

ARTICLE DE SYNTHÈSE

IRRIGATION DEFICITAIRE DE L'OLIVIER *Olea europaea* INTENSIF, RELATIONS CORRELATIVES : PARAMETRES DE CROISSANCE, DE DEVELOPPEMENT, DE PRODUCTION ET DE L'EAU

MASMOUDI-CHARFI C., AYACHI-MEZGHANI M., MSALLEM M., Enseignants-Chercheurs
BEN ABDALLAH S., OUESLATI A., ALAOUI B., Cadre Technique

IRESA / Institution of Agriculture Research & High Education, Tunisia.

Institut de l'Olivier / Olive Tree Institute.

Laboratoire d'Amélioration de la Productivité de l'Olivier

RESUME : Cet article synthétise les travaux réalisés en Tunisie sur l'olivier durant la période allant de 1998 à 2013 dans le but d'étudier les relations hydriques et les facteurs de variation en rapport avec le potentiel variétal. Celui-ci a été évalué dans une étude préliminaire à travers l'analyse du comportement agronomique, physiologique et écophysologique de plusieurs variétés cultivées dans les régions de la Basse Vallée de la Medjerda (Nord), à Taoues-Sfax (Sud-est) et à Nabeul (Nord-Est). Seules les relations les plus significatives sont présentées. Les résultats ont montré que la hauteur de l'arbre est un paramètre déterminant dans le développement des autres parties de l'olivier ; elle est corrélée positivement et linéairement aux diamètres de la frondaison ($r=0,96$) et du tronc ($r=0,94$) ; sa croissance est influencée par les températures maximale et minimale, la demande climatique et le niveau de satisfaction des besoins en eau ($P+I/ET_c$). Les plus faibles coefficients de corrélations sont observés au cours des années où l'eau a manqué. Le développement du tronc est lié au niveau de couverture du sol par la végétation, lui-même corrélé à la surface du sol explorée par les racines ($r=0,94$) ; l'équilibre est atteint après la 3^{ème} année de culture. Le développement de la frondaison est corrélé au rendement en olives ($r=0,45$) ; son maximum est observé pour un rapport $P+I/ET_c$ de 1,4, mais il évolue inversement à leur calibre ; lorsque l'utilisation de l'eau est orientée vers le grossissement des fruits, le tonnage final évolue vers la baisse. L'accroissement en diamètre des fruits est corrélé à la croissance de la pousse ($r=0,89$) alors que son efficacité d'utilisation de l'eau est étroitement liée au taux de couverture du sol par la frondaison. Une valeur élevée de EUE_{fruit} est obtenue lorsque les accroissements de la phase 1 et 2 sont respectivement de 50% et 25-30%. Cet accroissement est obtenu lorsque l'olivier dispose de suffisamment de réserves carbohydratées. La variété Chétoui montre une plus grande efficacité de l'utilisation des ressources carbo-hydratées (2,59 fruits/cm² de feuilles) en comparaison aux variétés Picholine et Manzanille. Le calibre des fruits et leur nombre dépendent de la surface unitaire des feuilles qui est corrélée à la teneur en eau du sol et à leur contenu relatif en eau, lui-même corrélé au potentiel hydrique foliaire $\Psi_{feuille}$ mesuré à midi par une fonction linéaire positive hautement significative ($20\%ET_c$). L'augmentation des apports d'eau d'irrigation à $50\%ET_c$ se traduit chez les cvs., Picholine, Coratina, Chétoui et Manzanille par une baisse de la production. La variété Chemlali donne une production maximale pour un apport saisonnier moyen de 400 mm. Pour conclure, les paramètres végétatifs et productifs sont inter corrélés et toute intervention de nature à augmenter la couverture du sol à 15-17% améliore la production. Le maximum est observé pour un apport de 200 mm/saison.

Mots clés : Variété – eau – corrélation – efficacité de l'utilisation de l'eau – couverture du sol.

DEFICIT IRRIGATION OF THE OLIVIER *Olea europaea* CORRELATIVE RELATIONSHIPS: PARAMETERS OF GROWTH, DEVELOPMENT, PRODUCTION AND WATER

ABSTRACT: This paper summarizes the work carried out in Tunisia on olive trees during the period going from 1998 to 2013, in order to study the water relations and the factors of variations with regard to the variety potential. This latest was studied in a preliminary work in which the agronomic, physiological and eco-physiological behavior was analyzed for many olive cultivars growing in the sites of the low valley of Medjerda (North), at Sfax (South-East) and at Nabeul (north-East). Herein, the most relevant relations are presented. Results showed that the tree height is a determining factor in the development of the other parts of the olive tree. It is positively and linearly correlated to the canopy ($r=0.96$) and trunk ($r=0.94$) diameters and is highly affected by maximum and minimum temperatures, the climatic demand and the level of water recovery ($P+I/ET_c$). The lowest correlative coefficients are obtained during the years when water was missing. Trunk development is correlated to the soil cover level, itself correlated to the surface of soil explored by roots ($r=0.94$); equilibrium is reached after the 3th year of cultivation. Canopy development is correlated to olive production ($r=0.45$), maximum yield is given for $P+I/ET_c$ of 1.4. However, yield evolves inversely to fruit size. When water is used for fruit enlargement, the final

tonnage evolves towards the downside. Fruit growth is correlated to shoot elongation ($r=0.89$), but the fruit water use efficiency remains highly dependent on soil cover. High values of WUE_{fruit} are obtained when fruit increases during stages 1 and 2 are 50% and 25-30%, respectively. Such increases are obtained when the tree has enough carbohydrates' reserves. The Chétoui variety shows a greater effectiveness of the use of assimilate resource (2.59 fruits/cm² of leaf) in comparison to Picholine and Manzanilla. The number of fruits and their size depend on the specific leaf area, which is correlated to the soil and leaf water content, itself correlated to the midday leaf water potential $\Psi_{feuille}$ by a highly significant positive linear function at 20%ET_c. The increase in irrigation water supply to 50%ET_c results in a decline of production of varieties Picholine, Coratina Chétoui and Manzanilla. The variety Chemlali gives maximum output for an average seasonal intake of 400 mm. To conclude, vegetative and productive parameters are inter related, and any intervention to increase soil cover to 15-17% improves production, its maximum is observed for a water supply of 200 mm/season.

Key words: Variety– water – correlation – water use efficiency – soil cover.

