

Effet de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la croissance et le développement foliaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.)

Ahmed Sabri^{1,*}, Ahmed Bouaziz², Ali Hammani², Marcel Kuper³, Ahmed Douaik¹
et Mohamed Badraoui^{1,2}

¹ Institut national de la recherche agronomique, Rabat, Maroc

² Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc

³ CIRAD, UMR G-Eau, 34398 Montpellier, France

Résumé – L'eau est un facteur limitant pour le développement de l'agriculture oasienne. L'amélioration de son efficacité d'utilisation est donc nécessaire et peut passer par des stratégies d'irrigation déficitaire. La réponse du palmier dattier à de telles stratégies a ainsi été évaluée par l'étude expérimentale de leurs effets sur la croissance végétative des palmiers adultes de la variété Majhoul. L'expérimentation a été conduite au Tafilalet (Maroc) pendant deux années consécutives (mars 2012-février 2014). Le cycle annuel de la croissance et du développement de cette variété a été découpé en trois périodes distinctes : la première de novembre à février, la seconde de mars à juin et la dernière de juillet à octobre. Pendant ces périodes, sept régimes hydriques ont été appliqués sous irrigation localisée : régime agriculteur (T0), 100 % évapotranspiration maximale [ETM] (T1), 80 % (T2), 60 % (T3), 80–100–60 % (T4), 150 % (T5) et 60–100–80 % (T6). Les mesures ont porté sur le suivi des paramètres météorologiques, les apports d'eau et l'évolution de la biomasse végétative (émission, croissance et sénescence des palmes, et le suivi de l'indice foliaire). Les résultats obtenus montrent que : le régime hydrique et la périodisation affectent significativement la phénologie du palmier dattier en deuxième année ; les apports en eau d'irrigation sont en moyenne de 51 m³/pied/an, variables entre 30 et 76 m³/pied/an ; le T6, l'irrigation déficitaire régulée à 60–100–80 % de l'ETM selon les saisons, a amélioré la productivité végétative du palmier et a permis la conservation de 14 % de l'eau d'irrigation comparativement au T1. La stratégie de l'irrigation déficitaire régulée pourrait donc contribuer à la rationalisation de l'eau et à la durabilité des oasis.

Mots clés : stratégies de l'irrigation déficitaire / palmier dattier / Majhoul / indice foliaire

Abstract – **Effect of regulated deficit irrigation on growth and development of leaf date palm (*Phoenix dactylifera* L.).** Water is a limiting factor for the development of oasis agriculture. Water use efficiency needs to be improved by searching for different strategies of deficit irrigation. In this context, the response of date palm to these strategies was evaluated by the experimental study of the effects on the vegetative growth of mature palms cv Majhoul. The experiment was conducted in Tafilalet (Morocco) for two consecutive years (March 2012-February 2014). The annual cycle of growth and development of this variety was divided into three distinct periods: the first from November to February, the second from March to June, and the last from July to October. During these times, seven water regimes were applied under drip irrigation: farmer regime (T0), 100% (T1), 80% (T2), 60% (T3), 80–100–60% (T4), 150% (T5), and 60–100–80% (T6) ETM. The measures focused on the monitoring of meteorological parameters, the water irrigation and the evolution of vegetative biomass (emission growth and senescence leaves, and monitoring LAI [Leaf Area Index]) of this variety. The results at the end of the second year of this trial show that: water regime and periodization significantly affected the phenology of the date palm in the second year; water irrigation needs are, on average, 51 m³/tree/year, varying between 30 and 76 m³/tree/year; the average production of palm and leaf area index were 17.8, 21.1, 20.3, 19.4, 20.1, 20.5, and 21.4 palm/year/tree and 1.01, 1.26, 1.26, 1.22, 1.26, 1.25 and 1.37, respectively for treatments T0, T1, T2, T3, T4, T5, and T6. Thus, the T6 water regime (regulated deficit irrigation) improved the vegetative growth of date palm and allowed the conservation of

* Auteur de correspondance : sabri_inra2004@yahoo.fr ;
sabri.inra2004@gmail.com

14% of irrigation water compared to T1. The strategy of regulated deficit irrigation could contribute to the rationalization of water and the sustainability of oases.

Keywords: strategies of deficit irrigation / date palm / Majhoul / leaf area index

1 Introduction

La palmeraie marocaine compte environ 5 millions de palmiers dattiers dont près de 60 % sont productifs. Ce patrimoine est réparti sur plus de 90 palmeraies, principalement localisées dans les régions de Draâ (1,9 millions de palmiers), du Ziz (1,6 millions de palmiers) et de Tata (0,9 millions de palmiers). Celles-ci représentent, à elles seules, 88 % de l'effectif total (MAPM, 2014). Les oasis de Tafilalet regroupent 1,6 millions de palmiers, soit 29 % de l'effectif national (MAPM, 2014). Le climat de cette zone se caractérise par des précipitations faibles et irrégulières et par la succession récente d'années de sécheresse. Ces conditions font des eaux souterraines la source principale pour satisfaire les besoins en eau des palmeraies, notamment les extensions situées à l'extérieur des oasis traditionnelles.

Face à ces contraintes hydriques, l'économie de l'eau d'irrigation constitue un axe incontournable pour la subsistance et la durabilité de ces palmeraies. Les stratégies de l'irrigation déficitaire sont l'un des moyens permettant une meilleure utilisation de l'eau d'irrigation dans les zones à ressources hydriques limitées. Ces stratégies, abondamment étudiées en arboriculture fruitière (English et Raja, 1996), englobent deux types, l'irrigation déficitaire continue et l'irrigation déficitaire régulée. Ce dernier concept a été proposé par Chalmers *et al.* (1981) pour contrôler la croissance végétative des vergers de pêcher où ils ont constaté qu'une économie d'eau d'irrigation pouvait être réalisée sans réduire le rendement. Des résultats similaires ont été rapportés pour d'autres espèces fruitières dont les études réalisées chez le poirier (Zhao *et al.*, 2015), l'amandier (Razouk *et al.*, 2013a), le mandarinier (Pedrero *et al.*, 2014), le clémentinier (Ballester *et al.*, 2014) et l'abricotier (Pérez-Pastor *et al.*, 2014).

Les études traitant les effets de l'irrigation déficitaire sur la croissance végétative, le développement et le rendement du palmier dattier sont limitées et rares. Ismail *et al.* (2014) ont étudié, en Arabie Saoudite, l'effet de quatre régimes hydriques (50, 65, 82 et 100 % des besoins en eau du palmier) sur l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation (*water use efficiency*, WUE), le rendement et la qualité des dattes de la variété « Nabbut-Saif ». Ces auteurs ont conclu que le régime 65 % a permis de maximiser le rendement des dattes par la production de 46,1 kg par arbre et a abouti à la meilleure WUE (1,36 kg/m³/arbre), tandis que les régimes hydriques 82 et 100 % des besoins totaux de l'eau ont permis de produire 45,5 et 46 kg par arbre, respectivement, et ont réduit la WUE. D'autre part, Mazahrih *et al.* (2012) ont conduit une expérimentation en Jordanie afin de déterminer les coefficients culturaux (*K_c*) et les besoins en eau du palmier dattier cv Majhoul (ET_c) sous quatre régimes hydriques (50, 75, 100 et 125 % ET_c). Ils ont rapporté que les rendements obtenus étaient de 33,46, 35,98, 37,8 et 42,49 kg/pied et la productivité de l'eau a été de 1,25, 0,90, 0,71 et 0,64 kg/m³, respectivement pour 50, 75, 100 et 125 % ET_c et que les deux régimes les plus stressés (50 et 75 % ET_c) ont par ailleurs augmenté significativement la salinité du sol de 1,5 à 3,5 dS/m.

