AJLP & GS
African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences

Recours aux satellites pour appuyer le management de l'eau d'irrigation

Estimation des besoins en eau des agrumes par télédétection dans la Plaine de Triffa-Berkane (Maroc)

[1]Rachid Hadria, [2]Loubna Elmansouri, [1]Tarik Benabdelouahab, [3]Hamza Ouatiki [3]Youssef Lebrini, [3]Abdelaziz Htitiou, [3]Rida Khellouk

[1] Institut National de la Recherche Agronomique
[2]Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
[3]Université Moulay Slimane, Beni Mellal

Résumé

Les agrumes représentent la première culture irriguée dans la plaine de Trifa (Berkane, Maroc) avec une superficie en extension continue. Ceci accentue les pressions sur les ressources en eau déjà limitées dans la région. De ce fait, une gouvernance efficace et rationnelle de l'eau agricole s'impose.

Dans ce travail, nous proposons une approche basée sur les observations satellitaires pour appuyer la gestion de l'eau d'irrigation consommée par les surfaces agrumicoles. Cette approche est scindée en deux étapes : des cartes de coefficient cultural d'agrumes ont été d'abord établies à partir d'une cartographie d'agrumes stratifiés selon l'âge, dérivée à partir des images satellitaires Sentinel optique et radar. Ensuite, une implémentation validée du modèle de Hargreaves a permis l'estimation de l'évapotranspiration potentielle à partir des images thermiques du capteur TIRS du Landsat 8. Comparé au modèle de référence de Penman-Montheith, une erreur (RMSE) inférieure à 0.5mm/jour est enregistrée. Finalement, le croisement des cartes du coefficient cultural et de l'évapotranspiration potentielle a permis de spatialiser l'évapotranspiration maximale des agrumes à l'échelle du pixel de la taille d'un hectare.

Ces informations pourraient être intelligemment converties en services de pilotage assisté de l'irrigation pour une meilleure productivité de l'eau agricole.

Mots-clés : Évapotranspiration, agrumes, télédétection, Landsat, Sentinel, Trifa, Maroc.

Use of satellites to support irrigation water management

Estimation of citrus water requirements by remote sensing in the Plaine de Triffa-Berkane (Morocco)

Abstract

Citrus represent the main irrigated crop in Trifa plain (Berkane, Morocco) and their area are in continuous extension, which increases the pressures on the limited water resources of the region. In this context, effective and rational governance of agricultural water is highly needed. In this study, we propose a satellite based approach to support irrigation water management of citrus in Trifa plain. This approach was developed in two steps: citrus crop coefficient maps were firstly developed from an age-stratified citrus map, derived from Sentinel optical and radar satellite images. Then, a validated implementation of Hargreaves model was used to estimate potential evapotranspiration from Landsat 8 TIRS thermal images. Compared to Penman-Montheith reference model, Hargreaves method estimates accurately potential evapotranspiration, with an error (RMSE) lower than 0.5mm / day. Finlay, the combination of crop coefficient and potential evapotranspiration maps allowed to spatialize the maximum citrus evapotranspiration at the pixel scale (one hectare). This information could be used to assist irrigation services to increase agricultural water productivity in irrigated areas.

Keywords: Evapotranspiration, Citrus, remote sensing, Landsat, Sentinel, Trifa, Morocco.

1. INTRODUCTION

Le secteur agrumicole joue un rôle socio-économique important au Maroc. Il assure l'emploi de 50000 ouvriers et procure annuellement plus de 20 millions de journées de travail. Ce secteur représente aussi une source importante de devises qui est de l'ordre de 2,5 à 3 milliards de Dh/an (MAPMDREF, 2018).

Le périmètre irrigué de la Moulouya est la troisième région agrumicole au Maroc. Les agrumes ont occupé 21200 ha en 2018, contre 16000 en 2010, localisés principalement dans la plaine de Trifa (50% de la superficie de la plaine) (ORMVAM, 2017). Ils sont également les premières cultures irriguées dans toute la région. L'intensification de la culture des agrumes, prévue dans le cadre du Plan Maroc Vert, vont augmenter les quantités d'eau nécessaires pour l'irrigation. Et vue les autres pressions actuelles et futures sur les ressources en eau de la région, dues principalement à la croissance démographique, à la pollution des nappes phréatiques et aux changements climatiques, il s'avère primordial de mettre en place une stratégie robuste et durable pour la bonne gestion de l'irrigation de ces cultures à l'échelle d'un périmètre irrigué.

Les nouvelles technologies géo spatiales et les outils de modélisation offrent une panoplie d'opportunités pour la gestion des périmètres irrigués (Hadria et al., 2006a,b; 2019). D'un côté, la télédétection, qui bénéficie actuellement d'un double progrès réalisé tant sur l'acquisition des images (résolutions spatiales, spectrales et temporelles plus adéquates au suivi de la végétation, prix abordables ou gratuité des images) que des performances des procédures de traitement, est considérée comme une alternative de plus en plus accessible et fiable pour parvenir à un suivi régulier d'un périmètre et ce en parfaite adéquation avec le dynamisme végétal. D'un autre côté, des modèles simples ont été développés et paramétrés à partir des données de télédétection. On peut citer en particulier les modèles proposés par la FAO (Allen 1998), et basés sur le modèle de Penman-Montheith (Montheith, 1965) pour estimer les besoins en eau des cultures (Eduardo et al., 2011, Amri et al., 2013).

