



Approche de modélisation pour l'analyse de l'efficacité de la technique d'irrigation par micro-jets dans les oasis de Nefzawa. Mise en équation et validation

Tiba Hedia ^{1,2}, Dhawadi Latifa ⁴, Sellami Mohamed Habib ^{2,3}

1. Institut Nationale Agronomique de Tunis, Université de Carthage
2. Laboratoire de Matière Molle et de Modélisation Electromagnétique, FST, Université Tunis- El Manar,
3. Département Hydraulique, Ecole Supérieure des Ingénieurs de Medjez El Bab, IRESA, Université de Jendouba
4. Centre Régional de Recherche Agriculture Oasienne, Dégèche, Tozeur, IRESA, Université de Gafsa

Résumé :

Les oasis tunisiennes en générale et celles de Nefzawa en particulier sont sous l'influence des stress hydriques suite aux effets combinés du changement climatique et de la pression urbaine sur les ressources d'eau. Afin de protéger ces oasis un appel à l'introduction des techniques d'économie d'eau d'irrigation est en progression. Dans ce travail nous nous intéressons à développer un modèle permettant d'analyser l'efficacité et l'impact de l'irrigation par les micro-jets à l'intérieur des oasis. Une validation de ce modèle a été réalisée pour deux cites pilotes dans les oasis de Nefzawa et ceci dans le cadre du projet « Développement Durable des Oasis ».

Mots-clés : oasis de Nefzawa, microjet, efficacité, économie d'eau, modélisation

A modeling approach to analyze the efficiency of micro-jet irrigation technique inside Nefzawa oasis. Equations developments and experimental validation.

Abstract:

The Tunisian oasis in general and those of Nefzawa in particular are under hydraulic stress because of the combined effects of climate change and urban pressure on water resources. In order to protect the oasis a call to introduce water irrigation saving techniques is in progress. In this work we are interested to develop a model to analyze the efficiency and the impact of micro-jet irrigation technique inside the oasis. A validation of this model was done for two pilot stations in Nefzawa oasis. Pilot stations were realized for the Oasis Sustainable Development Project.

Key Words: Nefzawa oasis, microjet, efficiency, water saving, Modeling

¹ Corresponding author: sellami.fac@gmail.com

INTRODUCTION

Connues par leur existence très ancienne, les oasis semblent jouer un rôle socio-économique prépondérant dans le développement des zones arides dans le monde ainsi que dans le maintien de l'équilibre écologique dans le milieu environnant [1, 2]. Généralement, le mot oasis est lié à l'existence du palmier dattier, élément essentiel pour la création du microclimat oasien [8, 9]. Cette écologie extrêmement particulière conditionne l'installation des autres espèces végétales, en particulier les arbres fruitiers qui forment l'étage moyen et les cultures herbacées qui constituent l'étage inférieur, de la naît l'appellation oasis à trois étages [3, 4].

Les oasis de Nefzawa, qui sont en majorité considérées comme des oasis aménagées à l'intérieur des qu'elles cohabitent les trois étages mais avec une densité des espèces moyenne. Le problème d'économie d'eau d'irrigation et d'amélioration des techniques d'apport d'eau aux plantes à l'intérieur de ces oasis sont des défis posés par aussi bien les décideurs, les chercheurs que les agriculteurs. Nous allons dans ce travail présenter les équations nécessaires pour la conception et le dimensionnement des systèmes d'irrigation par micro-jet. Une première validation et les résultats d'un suivi expérimental de ces systèmes installés dans deux parcelles pilotes (Jemna et Réjim Maatoug) dans le cadre du projet « Développement Durable des Oasis » seront présentés.

MATERIELS ET METHODES

Mise en équation : Le système d'irrigation, en générale et celui en micro jet en particulier, est défini comme le schéma suivi par l'eau de la source jusqu'au pied de la plante. L'irrigation par micro jet consiste à apporter l'eau au pied de la plante sous forme de pluie artificielle via des asperseurs de petites tailles en rotation. Le nombre des micro-j le débit de chacun dépend du besoin en eau des espèces et des paramètres de l'irrigation à programmer. Ce système est généralement, formé par des conduites sous pression en plus des accessoires hydrauliques facilitant le passage de l'eau et minimisant les pertes en pression en cours de route. Nous citons le système de pompage, le système de réservoir, le système de déversoir, les partiteurs, le système de traitement des eaux. De même, dans la conception du système d'irrigation nous distinguons entre le système d'adduction des eaux, entre la source d'eau et l'entrée de la parcelle, et le système de distribution de l'eau entre les plantes. La différenciation entre l'adduction et la distribution est arbitraire. L'introduction de ces notions sont importantes lors de la conception du système d'irrigation, la fixation des installations nécessaires et le calcul des coûts. Une fois nous avons conceptualisé ce système nous devons passer à son dimensionnement de façon optimale. C'est-à-dire calculer la longueur des conduites, leurs diamètres, la nature du matériau de leurs constructions, capacité du système de réservoir-déversoir (surface, volume, hauteur, matériau de construction), station de traitement (capacité, charge, dimensions, la station de pompage (capacité, puissance). Et finalement le calcul du coût.