INTRODUCTION

L'eau est une ressource limitée en Tunisie. Son potentiel a été évalué à 4,8 Mm³/an dont 4,6 Mm³/an (80%) sont mobilisables pour l'agriculture [1]. Les constats de situations montrent qu'elle est malheureusement mal exploitée, aussi bien au niveau de la *source* qu'au niveau de la *parcelle*. En effet, en plus de la surexploitation des nappes superficielles et parfois profondes, de faibles efficacités de l'utilisation de l'eau (EUE) sont obtenues, en particulier en oléiculture irriguée. Pour différentes conditions édapho-climatiques les valeurs de EUE varient de 0,25 à 1,2 kg d'olives/m³ d'eau apporté [2]. Plusieurs causes expliquent cette situation. Les prospections effectuées au Nord de la Tunisie durant les années 2010 et 2011 dans le cadre des *Activités de la Commission Nord pour la Promotion du Secteur Oléicole* [3] ont montré que l'irrigation est pratiquée dans la plupart des plantations d'olivier de manière assez empirique. Les apports d'eau sont soit excessifs -engendrant sa perte- soit déficitaires ne répondant pas aux besoins de l'arbre, soit appliqués en dehors des périodes critiques.

Soucieux d'économiser plus d'eau au niveau de la parcelle, des recherches ont été initiées depuis les années 70 au Nord et au Centre de la Tunisie, testant des doses régressives de doses d'irrigation sur les principales variétés Tunisiennes *Chemlali et Chétoui* en vue de déterminer les quantités optimales, qui permettent d'avoir de bons niveaux de production et/ou de végétation tout en économisant plus d'eau [4] et [5]. Ces applications connues aujourd'hui sous le nom du *Concept de l'Irrigation Déficitaire*

(ID) ont été utilisées sur plusieurs espèces et notamment l'olivier pour mieux contrôler le développement végétatif de l'olivieraie intensive et surtout hyper-intensive [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], et [14].

Le principe de l'ID consiste à fournir à la culture une fraction de l'ET_c allant de 30 à 60%ET_c au cours du cycle de l'olivier ou d'une partie du cycle pour répondre aux besoins en eau d'un stade phénologique déterminé, permettant de maintenir un équilibre entre la production et le développement végétatif avec une économie de l'eau, et d'évaluer, ensuite, la réponse physiologique et agronomique des variétés étudiées sous diverses conditions environnementales.

D'un autre côté, les recherches sur l'eau relatives à l'espèce *Olea europaea* ont abordé l'aspect lié aux relations hydriques à travers la mise en corrélation des paramètres liés à l'eau (dose, potentiel hydrique foliaire, conductance stomatique, efficacité d'utilisation de l'eau...) avec des paramètres physiologiques et agronomiques comme la croissance [15], la production [16] et [17] les échanges gazeux [8], [18] et [19], l'état hydrique de la plante et du sol [20], [21], [22], [23] et [24]. Ces travaux ont montré que la réponse des oliviers dépend des quantités d'eau disponibles au cours des stades phénologiques sensibles, du matériel végétal utilisé, de la qualité des eaux d'irrigation, de la capacité des racines à prélever l'eau et de la réserve du sol...etc. En particulier, la relation établie entre le développement des fruits et le niveau de production en rapport avec la dose appliquée

est d'autant plus significative que les quantités d'eau apportées se rapprochent de l' ET_c optimal [7], [15], [25], [26], [27] et [28]. Il ressort de ces travaux que sous des conditions hydriques favorables (potentiel hydrique foliaire allant de $-0,02$ MPa à $-0,06$ MPa), l'absorption de l'eau augmentait, ce qui améliorait l'état hydrique de l'arbre et le développement du système foliaire, qui dépend lui-même de l'activité des racines, de leur distribution et de leur capacité à extraire l'eau à des distances et à des profondeurs importantes. Pour des apports d'eau limités et occasionnels, la croissance des fruits surtout au cours des premiers stades de leur développement, la production d'olives, les échanges hydriques et le niveau d'utilisation de l'eau sont significativement réduits. Ces paramètres sont liés par des régressions linéaires ou polynomiales avec un niveau de signification qui dépend de la variété, du niveau de production et des quantités d'eau appliquées. Sur le plan éco-physiologique, les travaux menés en Tunisie [29] et ailleurs en Méditerranée [30] ont rapporté des corrélations linéaires hautement significatives entre le potentiel foliaire, la résistance stomatique des feuilles, leur contenu relatif en eau et la croissance des olives.

L'objectif de cette étude est de synthétiser les travaux que nous avons mené

entre 1998 et 2013 en abordant les aspects liés aux relations hydriques afin de mieux comprendre la manière avec laquelle cette espèce utilise l'eau et les variations engendrées par la diversité des conditions de culture en rapport avec le potentiel variétal. Ces essais ont démarré en 1998 dans la *région de Mornag-Basse vallée de la Medjerda*, en considérant les principales variétés commerciales d'olivier (1998-2007), ensuite et au vu des résultats obtenus, les expérimentations ont été étendues à d'autres variétés cultivées à la *Station expérimentale de l'Institut de l'Olivier Taoues à Sfax* sous climat aride (2008-2010), et enfin, afin de valoriser les résultats obtenus, le concept de l'ID a été appliqué sur une collection variétale implantée dans la *région du Cap-Bon- Nabeul* (2010-2013) et cultivée en intensif. Seules les corrélations les plus significatives sont présentées et analysées.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Présentation des sites d'études

Les études ont été réalisées dans trois sites expérimentaux soumis à diverses conditions édapho-climatiques détaillées dans le **Tableau 1**. Elles se différencient essentiellement par le type de sol et leur climat. Les mesures et suivis ont concerné diverses variétés cultivées sous irrigation localisée (**Tableau 2**).

Tableau 1 : Présentation des sites d'études : Dénomination, Période de l'essai, Localisation, Climat et Sol.

	Mornag (1998-2007)	Sfax (2008-2009)	Nabeul (2010-2013)
Site	Ferme de l'Institut National Agronomique de Tunisie Nord de la Tunisie, Région de Mornag, située à 15 km de la capitale Tunis, Basse Vallée de la Medjerda <u>Coordonnées :</u> Latitude : 36,8°N	Domaine de Taoues Sud de la Tunisie. Domaine situé à 32 km de Sfax sur la route de Menzel Chaker <u>Coordonnées :</u> Latitude 34°N Longitude : 21°	Ferme de l'INRGREF Nord – Est de la Tunisie Ferme située à l'entrée de Nabeul, Cap Bon. <u>Coordonnées :</u> Latitude 36,8° Altitude 10 m.

	Altitude : 10 m.		
*Climat	Semi-aride supérieur P = 450 mm/an P _{mars-sept} = mm ET _o = 1211 mm/an ET _{omars-sept.} : 982 mm	Aride P = 97 mm /an	Méditerranéen P = 468 mm/an
Sol	Texture limono-argilo-sableuse Granulométrie 29% A 49% L 23% S et Da = 1,63 g/cm ³ RU = 240 mm et θ_{cc} = 450 mm	Texture sablo-limoneux D _a = 1,78 g/cm ³ Faible capacité de rétention de l'eau : θ_{cc} = 10,2% et θ_{pFP} = 6,6%	Texture limono-sableuse Faible capacité de rétention de l'eau

*Valeurs moyennes (Masmoudi- Charfi et Habaieb, 2014) [39].