Dans ce contexte, l'objectif global de ce travail est d'améliorer la gestion de l'irrigation des agrumes pour augmenter la productivité de l'eau. L'objectif spécifique de l'article vise la mise en place d'une démarche méthodologique simple, basée sur l'utilisation des données géo-spatiales, pour l'aide à la gestion de l'eau d'irrigation des agrumes à l'échelle de la plaine de Trifa. Cet objectif sera réalisé en deux étapes : 1)

Spatialisation du coefficient cultural des agrumes à partir des images optiques et radar, et 2) proposition d'un modèle simple pour l'estimation et la spatialisation de l'évapotranspiration potentielle, à partir des images thermique. La simplicité de la méthodologie développée dans ce travail et l'accès gratuit, avec un pas de temps raisonnable, aux données satellitaires nécessaires représentent une nouvelle contribution dans le domaine de la gestion de l'irrigation des agrumes au Maroc.

Cette étude est le fruit d'un partenariat tripartite entre le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des Eaux et Forêts (MAPMDREF), l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV H2). Elle a été fiancée dans le cadre d'un projet MCRDV (Mécanisme Compétitif de Recherche Développement et Vulgarisation, 2016-2018).

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Zone d'étude

Le site d'étude est la plaine de Trifa, la plus grande et la plus importante plaine du périmètre irrigué de la Moulouya avec une superficie de l'ordre de 36060ha. Ledit périmètre est situé au Nord de la région de l'Oriental (Figure 1). Il est limité par la Méditerranée au Nord, par l'Oued Kiss (Frontière avec l'Algérie) à l'Est, par la chaîne des Beni-Snassen au Sud et par différents massifs dont le Rif à l'Ouest. Dernièrement, une extension vers le Sud - Ouest a été faite pour inclure la zone de Taourirt.

Le climat de la région est de type méditerranéen semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle varie autour de 350 mm avec des variations de 250 à 425 mm selon les années. Les températures sont clémentes et favorables pour les cultures primeurs et sous-abris à cause de l'absence de gelée en zones côtières. Les températures moyennes pendant l'hiver sont autour de 4 à 6°C et de 27 à 30°C en été (ORMVAM, 2017).

Les ressources en eau de la région se divisent en eaux de surface, constituées essentiellement par les apports de la Moulouya et les eaux souterraines représentées par les nappes peu profondes dans les plaines des Trifa, du Garet et du Bouareg dont l'eau est saumâtre.

Les agrumes sont concentrés principalement dans la plaine de Trifa. La province de Berkane contient à elle seule plus de 86% de la surface agrumicole totale de toute la région (ORMVAM, 2009). Cette filière ne représente que 3% de la surface agricole utile (SAU) régionale, équivalent à 0.3% de la SAU nationale et contribue pourtant de plus de 88% des agrumes de la région et de 15% des agrumes nationales

avec plus de 18% de valeur ajoutée. (ORMVAM, 2017).