On note donc un manque considérable de caractérisation des impacts du déficit hydrique sur les principaux paramètres de fonctionnement du palmier dattier. Ainsi, Carr (2012) a recommandé l'étude détaillée de cette stratégie de l'irrigation pour approfondir les observations citées par plusieurs auteurs. La présente étude vise essentiellement à :

- évaluer expérimentalement l'effet du stress hydrique contrôlé sur la croissance et le développement de la biomasse végétative du palmier dattier adulte ;
- identifier les phases sensibles au sein du cycle annuel du palmier dattier.

2 Matériels et méthodes

2.1 Site expérimental

L'expérimentation a été conduite pendant deux années consécutives (mars 2012–février 2014), au sein d'une exploitation privée de 14 hectares, située dans la zone de Goulmima dans la province d'Errachidia, à environ 500 km de Rabat dans le Sud-Est Marocain (longitude 4°54'37" Ouest, latitude 31°41'11" Nord, altitude de 1000 m). Le climat, de type subdésertique sec et continental, est caractérisé par un été chaud et un hiver froid. La température maximale est de 43 °C et la température minimale est de -3 °C. Les pluviométries sont faibles et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Elles varient entre 11 et 293 mm/an avec une moyenne de 116 mm/an durant une période de 32 ans, allant de 1979/80 jusqu'à 2010/2011 (ORMVA/TF, 2012).

L'analyse physique du sol du site expérimental sur une profondeur de 180 cm, montre que la texture du sol de cette parcelle est variable et va, selon le diagramme de classification des textures de Danis (2000), d'une texture argileuse à limono-argilo-sableuse, avec une dominance de cette dernière (2/3 des échantillons). Le taux des limons est relativement faible avec prédominance des taux inférieurs à 20 %.

Excepté dans les premiers 20 centimètres de profondeur, la conductivité électrique de la solution du sol est inférieure à 2 mmhos/cm, valeur pour laquelle aucune baisse des rendements n'est à craindre (FAO, 1980).

2.2 Matériel végétal

Le cultivar choisi est la variété Majhoul. Cette variété se caractérise essentiellement par sa notoriété mondiale liée à la qualité de ses dattes, engendrant une valeur ajoutée commerciale.

Les palmiers mis en essai ont été plantés en 2000, à une densité de 156 pieds/ha (8 m x 8 m). Ils ont au moment de l'essai des stipes d'une hauteur moyenne de 2 m et sont dépourvus de tout signe de carence ou de maladie. La superficie réservée à l'essai couvre environ un hectare, y compris les bordures et les servitudes.

Tableau 1. Signification des régimes hydriques étudiés.
Table 1. Meaning of the studied water regimes.

Traitements		Phase I (novembre à février)	Phase II (mars à juin)	Phase III (juillet à octobre)
T ₀	Tag	Régime agriculteur	Régime agriculteur	Régime agriculteur
T ₁	T ₁₀₀₋₁₀₀₋₁₀₀	100 % ETM	100 % ETM	100 % ETM
T ₂	T ₈₀₋₈₀₋₈₀	80 % ETM	80 % ETM	80 % ETM
T ₃	T ₆₀₋₆₀₋₆₀	60 % ETM	60 % ETM	60 % ETM
T ₄	T ₈₀₋₁₀₀₋₆₀	80 % ETM	100 % ETM	60 % ETM
T ₅	T ₁₅₀₋₁₅₀₋₁₅₀	150 % ETM	150 % ETM	150 % ETM
T ₆	T ₆₀₋₁₀₀₋₈₀	60 % ETM	100 % ETM	80 % ETM

NB: ETM : évapotranspiration maximale.

2.3 Dispositif expérimental

Les 84 palmiers utiles, inclus dans l'essai, sont répartis en 21 unités expérimentales (comportant chacune quatre palmiers) suivant un dispositif en blocs aléatoires complets avec trois répétitions. Chaque groupe de 12 arbres a été soumis à un régime hydrique variant entre 60 et 150 % de l'évapotranspiration maximale [ETM] (Tab. 1).

Les sept régimes hydriques étudiés sont répartis de la manière suivante :

- T₀ est le régime hydrique adopté par l'agriculteur pour arroser ses palmiers ; c'est la référence locale ;
- T₁ correspond à 100 % de l'ETM équivalent aux besoins en eau du palmier dattier, et représente le témoin dans cette étude ;
- T₂ et T₃ sont les deux régimes hydriques qui correspondent aux irrigations déficitaires continues aux seuils de déficit hydrique de respectivement 20 et 40 %, soit 80 et 60 % de l'ETM durant toute l'année ;
- Les régimes hydriques T₄ et T₆ correspondent aux irrigations déficitaires contrôlées ou régulées aux seuils de déficit hydrique de, respectivement, 20 et 40 % de l'ETM durant la phase hivernale (novembre-février), et 40 et 20 % de l'ETM pendant la période estivale (juillet-octobre), soit 80-100-60 et 60-100-80% de l'ETM ;
- T₅ est le régime hydrique qui assure un apport d'eau qui dépasse toujours les besoins en eau de l'ETM de 50 %, et ce durant toute l'année (soit 150 % de l'ETM).

Le découpage en trois périodes distinctes est raisonné conformément aux phases du cycle annuel du palmier dattier, à savoir :

- la première période qui s'étale de novembre à février, juste après la récolte où la plante passe par une période de repos végétatif ;
- la seconde s'étalant de mars à juin, durant laquelle se déroulent la pollinisation, la croissance et le grossissement des fruits et la croissance active du palmier dattier ;
- la dernière période allant de juillet à octobre et qui correspond aux phases de fin de grossissement des fruits, croissance active du palmier dattier et maturation des fruits (Sedra, 2003, 2012).

L'irrigation localisée est assurée par un système en goutte à goutte aménagé en couronnes autour des palmiers. Chaque arbre est entouré d'une couronne dont le diamètre est d'environ 3 m, comprenant six goutteurs boutons espacés de 150 cm, et débitant chacun 25 l/h pour un débit total de 150 l/h.

La fréquence d'irrigation varie entre deux et sept fois par semaine en fonction de la demande climatique. Elle est de deux, trois et sept fois par semaine respectivement durant les mois de novembre à février, mars et octobre, et d'avril à septembre.