2.2. L'oliveraie et le dispositif expérimental

Les trois parcelles d'oliviers ont été installées selon les normes recommandées

pour les plantations intensives [31]. Leurs caractéristiques et les dispositifs expérimentaux sont portés au **Tableau 2**.

Tableau 2 : Caractéristiques des Oliveraies étudiées et Dispositif expérimental.

	Ferme de l'INAT Mornag (1998-2007)	Domaine de Taoues Sfax (2008-2009)	Ferme de l'INRGREF Nabeul (2010-2013)
Oliveraie	Date de plantation: 1998 Age de la plantation durant la période de l'essai: 1an à 6 ans. Boutures semi-ligneuses enracinées Ecartement : 6mx6m (278 pieds/ha). Variétés : Chétoui, Picholine, Meski et Manzanille. Conduite : Gobelet Irrigation complémentaire au goutte à goutte. Système d'irrigation :	Date de plantation: 2002 Age de la plantation durant la période de l'essai: 6-7 ans Boutures semi-ligneuses enracinées Ecartement : 7mx7m (204 pieds/ha). Variétés : Chétoui, Coratina, Chemlali, Picholine et Manzanille. Conduite : Axe central Irrigation complémentaire au goutte à goutte. Système d'irrigation :	Date de plantation : 2003 Age de la plantation durant la période d'étude : 8-10 ans Boutures semi-ligneuses enracinées Ecartement : 6mx6m (278 pieds/ha). Variétés : Collection de 45 variétés d'oliviers locales et étrangères. Conduite : Gobelet Irrigation complémentaire au goutte à goutte Système d'irrigation : 2 rampes d'irrigation par ligne d'olivier 1 goutteur tous les 0,33 m.

	2 rampes d'irrigation par ligne d'olivier 4 goutteurs/arbre, Débit nominal de 4l/h, Salinité de l'eau < 2g/l RS. Bon entretien.	2 rampes d'irrigation par ligne d'olivier 4 goutteurs/arbre, Débit nominal variable entre 4 et 10 l/h. Salinité de l'eau < 2g/l RS. Bon entretien.	Débit nominal de 4 l/h, soit 32 l/pied/heure. Salinité de l'eau : 2,5 g/l en hiver et 3,5 g/l en été Entretien minimal.
Dispositif Expérimental	Les oliviers sont répartis en 4 blocs de 28x4 = 112 arbres chacun. Chaque bloc renferme 4 unités de 7x4 oliviers. Chaque unité représente une variété.	Les oliviers sont répartis en 3 blocs de 15 arbres chacun. Chaque variété y est représentée par 3 arbres.	Les oliviers sont organisés en un carré de 12 lignes et 12 colonnes à raison de 4 variétés/ligne et 3 arbres voisins/variété. Une colonne contient 12 variétés différentes représentée par 1 arbre. Les variétés diffèrent d'une colonne à l'autre.

2.3. Besoins en eau et gestion de l'irrigation

Les données climatiques ont été collectées sur les sites même et utilisées pour calculer l'évapotranspiration de référence en utilisant la formule de Penman-Monteith (ET_{o-PM} , mm) et pour planifier l'irrigation (I). Les besoins en eau ou évapotranspiration de la culture ET_c ont été déterminés en adoptant la méthode de la FAO [32], [33], [34] et [35], telle que $ET_c = K_c \times K_r \times ET_o$. Les coefficients culturaux K_c et ceux relatifs à la couverture du sol K_r

sont présentés au **Tableau 3**. Les traitements hydriques restrictifs ont été gérés au moyen de vannes installées à l'amont des rampes d'irrigation. Le niveau de satisfaction des besoins en eau de la culture est évalué par le rapport $P+I/ET_c$ avec P la pluie interceptée au cours d'une période donnée. Les quantités d'eau délivrées en litres (I) ont été converties en mm en les rapportant à la surface du sol humectée par l'irrigation et qui a varié de 6 à 8 m² par olivier selon l'âge des arbres.

Tableau 3: Besoins en eau de l'olivieraie et Traitements hydriques.

	Ferme de l'INAT Mornag (1998-2007)	Domaine de Taoues Sfax (2008-2009)	Ferme de l'INRGREF Nabeul (2010-2013)
ETc	K_c : varie selon l'âge 1an – 5 ans : 0,3-0,4 6 – 10 ans : 0,5-0,65 K_r : selon couverture du sol 1an – 5 ans : 0,7 6 – 10 ans : 0,75 Taux moyen de couverture du sol variable selon l'âge: 1an – 5 ans : 0,6-22%	$K_c = 0,5$ $K_r = 0,7$ Taux moyen de couverture du sol : 15% $ET_c = 583$ mm/an ET_c saisonnier = 250 mm	$K_c = 0,5$ $K_r = 0,7$ Taux moyen de couverture du sol : 15-20% selon l'année et la variété $ET_c = 420$ mm /an

	<p>6 – 10 ans : 22-31% ETc varie selon l'âge 1an-5ans = 241- 291 mm 6-10ans = 368 à 445 mm</p>		<p>ETc saisonnier = 207 mm</p>
Traitement hydrique	<p>Période d'irrigation : Mars-Septembre 1an à 6 ans : Dose d'irrigation : 1 à 5m³/arbre. Mode d'irrigation : cuvettes et rigoles Surface humectée : 1-6 m² Fréquence des irrigations 1 an : 7/an pour assurer la reprise des boutures 2-6ans : 4 irrigations ciblant les stades sensibles. A partir de 2004 (année 7) T₁ : 100%ETc, 15j successifs / mois T₂:50%ETc, 2 rampes, temps d'irrigation/2 T₃: 50%ETc, 1 rampe d'irrigation alternativement placée à droite ou à gauche de la ligne d'olivier : Irrigation par zone radicaire. T₄: 100%ETc, 2 rampes Irrigation quotidienne.</p>	<p>Période d'irrigation : Mai-Septembre T₁ : 20% ET_c = 90 mm 4 goutteurs de 4l/h P+T₁ = 187mm = 0,13ET_o I_{mensuel} = 7,3 – 18,3mm T₂ : 50% ET_c = 225 mm 4 goutteurs de 10 l/h P+T₂ = 322 mm = 0.23ET_o I_{mensuel} = 18.2 – 45.7 mm T₃ : 100% ET_c = 450 mm 8 goutteurs de 10 l/h P+T₃ = 547mm = 0,39ET_o I_{mensuel} = 36,4 – 91,4 mm</p>	<p>Période d'irrigation: Mai-Septembre I = 62-72% ETc selon l'année Irrigation 2 fois/semaine, Intervalle entre les irrigations: 3 à 20 jours selon la période.</p>

2.4. Calculs, mesures et suivis

Les paramètres calculés, suivis et mesurés sont résumés dans les **Tableaux 4 et 5**.