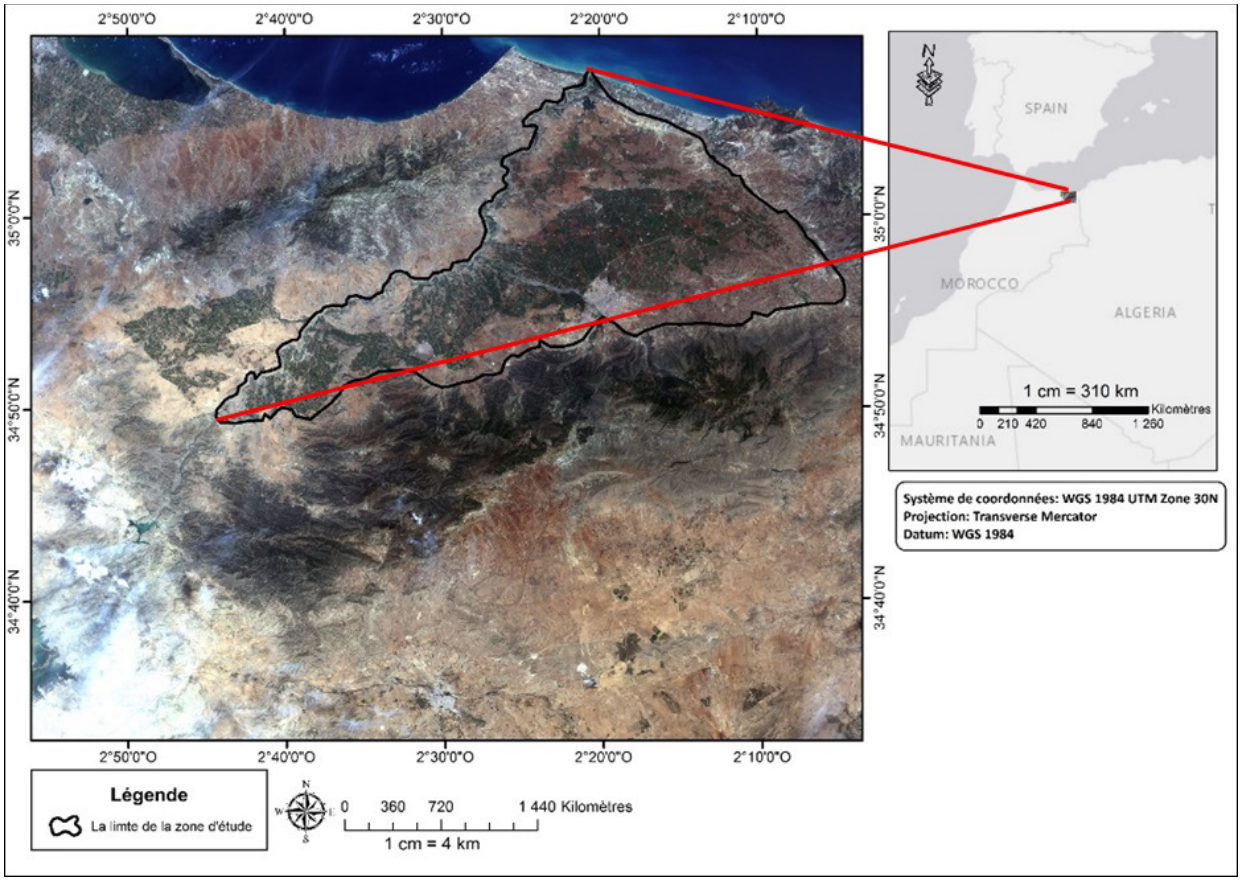

Fig. 1. Situation géographique de la plaine de Trifa (Carte extraite de Google Maps)

2.2 Données

Deux types de données ont été utilisés dans cette étude :

Les données climatiques: elles sont collectées, avec un pas de temps journalier, par trois stations : la première station est installée au niveau de l'Agropole de Berkane, la deuxième est installée au niveau de la station expérimentale Slimania de l'ORMVAM à Berkane, tandis que la troisième est installée dans le domaine expérimental de l'INRA à Bouareg à 10 km de la ville du Nador. La période couverte par la station de l'Agropole de Berkane est du 10/08/2015 au 28/08/2018, celle couverte par la station de Slimania est entre 2014 et 2018, tandis que la station de Bouareg couvre la période entre 26/11/2016 et le 19/03/2019. Les données collectées sont les trois composantes de la température de l'air (Tmin, Tmoy et Tmax), le rayonnement solaire, l'humidité et l'air et la vitesse du vent.

Les données de télédétection : elles sont représentées par 45 images de température de surface, de 30m de résolution, acquises entre 2014 et 2018 par le satellite Landsat. Ces images, accessibles gratuitement via le site web ;

http://rslab.gr/downloads_LandsatLST.html, sont obtenues à partir des images Landsat traitées selon la méthode détaillée par Parastatidis et al. (2017). Les dates d'acquisition des images utilisées dans cette étude sont données dans le tableau 1.

Tableau 1. Dates d'acquisition des images de température de surface

année	2014	2015	2016	2017	2018
Dates d'acquisition des images	28-févr	20-avr	01-janv	03-janv	22-janv
	16-mars	06-mai	17-janv	04-févr	7 fevr
	17-avr	22-mai	2 fevrier	08-mars	
	19-mai	07-juin	22-avr	09-avr	
	04-juin	23-juin	24 mail	28-juin	
	06-juil	25-juil	09-juin	14-juil	
	22-juil	25-juil	11-juil	30-juil	
	07-août	27-sept	27-juil	16-sept	
	23 aout	29-oct	28-août	19-nov	
	08-sept	30-nov	15-oct	05-déc	
	24-sept	16-déc	31-oct		

2.3 Méthodologie

La Figure 2 illustre le cheminement global suivi dans cette étude. Dans une première étape, une carte d'agrumes stratifiée selon l'âge des arbres a été élaborée en utilisant des données de terrain et des images optiques et radar, acquises par les satellites Sentinel 1 et 2. Les résultats de cette étape sont publiés par Elmansouri et al. (2018) dans le deuxième issue de 2018 du ce journal. Cette carte a été ensuite transformée en cartes de coefficient cultural des agrumes selon le schéma présenté dans la Figure 3. Trois classes d'âges des arbres ont été considérées: une première classe de jeunes plantations âgées de moins de 11 ans, une deuxième classe d'arbres adules dont l'âge est compris entre 11 ans et 35 ans, et finalement, une troisième classe de vielles plantations âgées de plus de 35 ans. Les trois cartes d'âge d'agrumes ont été ensuite transformées en cartes de taux de couverture du sol. Trois classes du taux de couverture ont été considérées dont chacune correspond à une classe d'âge d'arbres : taux de couverture inférieure à 20%, taux de couverture de 50% et finalement un taux de couverture supérieure à 70%. Finalement, pour chaque classe de taux de couverture, on élabore trois cartes de coefficient cultural: une première pour le Kc initial, une deuxième pour Kc médian, et une dernière pour Kc final. Les seuils de taux de couverture ainsi que les valeurs des coefficients de cultures correspondant à chaque tranche d'âge des arbres ont été obtenus à partir de la documentation de la FAO pour les agrumes dans la région méditerranéenne (Allen 1998).