Les doses apportées par irrigation varient en fonction des traitements hydriques et des saisons. Pour le cas du témoin (100 % de l'ETM), la dose apportée par irrigation varie entre 136 et 242 l/pied/irrigation, soit l'équivalent à l'échelle de l'hectare de 20 et 33 m³/ha/irrigation. Pour le cas du T₀, ce paramètre varie entre 240 et 400 l/pied/irrigation, soit l'équivalent de 33 et 55 m³/ha/irrigation à l'échelle de l'hectare.

2.4 Estimation des besoins en eau d'irrigation

2.4.1 Calcul de l'évapotranspiration de référence

Le calcul de l'évapotranspiration de référence ET₀ a été effectué selon la formule de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) en utilisant les paramètres météorologiques de la station agro-météorologique située sur l'exploitation.

2.4.2 Évaluation de l'évapotranspiration maximale du palmier

L'évaluation des besoins en eau du palmier (en l/arbre/j) est donnée par la formule suivante (Gafar, 2010 ; Ismail *et al.*, 2014).

$$ETM_{\text{palmier}} = ET_0 \times K_c \times S_a. \quad (1)$$

Les coefficients culturaux K_c utilisés sont les K_c de la FAO rapportés par Liebenberg et Zaid (2002) et qui ont été utilisés à Naute en Namibie. Ces coefficients culturaux ont varié entre 0,8 et 1 en fonction des phases du cycle annuel du palmier dattier.

S_a correspond à l'aire active de l'évapotranspiration du palmier (m²), elle est obtenue suivant la formule ci-après où le rayon actif (R_a) est égal à 90 % du rayon de la surface de la projection verticale de la frondaison (m).

$$S_a = \pi(R_a)^2. \quad (2)$$

2.4.3 Détermination du besoin brut en eau d'irrigation

Le besoin net (Bn) en eau d'irrigation (l/plant/j) est donné par l'équation suivante :

$$Bn \left(\frac{l}{\text{plant}} \right) = \frac{ETM \left(\frac{l}{\text{plant}} \right)}{1 - LR}. \quad (3)$$

LR est le besoin de lessivage ou la fraction de l'eau d'irrigation qui doit traverser la zone racinaire active pour maintenir la salinité à un niveau déterminé. Dans le cas de

l'irrigation localisée, ce besoin est calculé à l'aide de la formule suivante (Doorenbos et Pruitt, 1977) :

$$LR = \frac{EC_w}{2MaxEC_e} \quad (4)$$

EC_w est la conductivité électrique de l'eau d'irrigation, $MaxEC_e$ représente la valeur maximum tolérable de la conductivité électrique de l'extrait du sol saturé en mmhos/cm. Dans le cas de cet essai, $EC_w = 4,03$ mmhos/cm et $MaxEC_e$ est de 32 mmhos/cm (Doorenbos and Pruitt, 1977).

2.4.4 Détermination du besoin brut en eau d'irrigation

Le besoin brut en eau d'irrigation, noté Bb , est défini par :

$$Bb \left(\frac{l/plant}{j} \right) = \frac{Bn \left(\frac{l/plant}{j} \right)}{E_a} \quad (5)$$

avec E_a est l'efficacité de l'irrigation à la parcelle. Dans le cas de cet essai, l' E_a calculée est égale à 90 %.

2.5 Paramètres de croissance foliaire observés

Dans le présent travail, pour quantifier et évaluer l'effet du régime hydrique sur la croissance, le développement du feuillage du palmier dattier, le contrôle et le suivi des différents paramètres liés à ces processus ont été effectués à des intervalles précis (Tab. 2). À signaler aussi que sur la même parcelle expérimentale, l'évaluation de l'effet du stress hydrique contrôlé sur le rendement en dattes et sur la valorisation de l'eau par le dattier a été étudiée et que le détail relatif à ces aspects figure dans Sabri *et al.* (2017).

La surface foliaire d'une palme (SFF) (m^2) a été estimée grâce à la relation qui existe entre cette surface et le produit de la longueur de la feuille (LF) (m) et celle de la foliole médiane (LFM) (m) (Ben Henia, 2012). La surface totale de la biomasse végétale (SFP) du palmier (m^2) est obtenue donc en multipliant la SFF par le nombre total de palmes actives (NPA) en un moment donné.

$$SFF = 0,683 \times (LF \times LFM)^{1,018} \quad (6)$$

$$SFP(m^2) = NPA \times SFF(m^2) \quad (7)$$

L'indice foliaire (LAI) a été calculé en divisant la surface foliaire du palmier (SFP) par la surface au sol d'un palmier ($SIP = 64 m^2$, avec cette densité de plantation).

$$LAI \left(\frac{m^2}{m^2} \right) = \frac{SFP(m^2)}{SIP(m^2)} \quad (8)$$

2.6 Analyses statistiques

Le dépouillement des données des paramètres étudiés ainsi que le calcul des moyennes et la conception des graphiques ont été réalisés à l'aide du tableur Excel. L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée en utilisant la procédure GLM du logiciel statistique SAS. Deux facteurs de classification ont été utilisés, la dose d'irrigation et la période. Chaque fois que l'effet de l'un de ces facteurs ou leurs interactions s'est montré

Tableau 2. Nature des paramètres contrôlés et fréquence des observations.

Table 2. Nature of the controlled parameters and frequency of observations.

Nature des paramètres contrôlés	Fréquence des observations
Nombre de palmes émises	À la fin de chaque période
Nombre de palmes desséchées	À la fin de chaque période
Longueur des palmes et longueur de la foliole médiane	Une fois par an
Rayon de la surface de projection de la frondaison	Une fois par an
Surface foliaire	À la fin de chaque période
Indice de la surface foliaire	À la fin de chaque période

Tableau 3. Bilan des apports de l'eau d'irrigation (m^3 /pied/an).

Table 3. Assessment of water irrigation (m^3 /tree/year).

Traitements	1 ^{er} année	2 ^e année	Année moyenne
T0	69,61	69,61	69,61
T1	48,69	52,19	50,44
T2	38,95	41,75	40,35
T3	29,21	31,31	30,26
T4	38,86	42,12	40,49
T5	73,03	78,29	75,66
T6	41,85	45,35	43,60

significatif, on a procédé à une comparaison multiple des moyennes à l'aide des tests de Duncan et de Dunnett à un seuil de 5 %.

3 Résultats et discussions

3.1 Bilan des besoins en eau d'irrigation du palmier dattier

Durant les deux années de conduite de l'expérimentation, le volume total des apports d'eau correspondant aux besoins en eau du palmier dattier a varié entre 48 et 52 m^3 /arbre/an, avec une moyenne de 50,4 m^3 /arbre/an, soit un besoin annuel moyen par hectare de l'ordre de 7870 m^3 /ha/an (Tab. 3). Le détail relatif à ces aspects figure dans Sabri *et al.* (2017).

L'application des régimes hydriques, décrits dans la méthodologie (Sect. 2.3), a permis de totaliser les volumes d'eau apportés durant la conduite de l'expérimentation. Le Tableau 3 fait ressortir les volumes totaux apportés par traitement et par année. Ces volumes ont varié entre 29 et 73 m^3 /arbre en 2012 et entre 31 et 78 m^3 /arbre/an en deuxième année. La moyenne, toutes années confondues, varie entre 30,3 et 75,7 m^3 /pied/an.