- Les valeurs décadaires et mensuelles de l'ET_{o-PM} (mm) et de l'ET_c sont calculées à partir des données climatiques journalières (T_{max}, T_{min}, HR_{max}, HR_{min}, U_{2m}, Rg, P). Les doses d'irrigation (I) représentent une fraction de l'ET_c décadaire.

- Les paramètres de croissance ont concerné:

*L'arbre (*hauteur de l'arbre et du tronc, diamètre de la frondaison, périmètre du*

tronc pris à 20 cm de la surface du sol),

*Les rameaux d'un an (*longueur*),

*Les feuilles (*longueur et diamètre, surface foliaire SF, poids frais P_f, poids sec P_s et poids à saturation P_{sat}, Contenu relatif en eau CRE_{feuille}*),

*Les fruits (*Poids frais P_f et sec P_s, teneur en eau TE_{fruits}, diamètre D, longueur L, rapport L/D pour 5 fruits/arbre*),

*Les noyaux (*poids P, diamètre D, longueur L, rapport L/D_{noyau} pour 5 noyaux/arbre*).

*Les racines (*nombre, diamètre, longueur, densité radicaire D_r*).

- Les suivis ont également concerné la phénologie de la floraison (*répertorier les Stades A à I*).
- La masse de bois de taille a été évaluée par la pesée des poids frais et secs et la détermination de son taux d'humidité (%).
- L'état hydrique de la plante a été évalué à travers des mesures du :

*Potentiel hydrique foliaire à midi ψ_{feuille} (orientation Est - chambre à pression, Scholander - pms Instrument co.),

*La résistance stomatique R_g (orientation Est - AP4 Delta-T Devices' porometer)

*Le contenu relatif en eau des feuilles (CRE) telle que $CRE_{\text{feuilles}} = [P_f - P_s / P_{\text{sat}} - P_s] \times 100$.

*La teneur en eau des fruits (TE_{fruit}).

- L'état hydrique du sol a été évalué par le suivi de l'humidité volumique (H_v , %) et les teneurs en eau du sol (TE_{sol} , mm) déterminée à l'aplomb de la frondaison des arbres et à l'intersection de 4 oliviers (gravimétrie).
- A la récolte, les productions d'olives ont été évaluées par arbre et par variété. La pomologie des fruits et des noyaux a été déterminée sur des échantillons frais pour chaque variété.
- La consommation de l'eau a été évaluée par les valeurs des EUE (kg d'olives produit par m^3 d'eau appliqué) et la mesure du flux de la sève, qui a permis de déduire le niveau de transpiration de l'arbre.

Tableau 4 : Mesures et suivis au niveau des différents sites d'études

	Ferme de l'INAT Mornag (1998-2007)	Domaine de Taoues Sfax (2008-2009)	Ferme de l'INRGREF Nabeul (2010-2013)
Mesures et suivis	Données climatiques journalières. Croissance de l'arbre, des rameaux et des olives. Développement des racines Mensurations des feuilles Poids frais et sec des feuilles et des fruits. Poids frais et sec du bois de taille Phénologie de la floraison Flux de la sève brute Potentiel hydrique Humidité du sol (gravimétrie, sonde à neutrons) <u>A la récolte :</u> Production d'olives /arbre Pomologie fruits et noyaux à maturité 12 arbres/variété	Données climatiques journalières Croissance de l'arbre, des rameaux, des racines et des olives. Surface unitaire des feuilles Poids frais et sec des feuilles et des fruits Poids à saturation P_{sat} des feuilles Phénologie de la floraison Potentiel hydrique Conductance stomatique Humidité du sol (gravimétrie, sonde à neutrons) <u>A la récolte :</u> Production d'olives /arbre Pomologie à maturité (fruits et noyaux) 3arbres/variété/traitement.	Données climatiques Journalières Croissance de l'arbre, des rameaux, des racines et des olives. Surface unitaire des feuilles Poids frais P_f et sec P_s des feuilles et des fruits Poids à saturation P_{sat} des feuilles Phénologie de la floraison Humidité du sol (gravimétrie, sonde à neutrons) <u>A la récolte :</u> Production /arbre. Pomologie à maturité (fruits et noyaux) 3 arbres/variété

2.5. Investigations et analyse des données

Analyse des paramètres de croissance et de production

Les paramètres calculés sont présentés dans le **Tableau 5** ainsi que les investigations réalisées au niveau des différents sites d'étude.

Tableau 5 : Paramètres calculés et Investigations

	Ferme de l'INAT Mornag (1998-2007)	Domaine de Taoues Sfax (2008-2009)	Ferme de l'INRGREF Nabeul (2010-2013)
Paramètres calculés	Données climatiques moyennes décennales, mensuelles et annuelles. Valeurs moyennes décennales, mensuelles et annuelles de l' ET_0 et de l' ET_c -FAO. SF et Surface du sol exploitée par les racines. Taux de nouaison Humidité du bois de taille $CRE_{feuille}$ et CRE_{fruit} Volume de la frondaison Production moyenne et rendement Indice de productivité TE_{sol} et EUE (kg / m^3) Consommation en eau de l'arbre en fonction de la saison	Données climatiques moyennes décennales, mensuelles et annuelles. Valeurs moyennes décennales, mensuelles et annuelles de l' ET_0 et de l' ET_c -FAO. Taux de nouaison Nombre de fruits/cm de rameau. SF / fruit. $CRE_{feuille}$ et CRE_{fruit} P_{sat} des feuilles Volume de la frondaison Production moyenne et rendement Indice de productivité TE_{sol} et EUE (kg/m^3)	Données climatiques moyennes décennales, mensuelles et annuelles. Valeurs moyennes décennales, mensuelles et annuelles de l' ET_0 et de l' ET_c -FAO. $CRE_{feuille}$ et CRE_{fruit} P_{sat} des feuilles Volume de la frondaison Production moyenne et rendement Indice de productivité TE_{sol} et EUE (kg / m^3).
Investigations et analyse des données	Relations entre les paramètres de croissance et : - les paramètres de production - les facteurs environnementaux (T, ET_0). - le développement du système racinaire. - la consommation en eau.	Relations entre : - les paramètres physiologiques et de production. - les paramètres éco-physiologiques.	Relations entre : - les paramètres de croissance et ceux liés à l'eau - les paramètres physiologiques et de production.

Analyse des mesures de flux de sève

Pour ce qui est de la relation entre la demande climatique et la consommation en eau de l'olivier, nous avons estimé au cours de la campagne 2003-2004, à Mornag, la densité de flux de sève F_d , de la variété Chétoui, c.-à-d. la quantité d'eau qui transite à travers une section donnée du tronc en une heure et ce en utilisant des capteurs thermiques de type *Granier* [36] et [37]. Les résultats sont détaillés dans **Masmoudi-Charfi et al., (2012)** [38]. Leur analyse a été réalisée en considérant des journées types caractérisées par une demande climatique différente (forte, moyenne, faible avec ou sans apport hydrique) :

-Journées à faible demande climatique, choisies en période de pluie, le 17/10 ($P = 6$ mm, $ET_o = 1,4$ mm/jour, $T_{max}=25^\circ$ et $T_{min}=19^\circ C$) et le 18/10 (journée nuageuse sans pluie, $T_{max}= 24^\circ C$ et $T_{min}= 19^\circ C$, $ET_o= 1,9$ mm/jour).