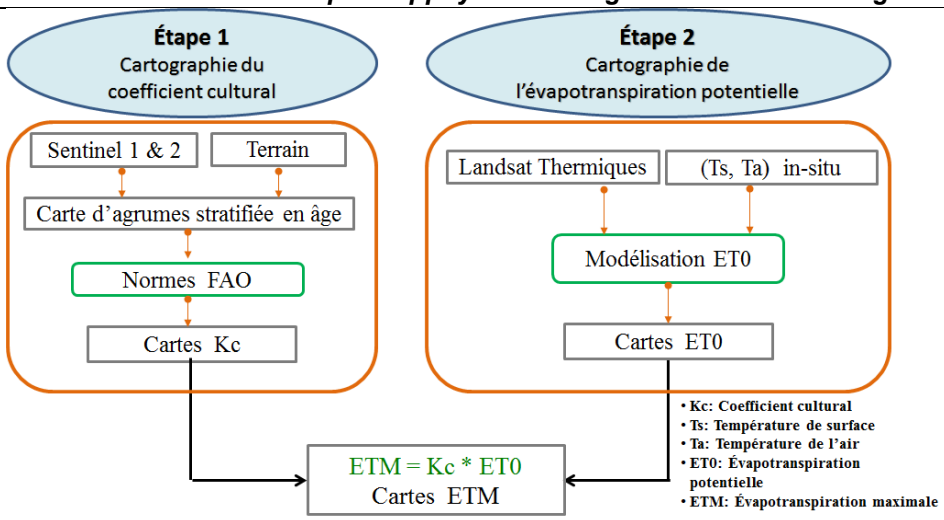

Fig. 2 Schéma global suivi pour la spatialisation de l'évapotranspiration maximale des agrumes à partir des données de télédétection

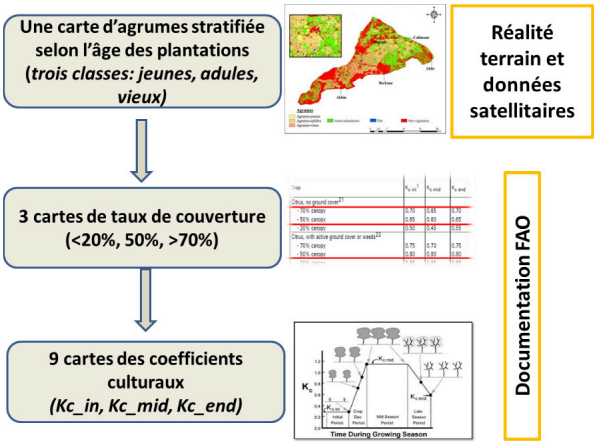

Fig. 3. Étapes suivies pour la cartographie du coefficient cultural des agrumes dans la plaine de Trifa

Dans une deuxième étape, la cartographie de l'évapotranspiration potentielle (ET0) a été réalisée en utilisant le modèle de Hargreaves (Hargreaves ans Samani, 1985). Ce modèle permet de calculer l'évapotranspiration potentielle à partir du rayonnement solaire hors atmosphère et des trois composantes de la température de l'air et d'un paramètre empirique selon l'équation suivante:

$$ETo = 0.0023Ra(Tmean + 17.8)(T\max - T\min)^{0.5}$$

Où ***Ra*** est le rayonnement hors atmosphère, calculé à partir d'équations astrophysiques standards.

Tmean, ***Tmax*** et ***Tmin*** correspondent aux trois composantes de la température de l'air, températures moyenne, maximale et moyenne, respectivement.

Le modèle de Hargreaves a d'abord été calibré en le comparant avec modèle de référence de Penman-Montheith (56) en utilisant les données climatiques mesurées par des stations climatiques de l'Agropole de Berkane et celle du Nador. Il a été ensuite utilisé pour cartographier l'évapotranspiration potentielle dans la plaine de Trifa. Dans ce cas, les trois composantes de la température de l'air ont été calculées à partir de la température de surface issue des images thermiques Landsat en se basant sur les travaux de Hadria et al. (2017).

Finalement, le produit des cartes du coefficient cultural, obtenues dans la première étape, et les cartes de l'ET0 permet d'obtenir des cartes de l'évapotranspiration maximale des agrumes (ETM) pour toute la plaine.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Cartographie des coefficients culturaux

Les 9 cartes des coefficients culturaux déduites des cartes de taux de couverture des agrumes ont été fusionnées en trois cartes pour toute la plaine de Trifa : une première pour kc initial, une deuxième pour kc médian et une dernière pour kc final. La Figure 4 montre un exemple de la carte finale de Kc médian (kc_mid) pour les agrumes de la plaine de Trifa.

