

Optimisation de l'utilisation des ressources en eau. Exemple de l'orangerie d'El-Salam, Nord Sinaï, Egypte

Jean-Pierre Montoroi¹, Jerzy Jan Nizinski¹, Alaa Zaghoul², Rafat Ramadan Ali²,
Mohamed Saber²

¹ Institut of Research for Développement (IRD), JRU « IEES Paris », 32 avenue Henri Varagnat, Bondy, France

[jean-pierre.montoroi@ird.fr ; georges.nizinski@ird.fr]

² National Research Centre (NRC), Soils and Water Use Department, Dokki, Cairo, Egypt
[alaazaghoul2002@yahoo.com ; bediertop@yahoo.com ; msaber1941@yahoo.com]

Résumé

L'orangerie El-Salam, située au Nord-Sinaï, a été choisie comme station d'étude « étalon » pour mener des études relatives au mode de gestion de l'irrigation de précision, avec, comme perspective, la mise au point d'un modèle utilisable pour d'autres cultures en Egypte. La modélisation de l'évapotranspiration réelle (ETR) est réalisée avec un pas de temps d'une journée selon l'approche de Penman-Monteith qui tient compte de la spécificité d'un couvert végétal, notamment sa résistance. Les variables d'entrée du modèle sont les données météorologiques standard du réseau national. La comparaison des apports en eau d'irrigation (I_{moy} de 994,30 mm an⁻¹ ou 2,72 mm jour⁻¹ ; coefficient cultural ETR/E_p de 0,78) et des besoins en eau calculés par le modèle ($ETR_{calculée}$) permet de proposer une gestion quotidienne de l'irrigation plus économe en eau. D'avril à août, l'eau d'irrigation en excès (drainage hors de la zone racinaire) est de 94.570 m³ pour l'orangerie de 80 ha, soit 1.182 m³ ha⁻¹.

Mots clés : Irrigation, Evapotranspiration réelle, Orangerie, Nord-Sinaï, Egypte

Optimization of the use of water resources. Example of the El-Salam orange grove, North Sinai, Egypt

Abstract

The El-Salam orange grove, located in North Sinai, was selected as a "benchmark" study station for conducting studies on the management of precision irrigation, with a view to developing a model usable for other irrigated crops in Egypt. The modeling of the actual evapotranspiration (E_a) is performed with a one-day step resolution using the Penman-Monteith approach which takes into account the specificity of the vegetation cover, namely its resistance. The input variables of the model are the standard meteorological data of the national network. The comparison between the amounts of the irrigation water (I_{moy} of 994.30 mm year⁻¹ or 2.72 mm day⁻¹; crop coefficient E_a/E_p of 0.78) and the water needs estimated by the model (E_a calculated) enables to propose a daily water management more water saving. From April to August, the irrigation water in excess (drainage outside of the root zone) is of 94,570 m³ for the orange grove of 80 ha, thus 1,182 m³ ha⁻¹.

Key Words: Irrigation, Actual evapotranspiration, Orange grove, North Sinai, Egypt

Introduction

Comme la plupart de pays méditerranéens, l'Egypte souffre d'un manque d'eau récurrent qui nécessite pour l'agriculture des compléments par irrigation. Traversant du nord au sud le pays, le fleuve Nil fournit l'essentiel de l'apport par un réseau complexe d'aménagements hydrauliques. La production d'agrumes, notamment *Citrus sinensis*, est localisée le long du Nil et dans son delta et fait de l'Egypte un des douze premiers pays exportateurs dans le monde. En milieu aride ou semi-aride, la gestion parcimonieuse de l'eau par une irrigation de précision est impérative, notamment en contrôlant les doses d'irrigation et en limitant les pertes par évapotranspiration réelle (ETR) des plantes. L'irrigation de précision par goutte à goutte se développe dans de nombreux périmètres irrigués. Pour économiser l'eau, il faut optimiser les doses d'irrigation d'un couvert végétal donné en considérant le coefficient cultural (rapport ETR/Ep), selon [1], qui est déterminé à partir (i) de l'équation du bilan hydrique de la zone racinaire, méthode peu précise pour les calculs de l'ETR des couverts épars en zone semi-aride ; (ii) de la valeur de l'évapotranspiration potentielle (Ep) faisant référence à un gazon bien alimenté en eau. L'application du coefficient cultural aux plantations de Citrus est discutée par [2]. La mesure directe et précise de l'ETR est possible expérimentalement par la méthode du rapport de Bowen (Bowen, 1926) pour les couverts homogènes et la méthode des corrélations pour les situations plus complexes [3]. A partir d'un site, choisi comme station « étalon », la présente étude a pour objectifs : (i) caractériser une orangerie et acquérir des données bioclimatologiques locales ; (ii) modéliser l'ETR journalière ; (iii) comparer les apports par irrigation aux besoins en eau calculés par la modélisation.