-Journées du 10/8 et 11/8 : $ET_o=5,7$ mm, T_{max} . de 35 et $37^\circ C$ et T_{min} . de 24 et $21^\circ C$ respectivement.

-Journées du 22/6 et 23/6 : valeurs élevées de l' ET_o de $6,8$ et $7,4$ mm et des valeurs T_{max} et T_{min} de 35 et $36^\circ C$ et 20 et $23^\circ C$.

Une comparaison a été réalisée au niveau de l'évolution de la densité du flux moyenne en relation avec celle de la demande climatique

3. RESULTATS

Les corrélations établies entre les différents paramètres de végétation, de fructification et de production et les paramètres hydriques ont montré une grande variabilité qui dépend de la variété, du niveau de croissance ou de production obtenus, mais également du niveau de la demande climatique et de l'état hydrique du sol, de l'arbre et de ses structures (feuilles, fruits...).

3.1. Relations entre les paramètres de croissance aériens de l'olivier

La hauteur de l'arbre (H) et le diamètre de la frondaison (D_f) mesurés sur les variétés Chétoui, Meski, Picholine et Manzanille à Mornag sont liés par une relation linéaire et positive exprimée par $D_f = 0,837H - 12,28$ ($r=0,96$). Le diamètre du tronc (D_t) a évolué

et l'état hydrique du sol.

Intégration des paramètres mesurés : Relations entre les besoins en eau d'irrigation et le développement de la frondaison et du système racinaire

Pour adapter les quantités d'eau délivrées par olivier au cours de la période d'expérimentation à d'autres situations, il a été nécessaire de développer une relation entre la demande climatique, la surface du sol couverte par la frondaison et celle qui est exploitée par les racines et la quantité d'eau apportée (I), qui s'étendra sur une surface maximale égale à S_{racine} sur laquelle est interceptée une quantité de pluie (P^*) assimilée à la pluie efficace, définie comme étant la quantité de pluie qui s'infiltré dans la zone racinaire et disponible à l'arbre / $P^*_{(m3)} = P_{(m)} * S_{racine}$ (m^2). Le volume d'eau évapotranspiré par olivier (ET^*) est estimé par $ET^* (m^3) = K_c * ET_o (m) * S_{racine} (m^2)$.

Afin de lier les quantités d'eau délivrées à la demande évaporatoire, le coefficient K_o est défini : $K_o = (P^* + I) / ET^*$ il prend en compte seulement les quantités d'eau attribuée à l'olivier et de ce fait il peut être adopté pour estimer les besoins en eau d'irrigation dans d'autres sites et pour différents régimes pluviométriques et évapotranspiratoires.

proportionnellement à H telle que : $D_t = 0,0329 H - 0,3454$ ($r=0,96$). Il a augmenté proportionnellement à D_f auquel il est lié par une corrélation linéaire et positive exprimée par l'équation : $D_t = 0,0369 D_f + 0,6318$ ($r = 0,94$). Cependant si on exprime ces paramètres en termes d'accroissement annuel, le diamètre du tronc D_t a augmenté en fonction de l'accroissement de D_f jusqu'à une valeur maximale de 77 cm/an pour une valeur de D_t de $3,8$ cm/an (**fig.1**).

3.2. Relation entre les paramètres de croissance de l'olivier et le taux de couverture du sol

Le taux de couverture du sol est positivement et significativement corrélé à H et à P_t avec des valeurs respectives de r de $0,86$ et de $0,91$ (**fig.2**).

3.3. Relation entre le développement de la frondaison et celui du système racinaire

A partir de la 4^{ème} année de culture, les systèmes aérien et racinaire des oliviers plantés à Mornag se sont développés de manière synchrone. Le rapport des surfaces a atteint l'unité à ce stade (équilibre) alors que le rapport de la longueur des racines par la surface foliaire a atteint une valeur de 2,3 Km/m² au terme de la 6^{ème} année.

Le diamètre de la frondaison D_f a augmenté rapidement après la taille de formation, qui a été pratiquée entre la 3^{ème} et la 5^{ème} année après la plantation. Au cours de cette période, le niveau de production était encore faible, mais à partir de la 5^{ème} année, la taille de la frondaison et les rendements ont

augmenté significativement, mais différemment selon les variétés. Quant aux racines, elles se sont développées d'abord en surface en occupant une superficie qui a évolué de 4,2 m² à la 1^{ère} année à 13,8 m² à la 6^{ème} année, puis elles se sont ramifiées en profondeur. Les racines les plus éloignées ont émergé à plus de 2 m du tronc (2003).

Les profils racinaires élaborés pour l'olivier Chétoui âgé de 1 à 6 ans sont décrits par Masmoudi-Charfi [40]. Le **Tableau 6** montre l'évolution de la surface du sol occupée par les racines S_r et celle couverte par la frondaison S_f au cours des six premières années d'âge de l'olivaie de Mornag.

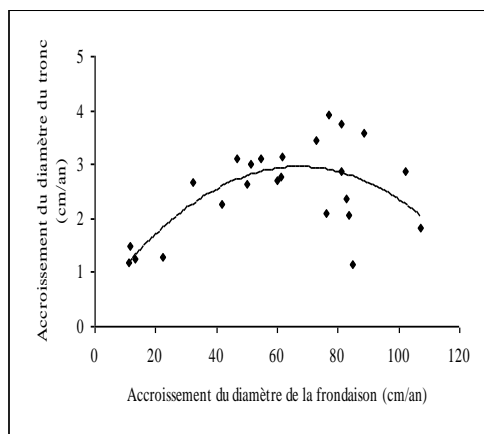


Fig.1. Relation entre le diamètre du tronc (D_t) et le diamètre de la frondaison (D_f) exprimés en termes d'accroissement annuel (cm/an) durant la période 1998-2003. Site de Mornag.