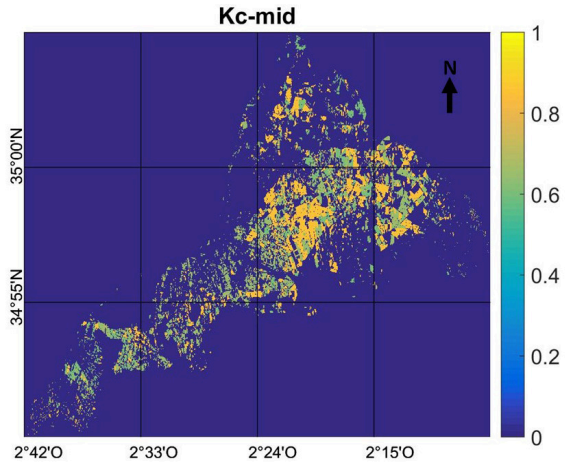

Fig. 4. Exemple de la carte finale de kc_mid pour tous les agrumes de la plaine de Trifa.

La figure montre une grande variabilité des valeurs du coefficient cultural. Les valeurs élevées de ce coefficient correspondent aux vergers adultes tandis que les faibles valeurs correspondent aux jeunes plantations.

3.2. Calibration du modèle de Hargreaves pour le calcul de l'ET0

La calibration du modèle de Hargreaves a été réalisée en le comparant avec le modèle de Penman-Montheith (Montheith, 1965), considéré comme le modèle de référence pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. Les données climatiques issues des deux stations climatiques de l'Agropole de Berkane et du Nador ont été utilisées. Les résultats de cette comparaison sont illustrés dans la Figure 5. Le résultat de la comparaison des deux modèles montre que le modèle de Hargreaves permet d'estimer correctement l'évapotranspiration potentielle (ET0). Les valeurs obtenues par ce modèle simplifié sont très comparables à celles obtenues à l'aide du modèle de Référence (Penman-Monteith-56). L'indice de corrélation R^2 est de l'ordre de 0.80 et le RMSE est de l'ordre de 0.32 mm/jour pour la station de l'Agropole et de l'ordre de 0.43mm/jour pour la station du Nador. Cet ordre d'erreur est acceptable lorsqu'on tient en compte la simplicité du modèle et le

nombre réduit des données climatiques nécessaires pour le calcul. Un autre avantage du modèle de Hargreaves est que les trois composantes de la température de l'air, nécessaires pour le calcul, sont facilement accessibles à partir des données satellitaires. La section suivante sera consacrée à la méthode proposée pour le calcul de ces trois variables climatiques.

3.3. Estimation de la température de l'air à partir de la température de surface

La température de l'air est une variable clé pour spatialiser l'évapotranspiration potentielle à l'aide du modèle de Hargreaves. Puisque cette variable n'est pas disponible à l'échelle de la parcelle et dans tout le périmètre irrigué, nous avons proposé de l'estimer à partir des données de télédétection thermique.

Ainsi, l'objectif de cette partie du travail est de développer des modèles pour le calcul des trois composantes de la température de l'air (Tmin, Tmax et Tmoy) à partir des données de données accessibles par les satellites. Dans la littérature, la température de l'air est très corrélée avec la température de surface donnée par les satellites (Hadria et al., 2017, Mildrexler et al., 2011). La température de surface peut être mesurée par un ensemble de satellite comme radiomètres comme MODIS (*Moderate-Reolution Imaging Spectroradiometer*), AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) ou Landsat. La méthode suivie dans ce travail consiste à l'élaboration de trois modèles pour dériver les trois composantes de la température de l'air à partir de la température de surface obtenue à partir des images thermique Landsat. Ainsi, la température de surface issue de 45 images thermique Landsat, acquises entre 2014 et 2018, a été comparée aux trois composantes de la température de l'air mesurées par la station climatique Slimania de l'ORVAM (centre de la plaine de Trifa). La Figure 6 montre les trois modèles qui lient la température de surface aux trois composantes de la température de l'air. Les résultats obtenus confirment les corrélations linéaires qui existent entre les trois composantes de la température de l'air et la température de surface obtenue à partir des images satellitaires thermiques. Le coefficient de détermination R^2 est de l'ordre de 0.89 pour Tmoy versus Ts et de l'ordre de 0.85 pour deux autres composantes. Le RMSE varie entre 2°C et 2.6°C, marge d'erreur en accord avec ce qui est rencontré dans la littérature (Hadria et al., 2017, Recondo and Pérez-Morandeira 2002).