Donc dimensionner ces systèmes revient en fait à déterminer le besoin en eau des plantes à irriguer ce qui nous permet de fixer le débit à faire transiter à travers le réseau, nombre de distributeur par rampe, nombre et diamètres des rampes, nombre et diamètres des portes rampe, diamètre de la conduite d'amenée principale, puissance du système motopompe, capacité du système de réservoir-déversoir (surface, volume, hauteur, matériau de construction), station de traitement (capacité, charge, dimensions, la station de pompage (capacité, puissance), la nature du matériau de leurs constructions, et finalement le calcul du coût [5, 6].

Si nous considérons la parcelle répartie en un nombre de secteur (Nsecteurs) et chaque secteur est formé d'un nombre d'unité d'irrigation (Nunité) nous appelons canalisation tertiaire (séguia ou conduite enterrée) celle qui distribue l'eau entre les unités. Le débit dans l'unité d'irrigation s'exprime grossièrement comme suit [5, 6]:

$$q_{uni-irri} = \frac{Be_{culture} + Evap + I_{inf}}{T_{arrosage}} \quad 1$$

q_{uni-irri} : Débit nécessaire à l'unité d'irrigation, Be_{culture} : Besoin en eau de la culture, Evap : Taux d'évaporation, I_{inf} : Taux d'infiltration

Le débit dans la canalisation tertiaire (séguia ou conduite enterrée) qui apporte directement l'eau aux unités d'irrigation est calculé par

$$q_{cana-tertiaire} = N_{unité} \times q_{uni-irri} \quad 2$$

q_{cana-tertiaire} : Débit dans la canalisation tertiaire, N_{unité} : Nombre d'unité

Nous appelons canalisation secondaire celle qui distribue l'eau entre les secteurs. Le débit correspondant est donné par :

$$q_{cana-secondaire} = N_{secteur} \times q_{cana-tertiaire} \quad 3$$

q_{cana-secondaire} : Débit dans la canalisation secondaire, N_{secteur} : Nombre des secteurs

Nous appelons canalisation primaire ou d'amenée celle qui apporte l'eau en tête de toute la terre agricole formée par un nombre de parcelle (Nparcelle). Nous écrivons :

$$q_{cana-primaire} = N_{parcelle} \times q_{cana-secondaire} \quad 4$$

q_{cana-primaire} : Débit dans la canalisation primaire, N_{parcelle} : Nombre des parcelles

La quantité d'eau à faire transiter à travers une rampe du système n'est autre que le besoin en eau de la culture à irriguer par cette rampe tout en considérant les pertes par évaporation et infiltration. En unité de débit nous écrivons :

$$q_{rampe} = \frac{Be_{culture/rampe} + Evap + I_{inf}}{T_{arrosage}} \quad 4$$

qrampe : Débit en tête de la rampe, Be,culture/rampe : Besoin en eau de la culture irriguée par la rampe , Eevap : Perte par évaporation, linf : Perte par infiltration

Sachant que le débit d'un distributeur d'eau est exprimé en général par :

$$q_{distributeur} = k Hx \quad 5$$

K : Coefficient de forme et de dimension, H : Pression en tête , x : Coefficient d'écoulement

Donc le nombre d'arroseur par rampe est exprimé par

$$N_{arroseur/rampe} = \frac{q_{rampe}}{q_{arroseur}} \quad 6$$

Narroseur/rampe : Nombre arroseur par rampe

Le débit en tête d'une porte rampe est celui nécessaire pour satisfaire les cultures appartenant au secteur alimenté par l'édit porte rampe. Soit :

$$q_{p-rampe} = \frac{Be,culture/p-rampe + E_{vap} + I_{inf}}{T_{arrosage}} \quad 7$$

qp-rampe : Débit en tête de la porte rampe, Be,culture/p-rampe : Besoin en eau de la culture irriguée par porte rampe