3.2 Effet du stress hydrique sur l'évolution du feuillage du palmier dattier

3.2.1 Évolution de l'émission des palmes

L'évaluation de l'effet du régime hydrique sur la vitesse d'émission des feuilles observée à la fin de la première année

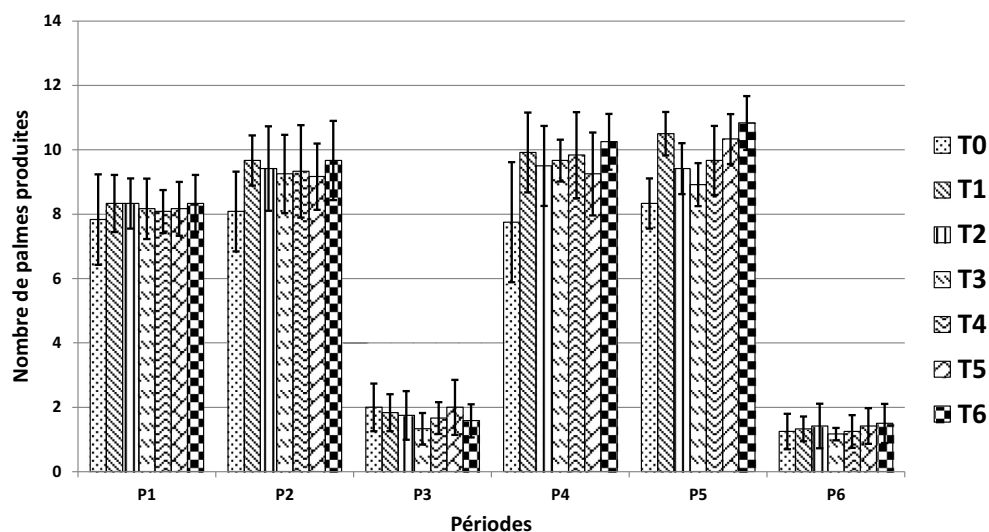


Fig. 1. Effet du régime hydrique sur l'évolution de l'émission des palmes ; les barres représentent les erreurs standards.
Fig. 1. Effect of water regime on the evolution of the issue of palms ; bars representing standard errors.

Tableau 4. Effet cumulatif du régime hydrique sur la vitesse d'émission des palmes.
Table 4. Cumulative effect of water regime on the transmission speed of palms.

Traitements	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T0	7,83 a	15,92 b	17,92 b	25,67 b*	34,00 c*	35,25 c*
T1	8,33 a	18,00 a	19,83 a	29,75 a	40,25 ab	41,58 a
T2	8,33 a	17,75 a	19,50 ab	29,00 a	38,42 ab	39,83 ab
T3	8,17 a	17,42 a	18,75 ab	28,41 a	37,33 b	38,50 b
T4	8,08 a	17,42 a	19,08 ab	28,92 a	38,58 ab	39,83 ab
T5	8,17 a	17,33 a	19,33 ab	28,58 a	38,92 ab	40,33 ab
T6	8,33 a	18,00 a	19,58 ab	29,83 a	40,67 a	42,67 a
TD/T1	NS	NS	NS	*	*	*

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.
 TD/T1 : Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS : non significatif ; * : significatif).

P1 : période mars-juin 2012 ; P2 : Juillet-octobre 2012 ; P3 : Novembre 2012-février 2013 ; P4 : Mars-juin 2013 ; P5 : Juillet-octobre 2013 ; P6 : Novembre 2013-février 2014, Ces périodes sont les mêmes pour les autres tableaux.

de l'application des régimes hydriques (Fig. 1) montre que, généralement, les sept régimes hydriques (T0 à T6) ont évolué presque de la même manière et que les écarts entre eux étaient relativement faibles. En effet, les palmiers, mis en essai, ont produit en moyenne par ordre décroissant 19,8, 19,6, 19,5, 19,3, 19,1, 18,8 et 17,9 palmes/an/pied, respectivement pour les traitements T1, T6, T2, T5, T4, T3 et T0.

En deuxième année, l'observation du même paramètre montre des changements au niveau du classement. Ainsi, les mêmes palmiers ont formé en moyenne par ordre décroissant 22,6, 21,8, 21, 20,8, 20,3, 19,8 et 17,3 palmes/an /pied, respectivement pour les traitements T6, T1, T5, T4, T2, T3 et T0.

L'analyse statistique de la vitesse d'émission des palmes par période, à un seuil de probabilité de 5 %, en considérant chaque période à part, montre que les écarts non-significatifs apparaissent à partir de la deuxième période (juillet-octobre

2012). C'est uniquement lors de la même période en 2013 que nous avons enregistré des différences significatives entre les traitements. Le test de Duncan, au même seuil de probabilité, a réparti les traitements en cinq groupes avec des chevauchements entre les groupes (Fig. 1).

Par contre, si on considère l'effet cumulatif du régime hydrique sur le développement des feuilles, on note aussi que les différences non-significatives apparaissent à partir de la deuxième période 2012 (juillet-octobre 2012), même si le test du Dunnett montre que T0 est différent de T1. Ces différences deviennent significatives à partir de la première période de 2013 et ce jusqu'à la fin de l'essai (Tab. 4).

Il en résulte donc que le palmier dattier est plus actif et productif en période estivale, de juillet à octobre. L'effet de cette période est remarquable, notamment en deuxième année, et a affecté significativement l'émission des palmes.

Tableau 5. Effet cumulatif du régime hydrique sur le nombre de palmes actives.*Table 5.* Cumulative effect of water regime on the number of active leaves.

Traitements	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T0	55,00 b	58,00 b	56,67 b*	58,67 b*	60,67 b*	60,75 c*	62,00 c*
T1	60,00 ab	63,83 a	66,08 a	67,92 a	72,58 a	75,58 ab	76,92 ab
T2	59,17 ab	62,75 ab	65,17 a	66,92 a	71,58 a	73,92 ab	75,33 ab
T3	60,42 ab	64,75 a	64,58 a	65,92 a	71,58 a	70,67 b	71,83 b
T4	61,25 a	65,92 a	67,33 a	69,00 a	75,08 a	76,17 ab	77,42 ab
T5	60,42 ab	64,17 a	66,33 a	68,33 a	72,50 a	75,50 ab	76,92 ab
T6	63,33 a	67,00 a	69,58 a	71,17 a	76,42 a	79,58 a	81,08 a
TD/T1	NS	NS	*	*	*	*	*

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.

TD/T1 : Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS : non significatif ; * : significatif).

P0 : début de l'essai (mars 2012).