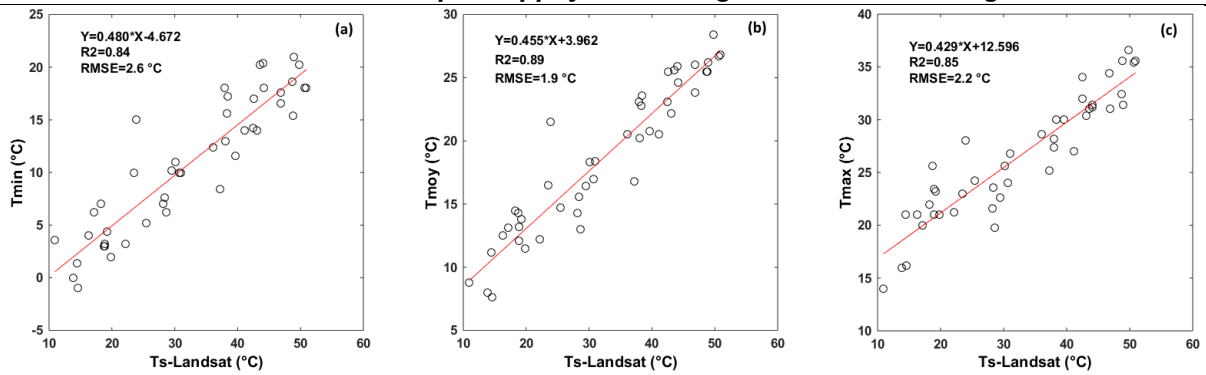

Fig. 5. Corrélation entre les trois composantes de la température de l'air et la température de surface (Ts) issue des images thermiques Landsat. (a) Tmin versus Ts, (b) Tmoy versus Ts, (c) Tmax versus Ts.

Les trois modèles obtenus ont été appliqués aux 45 images de température de surface acquises par le satellite Landsat. Cela nous a permis d'obtenir 135 images de température de l'air correspondant à 45 images pour chaque composante de la température de l'air.

3.4. Spatialisation De l' ET0 et de l'ETM

Pour spatialiser l'évapotranspiration potentielle ET0 à l'échelle de la plaine de Trifa, nous avons utilisé les trois modèles de calcul des trois composantes de la température de l'air élaborés dans la section '3.3' et le modèle de Hargreaves introduit dans la section '3.2'. La Figure 7 montre trois exemples de cartes de l'ET0 dans la plaine de Trifa. Les trois cartes correspondent, de la gauche vers la droite, au mois de février, avril et juin, respectivement. On constate que les valeurs de l'ET0 varient en fonction du temps mais aussi en fonction de l'espace. Ces valeurs varient entre 2mm en hiver et plus de 6mm en été. La prise en considération de cette variabilité dans la gestion des irrigations permettrait de mieux gérer les ressources en eau au niveau du périmètre irrigué.

À ce stade, on dispose de cartes d'évapotranspiration potentielle et des coefficients culturaux des agrumes à l'échelle de la plaine de Trfia. Le produit de ces deux cartes permet d'obtenir des cartes de l'évapotranspiration maximale des agrumes à l'échelle du périmètre irrigué. La Figure 8 montre un exemple de carte de l'évapotranspiration maximale des agrumes de la plaine de Trifa pour le 14/07/2017. Cette carte montre que l'évapotranspiration maximale des agrumes varie d'un verger à l'autre, selon l'âge des arbres ainsi que du climat de sa localisation dans la plaine.

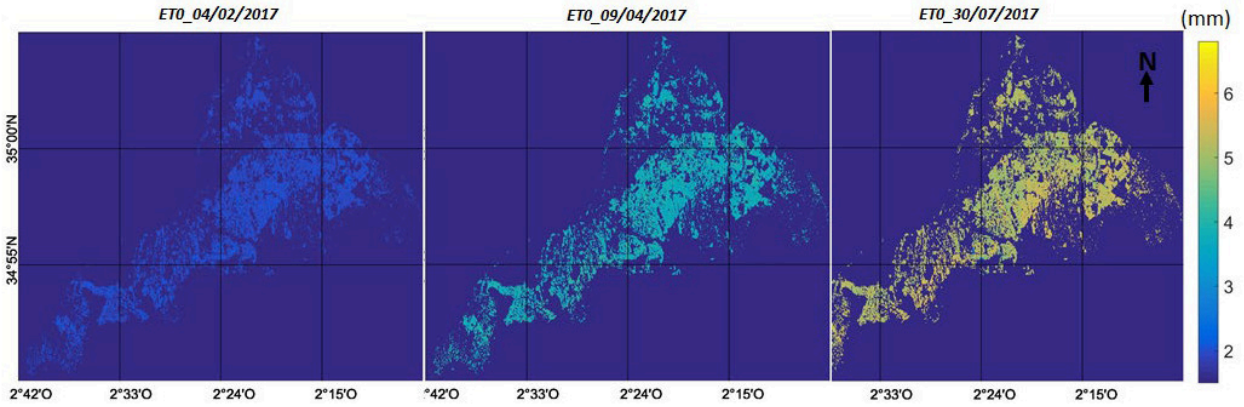

Fig. 6. Exemples de cartes de l'ET0 dans la plaine de Trifa.

La production de cartes périodiques de l'évapotranspiration maximale des agrumes serait très utile aux gestionnaires de l'eau de l'irrigation dans la plaine de Trifa puisque cet indicateur tient compte à la fois des conditions climatiques de la région à travers l'ET0 et des caractéristiques des arbres à travers le coefficient cultural.