L'analyse des données annuelles a montré qu'au cours des deux premières années, S_r n'a pas augmenté alors que S_f a quadruplé. Pendant les deux années suivantes S_f a doublé de valeur alors que S_r a montré une extension plus faible, atteignant 0,5 m² seulement en 2002. A la 6^{ème} année (2003), proche de l'unité. L'évolution de ces surfaces est exprimée par une corrélation linéaire et positive, telle que : $S_f (m_2) = 1,183 S_r (m_2) - 3,602$ ($r = 0,94$)

3.4. Relation entre le développement de la frondaison et la production de biomasse végétale et de fruits

Relation entre le développement de la frondaison et la production de bois de taille

S_r a augmenté de plus de 90% par rapport à l'année 2002 pour une charge en fruits équivalente. Cette augmentation s'est faite de manière concordante avec celle de la frondaison puisque le rapport S_r/S_f a été maintenu à une valeur

La quantité de bois de taille éliminée au cours de l'année (n) est corrélée ($r=0,87$) à l'accroissement du diamètre de la canopée réalisé au cours de l'année précédente sachant que les mesures du diamètre de la frondaison D_f ont été faites entre 2000 et 2003 (Mornag) alors que les pesées de bois de taille sont celles obtenues entre 2001 et 2004 (**fig.3**).

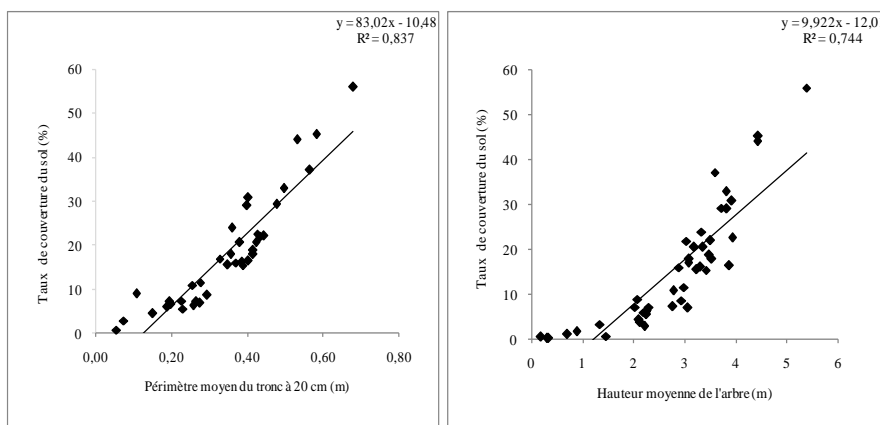


Fig.2. Corrélations entre le taux de couverture du sol par la frondaison (%) et les paramètres de croissance de l’arbre (périmètre du tronc et hauteur de l’arbre). Site de Nabeul.

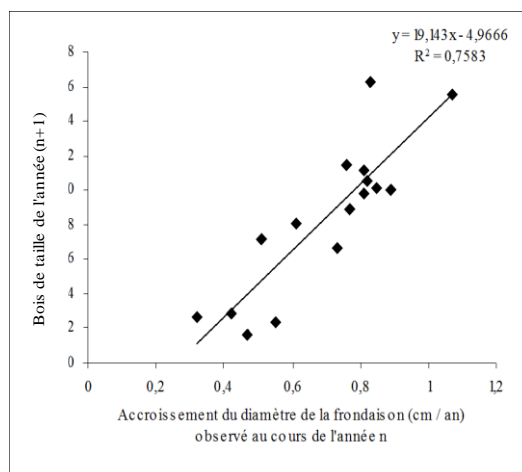


Fig.3. Corrélation entre l’accroissement moyen de la frondaison (m/an) observé au cours de l’année (n) et la quantité de bois de taille sec (kg/arbre) récupérée au cours de l’année (n+1). Chaque variété est représentée par 4 points. Site de Mornag.

Tableau 6: Evolution de la surface du sol couverte par la frondaison (S_f) et celle occupée par les racines de l’olivier (S_r) au cours des six premières années d’âge.

Age	1	2	3	4	5	6
Distance maximale à laquelle sont observées les racines (m)	1,15	1,10	1,30	1,45	1,50	2,12
Surface du sol occupée par les racines (m^2)	4,20	3,80	5,30	6,60	7,10	13,8
Rayon maximum de la frondaison (m)	0,26	0,51	0,77	1,10	1,60	1,95
Surface couverte par la frondaison (m^2)	0,21	0,82	1,86	3,79	8,04	11,94
S_r / S_f	20,0	4,6	2,8	1,7	0,9	1,2

Relation entre le développement de la frondaison et le rendement en olives

Les rendements en olives obtenus au cours de l’année (n) chez les variétés Meski,

Manzanille, Chétoui, Picholine (Mornag) sont positivement corrélés à l’accroissement

du diamètre de la frondaison de l'année précédente ($r=0,45$). Lorsque la variété Meski (production < 1 kg/arbre) est écartée, le coefficient r passe à 0,61.

La relation établie entre le taux de couverture du sol par la végétation et la production (collection de Nabeul) est

présentée par une double corrélation positive dont le niveau de signification dépend de celui de la production (**fig.4**). En effet, la corrélation est hautement significative ($r=0,91$) lorsque la production dépasse 8 kg/arbre.

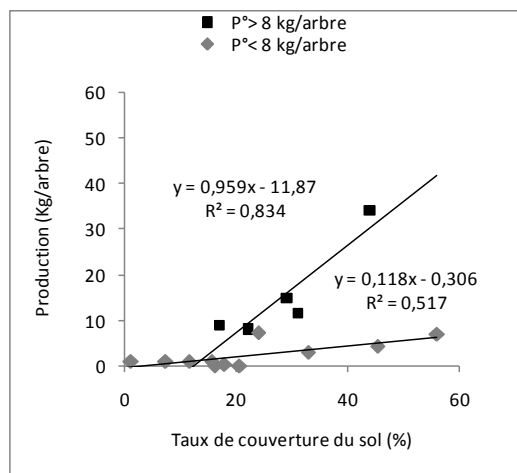


Fig.4. Corrélation entre le taux de couverture du sol par la frondaison (%) et la production (Nabeul).

La variété Meski est celle qui présente le plus faible rapport N/SF à cause de sa faible productivité. La variété Chétoui montre une plus grande efficacité de l'utilisation des ressources carbo-hydratées, produisant en moyenne 2,59 fruits/cm² de feuilles.

3.5. Relation entre la surface unitaire des feuilles et le nombre de fruits produits

Les rapports du nombre de fruits produit (N) par la surface unitaire des feuilles (SF), reflétant la disponibilité des assimilats aux organes puits, sont portés au **Tableau 7**.

Tableau 7. Rapport moyen du nombre de fruits produit/arbre (N) par la surface unitaire des feuilles (SF, cm²). Oliviers Chétoui, Meski, Picholine et Manzanille âgés de 6ans, (Mornag).

	SF (cm ²)	N _{fr}	N/SF (cm ²)
Chétoui	1 270	3295	2,59
Meski	1 420	212	0,15
Manzanille	1 410	2185	1,55
Picholine	1 800	2172	1,21
Moyenne	1 475	1 966	1,37
Ecart-type	227	1 282	1,00

NB. Seuil de signification de 5%.