I. Matériels et méthodes

I.1. Site d'étude

L'orangerie d'El-Salam est située au nord-ouest de la péninsule du Sinaï, en limite avec le delta du Nil et à 16,5 km à l'est du canal de Suez (Figure 1). Elle appartient à la région sud d'El-Kantara Shark qui domine au nord la plaine alluviale d'El-Tina de quelques dizaines de mètres. La région côtière du Nord Sinaï est soumise à un climat de type aride (saharien), très chaud et très sec, s'adoucisant en bordure de la Mer Méditerranée. La pluviométrie moyenne annuelle (Pi) du site d'étude est comprise entre 43 mm à Ismailia, 86 mm à Port-Saïd et 118 mm à El-Arish sur la période 1989-1999 [4]. A El-Arish, pour la période 2005-2010, [5] indique une Pi moyenne de 95,4 mm et les valeurs journalières moyennes du rayonnement global (21,6 MJ m²), de la durée d'insolation (9,1 h), de la température de l'air (20,3°C), de l'humidité relative de l'air (66,6%), de la vitesse du vent (8,2 km h⁻¹) et de l'Ep (3,48 mm, selon [6]).



Figure 1. Localisation de l'orangerie d'El-Salam (cercle rouge)

L'orangerie d'El-Salam a une superficie totale de 80 ha et produit des mandarines et des oranges douces (ou blondes) dont la variété « Valencia late » est greffée sur le porte-greffe *Citrus Volkameriana*. Une parcelle de 1,89 ha a été sélectionnée pour l'étude expérimentale. Elle a reçu en juin 2005 des plantules (diamètre 6 cm et hauteur 60 cm) disposées en rangs. Les rangs sont espacés tous les 6 m et comporte un arbre tous les 4 m, soit un total de 24 rangs et 756 arbres (400 arbres ha⁻¹). L'orangerie est équipée d'un système d'irrigation par goutte-à-goutte. L'eau d'irrigation, mélange entre des eaux de drainage et l'eau du Nil, est acheminée par le canal Ouest-Est d'El-Salam qui croise en souterrain le canal de Suez et permet la mise en valeur agricole de nouvelles terres au Nord Sinaï [7]. La région sud d'El-Kantara Shark forme une plaine d'origine éolienne dont les sols sont constitués par des couches successives de sables quartzitiques d'âge

Holocène [8], [9]. Le sol de l'orangerie d'El-Salam est sableux à environ 80% et présente une très faible fraction argileuse d'environ 2,5% [10].

1.2. Description du modèle

Le flux de vapeur d'eau au travers des stomates est proportionnel au gradient de pression de vapeur d'eau et inversement proportionnel à la résistance rencontrée. En adoptant la simplification proposée par [11], la surface évaporante est considérée comme une strate unique dans laquelle la résistance stomatique moyenne du peuplement est la somme des résistances stomatiques moyennes de LAI feuilles. L'évapotranspiration réelle (ETR, en mm j^{-1}) est calculée selon la formule de Penman-Monteith [12] :

$$\text{ETR} = E_p / (1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a)) \quad [\text{mm jour}^{-1}] \quad [a]$$

Avec E_p évapotranspiration potentielle, en mm j^{-1} ; r_{st} résistance stomatique d'une feuille, en s cm^{-1} ; LAI indice foliaire du couvert, sans unité; r_a résistance aérodynamique du couvert, en s cm^{-1} .