Le nombre de rampe par porte rampe est ainsi donné par :

$$N_{rampe/p-rampe} = \frac{q_{p-rampe}}{q_{rampe}} \quad 8$$

Nrampe/p-rampe : Nombre rampe par porte rampe

A l'échelle de toute la parcelle qui est répartie en des secteurs alimentés chacun par une porte rampe, le débit en tête de la parcelle représente le débit à faire transiter à travers la conduite d'aménée principale ou secondaire selon l'aménagement de toute la terre agricole. On écrit :

$$q_{c-amenée} = \frac{Be,culture/c-amenée + E_{vap} + I_{inf}}{T_{arrosage}} \quad 9$$

qc-amenée : Débit dans la conduite d'amenée, Be,culture/c-amenée : Besoin en eau de la culture irriguée par la conduite d'amenée

Le nombre de porte rampe par conduite d'amenée est évalué à :

$$N_{p-rampe/c-amenée} = \frac{q_{c-amenée}}{q_{p-rampe}} \quad 10$$

Np-rampe/c-amenée : Nombre de porte rampe par conduite d'amenée

Le calcul des diamètres de chaque conduite peut ainsi être réalisé en fonction du débit transitant et de la perte de charge en utilisant les formulations sur l'écoulement en charge. Rappelons la forme générale des pertes de charge :

$$J_{tot} = \sum_i J_{sing,i} + \sum_{i-i+1} L_{i-i+1} J_{lin,i-i+1} \quad 11$$

Jtot : Perte de charge totale dans les conduites du système d'irrigation, Jsing,i : Perte de charge singulière dans le point particulier i du réseau (vanne, coude, rétrécissement de conduite...), Jlin,i-i+1 : Perte de charge linéaire pour le tronçon de conduite entre les deux points particuliers i et i + 1, Li,i+1 : Longueur du tronçon de conduite entre les points particuliers i et i + 1

La perte de charge singulière s'exprime sous la forme générale suivante (voire chapitre 4 pour les coefficients de singularité Csing,i) :

$$J_{sing,i} = C_{sing,i} \frac{V_i^2}{2g} \quad 12$$

Csing,i : Coefficient caractérisant le frottement dans le point particulier i, Vi : Vitesse de l'écoulement dans le point particulier i, g : Accélération de pesanteur

La perte de charge linéaire s'exprime sous la forme générale suivante

$$J_{lin,i-i+1} = C_{lin,i-i+1} q_{i-i+1}^n D_{i-i+1}^m \quad 13$$

Clin,i-i+1 : Coefficient caractérisant le frottement dans le tronçon de conduite i-i+1, qi-i+1 : Débit de l'écoulement dans le tronçon i-i+1 du réseau d'irrigation, D_{i-i+1}^m : Diamètre du tronçon de conduite i-i+1 du réseau d'irrigation, n,m : Des entiers de puissance

Il y a plusieurs formules empiriques qui expriment la perte de charge linéaire comme fonction du diamètre de la conduite et du débit transitant que nous pouvons utiliser(il y a aussi des abaques) Nous donnons les formules suivantes :

Formule de Scimemi :

$$Q = 48.8 D^{2.68} j^{0.56} \quad 14$$

j perte de charge en m/m ; Q débit en m³/s ; D diamètre en m

Formule de Colebrook :

$$V = 61.5 D^{0.68} j^{0.56} \quad 15$$

j perte de charge en m/m ; V vitesse de l'écoulement en m/s ; D diamètre en mm

Formule de Hazen-William :

$$V = 0.355 C D^{0.65} j^{0.54} \quad 16$$

j perte de charge en m/m ; V débit en m/s ; D diamètre en m ; C coefficient de rugosité

Donc il suffit de fixer le débit à transiter qui est fonction du besoin en eau de la plante, de proposer la nature du matériau des conduites qui doit résister à l'effet combiner de la pression, du débit et de l'agressivité des particules dans l'eau donc

la perte de charge linéaire correspondante pour que nous puissions calculer les diamètres optimaux des différents tronçons des conduites du réseau.