4. Relations en rapport avec le calibre des olives

Relation entre la croissance des fruits et la production

A l'échelle annuelle, une corrélation négative est observée entre l'accroissement en diamètre des olives et la production chez 19 variétés d'olivier cultivées à Nabeul ($r = 0,62$). De même, des corrélations négatives ont été trouvées entre la production d'olives et leurs accroissements en diamètre au cours des phases 1, 2 et 3 avec des valeurs respectives de r de 0,40, 0,52 et 0,34.

Relation entre la croissance des fruits et celle des pousses

La relation établie entre les accroissements relatifs annuels de la pousse et du fruit est significative dans le cas des variétés qui ont présenté un accroissement relatif annuel des pousses supérieur à 45% avec $r = 0,89$ (fig.5). Cette corrélation concerne les variétés Azeitera, Conserva, Galega, Sigoise, Picholine, Besbassi, Tounsi et Rkhami (Nabeul).

5. Relations entre les paramètres de croissance de l'arbre et les facteurs environnementaux

Relation entre l'accroissement en hauteur et la température

Les relations établies entre les accroissements en hauteur (cm/jour) des oliviers plantés à Mornag et les moyennes de T_{max} et de T_{min} enregistrées au cours de la même période (fig.6.) montrent une variation inter annuelle importante qui s'est

traduite par l'absence de corrélation entre l'accroissement en hauteur et la température au cours des années 2001 et 2002 et la présence de corrélations positives hautement significatives en 2000 et en 2003 ($r > 0,79$). Les années 1998 et 1999 sont caractérisées par des valeurs de r inférieures à 0,7. Lorsque les mesures effectuées au cours des vagues de croissance printanières et automnales sont écartées, les coefficients de détermination augmentent, passant de valeurs comprises entre 0,0397 et 0,8063 à des coefficients R^2 allant de 0,3289 à 0,8993. On remarque toutefois que les plus faibles valeurs de r sont toujours celles des années 2001 et de 2002. Au niveau des variétés, des écarts sont observés. De manière générale, l'accroissement en hauteur est hautement corrélé à la température en dehors des périodes de croissance active.

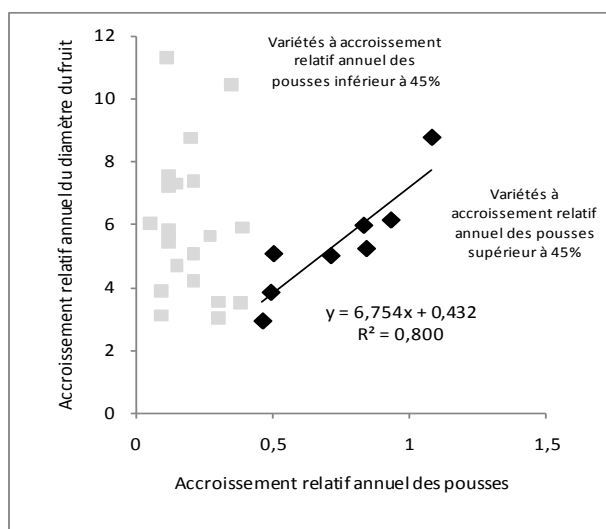


Fig.5. Relations entre l'accroissement en diamètre du fruit et celui de la pousse (Nabeul).

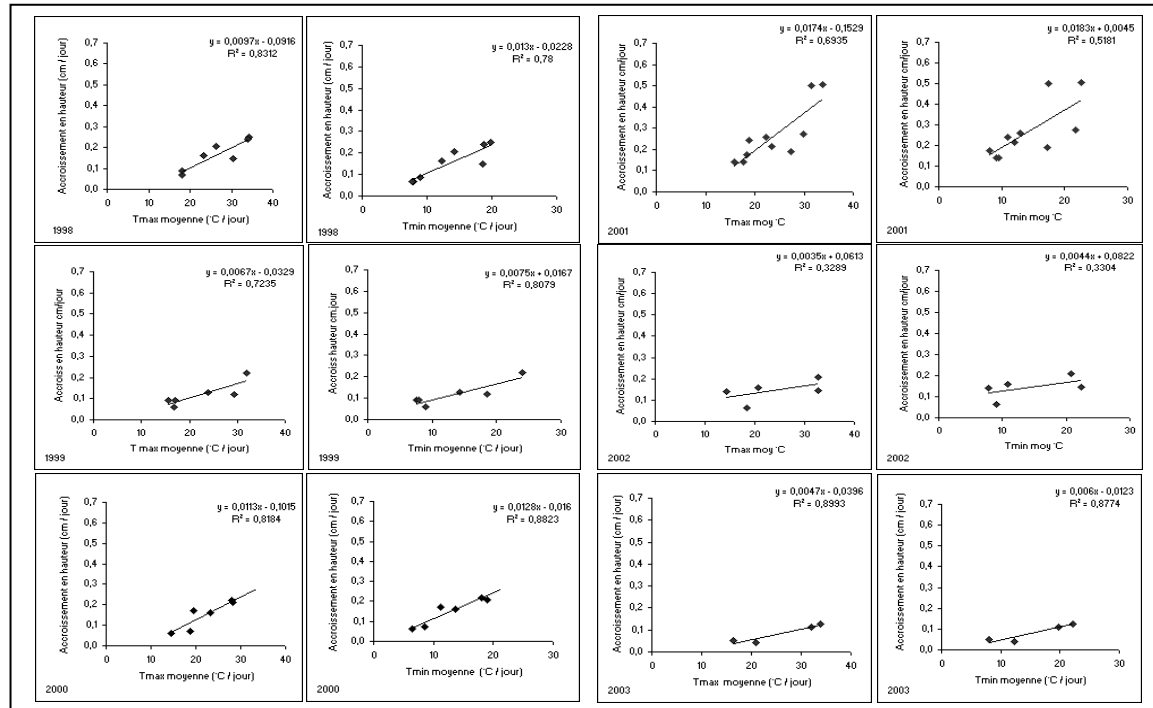


Fig.6. Relations entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) et la température maximale (T_{max}) et minimale (T_{min}) moyenne (°C) obtenue au cours de la même période entre 1998 et 2003. Les mesures effectuées au cours des périodes de croissance active sont écartées. Site de Mornag.

Relation entre l'accroissement en hauteur et l'évapotranspiration de référence

La recherche de relations entre l' ET_0 et l'accroissement en hauteur de l'olivier a conduit à

des résultats comparables à ceux fournis par les relations précédentes. Les valeurs de r sont toujours plus élevées pour les corrélations établies en écartant les observations faites au cours des périodes de croissance rapide (**fig. 7 et 8**).

