est très contraignante pour les petits agriculteurs qui ne peuvent gérer plus de deux cultures sur leurs parcelles et qui sont donc contraints à cultiver la betterave sucrière pour accéder à l'eau d'irrigation, alors que d'autres cultures comme les céréales, les fourrages et certains maraîchages, sont nécessaires à ces agriculteurs pour subvenir aux besoins alimentaires de leurs familles et de leur bétail.

Se pose alors la question de l'équité de distribution de l'eau entre grands et petits agriculteurs et de l'existence d'une réelle libéralisation des assolements, étant donné que les grands agriculteurs, qui peuvent pratiquer les quatre cultures prioritaires, sont également accédés à des volumes d'eau plus importants en période de sécheresse, grâce à leurs "relations" privilégiées avec les aiguadiers et à la pratique du pompage privé tandis que les petits et moyens agriculteurs sont obligés d'avoir recours à d'autres stratégies.

III.2. Stratégie des agriculteurs face à la pénurie d'eau

L'enquête agriculteurs et l'observation font ressortir que les différentes catégories d'agriculteurs adoptent diverses stratégies pour faire face à la pénurie d'eau, en utilisant les attributs et les ressources qu'ils peuvent mobiliser (économiques, sociaux, technologiques, politiques, etc).

III.2.1. La catégorie “agriculteurs aisés”:

Cette catégorie d'agriculteurs dispose d'un attribut financier qui leur permet de faire face à la pénurie d'eau, en accédant à d'autres sources d'eau que celle du barrage (pompage des eaux souterraines, rachat des tours d'eau chez les agriculteurs voisins- qui ont abandonné leurs cultures- accès à des doses d'irrigation supplémentaire (en négociant avec l'aiguadier) :

- **Pompage des eaux souterraines :** La principale stratégie des agriculteurs aisés est de s'affranchir des contraintes du tour d'eau et des cultures « prioritaires » afin de gérer librement leurs assolements et pratiquer d'autres cultures plus rémunératrices (sésame, niora, menthe, maraîchages, etc.). L'observation du terrain nous a permis de constater qu'un grand nombre de ces agriculteurs s'affranchissaient des restrictions d'irrigation imposées par l'ORMVAT et de la rigidité des tours d'eau en creusant ou approfondissant des puits et forages;
- **Rachats des tours d'eau des voisins :** D'autres agriculteurs de cette catégorie, qui ne possèdent pas de puits propres, s'associent généralement avec leurs voisins pour utiliser leurs puits moyennant une contribution aux frais d'énergie et d'entretien du matériel de pompage, ou bien négocient le rachat d'une part d'eau chez les petits agriculteurs voisins qui abandonnent leurs cultures en cours de campagne pour aller chercher d'autres sources de revenu plus sûres (commerce, travail journalier, etc);
- **Doses d'irrigation supplémentaires:** Bien que la question soit sensible pour être abordée directement, plusieurs agriculteurs se plaignent de la baisse du débit d'eau (officiellement de 30 l/s) qui arrive sur leurs parcelles situées en aval de certaines grandes exploitations, qui arrivent à mobiliser des doses plus importantes avec la complaisance de l'aiguadier, agent de l'ORMVA en chargé de l'exécution des tours d'eau. Nous avons pu observer par nous même certaines de ces pratiques comme nous avons pu constater la relation très proche des grands agriculteurs avec les aiguadiers qui sont également en charge de la police de l'eau.

III.2.2. La catégorie “agriculteurs moyens”:

Les agriculteurs leaders sociaux et les élus locaux sont généralement classés dans cette catégorie. Ils possèdent des exploitations de taille moyenne et utilisent différentes manœuvres pour palier à la pénurie d'eau, allant du pompage –illégal- à partir du réseau de drainage jusqu'à user de leurs statuts et de leurs relations avec les fonctionnaires de l'ORMVAT, pour obtenir des doses d'irrigation supplémentaires pendant les périodes sèches:

- Les agriculteurs de cette catégorie qui disposent des moyens financiers et des connaissances techniques nécessaires, acquièrent de petites pompes mobiles qui leurs permettent de pomper l'eau directement à partir du réseau de drainage sans s'affranchir des frais de pompage. Ce constat a été vérifié chez 90% des agriculteurs enquêtés de cette catégorie.