La puissance du système de pompage doit compenser la perte de charge totale dans tout le réseau d'irrigation et la différence d'altitude entre la source d'eau et la plante se trouvant dans la position la plus défavorable de point de vue distance et altitude dans la parcelle. Nous rappelons la formule suivante :

$$P_{pomp-res-irrig} = \frac{M_{vol-eau} g q H_{MT}}{R_{mp}} \quad 17$$

$P_{pomp-res-irrig}$: Puissance du système pompage pour le réseau d'irrigation, $M_{vol-eau}$: Masse volumique de l'eau d'irrigation, g : Accélération de la pesanteur, q : Débit dans la canalisation d'irrigation (rampe, porte rampe, canalisation d'amené...), H_{MT} : Hauteur manométrique totale, R_{mp} : Rendement motopompe

La hauteur manométrique totale est donnée par :

$$H_{MT} = H_{g-asp} + H_{g-ref} + J_{tot} \quad 18$$

H_{g-asp} : Hauteur géométrique d'aspersion, H_{g-ref} : Hauteur géométrique de refoulement

Contexte du projet : Dans le cadre du projet « Développement Durable des Oasis » financé par la Coopération italienne et en collaboration entre l'AVFA et l'ODRM, Tunisie, deux parcelles pilotes ont été choisies pour être équipées par le matériel suivant : station agro-météorologique, bassin de stockage d'eau, station de pompage, unité de production d'énergie solaire, systèmes micro-jet.

Les parcelles choisies sont les suivantes :

Parcelle JEMNA-Kébili. Les essais ont été conduits dans une parcelle qui appartient au centre de formation agricole Jemna (CFAJ) qui est située à Jemna (délégation Kébili Sud),

Parcelle de ODRM-Kébili: Le deuxième site c'est une parcelle gérée par l'office de développement de Rjim Maàtoug ODRM.

Le positionnement géographique des sites pilotes est dans la figure suivante :



Fig. 1. ; Positionnement géographique des sites pilotes

Dans chaque parcelle nous avons équipé quatre palmiers échantillonnés par quatre micro-jets chacun

De même ; dans le cadre du même projet, 58 agriculteurs ayant des parcelles de superficie moyenne de 1,5 ha ont bénéficié du projet par l'installation du système d'irrigation de leurs palmiers avec des micro-jets.

Nous avons procédé à des mesures répétitives d'uniformité, des mesures morphologiques pour les palmiers, des mesures quantitatives des dattes (dimensions, nombre, masse), des mesures biochimiques et des mesures physiques pour la qualité des dattes, des mesures des paramètres hydriques et pédologiques du sol, des mesures des paramètres climatiques.

De même une synthèse des résultats expérimentaux établis pour l'oasis de Tozeur seront récapitulés afin de faire une comparaison. Ces résultats concernent des mesures de la transpiration par différentes méthodes et des mesures des paramètres climatiques à différents niveaux à l'intérieur de l'oasis. Nous avons essayé d'établir des relations empiriques entre les différents paramètres.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'analyse des profils du rayonnement global intercepté, du rayonnement net et du flux de sève nous a permis d'établir les relations suivantes entre les paramètres [3, 4, 6]:

- Le rayonnement solaire intercepté journalièrement par l'étage des palmiers dattiers représente 14% du rayonnement solaire global incident reçu au dessus de l'oasis (à 12 m). Il est de l'ordre de 640 w/m² par jour et celui réservé à la photosynthèse est de l'ordre de 307 w/m²
- The rayonnement solaire global journalier intercepté par l'étage des arbres fruitiers est équivalent à 19 % du rayonnement global reçu au dessus des oasis. Soit l'équivalent de 853 w/m² par jour dont 409 w/m² sont utilisés pour la photosynthèse
- The rayonnement solaire global journalier intercepté par l'étage des cultures maraichères est équivalent à 30 % du rayonnement global reçu au dessus des oasis. Soit l'équivalent de 1380 w/m² par jour dont 662 w/m² sont utilisés pour la photosynthèse 1380 w/m²

- Le rayonnement net journalier intercepté par l'étage des palmiers dattiers est égale à 19 % du rayonnement net reçu au dessus de l'oasis. En unité d'évapotranspiration c'est l'équivalent de 0.77 mm par jour
- Le rayonnement net journalier intercepté par l'étage des arbres fruitiers est égale à 20 % du rayonnement net reçu au dessus de l'oasis. En unité d'évapotranspiration c'est l'équivalent de 0.81 mm par jour
- Le rayonnement net journalier intercepté par l'étage de la culture maraîchère est égale à 42 % du rayonnement net reçu au dessus de l'oasis. En unité d'évapotranspiration c'est l'équivalent de 1.66 mm par jour
- Le rayonnement net journalier intercepté par toute l'oasis est égale à 81 % du rayonnement net reçu au dessus de l'oasis. En unité d'évapotranspiration c'est l'équivalent de 3.24 mm par jour
- La transpiration journalière mesurée à partir du flux de sève représente 32% du rayonnement global mesuré au dessus des oasis pour l'étage du palmier dattier, 21 % pour les arbres fruitiers et 53 % pour l'étage de la culture maraîchère