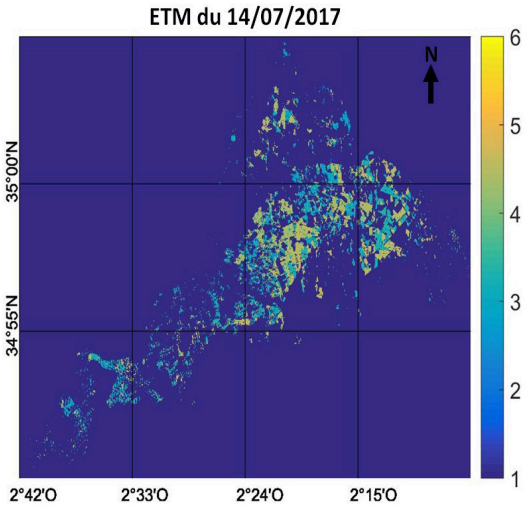

Fig. 7. Exemple de carte de l'évapotranspiration maximale des agrumes de la plaine de Trifa pour le 14/07/2017

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude est une continuité du travail présenté par Elmansouri et al., (2018). L'objectif spécifique de cet article est la mise en place d'une démarche méthodologique, basée sur les observations satellitaires open sources en vue de l'aide à la gestion de l'eau d'irrigation des agrumes à l'échelle du périmètre irrigué de Trifa. L'approche proposée consiste, dans un premier temps, à la spatialisation du coefficient cultural des agrumes dans la plaine de Trifa, et dans un deuxième temps, à la spatialisation de l'évapotranspiration potentielle.

Les cartes du coefficient cultural des agrumes ont été obtenues en se basant sur

une carte d'agrumes de la plaine de Trifa, stratifiée selon l'âge des arbres (Elmansouri et al.2018), et les standards de la FAO pour les agrumes (Allen, 1998).

Pour la spatialisation de l'évapotranspiration potentielle, le modèle de Hargreaves (Hargreaves and Samani, 1985) a d'abord été comparé au modèle de référence de Penman-Montheith en utilisant les données climatiques mesurées par deux stations climatiques installée à Berkane et à Nador. Cette comparaison a montré que le modèle simple de Hargreaves permet d'estimer correctement l'évapotranspiration potentielle avec un RMSE inférieur 0.5mm/jour.

Le modèle de Hargreaves a été ensuite utilisé pour spatialiser l'évapotranspiration potentielle de la plaine de Trifa à partir de la température de surface issue des images thermiques Landsat.

Le produit des cartes du coefficient cultural des agrumes et des cartes de l'évapotranspiration potentielle permet finalement de spatialiser l'évapotranspiration maximale des agrumes dans toute la plaine de Trifa. Un tel produit est un indicateur qui serait très utile aux gestionnaires de l'eau d'irrigation dans la plaine de Trifa puisque cet indicateur tient compte à la fois des conditions climatiques de la région à travers l'ET0 et des caractéristiques des arbres à travers le coefficient cultural.

L'approche méthodologique proposée dans cet article pourrait être généralisée dans d'autres périmètres irrigués puisqu'elle est indépendante du contexte et de la zone d'étude.

5. REMERCIEMENTS

Cette étude est le fruit d'un partenariat tripartite entre le Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des Eaux et Forêts (MAPMDREF), l'INRA, et l'IAV H2. Elle a été fiancée dans le cadre d'un projet MCRDV (Mécanisme Compétitif de Recherche Développement et Vulgarisation, 2016-2018). Nous remercions l'ensemble de l'équipe associée au projet ainsi que nos partenaires régionaux, principalement l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya (ORMVAM) et l'Office National du Conseil Agricole (ONCA) de la région de l'Oriental).

6. REFERENCES

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.

Amri R., Zribi M., Lili-Chabaane Z., Szczypta C., Calvet J. C., and Boulet G., (2013). FAO-56 dual approach combined with multi-sensor remote sensing for regional evapotranspiration estimations. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 10, 8117–8144.

Eduardo Eiji Maeda, David A.Wiberg, Petri K.E.Pellikka, (2011). Estimating reference evapotranspiration using remote

sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. Applied Geography, Volume 31, Issue 1, 251-258.

Elmansouri L., Hadria R., Lahmer I., Omar M., Abdessadek O., ElGorch A., Azzouzi A., Benabdelouahab T., Lahssini S., Boudhar A., Mahyou H., Nazih A., Taarabt Y. (2018). Technologies Géo-Spatiales pour renforcer les dispositifs de gestion des terres agricoles: Appui à la gestion des surfaces agrumicoles par télédétection dans la Plaine de Triffa-Berkane (Maroc). African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences. ISSN2657-2664, Issue no 2, decembre 2018, page 164-177.

ESA, (2018). Guide d'utilisateurs. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides

Hadria R., (2006a), Adaptation et spatialisation du modèle STICS pour la gestion d'un périmètre céréalier irrigué en milieu semi-aride. Thèse de doctorat, Faculté des sciences Semlaia, Marrakech.

Hadria R., Duchemin B., Lahrouni A., Khabba S., Er-Raki S., Dedieu G., and Chehbouni A., (2006b). Monitoring of irrigated wheat in a semi-arid climate using crop modelling and remote sensing data: Impact of satellite revisit time frequency. International Journal of Remote Sensing, 27, 1093-1117.