Lorsqu'une feuille se dessèche, son potentiel hydrique (ψ_{feuille}) atteint un seuil qui est le potentiel hydrique foliaire critique ($\psi_{\text{feuille lim}}$) pour lequel les stomates commencent à se fermer. Le potentiel hydrique foliaire varie selon l'espèce végétale et se situe entre -13 et -25 bars pour les espèces arborescentes. Une équation empirique permet de rendre compte de la variation de la résistance stomatique moyenne (r_{st}) en fonction du potentiel hydrique foliaire (ψ_{feuille}), soit :

$$r_{st} = ((r_{st\text{-max}} - r_{st\text{-min}}) / (\psi_{\text{feuille max}} - \psi_{\text{feuille lim}})) (\psi_{\text{feuille}} - \psi_{\text{feuille lim}}) + r_{st\text{-min}} \quad [\text{s cm}^{-1}] \quad [b]$$

En reprenant et transformant les équations [a] et [b], on estime, pour un jour j donné, le potentiel hydrique des feuilles ($\psi_{\text{feuille}(j)}$) par la relation :

$$\psi_{\text{feuille}(j)} = R (E_p / (1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a)) + \psi_{\text{sol}(j)}) \quad [\text{mm j}^{-1}] \quad [c]$$

L'équation [c] est implicite puisque la résistance stomatique dépend du potentiel hydrique des feuilles. Le potentiel hydrique des feuilles le jour j , tel que l'absorption racinaire ($\text{ABS}_{i(j)}$) soit équivalente à la transpiration ($T_{R(j)}$) avec une évaporation du sol nulle (protection par la litière), est estimé selon la résolution numérique proposée par [13].

La méthode du rapport de Bowen permet de quantifier, pour une période donnée, l'ETR des couverts végétaux et leurs résistances à partir des mesures diurnes des gradients de température et d'humidité de l'air, du rayonnement net et du flux de chaleur dans le sol. On en déduit une ETR journalière et, connaissant l' E_p journalière sur la même période, à partir des données météorologiques standard du réseau national, on estime le facteur $(1 + (\gamma/(\Delta+\gamma)) (r_{st} / \text{LAI } r_a))$. L'estimation des variables LAI et r_a conduit à l'estimation de la résistance du couvert r_c . Connaissant les valeurs de r_c et LAI, on peut calculer la résistance stomatique moyenne d'une feuille (r_{st}). Le modèle ainsi proposé tient compte de la spécificité du couvert végétal à savoir la résistance du couvert et, en particulier, la relation résistance stomatique - potentiel hydrique des feuilles. Il a été validé à partir des mesures de la teneur en eau et du potentiel hydrique du sol faites en même temps que celles nécessaires à la méthode du rapport de Bowen.