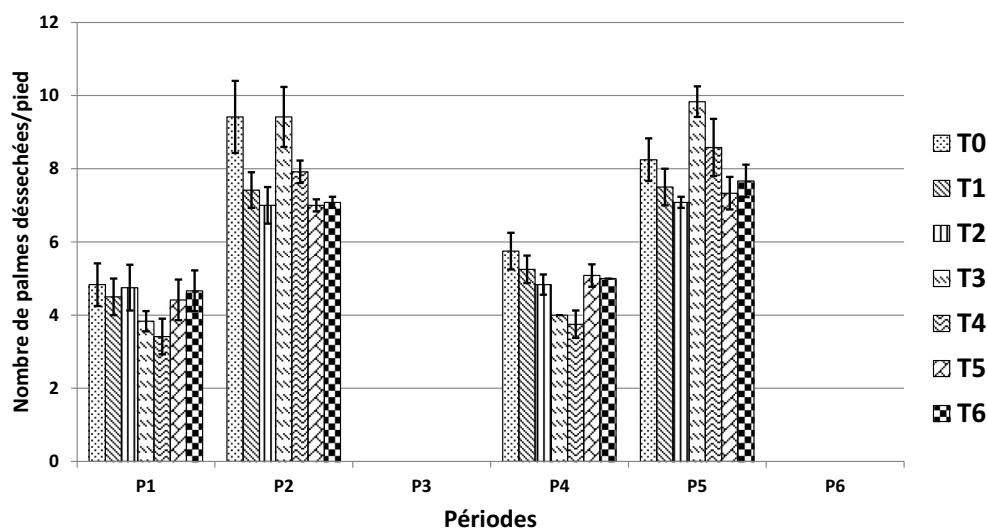
**Fig. 2.** Effet du régime hydrique sur la vitesse de la sénescence des palmes/pied/période ; les barres représentent les écarts moyens.

Fig. 2. Effect of water regime on the rate of senescence palms/tree/period; bars representing average differences.

C'est aussi lors de cette période que le palmier a enregistré des changements et des réactions aux effets du traitement hydrique. Cela explique que cette période estivale corresponde à la période critique et sensible du dattier.

Concernant l'effet du stress hydrique sur l'évolution du feuillage actif (NPA), des différences significatives apparaissent à partir de la deuxième période (juillet-octobre 2012) jusqu'à la fin de l'essai. La comparaison multiple des moyennes, à l'aide du test de Dunnett, montre que seul le T0 est statistiquement différent du T1 (Tab. 5).

3.2.2 Évolution de la sénescence des palmes

Contrairement aux observations de plusieurs auteurs (Djerbi, 1988 ; Péreau-Leroy, 1958 ; Sedra, 2003, 2012) relatives à l'égalité de la vitesse annuelle de la sénescence et de la production des palmes, on constate que les palmiers ont perdu, en moyenne, environ 60 %, 70 % et 80 % de la production annuelle, respectivement pour le premier (T1, T2, T4, T5 et T6), le

deuxième (T3) et le dernier (T0) groupe de traitements. Ce constat se retrouve pendant toute la durée de l'essai (Fig. 2).

Les résultats montrent aussi que ce paramètre dépend des périodes (Fig. 2). La vitesse maximale de dessèchement des feuilles est enregistrée en période estivale et on note l'absence de ce processus pendant la phase de repos végétatif (toutes années confondues).

L'analyse statistique de la vitesse de sénescence des palmes par période, à un seuil de probabilité de 5 %, en considérant chaque période à part, montre des différences significatives entre les traitements. Le test de Duncan groupe les régimes hydriques en plusieurs ensembles avec l'existence parfois de chevauchements entre les groupes.

La comparaison multiple des moyennes faite à l'aide du Test de Dunnett montre que les moyennes des T0 et T3, comparées à celle du T1, sont significativement différentes uniquement en première année. Excepté le T0 qui a enregistré une augmentation de la sénescence des feuilles, les autres régimes ont produit une diminution relative de ce paramètre.

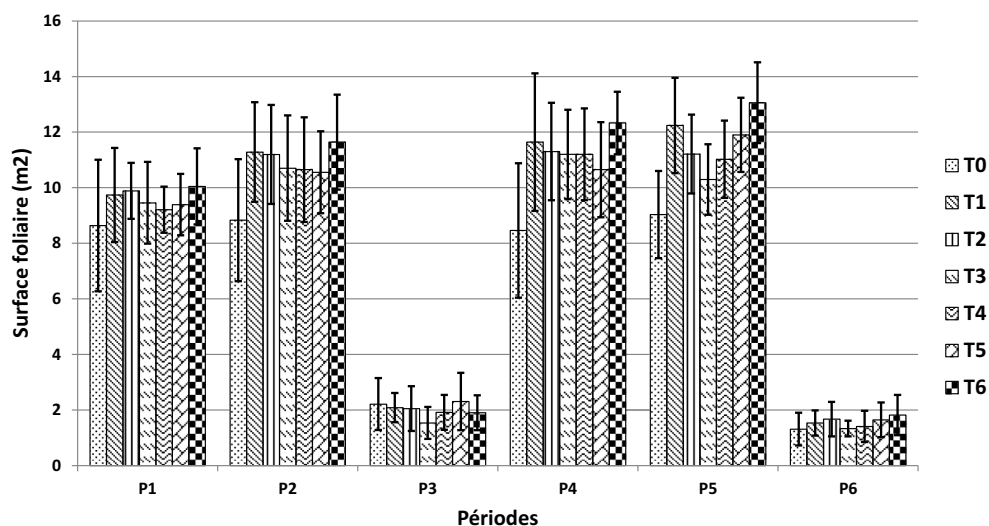


Fig. 3. Effet du régime hydrique sur l'évolution de la surface foliaire produite des palmes (m^2 /période/pied) ; les barres représentent les écarts moyens.

Fig. 3. Effect of water regime on the evolution of leaf area produced by palms (m^2 /period/tree); the bars represent the average differences.

Tableau 6. Évolution périodique de la surface foliaire active (m^2 /pied/période).

Table 6. Evolution of the periodic active leaf area (m^2 /tree/ period).

Traitements	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T0	60,37 b	63,68 b	62,18 b*	64,40 b*	66,62 b*	66,70 c*	68,01 c*
T1	70,43 ab	74,92 a	77,57 a	79,65 a	85,15 a	88,62 ab	90,16 ab
T2	70,55 ab	74,81 a	77,70 a	79,75 a	85,30 a	88,09 ab	89,76 ab
T3	70,26 ab	75,27 a	75,10 a	76,63 a	83,21 a	82,13 b	83,46 b
T4	70,02 ab	75,35 a	76,95 a	78,87 a	85,81 a	87,04 ab	88,45 ab
T5	69,65 ab	73,95 a	76,45 a	78,76 a	83,56 a	87,01 ab	88,66 ab
T6	76,32 b	80,74 a	83,85 a	85,75 a	92,06 a	95,88 a	97,70 a
TD/T1	NS	NS	*	*	*	*	*

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.

TD/T1 : Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS : non significatif, * : significatif).

3.2.3 Évolution périodique de la surface foliaire

Le même constat est fait pour la surface foliaire (Fig. 3). Les différences entre les traitements sont apparues au cours de la deuxième période de la première année et les maxima ont été enregistrés lors de la même période, l'année suivante.