Nous avons aussi essayé d'établir des relations de proportionnalité entre la transpiration estimée à partir de la méthode du flux de sève et le rayonnement net intercepté. Les principales relations sont [3, 4, 6];

- La transpiration journalière déduite de la mesure du flux de sève pour l'étage de palmier dattier représente 59 % du rayonnement net total intercepté à l'intérieur de l'oasis et 59 % de celui mesuré au dessus de l'oasis
- La transpiration journalière déduite de la mesure du flux de sève pour l'étage des arbres fruitiers représente 37 % du rayonnement net total intercepté à l'intérieur de l'oasis et 33 % de celui mesuré au dessus de l'oasis
- La transpiration journalière déduite de la mesure du flux de sève pour l'étage de la culture maraîchère représente 96 % du rayonnement net total intercepté à l'intérieur de l'oasis et 86 % de celui mesuré au dessus de l'oasis

Pour l'évolution horaire de la transpiration nous avons constaté qu'elle représente pour l'étage de palmier 43 % du rayonnement net horaire intercepté, 21% pour l'étage des arbres fruitiers et 64 % pour toute l'oasis

Les figures n° 1 (a et b) présente l'évolution comparée de l'évapotranspiration mensuelle moyenne et du besoin en eau d'irrigation calculés par différentes méthodes pour les deux sites pilotes [7].

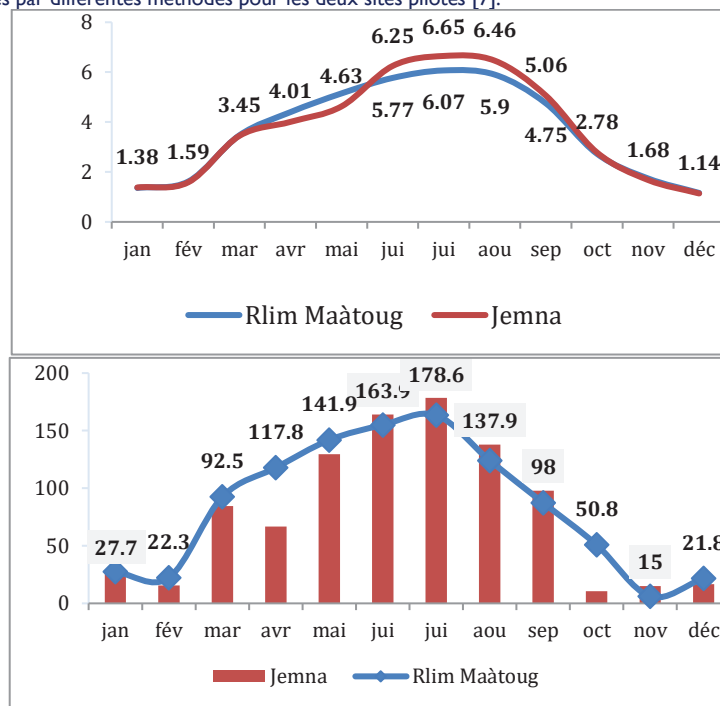


Fig. 2. Evolution comparée de l'évapotranspiration mm/j (a) et du besoin en d'irrigation (b) pour les deux stations Jemna et Rjim Maâtoug Kébili

Nous remarquons que le besoin en eau d'irrigation pour les deux parcelles pilotes est en maximum durant la période de production. Ce besoin en moyenne sur cette période est le même pour les palmiers des deux parcelles pilotes. Sur la base de la variation du besoin en eau d'irrigation nous avons pu dimensionner le système d'irrigation que nous avons généralisé pour les 58 parcelles.