Il est à signaler que le pompage à partir du réseau de drainage nécessite une autorisation spéciale, et les prélèvements sont facturés sur la base de 3000 m³/ha/an, quelle que soit le volume d'eau prélevé. Toutefois, la procédure d'obtention de l'autorisation est longue et compliquée et nécessite une dizaine d'étapes faisant intervenir plusieurs responsables et signataires. Aussi, vu la complexité de la procédure et les charges de pompage élevées, les agriculteurs dont les parcelles avoisinent les réseaux de drainage et qui possèdent des pompes mobiles, pratiquent le pompage sans autorisation et sans paiement des redevances de pompage!.

- Les leaders sociaux et les élus locaux utilisent leurs attributs sociaux et statuts politiques pour obtenir des doses d'irrigation supplémentaires avec la bénédiction des agents de distribution de l'ORMVA. En effet, les leaders sociaux, les présidents des associations professionnelles et des AUEA, les militaires ainsi que les politiciens locaux (les élus) usent de leurs positions pour accéder à des doses importantes leur permettant d'irriguer leurs cultures en période de grande restriction d'eau. Cette allocation d'eau supplémentaire se fait, bien entendu, au détriment des parts d'eau des petits agriculteurs. Si ces derniers protestent, on leur promet une rétribution pour le prochain tour d'eau, au détriment d'autres petits agriculteurs du tertiaire et ainsi de suite.

III.2.3. La catégorie “agricultures pauvres”

Les agriculteurs sans attributs financiers développent leurs propres stratégies pour faire face à la pénurie d'eau: ils déclarent à l'ORMVA la pratiques d'une ou plus des quatre cultures prioritaires

pour garantir l'obtention de doses d'irrigation tandis qu'en réalité, ils utilisent cette au pour irriguer d'autres cultures plus rentables (légumineuses, maraichages, etc);

D'autres agriculteurs commettent des vols d'eau en usant de différents stratagèmes (pompage direct dans le canal d'irrigation en amont des exploitations programmées dans le tour d'eau, vandalismes sur les canaux d'irrigation pour faire couler l'eau vers leurs exploitations, etc).

Enfin, les agriculteurs (les plus démunis) qui n'ont pas le courage d'user des « fausses déclarations de cultures» ou de commettre des vols d'eau abandonnent leurs cultures pour s'adonner à d'autres activités de subsistance (petits commerce, travail journalier, migration vers les villes avoisinantes pour chercher du travail dans le gardiennage, etc). Ceux qui arrivent à emprunter des sommes d'argent chez la famille, achètent des contrats de travail en Italie, destination très prisée dans cette région grâce au réseau familial des émigrés: chaque famille du périmètre de Beni Amir possède au moins un membre émigré en Italie. Les stratégies utilisées par cette catégorie d'agriculteurs sont détaillées ci-dessous:

➤ **Fausses déclarations des cultures installées:** comme nous l'avons expliqué avant, les restrictions d'eau au niveau du barrage ont amené l'ORMVA à privilégier l'allocation d'eau aux quatre cultures prioritaires, à savoir l'arboriculture, la luzerne, les céréalicultures et la betterave.

La betterave est une culture très consommatrice d'eau, ce qui lui confère une fréquence d'irrigation élevée et des doses d'irrigation plus importantes. La stratégie des agriculteurs de cette catégorie consiste à déclarer une superficie de betterave plus grande que celle cultivée en réalité et de détourner l'eau allouée à la betterave pour irriguer d'autres cultures pouvant assurer un revenu plus important. Ceci nous pousse à conclure que la betterave constitue, pour de nombreux agriculteurs, plus une sécurité d'accès à l'eau d'irrigation qu'une culture génératrice de revenu.

- **Vols d'eau:** fréquemment, des vols d'eau sont constatés en période de fortes chaleurs. Les constats de vol sont établis par le personnel en charge de la distribution d'eau, et par les brigades de contrôle pendant leurs tournées nocturnes. Souvent, les agriculteurs sont pris en flagrant délit de vol. Lors de nos enquêtes sur le terrain et nos déplacements le long du réseau, nous avons pu constater plusieurs cas de détournement d'eau à partir du canal tertiaire, commis en mettant des obstacles (pierres) dans les canaux pour augmenter le volume d'eau

délivré aux parcelles. D'autres agriculteurs détériorent les bordures du "bec de canard" afin de déstabiliser la ligne d'eau à l'amont et laisser passer plus d'eau vers leurs parcelles. Certains autres mettent des pierres dans le flotteur de la vanne AMIL pour faire déborder l'eau vers des seguias en terre aménagées spécialement pour cet acte. Des agriculteurs provoquent des fissures et des ouvertures sur les canaux tertiaires; l'eau perdue du canal est acheminée par de petites rigoles vers les drains pour être pompée par la suite comme eau de drainage.