1.3. Dispositif expérimental et paramétrisation du modèle

Les mesures relatives à la méthode du rapport de Bowen ont été réalisées du 9 au 24/4/2013, à l'échelle du peuplement de la parcelle étudiée, avec un pas de temps de vingt minutes et en installant les capteurs sur une tour haute de 7 m (UT920, Campbell Scientific®). Les mesures en continu ont été stockées sur une centrale d'acquisition (CR1000, Campbell Scientific®) et ensuite transférées sur un ordinateur portable. Les valeurs journalières moyennes de l' $\text{ETR}_{\text{Bowen}}$ ont été calculées selon [14]. Pour les besoins du modèle et pour comparer avec d'autres travaux, le site d'étude a été paramétré. Il s'agit de mesurer, sur la parcelle étudiée, le nombre d'arbres par hectare, la hauteur moyenne du peuplement, la circonférence des arbres, la surface terrière et l'indice foliaire. La résistance du couvert (r_c) et la résistance stomatique d'une feuille (r_{st}) en sont déduites. Les valeurs des potentiels hydriques foliaires sont prises dans la bibliographie. L'indice foliaire (LAI), qui est la surface totale des feuilles rapportée à la surface du sol recouvert par celles-ci, est obtenu par une mesure indirecte. Elle consiste à comptabiliser le nombre de feuilles récoltées à l'aide d'une aiguille, utilisée perpendiculairement au sol, chaque mesure étant répétée 300 fois le long d'un rang et tous les 25 cm. La période des mesures correspond à la fin de la saison sèche puis à une nouvelle période de croissance pendant laquelle la biomasse foliaire augmente. Le potentiel hydrique du sol est mesuré par tensiométrie, à l'aide de bougies poreuses saturées en eau et placées à 0,15 cm, 0,25 cm, 0,35 cm et 0,45 cm de profondeur dans le sol. La relation entre la teneur en eau volumique et le potentiel matriciel du sol a été établie à partir de données bibliographiques.

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques morpho-physiologiques de la parcelle d'étude

L'orangerie d'El-Salam présente des caractéristiques comparables à celles obtenues par [15]. Elle forme un peuplement mature (8 ans) qui arrive à son niveau de production optimale pour la variété « *Valencia late* » en passant de 0,09 tonnes ha⁻¹ en 2007 à 25 tonnes ha⁻¹ en 2013. La surface terrière est de 9,23 m² ha⁻¹ pour une circonférence à 30 cm du sol de 52,75 cm. La hauteur moyenne du peuplement est de 2,469 m (± 0,402 m ; N = 756) et l'indice foliaire (LAI) de 4,24 (± 1,399 ; N = 300).

La résistance du couvert végétal dépend des résistances stomatiques des feuilles de ce couvert et de l'indice foliaire. La transpiration du couvert est la somme des transpirations de l'ensemble des feuilles, chaque feuille ayant une résistance stomatique donnée, instantanée, dépendante de ses caractéristiques physiologiques propres et du microclimat auquel elle est soumise. La valeur moyenne journalière de la résistance du couvert (r_c), obtenue par la méthode du rapport de Bowen, est de 580,88 s m⁻¹ (± 215,56 s m⁻¹ ; N = 615) avec une résistance aérodynamique moyenne (r_a) de 137 s m⁻¹, pour une hauteur moyenne du peuplement de 2,47 m. Elle est comparable à la valeur de 500 s m⁻¹ obtenue pour un peuplement de Citrus par [2] à l'aide de la méthode des corrélations.

Connaissant les valeurs de r_c et LAI, on peut calculer la résistance stomatique moyenne d'une feuille (r_{st}), pour un pas de temps de 20 minutes, temps de scrutation de la méthode du rapport de Bowen. Les mesures ayant été faites dans des conditions de disponibilité en eau optimales (plantation irriguée), les résistances stomatiques mesurées sont les résistances stomatiques minimales. La valeur moyenne calculée est de 176,01 s m⁻¹ (± 91,397 s m⁻¹ ; N = 615) et est proche de celles obtenues sur des peuplements comparables par [16]. Les potentiels hydriques foliaires sont pris dans la bibliographie relative à la variété d'orange « *Valencia late* » [16], soit un potentiel hydrique limite ($\psi_{\text{feuille lim}}$) de -15 bars et un potentiel hydrique maximal ($\psi_{\text{feuille max}}$) de -25 bars.