Hadria R., Benabdelouahab T., Mahyou, H., Balaghi R., Bydekerke L., El Hairech T., Ceccato P. (2017). Relationships between the three components of air temperature and remotely sensed land surface temperature of agricultural areas in Morocco. International Journal of Remote Sensing, 39 (2), 356-373.

Hadria R., Elmansouri L., Benabdelouahab T., Ceccato P., (2019). Geospatial technics, modelling, meteorological and ground data for crop management in semi-arid zones of Morocco. Chapter in the book: Geospatial Technologies for Effective Land Governance. (pages: 107-123).

Hargreaves, G.H. and Z.A. Samani, 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Transaction of ASAE 1(2):96-99.

MAPMDREF, 2018. Agriculture en chiffre au Maroc. Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, Développement Rural et des eaux et Forêts. 72p.

Mildrexler D. J., Zhao M. and Running S. W., 2011. A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. Journal of Geophysical Research. Vol 116, G03025,

ORMVAM, (2017). Potentialités agricoles de la région de l'Oriental, monographie.

ORMVAM, l'Office Régional de Mise en Valeur Agricole de la Moulouya-Berkane, 2009, Filière agrumicole dans le périmètre de la Moulouya. Rapport interne.

Parastatidis, David, Zina Mitraka, Nektrarios Chrysoulakis, and Michael Abrams. 2017. "Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat." *Remote Sensing* 9 (12):1208.

Monteith J. L. (1965). "Evaporation and environment". Symposia of the Society for Experimental Biology. 19: 205–224

Recondo C., Pérez-Morandeira C.S., 2002. Obtención de la temperatura del aire en Asturias a partir de la temperatura de superficie calculada con imágenes NOAA-AVHRR. Revista de Teledetección 17:5-12.

7. TERMES CLES ET DEFINITIONS

L'évapotranspiration : est le processus par lequel l'eau liquide d'un milieu donné est convertie en vapeur puis transférée vers l'atmosphère, par évaporation (sol, interception par les feuilles) et par transpiration (à travers les stomates des plantes).

L'évapotranspiration potentielle : est L'évapotranspiration lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative. L'évapotranspiration potentielle ne dépend que des facteurs météorologiques (humidité relative, température de l'air, vent et rayonnement solaire global incident).

L'évapotranspiration maximale d'un couvert végétal : est la valeur maximale de l'évapotranspiration de ce couvert, à un stade végétatif donné, dans des conditions climatiques données et lorsque la disponibilité en eau n'est pas limitative. C'est une correction de l'évapotranspiration potentielle en fonction de l'état du couvert végétal.

8. APPENDIX

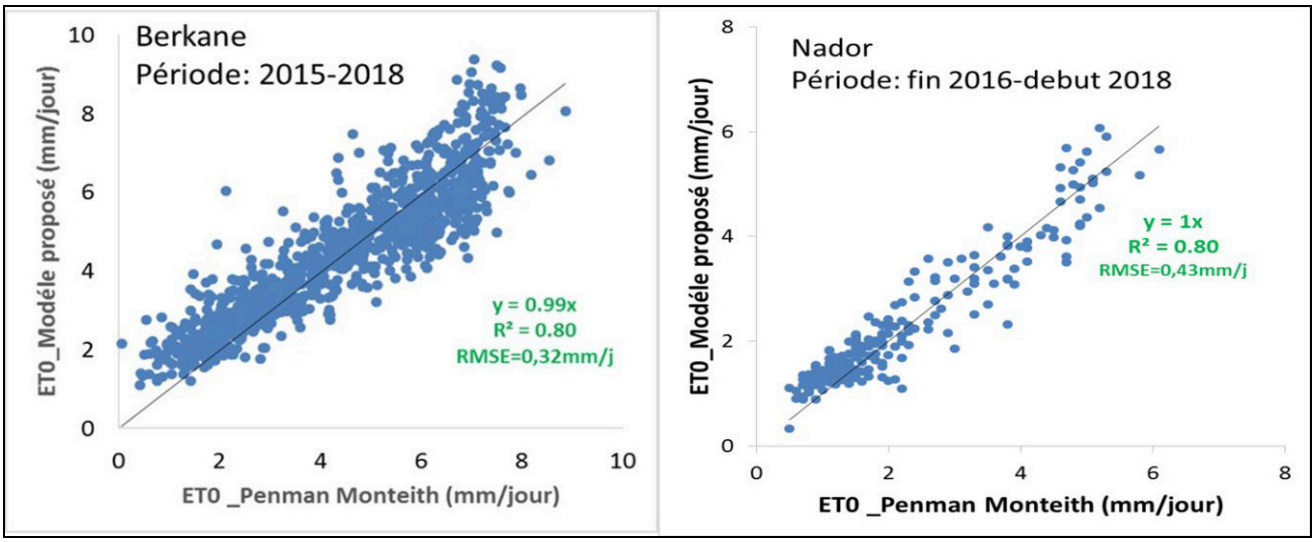

Fig. 8. Comparaison entre les valeurs de l'évapotranspiration potentielle calculées par le modèle de Hargreaves et le modèle de référence de Penman-Monteith (56)

View publication stats