Enfin, certains agriculteurs endettés envers l'Office (à qui on ne délivre plus d'eau en attendant la régularisation de leurs situations de paiement des redevances) ont acquis de petites pompes mobiles et pompent directement dans le canal tertiaire pendant la nuit. Le matin, les aiguadiers constatent plusieurs parcelles –en coupure d'eau pour non paiement- arrosées. A notre grand étonnement, les enquêtes ont révélé que la pluparts des constats de vols d'eau ne sont pas signalés dans des PV d'infraction. En effet, le vol d'eau est un acte très banalisé et les agriculteurs pris en délit de vol arrivent à résoudre le litige à l'amiable avec leurs voisins, autour d'un thé ou d'un repas, en présence de l'agent de distribution d'eau, en incriminant la "soif"!

- **Abandon de l'activité agricole et recherche d'autres activités plus "sûres"** : plusieurs petits agriculteurs, contraints par les restrictions d'irrigation et la rigidité des tours d'eau et pas les cultures imposées dont les revenus ne suffisent pas à subvenir aux besoins de la famille, abandonnent l'activité agricole pour rechercher d'autres sources de revenu plus sûres. En effet, plusieurs agriculteurs cherchent du travail comme vendeurs dans des épiceries ou des boucheries dans la ville de Fquih Ben Saleh, d'autres partent à Beni Mellal, Casablanca ou Marrakech pour travailler dans la maçonnerie, le jardinage ou le gardiennage. Les agriculteurs qui arrivent à une somme d'argent (entre 30.000 et 50.000 DH) achètent des "contrats de travail" à l'étranger ou paient des passeurs pour émigrer clandestinement en l'Europe, principalement en Italie, en mobilisant leurs réseaux sociaux et familiaux d'émigrés partis avant.

III-3. Stratégie des AUEA face à la pénurie de l'eau:

L'enquête effectuée auprès de des usagers du canal secondaire P13 couvert par l'AUEA Ennassr en comparaison avec le secondaire P11A où toutes les tentatives de création d'une AUEA ont

échoué en raison de conflits importants entre les usagers, d'ordre principalement politiques (appartenance à des partis politiques différents), a permis de soulever les constats suivants :

- ✓ En termes de participation à la gestion de l'irrigation, il y a une faible adhésion des usagers aux objectifs de la GPI, une faible maîtrise de la réglementation en vigueur, une presque absence de l'institution AUEA en tant que partenaire dans la gestion des systèmes d'irrigation ainsi qu'une faible cohésion entre ses membres. Les membres du conseil d'Administration ignorent leurs fonctions au sein du bureau de l'AUEA à l'exception du président, et ne semblent pas avoir tenu des réunions de bureaux pour s'entretenir ou prendre des décisions concernant leurs affaires hydrauliques.
- ✓ L'AUEA ne dispose pas de ressources propres, ne collecte pas les droits d'adhésion ni les cotisations annuelles prévus par la loi et son Décret d'application, ce qui constitue un handicap sérieux pour son fonctionnement,
- ✓ Le Bureau de l' AUEA n'a jamais été renouvelé comme le stipule la loi depuis la création. Plusieurs tentatives ont été faites entreprises par l'ORMVAT -Bureau des Relations avec les Usagers- pour organiser les assemblées générales des AUEA en vue de renouveler leurs conseils d'administration mais le quorum statutaire fixé à la moitié plus un des membres, n'a pas pu être atteint.
- ✓ Les mesures d'accompagnement, prévues dans le plan d'action GPI de l'ORMVA du Tadla, n'ont jamais été concrétisées selon le programme établi. Les efforts de renforcement des capacités des AUEA se sont limités à quelques modules de formation qui touchent les techniques d'irrigation et trois voyages d'études à d'autres périmètres irrigués;
- ✓ Le septième membre de l'AUEA, dont la fonction 'de fait' est le conseil et l'accompagnement des AUEA dans l'élaboration de leurs programmes de travaux annuels et leurs budgétisations, comme stipulé par la loi, est un agent de distribution d'eau – aigadier- d'un niveau d'instruction faible (école primaire), qui manque à la fois du savoir et du savoir-faire pour l'accomplissement de ses fonctions d'appui et d'encadrement. Ce septième membre est désigné par la hiérarchie, ce qui pose la question du degré de son adhésion personnelle aux principes de la gestion participative de l'irrigation et sa volonté à la réussir.