2.2. Apports en eau par irrigation et pertes en eau par évapotranspiration potentielle

Les apports en eau par irrigation s'élevaient à 994,3 mm an⁻¹, soit 2,72 mm j⁻¹. Pour les mois de mai, juin, juillet et août, les valeurs sont respectivement 89,9 mm ; 105,0 mm ; 167,4 mm et 130,2 mm. Les doses d'irrigation ont été calculées en utilisant un coefficient cultural moyen (ETR/E_p) de 0,78 (minimum de 0,58 en janvier et maximum de 1,27 en juillet). Le stress hydrique est minimal car la réserve en eau du sol est toujours demeurée à 50 % de la réserve utile. Lorsque les apports en eau sont en excès, il y a drainage interne en profondeur hors de la zone racinaire. En effet, il n'y a jamais de ruissellement à la surface du sol (infiltrabilité minimale) dans la mesure où la nature sableuse du sol favorise l'infiltration de l'eau. La conductivité hydraulique à saturation (K_s) est estimée à 6,1 10⁻⁶ m s⁻¹, soit l'équivalent de 500 mm j⁻¹. Sachant que les précipitations annuelles n'excèdent pas 95,4 mm en moyenne et que la dose maximale d'irrigation est de 10 mm j⁻¹, l'infiltrabilité minimale n'est jamais atteinte.

L'évapotranspiration potentielle (E_p) a été calculée selon [6] au pas de temps journalier et, pour chaque mois de l'année, les valeurs journalières sont moyennées. Pour chaque année de la période 2005-2010 et pour toute la période, les valeurs moyennes mensuelles sont indiquées dans [5]. Les pertes en eau par E_p sont en moyenne de 1271,5 mm an⁻¹ et de 3,48 mm j⁻¹. La valeur moyenne mensuelle est minimale en décembre (2,70 mm j⁻¹) et maximale en juillet (4,26 mm j⁻¹).

2.3. Modélisation de l'évapotranspiration réelle et bilan hydrique

La simulation de l'évapotranspiration réelle de l'orangerie a été effectuée du 1/1/2005 au 31/12/2010 en utilisant la paramétrisation du modèle qui est faite à partir des données de terrain (rapport de Bowen). L'évapotranspiration réelle (ETR) moyenne annuelle calculée sur la période 2005-2010 est de 1.017,7 mm an⁻¹, soit 2,79 mm j⁻¹. La valeur est très proche des apports annuels d'eau par irrigation (I_{moy}) qui est de 994,3 mm an⁻¹ ou 2,72 mm j⁻¹, soit 102,3 % de I_{moy}.

La comparaison de l'irrigation moyenne mensuelle avec l'ETR n'est pas suffisante pour analyser la distribution des excès et déficits en eau au cours de l'année. La prise en compte des précipitations incidentes (P_i) et, plus précisément, des précipitations au sol (P_s) est nécessaire. Les précipitations au sol (P_s) résultent de l'interception (I_n) des pluies incidentes par le couvert végétal (P_s = P_i - I_n). Elles sont estimées à partir du modèle d'interception proposé par [12]. Compte tenu du régime des pluies (averses brèves et intenses) et du type de végétation (plantation en rang), la valeur moyenne de P_s est égale à 88% de P_i, soit 83,9 mm an⁻¹.

Les comparaisons ETR_{calculée} avec I_{moy}+P_i et ETR_{calculée} avec I_{moy}+P_s rendent compte de doses d'irrigation proches de l'ETR (de 2 à 5%), entre décembre et mars, et inférieures à l'ETR (de 11 à 15 %), entre septembre et novembre (Tableau 1). En revanche, d'avril à août, les doses appliquées sont fortement surestimées, de l'ordre de 10 à 60%, ce qui se traduit par un drainage hors de la zone racinaire des orangers. Dans le premier cas (ETR vs I_{moy}+P_i), le bilan hydrique est en excès de 96.618 m³ pour toute la plantation de 80 ha, soit 1.208 m³ ha⁻¹, ce qui correspond à 12,1 % du volume total d'eau d'irrigation (795.440 m³ an⁻¹). Dans le second cas (ETR vs I_{moy}+P_s), le bilan hydrique en excès est de 94.570 m³ 80ha⁻¹, soit 1.182 m³ ha⁻¹, ce qui correspond à 11,9 % du volume total d'eau d'irrigation. Ces valeurs sont à prendre en considération pour l'aménagement hydraulique des sites de production, eu égard au coût élevé d'acheminement de l'eau.