L'analyse statistique de la vitesse d'évolution de la surface foliaire par période, à un seuil de probabilité de 5 %, en considérant chaque période à part, montre que les écarts non-significatifs apparaissent à partir de la deuxième période (juillet-octobre 2012). En 2013, nous avons enregistré des différences significatives entre les traitements uniquement lors de la quatrième et la cinquième période. Le test de Duncan, au même seuil de probabilité, a réparti les traitements en cinq groupes avec des chevauchements entre les groupes (Fig. 3).

Par contre, si on considère l'effet du régime hydrique sur la vitesse d'évolution de la surface foliaire active par période, nous constatons que les différences significatives apparaissent à partir de la deuxième période de 2012 (juillet-octobre 2012) et restent significatives jusqu'à la fin de l'essai (Tab. 6).

3.2.4 Évolution de l'indice foliaire

Généralement, l'allure de l'évolution de l'indice foliaire (*leaf area index*, LAI) est presque la même pour tous les régimes hydriques (Fig. 4 et Tab. 7). Toutefois, les écarts moyens constatés au départ (début mars 2012), environ 0,04, ont doublé à la fin (fin février 2014) pour atteindre 0,10. On remarque aussi que la croissance maximum de LAI a lieu pendant la période printanière. Cela est lié au bilan des processus de développement et de sénescence des feuilles : la majeure partie de la sénescence des feuilles est enregistrée pendant la période estivale, ce qui influe négativement sur la biomasse active pendant cette période. Cette progression du LAI est liée à la stabilité du taux de couverture du sol constaté durant la conduite de l'essai. Cette remarque confirme les résultats de Al-Khafaf *et al.* (1998) et Gafar (2010) qui rapportent que la projection de la frondaison du palmier adulte stagne à partir de la huitième année de plantation.

D'une manière générale, la progression remarquable du LAI est due essentiellement au bilan positif de la biomasse

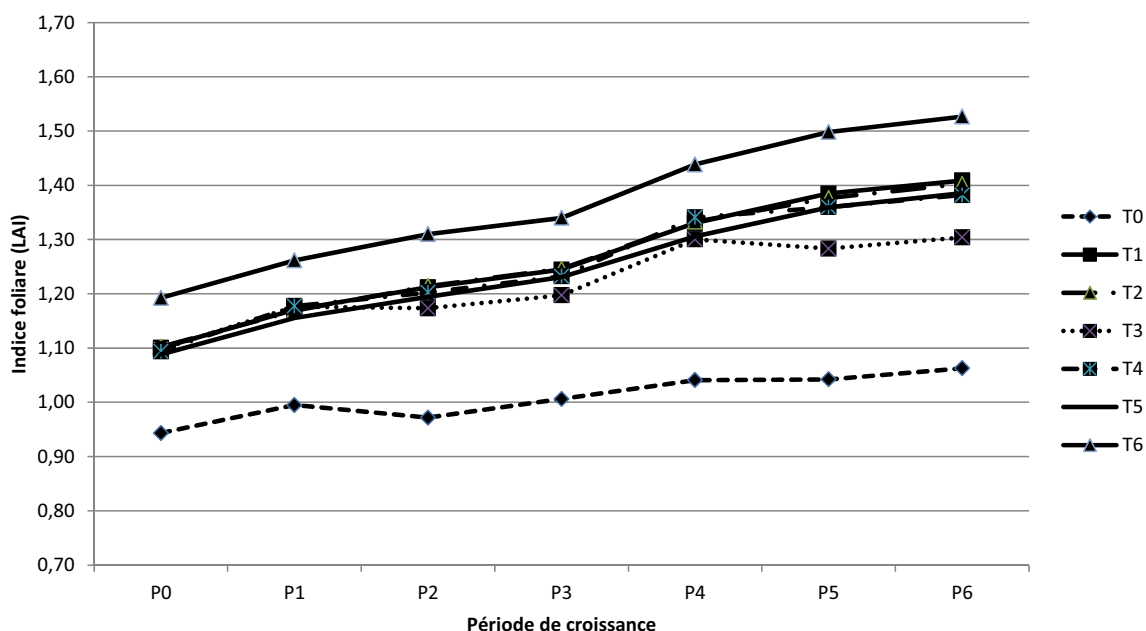


Fig. 4. Effet du régime hydrique sur l'évolution périodique de l'indice foliaire (m^2/m^2).

Fig. 4. Effect of water regime on the time change in the leaf area index (m^2/m^2).

Tableau 7. Évolution de l'indice foliaire (LAI) (m^2/m^2 /pied/période).

Table 7. Evolution of leaf area index (LAI) (m^2/m^2 /tree/period).

Traitements	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6
T0	0,94 b	1,00 b	0,97 b	1,01 b	1,04 b*	1,04 b*	1,06 b*
T1	1,10 ab	1,17 ab	1,21 ab	1,24 ab	1,33 a	1,38 a	1,41 a
T2	1,10 ab	1,17 ab	1,21 ab	1,25 ab	1,33 a	1,38 a	1,40 a
T3	1,10 ab	1,18 ab	1,17 ab	1,20 ab	1,30 a	1,28 ab	1,30 ab
T4	1,09 ab	1,18 ab	1,20 ab	1,23 ab	1,34 a	1,36 a	1,38 a
T5	1,09 ab	1,16 ab	1,19 ab	1,23 ab	1,31 a	1,36 a	1,39 a
T6	1,19 a	1,26 a	1,31 a	1,34 a	1,44 a	1,50 a	1,53 a
TD/T1	NS	NS	NS	NS	*	*	*

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.

TD/T1 : Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS : non significatif, * : significatif).

active régulière par les processus de développement et de la sénescence des feuilles (Fig. 1 et 2).

Le palmier dattier répond au stress hydrique par la réduction de la biomasse végétative active à travers deux processus simultanés. Le premier est la diminution de la vitesse d'émission de feuilles constituant la surface évapotranspirante. Le second est l'augmentation de la vitesse de sénescence. Ceci afin d'éviter les pertes d'eau à travers la surface exposée. Ce qui se répercute sur l'activité photosynthétique et se traduit finalement par la réduction des rendements. C'est le mécanisme que les végétaux adoptent face au changement des conditions du milieu (Tardieu, 2005). Dans un article sur les rendements de ce même essai (Sabri *et al.*, 2017), nous mettons en évidence une réduction des rendements de l'ordre de 25 % en cas de réduction du régime hydrique de 20 % (traitement 80 % de l'ETM) tout au long de l'année par rapport au traitement témoin (60,6 kg/an/pied). En revanche, quand le déficit hydrique est appliqué de façon

différenciée (60 %–100 %–80 % de l'ETM en découpant l'année en trois périodes), la réduction du rendement est négligeable (baisse de 2,4 %). Des résultats similaires ont été obtenus sur d'autres espèces de rosacées fruitières (Zhao *et al.*, 2015 pour le poirier ; Razouk *et al.*, 2013a pour l'amandier ; Pérez-Pastor *et al.*, 2014 pour l'abricotier).

L'analyse statistique du LAI, à un seuil de probabilité de 5 %, en considérant chaque période à part, ne montre des différences significatives entre les traitements qu'à partir de la troisième période de la première année. Toutefois, le test de Dunnett montre que seul le T0 est significativement différent de T1, et ce pendant la deuxième année.