- ✓ L'enquête auprès du septième membre de l'AUEA Ennassr a montré qu'il n'a pas pris connaissance de la loi N° 02-84 et de son décret d'application bien que sa fonction officielle, selon ladite loi, est de "***veiller à son application et d'informer l'Administration de tout manquement à ses dispositions***". Par ailleurs, cet agent assure plusieurs autres tâches au sein de l'ORMVA (élaboration des tours d'eau, distribution, police de l'eau, etc.), ce qui lui laisse peu de temps disponible pour s'acquitter de sa fonction de septièmes membres.

En terme de stratégie collective pour faire face à la pénurie de l'eau, l'enquête a révélé qu'il n'existe aucune stratégie de l'AUEA pour faire face à ce fléau. Cette dernière ne joue d'ailleurs aucun rôle et les quelques collaborations entre les agriculteurs pour subvenir aux besoins en eau de leurs cultures (pompage des eaux souterraines, location ou prêt de tours d'eau, ..etc) se passent en dehors du cadre de l'AUEA. La comparaison des pratiques des usagers de l'eau de la P13 avec ceux du canal P11A a montré qu'il n'existe absolument aucune différence!

Chaque acteur a sa propre stratégie. L'ORMVA a recours à la réduction de la superficie irriguée et de la fréquence des tours d'eau en priorisant les cultures pérennes et l'arboriculture. Quant aux agriculteurs, ils ont recours au pompage individuel intensif pour sécuriser leurs récoltes, pratique qui échappe au contrôle technique et administratif, générant des problèmes de salinisation des sols, de baisse du niveau de la nappe, etc qui risquent d'affecter durablement la pérennité des eaux souterraines.

Le programme d'économie d'eau d'irrigation développé dans le cadre du Plan Maroc Vert¹⁷ et qui vise la modernisation de l'irrigation et la valorisation des ressources est venu apporter des solutions alternatives au problème de pénurie d'eau dans les périmètres irrigués. L'extension du Goutte à goutte largement subventionné par l'Etat devrait normalement renforcer les stratégies individuelles de gestion de l'irrigation, au détriment d'une gestion collective et participative. Mais, paradoxalement, dans le cas de l'AUEA des usagers pratiquant le goutte à goutte ATIL, seul cas où l'association s'est constituée à l'initiative propres membres, les usagers ont pris

¹⁷ - Le programme National d'Economie d'Eau en Irrigation (PNEEI) porte sur la conversion des techniques d'irrigation existantes peu efficaces en termes d'utilisation de l'eau d'irrigation localisée, sur une superficie globale de l'ordre de 555 000ha, visant une économie d'eau de près 1,4 Milliards de m³/an.) ; et le Projet d'Extension de l'Irrigation en aval des barrages (PEI) concerne l'extension des périmètres d'irrigation en aval des barrages existants ou en cours de réalisation, sur une superficie d'environ 160 000 ha. (Source : DIAEA 2017).

conscience de la nécessité de s'organiser pour mieux se concerter avec les gestionnaires de l'irrigation pour mieux négocier leurs calendriers d'irrigation, leurs investissements collectifs (bassins d'eau) et leurs systèmes de culture; donnant lieu ainsi à un cas "exemplaire" de gestion participative de l'irrigation dans le périmètre ! au-delà de toute attente.

Conclusion:

Les conditions de sécheresse qui règnent sur le périmètre de Beni Amir depuis plusieurs décennies ont poussé les institutions en charge de la gestion de l'eau et les agriculteurs à développer différentes stratégies de survie selon les attributs dont ils disposent et les ressources qu'ils mobilisent. Le point commun entre les différentes stratégies est l'orientation vers la diversification du risque: pratique de différentes cultures et diversification des sources d'eau d'irrigation (canal, drainage, puits); ainsi que des sources de revenus (activité agricole, commerce, émigration).