Une enquête auprès des 58 agriculteurs bénéficiant du projet pour déterminer la consommation en eau après l'installation des micro-jets a montré une nette amélioration. Les principaux résultats sont récapitulés dans le tableau suivant [7] :

Tableau I.. Matrice des moyennes des composantes des classes

	Classe		
	1	2	3
Nombre de Type	6	38	12
Niveau d'étude	3	2	2
Superficie	2,43	1,42	1,31
Densité de plantation	329	152	118
Tarification D. T	1014	684	690
Rendement en T	9	7	6
Rendement des cultures D. T	16071	12071	9737
Apport de fumier par an	16,79	10,92	10,88
Consommation Totale en eau	42423,43	30284,94	21415,25

Suite à cette enquête nous disons que 70 % de ces agriculteurs ont un âge entre 40 et 60 ans avec 20 % uniquement ont un niveau universitaire, 40 % niveau primaire et 40 % niveau secondaire. La majorité des parcelles ne dépassent pas le 1.5 ha. Pour les problèmes liés à l'eau 60 % des agriculteurs déclarent que l'eau n'est disponible selon les besoins des plantes sur toute l'année agricole. 16 % uniquement signalent qu'ils n'ont pas enregistré des problèmes liés à l'eau alors que vers 34 % ont noté des problèmes liés au même temps à la pression, au tour d'eau et à la salinité. Le reste il y a une répartition homogène des mono-problèmes

CONCLUSION

Pour les oasis, plusieurs questions sont soulevées par les spécialistes : Quel est le besoin exacte à apporter à cette architecture végétale aussi hétérogène et spécifique et qu'elle méthode d'estimation de ce besoin à proposer ? Quel est le système d'irrigation le plus efficace à dimensionner et comment calculer ses performances ? Quels sont les problèmes liés à l'eau à l'intérieur de ces oasis ? Ce à ces questions que nous avons essayé de répondre en installant deux parcelles pilotes et en introduisant le système d'irrigation localisée par microjet au près de 58 exploitations. Ceci dans le cadre du projet « Développement Durable des Oasis » en coopération avec l'AVFA, l'ODRM et l'ICU.

De même une synthèse des résultats expérimentaux établis pour les oasis de Tozeur a été présentée et des relations empiriques entre les paramètres climatiques et la transpiration pour aussi bien les palmiers dattiers que les arbres fruitiers ont été établies. Ces relation sont d'importance particulier pour le pilotage de l'eau d'irrigation à l'intérieur des oasis.

Remerciements : Les auteurs expriment leurs reconnaissances aux partenaires du projet « Développement Durable des Oasis » à savoir AVFA, ODRM, CRAO et l'ICU.(Institut pour la Coopération Universitaire Italienne

Références :

1. Amrani R et Senoussi A 2019 'Autour de la gestion actuelle de l'irrigation et proposition d'amélioration en termes de développement dans le Sahara septentrional algérien : cas de l'oasis Ngoussa » Revue des BioRessources Vol 9 N°1 Juin 2019 pp.1-10
2. Dhaoudi L., Ben Maachia S, Mkademi C, Oussama M et Daghari H 2015 « Etude Comparative des techniques d'irrigations sous palmier dattier dans les oasis de Deguache du Sud Tunisien » Journal of New Sciences Volume 18(3). www.jnsciences.org ISSN 2286-5314
3. Sellami M.H et Sifaoui M.S. 2003 "Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap flow inside the oasis " Agricultural Water Management 59 (2003) 191-204
4. Sellami M;H. 2008 « A scientific guide for agricultural water management and biodiversity conservation inside the North African Oasis » Chapter in the book "Agricultural Water Management Research Trends" ISBN 987-1-60456-159-3. Editor: Magnus L. Sorensen Nova Science Publishers
5. Sellami MH 2020 " Automatisation de l'irrigation : Mise en équation, méthodes et notions" Edition universitaire européenne ISBN 9786202533262, - 98 pages
6. Sellami M.H 2020 « Analyse quantitative et qualitative des interactions sol-plante-atmosphère à l'intérieur des oasis » Edition Universitaire Européenne ISBN 978-620-2-53578-6, 135 pages
7. Tiba H, Sellami M.H, Dhaouadi L, Boughdiri A 2019 « Analyse quantitative des impacts environnementaux et socio-économiques de l'introduction de l'irrigation localisée dans les oasis de Nefzawa » International Conference organized by the National Research Institute for Rural Engineering, Water and Forests (INRGREF) from 10 to 12 April 2019 in Hammamet (Tunisia)
8. Xifeng Zhang , Yifan Zhang , Jinghui Qi and Qiang Wang 2020 "Evaluation of the Stability and Suitable Scale of an Oasis Irrigation District in Northwest China" Water 2020, 12, 2837; doi:10.3390/w12102837
9. Xiuliang Yuan, Jie Bai, Longhui Li, Alishir Kurban et Philippe De Maeyer 2019 « Modeling the effects of drip irrigation under plastic mulch on vapor and energy fluxes in oasis agroecosystems, Xinjiang, China' " Agricultural and Forest Meteorology 265, DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.11.028