Tableau 1. Bilan hydrique mensuel et annuel entre les apports (irrigation (I_{moy}), irrigation+précipitations incidentes (Pi), irrigation+précipitations au sol (Ps)) et les pertes (évapotranspiration réelle calculée) sur la période du 1^{er} janvier 2005 au 31 décembre 2010

	ETR	I_{moy}	Pi	I_{moy} -ETR	$(I_{moy}+Pi)$ -ETR	$(I_{moy}+Ps)$ -ETR	I_{moy} -ETR	$(I_{moy}+Pi)$ -ETR	$(I_{moy}+Ps)$ -ETR
	m ³ 80ha ⁻¹			m ³ 80ha ⁻¹			m ³ ha ⁻¹		
Janvier	54527	39680	17376	-14847	2529	444	-186	32	6
Février	54273	40320	11683	-13953	-2270	-3672	-174	-28	-46
Mars	60905	54560	5045	-6345	-1300	-1905	-79	-16	-24
Avril	64356	62400	3080	-1956	1124	754	-24	14	9
Mai	67892	71920	13987	4028	18015	16336	50	225	204
Juin	76663	84000	0	7337	7337	7337	92	92	92
Juillet	84526	133920	0	49394	49394	49394	617	617	617
Août	83412	104160	0	20748	20748	20748	259	259	259
Septembre	80429	72000	0	-8429	-8429	-8429	-105	-105	-105
Octobre	72889	49600	13480	-23289	-9809	-11427	-291	-123	-143
Novembre	60747	43200	1761	-17547	-15786	-15997	-219	-197	-200
Décembre	53518	39680	9924	-13838	-3914	-5105	-173	-49	-64
Bilan annuel	814137	795440	76336	-18697	57639	48479	-234	720	606
Excès total				81507	99147	95014	1019	1239	1188
Déficit total				-100204	-41508	-46535	-1253	-519	-582
Bilan avril-août	376849	456400	17067	79551	96618	94570	994	1208	1182
Excès total				81507	96618	94570	1019	1208	1182
Déficit total				-1956	0	0	-24	0	0

Conclusion

La modélisation de l'évapotranspiration réelle d'une orangerie a été réalisée avec un pas de temps journalier en utilisant l'approche de Penman-Monteith et, comme variables d'entrée, les données météorologiques standard du réseau national. Elle permet de prendre en compte la spécificité du couvert végétal à savoir la résistance du couvert et, en particulier, la relation résistance stomatique-potentiel hydrique des feuilles. La comparaison des doses d'irrigation avec les besoins en eau calculés par le modèle permet de proposer une gestion quotidienne de l'irrigation plus économe en eau. D'avril à août, l'eau d'irrigation est en excès de 94.570 m³ pour la plantation de 80 ha, soit 1.182 m³ ha⁻¹. Le modèle proposé est un outil fiable pour la gestion de l'irrigation de précision, quelles que soient les cultures (blé, betterave à sucre, fèves, trèfle, petit pois, riz, coton, pastèque, tournesol, maïs) pratiquées dans le delta du Nil. Un des paramètres du modèle (*résistance du couvert et résistance stomatique d'une feuille*) peut être amélioré en prenant en compte l'évolution des stomates (*résistance stomatique minimale*) au cours de leur durée de vie.