Il ressort des enquêtes et observations de terrain trois problématiques importantes liées à la pénurie d'eau :

- L'orientation par l'ORMVA vers les cultures prioritaires en période de sécheresse, remet en cause le principe de libéralisation des assolements et celui de la rationalité économique d'affectation d'eau vers les activités les plus rentables. Les agriculteurs sont soumis à une double contrainte: les cultures sont imposées et les doses et fréquences d'irrigation sont rationnées;
- La pénurie d'eau est très contraignante au niveau du périmètre, ce qui entraîne une intensification du pompage privé qui engendre à son tour une baisse de la nappe et un tarissement des ressources souterraines;
- le recours massif des jeunes à l'émigration qui devient la source de revenu la plus importante pour la plupart des agriculteurs du Beni Amir, reléguant l'activité agricole au second ou troisième rang après l'émigration et les activités commerciales. Le revenu de l'immigration

est rarement réinvesti en agriculture. Les capitaux économisés sont réinvestis dans de petits commerces (épicerie, boucherie, droguerie), qui permettent un revenu plus sûr. Les agriculteurs qui émigrent confient généralement la gestion de leurs exploitations agricoles à des métayers (Rebaa).

Le dirigisme de l'ORMVA en matière de choix des assolements en période de pénurie d'eau, la rigidité des tours d'eau et le manque de contrôle de l'activité de pompage individuel engendrent des pratiques "individualistes" de gestion de l'eau d'irrigation et un abandon progressif de l'eau de surface vers l'eau souterraine qui procure une plus grande autonomie dans la programmation des arrosages et les doses d'irrigation.

Ne doit-on pas considérer cette pratique comme une "revendication d'indépendance" et d'autonomie de la part des agriculteurs et re-considérer les missions des ORMVA et la politique de gestion de l'irrigation ainsi que le système de gouvernance de l'irrigation au Maroc, dans le cadre d'une réforme globale de la politique de l'eau au Maroc?

Cette nouvelle réforme devra tenir compte des défis actuels relatifs au phénomène irréversible du changement climatique et de ses effets dévastateurs sur les bases productives de l'agriculture. Plusieurs dimensions de la politique de l'eau et de l'irrigation sont amenées à être renforcées, y compris l'adaptation de la tarification de l'eau d'irrigation au contexte climatique contraignant de notre pays. Cette tarification qui devrait refléter à la fois les aspects de la rareté de l'eau et le coût réel de sa mobilisation et distribution, contribuerait à orienter les agriculteurs vers les spéculations agricoles alliant économie de l'eau, valorisation optimale de la ressource et compétitivité sur le marché.

Références Bibliographiques

Américain World Resources Institute (WRI) ; 2015 :«Palmarès des pays manquants le plus d'eau en 2040».

Analyse du basculement des modes d'extraction des eaux souterraines dans le Saïss (Maroc): Vers une reconfiguration des mondes des eaux cachées ?- HAL; 2018.

Boelens, Warter Rights and Empowerment, Hardcover, 2002.

Clarence Sexton, Unmasking the New Age Movement, Murfreesboro, Tennessee : Sword of the Lord Publishers,1992.

Frerks, , Humanitarian Aid to Somalia - Evaluation Report, Edité par Ministry of Foreign Affairs, Directorate General International Cooperation, Operations Review Unit, The Hague, 1994.

Homer-Dixon, Environmental Scarcities and Violent Conflict, The MIT Press 1994.

IFAD ; Sustainable livelihood workshops ; 2003.

Jacques Donzelot, Catherine Mével, Anne Wyvekens, Faire société. La politique de la ville aux États-Unis et en France, Paris, Le Seuil, 2003,.

Jean-Paul Billaud ; Sociologie rurale et environnement : renouveau ou dépassement ?

HAL, 2018.

Lennart J. Lundqvist ,Sweden and Ecological Governance: Straddling the Fence published by Manchester University Press Oxford Road,Manchester M13 9NR, UK, 1998.

Maryse Bresson, « La participation : un concept constamment réinventé », *Socio-logos* [En ligne], 9 | 2014, mis en ligne le 04 mars 2014, consulté le 29 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/socio-logos/2817>

Norman LONG, Développement sociology : Actor Perspectives. Edition routledge,11 New Fetter Lane, London, 2001.

Norman Long, An introduction to the sociology of rural development , Revue Tiers Monde, 1977.

Projet SID 2016-2020, Coopération Maroc-Belge.

ONU, 8ème forum international de l'eau, 2018.

ONU-Eau, rapport Forum mondial de l'eau ; Corée du sud ; Avril 2015.

Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 2019.

Rapport Mondial sur la mise en valeur des Ressources en eau- Mars 2019.

Turton & Ohlsson, *Hydropolitics in the Developing World: A Southern African Perspective*, 1999.

UNESCO, 2019, "Qui sont les exclus de l'eau?"

Warner, Did the Debt Crisis Cause the Investment Crisis? **Article in Quarterly Journal of Economics** 107(4):1161-86,1992.