3.2.5 Impact de la période sur l'évolution des paramètres étudiés

À la lumière des résultats précédents, nous constatons que les organes de la tête du palmier dattier ont évolué pendant la période

Tableau 8. Impact de la périodisation sur l'évolution des différents paramètres étudiés.**Table 8.** *Impact of periodization of the evolution of different parameters studied.*

Périodes	NPA	NPP	NPPC	NPD	SFP	SFA	LAI
P0	59,94 g	–	–	–	–	69,66 g	1,09 g
P1	63,77 f	8,18 b	8,18 f	4,35 c	9,48 b	74,10 f	1,16 f
P2	65,11 e	9,23 a	17,40 e	7,89 a	10,70 a	75,69 e	1,18 e
P3	66,49 d	1,74 c	19,14 d	0,00 d	2,00 c	77,69 d	1,21 d
P4	71,49 c	9,45 a	28,60 c	4,81 b	10,97 a	83,10 c	1,30 c
P5	73,17 b	9,71 a	38,31 b	8,04 a	11,25 a	85,07 b	1,33 b
P6	74,50 a	1,33 c	39,64 a	0,00 d	1,53 c	86,60 a	1,35 a

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les périodes selon le test de Duncan.

NPA : nombre de palmes actives ; NPP : émission des palmes ; NPPC : vitesse d'émission des palmes ; NPD : sénescence des palmes ; SFP : Surface foliaire des palmes ; SFA : Surface foliaire active ; LAI : indice foliaire.

Tableau 9. Synthèse des paramètres étudiés (significations statistiques).**Table 9.** *Summary of the parameters (statistical significance).*

Traitements	NPA	NPP	NPPC	NPD	NPDC	SFP	SFA	LAI
T0	58,82 b*	5,88 c*	22,76 b*	4,71 a*	18,31 a	6,42 c*	64,57 b*	1,01 b
T1	68,99 a	6,93 a	26,29 a	4,11 b	15,81 c	8,09 ab	80,93 a	1,26 a
T2	67,83 a	6,64 ab	25,47 a	3,94 b	15,36 c	7,89 ab	80,85 a	1,26 a
T3	67,11 a	6,42 b	25,76 a	4,51 a	16,96 b	7,42 b	78,01 a	1,22 ab
T4	70,31 a	6,64 ab	25,32 a	4,81 b	14,75 c	7,57 ab	80,36 a	1,26 a
T5	69,17 a	6,72 ab	25,44 a	3,97 b	15,24 c	7,74 ab	79,72 a	1,25 a
T6	72,60 a	7,03 a	26,43 a	4,07 b	15,63 c	8,47 a	87,47 a	1,37 a
TD/T1	*	*	*	*	*	*	*	NS

La même lettre dans la même colonne indique la non-signification des différences entre les traitements selon le test de Duncan.

NPA : nombre de palmes actives ; NPP : émission des palmes ; NPPC : vitesse d'émission des palmes ; NPD : sénescence des palmes ; NPDC : vitesse de sénescence des palmes ; SFP : Surface foliaire des palmes ; SFA : Surface foliaire active ; LAI : indice foliaire
TD/T1 : Test de Dunnett en prenant T1 comme référence (NS : non significatif ; * : significatif).

de l'essai (Tab. 8). Toutefois, cette évolution, remarquable en deuxième année, est moins importante en première année.

Un tel constat est évoqué par plusieurs études sur des espèces arboricoles telles que l'amandier, le pêcher (Razouk *et al.*, 2013a), ou l'olivier (Dbara *et al.*, 2011 ; Razouk *et al.*, 2013b). Ce phénomène, couramment rencontré chez les arbres fruitiers, est dû essentiellement à la mobilisation des réserves au niveau du tronc et à l'importance de la zone racinaire (Feres et Soriano, 2007 ; Katerji et Hallaire, 1984).

Chez le palmier, ce mécanisme d'adaptation n'a pas fait l'objet d'étude et les résultats obtenus ici pourraient constituer une première ébauche à développer et à enrichir par d'autres études.

Cette information est primordiale et ouvre un domaine très large concernant le comportement physiologique du dattier vis-à-vis de la pénurie d'eau tout au long de l'année à court, moyen et long termes, et ce en complément aux études morphologiques. Ceci pour mettre en évidence en premier lieu l'impact de l'eau sur le comportement physiologique du palmier et en second lieu pour comparer l'effet de la pénurie d'eau tout au long de l'année avec un déficit hydrique contrôlé à des moments spécifiques du cycle.

Nous avons aussi constaté que la période a un impact significatif sur l'évolution générale de la biomasse végétale du palmier dattier (Tab. 8). La période estivale (juillet-octobre) est

la plus active, suivie par la période printanière (mars-juin) ; la période hivernale clôture le cycle avec une quasi-stabilité. Ces résultats confirment la majorité des références bibliographiques concernant la biologie de la croissance du palmier dattier (Munier, 1973 ; Sedra, 2003, 2012).

3.2.6 Évolution moyenne des paramètres étudiés

Le Tableau 9 synthétise l'évolution moyenne des variables étudiées, toutes périodes confondues. Excepté le LAI, les autres paramètres sont statistiquement différents ($P < 0,05$) et les moyennes obtenues avec le traitement T0 « agriculteur » sont différentes de celles du T₁ (100 % ETM).

La faiblesse des performances de la pratique de l'agriculteur est directement liée à la pratique de l'irrigation et à l'efficacité du système existant.

L'agriculteur irrigue ses palmiers en goutte-à-goutte de la même façon qu'en irrigation gravitaire (doses importantes et faible fréquence, même parfois en période critique). Ceci engendre des pertes en eau énormes, qui dépassent la zone racinaire active et occasionnent par la même occasion des pertes d'éléments nutritifs. Cela diminue donc l'efficacité de l'irrigation et de la fertilisation.

Le système d'irrigation localisée de l'agriculteur, mis en place depuis longtemps, s'est dégradé ; de plus, le dimen-

sionnement initial du réseau d'irrigation ne prévoyait pas l'extension de la surface plantée, qui dépasse aujourd'hui les capacités de la station de tête. Le résultat est une forte hétérogénéité de la distribution de l'eau.

Suite aux résultats de cette étude que nous avons discutés avec l'agriculteur, ce dernier a procédé au renouvellement de son système d'irrigation et au changement de ses modalités de gestion de l'irrigation en adoptant une fréquence d'arrosage raisonnée pour limiter les pertes.

4 Conclusion

L'évolution des paramètres de croissance et de développement de la biomasse végétale du palmier Majhoul, en conditions d'irrigation déficitaire, est généralement limitée pendant la première année de l'application des régimes de stress hydrique ; cet impact a été ressenti significativement en seconde année. Le palmier dattier possède des capacités et des mécanismes de régulation de sa consommation d'eau selon les apports d'irrigation, qui évitent des pertes de rendement significatives pendant la première année de l'application du stress hydrique. Cela confirme et explique la présence évidente du palmier dattier même dans des situations où les conditions de ressources en eau sont très limitées.