Références

- [1] R.G. Allen, L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith, Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements, Paper 56, Rome, Italy (1998) 300 p.
- [2] G. Rana, N. Katerji, F. de Lorenzi, Measurement and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 128, 3 (2005) 199-209.
- [3] G. Burba, Eddy Covariance method for scientific, industrial, agricultural and regulatory applications: a field book on measuring ecosystem gas exchange and areal emission rates, LI-COR Biosciences, Lincoln, USA (2013) 331 p.
- [4] M. Abd El-Aziz Hassan, Environmental studies on coastal zone soils of the North Sinai peninsula (Egypt) using remote sensing techniques, *FAL Agricultural Research, Special Issue 238, Braunschweig (2002)* 180 p. and appendices.
- [5] J.P. Montoroi, J.J. Nizinski, M. Lointier, N. Silvera, French-Egyptian project "Sustainable Management of Adverse Impacts on Farming and Soil Ecosystem Associated with Long Term Use of Low Quality Irrigation Water". Progress Report. AIRD-STDF, Bondy, France (2012) 30 p.
- [6] H.L. Penman, Natural evaporation from open water balance bare soil, and grass, *Proceedings of the Royal Society, London, Series A*, 193 (1948) 120-145.
- [7] M. Shaban, E.A. Elsayed, Regression based modeling and numerical simulations for the assessment of water management practices for El-Salam canal project (Egypt), *Nile Basin Water & Engineering J.*, 5, 1 (2012) 66-78.
- [8] M.M. El Shazly, E.S.A. Abdel Gaphour, Genesis formation and classification of soils of the coastal plain of Sinai peninsula, *Egypt J. Soil Sci.*, 30, 1-2 (1990) 59-72.
- [9] R.R. Ali, W.A.M. Abdel Kawy, Remote sensing and GIS to assess the soil suitability for crops in North Sinai (Egypt), *Egypt J. Remote Sensing & Space Sci.*, 10 (2007) 87-106.
- [10] A. Zaghloul, Sustainable Management of Adverse Impacts on Farming and Soil Ecosystem Associated with Long Term Use of Low Quality Irrigation Water, 2nd Progress Report, AIRD-STDF, Project ID3033 (2012) 191 p.
- [11] J.L. Monteith, Evaporation and environment. The state and movement of water in living organisms, *Symposia of the Society of Experimental Biology*, New York, Academic Press, 19 (1965) 205-234.
- [12] J.J. Nizinski, B. Saugier, A model of transpiration and soil-water balance for a mature oak forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 47 (1989) 1-17.
- [13] C.W. Rose, G.F. Byrne, G.K. Hansen, Water transport from soil through plant to atmosphere: a lumped parameters model, *Agricultural Meteorology*, 16 (1976) 171-184.
- [14] I.S. Bowen, The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, *Physical Review*, 27 (1926) 779-787.
- [15] G.J. Hoffman, J.D. Oster, W.J. Alves, Evapotranspiration of mature orange trees under drip irrigation in an arid climate, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 25 (1982) 992-996.
- [16] S. Cohen, M. Fuchs, S. Moreshet, Y. Cohen, The distribution of leaf area, radiation, photosynthesis and transpiration in a Shamouti orange hedgerow orchard. II. Photosynthesis, transpiration, and the effect of row shape and direction, *Agricultural and Forest Meteorology*, 40, 2 (1987) 145-162.

JOURNAL INTERNATIONAL

Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement

ISSN 1737-6688

Numéro 1 – Octobre 2014

Eau-Climat'2014



Ressources en Eau et Changement Climatique en Région Méditerranéenne

Rédacteur en Chef : Pr Nouredine Gaaloul

Publié par

l'Association Scientifique et Technique pour l'Eau et
l'Environnement en Tunisie (ASTEETunisie)

SOMMAIRE

Thème I :

Eaux de Surface en Région Méditerranéenne

1. **La gestion durable des ressources en eaux de surface en Méditerranée**
2. **Diagnostic de la qualité des eaux de surface en Méditerranée**
3. **Outils et méthodes d'évaluation des ressources en eau de surface en Méditerranée**
4. **Modélisation Hydrologique**

Thème II :

Eaux Souterraine en Région Méditerranéenne

1. **La gestion durable des ressources en eaux souterraines en Méditerranée**
2. **Qualité et recharge des systèmes aquifères en Méditerranée**
3. **Modélisation Numérique : Gestion des aquifères et effet de la recharge sur la qualité des eaux souterraines**

Thème III :

Changements Climatiques en Région Méditerranéenne