La période la plus active du palmier dattier va de juillet à octobre. Durant cette période, on enregistre des changements et des réactions aux effets du stress hydrique.

Le traitement T6 (60–100–80 % ETM) est apparu le plus efficient puisqu'il a amélioré la croissance et le développement des palmiers en produisant généralement des grandeurs supérieures au traitement le plus favorisé sur le plan hydrique, sans pour autant affecter les rendements.

L'interaction entre le régime hydrique et la période est toujours significative quelle que soit la variable considérée.

L'application de la technique de l'irrigation déficitaire contrôlée chez le palmier dattier est encore au stade expérimental et l'étude de son effet sur la régularité, la stabilité des rendements et la qualité des dattes à moyen et à long terme est nécessaire, par exemple pour mieux cerner la capacité du palmier à juguler des périodes de stress hydrique ponctuel. Des recherches sur les mécanismes qui régulent le rythme d'émission et de sénescence des feuilles permettraient de modéliser les processus de croissance en matière sèche, de répartition des assimilats entre organes (racines, stipes, feuilles et fruits) et d'élaboration du rendement en dattes.

Références

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56 UN-FAO Rome*.

Al-Khafaf S, Al Shiraqui R, Shabana H. 1998. Irrigation scheduling of palm trees in UAE. The 1st international conference on date palms, UAE University; Faculty of Agricultural Science.

Ballester C, Castel J, Abd El-Mageed TA, Castel JR, Intrigliolo DS. 2014. Long-term response of 'Clementina de Nules' citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 138: 78–84. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.003>.

Ben Henia Y. 2012. Utilisation de la modélisation pour mieux concevoir les expérimentations relatives à la réponse à l'eau du

palmier dattier dans la région d'Errachidia. Travail de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Agronomie, Option : management des productions végétales et de l'environnement. Maroc : IAV Hassan II, 84 p.

Carr MKV. 2012. The water relations and irrigation requirements of the date palm (*Phoenix dactylifera* L.): A review. *Experimental Agriculture* 49 (01): 91–113. DOI: [10.1017/S0014479712000993](https://doi.org/10.1017/S0014479712000993).

Chalmers DJ, Mitchell PD, Van Heek L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106: 307–312.

Dbara S, Ben Mimoun M, Hellali R. 2011. Réponse de l'olivier à la technique de dessèchement partiel des racines durant trois années consécutives d'essai. *Tropicultura* 29 (2): 70–74.

Djerbi M. 1988. Irrigation et drainage. In : Précis de phœniciculture. Document de la FAO : 55–69.

Doorenbos J, Pruitt WO. 1977. Crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 24. Rome: FAO.

English MJ, Raja SN. 1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 32: 1–14.

FAO. 1980. Réponse des rendements à l'eau. Bulletin FAO de l'irrigation et du drainage N° 33. Rome: FAO.

Fereres E, Soriano MA. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58 (2): 147–159. DOI: [10.1093/jxb/erl165](https://doi.org/10.1093/jxb/erl165).

Gafar KY. 2010. Besoins en eau du palmier dattier en Émirats Arabes Unis. *The Blessed Tree, Khalifa International Date palm Award* 02 (03): 80–92.

Ismail SM, Al-Qurashi AD, Awad MA. 2014. Optimization of irrigation water use, yield, and quality of "Nabbutsaif" date palm under dry land conditions. *Irrigation and Drainage* 63: 29–37. DOI: [10.1002/ird.1823](https://doi.org/10.1002/ird.1823).

Katerji N, Hallaire M. 1984. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation en eau des cultures. *Agronomie* 4 (10): 999–1008.

Liebenberg PJ, Zaid A. 2002. Date palm irrigation. Chapter 7. In: Zaided A, ed. Date palm cultivation. Rome (Italy): FAO plan production and protection, paper No. 156.

MAPM. 2014. Situation de l'agriculture marocaine N° 11, édition de décembre 2014.

Mazahrih NTh, Al-Zubi Y, Ghnaïm H, Lababdeh L, Ghananeem M, Ahmaded HA. 2012. Determination actual evapotranspiration and crop coefficients of date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) in the Jordan Valley. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 12 (4): 434–443.

Munier P. 1973. Le palmier dattier - techniques agricoles et productions tropicales. France : Maisonneuve et Larousse, xxiv édition, 222 p.

ORMVA/TF. 2012. Monographie de la subdivision agricole de Goulmima. In : *Monographie des subdivisions agricoles de l'office régional de mise en valeur agricole du tafilalet*.

Pedrero F, Maestre-Valero JF, Mounzer O, Alarcón JJ, Nicolás E. 2014. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 146: 228–237. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.08>.

Pereau-Leroy P. 1958. Le palmier dattier au Maroc. Ministère de l'Agriculture (Maroc) et Institut français de la recherche. Paris (France) : Fruit outre-mer, 142 p.

Pérez-Pastor A, Ruiz-Sánchez MaC, Domingo R. 2014. Effects of timing and intensity of deficit irrigation on vegetative and fruit growth of apricot trees. *Agricultural Water Management* 134: 110–118. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.007>.

- Razouk R, Ibjibijen J, Kajji A, Karrou M. 2013a. Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. *American Journal of Plant Sciences* 4: 561–570. DOI: [10.4236/ajps.2013.43073](https://doi.org/10.4236/ajps.2013.43073).
- Razouk R, Ibjibijen J, Kajji A. 2013b. Optimal time of supplemental irrigation during fruit development of rainfed olive tree (*Olea europaea*, cv Picholine marocaine) in Morocco. *American Journal of Experimental Agriculture* 3 (4): 685–697.
- Sabri A, Bouaziz A, Hammani A, Kuper M, Douaik A, Badraoui M. 2017. Effet de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la productivité et l'efficacité de l'utilisation de l'eau du palmier dattier cv Majhoul. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires* 5 (1): 23–31.
- Sedra MyH. 2003. Le palmier dattier base de la mise en valeur des oasis du Maroc, techniques phœnicicoles et création d'oasis. Maroc : INRA, éditions 2003, 266 p.
- Sedra MyH. 2012. Guide de phœniciculteur, mise en place et conduite des vergers phœnicicoles. Maroc : INRA, éditions 2012, 311 p.
- Tardieu F. 2005. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress. *Comptes Rendus Géoscience* 337 (1–2): 57–67. DOI: [10.1016/j.crte.2004.09.015](https://doi.org/10.1016/j.crte.2004.09.015).
- Zhao Z, Wang W, Wu Y, Xu M, Huang X, Ma Y, *et al.* 2015. Leaf physiological responses of mature pear trees to regulated deficit irrigation in field conditions under desert climate. *Scientia Horticulturae* 187: 122–130. Available from <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.009>.

Citation de l'article : Sabri A, Bouaziz A, Hammani A, Kuper M, Douaik A, Badraoui M. 2017. Effet de l'irrigation déficitaire contrôlée sur la croissance et le développement foliaire du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). *Cah. Agric.* 26: 55005.