Au cours de l'année 1998, deux tendances sont observées. La première correspond aux observations réalisées au cours des vagues de croissance, où les vitesses atteignent une valeur maximale de 0,7 cm/jour avec des

valeurs de r allant de 0,14 (Picholine) à 0,69 (Chétoui). La deuxième tendance correspond aux mesures effectuées en dehors des trois périodes de croissance active. Pour des valeurs de l' ET_0 de 6-7mm/jour, les vitesses maximales sont observées chez les variétés Chétoui et Manzanille puis Meski et les plus faibles sont données par le cultivar Picholine, qui montre toutefois des valeurs plus homogènes. Les coefficients de corrélation obtenus en dehors des vagues de croissance sont de 0,98, 0,81, 0,88 et 0,87 respectivement pour les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine.

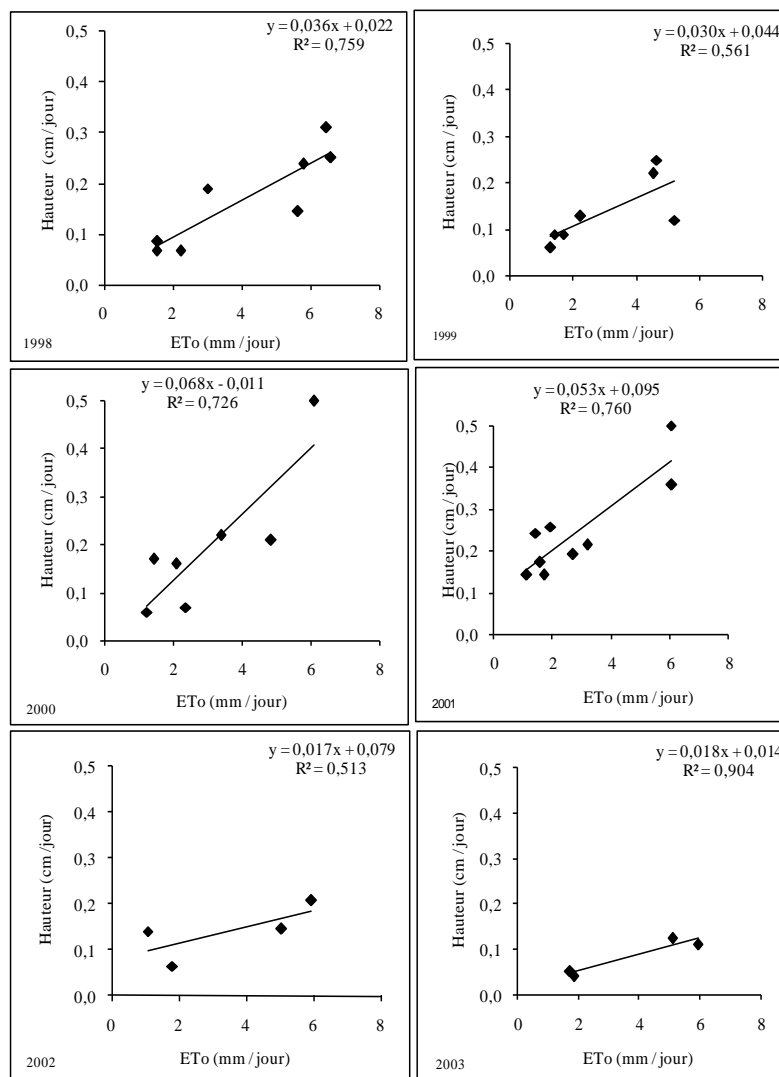


Fig.7. Relations entre l'accroissement moyen en hauteur (cm/jour) et la demande climatique enregistrée au cours de la même période. Les mesures effectuées au cours des périodes de croissance active sont écartées. Site de Mornag.

En 1999, la relation entre ET_0 et l'accroissement en hauteur a suivi une courbe en cloche avec un optimum de l' ET_0 situé entre 3 et 5mm/jour, correspondant à une vitesse maximale de la croissance en hauteur de 0,4cm/jour. En dehors des périodes de croissance active on observe une corrélation positive hautement significative avec des valeurs de r de 0,88, 0,91, 0,77 et 0,99 respectivement pour les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine.

En 2000, les deux paramètres ont évolué en suivant une courbe exponentielle. Pour des valeurs de l' ET_0 inférieures à 4mm/jour, les vitesses de croissance sont inférieures à 0,3cm/jour avec quelques différences variétales. Elles augmentent au cours de

l'été avec l'augmentation de l' ET_0 . Pour les variétés Manzanille, Chétoui, Meski et Picholine, les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,89, 0,81, 0,81 et 0,75.

Au cours de l'année 2001, les vitesses de croissance en hauteur se situent en moyenne entre 0,06 et 1,2 cm/jour pour des valeurs de l' ET_0 comprises entre 1 et 6 mm/jour avec un optimum de 3mm/jour. Cette relation est significativement améliorée lorsque les observations effectuées au cours des périodes de croissance active sont écartées. Les coefficients r passent de 0,04-0,18 à 0,72-0,77, exception faite pour la variété Chétoui qui garde un faible coefficient quelque soit la période considérée.

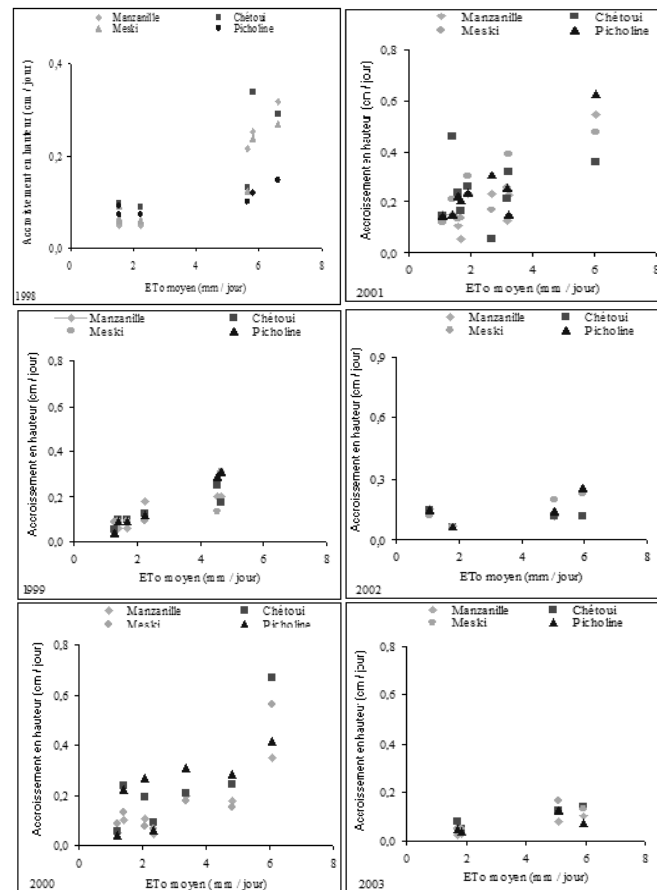


Fig.8. Relations entre la vitesse de croissance en hauteur (cm/jour) chez les variétés Chétoui, Meski, Manzanille et Picholine et l'ET₀ moyenne calculée pour le même intervalle de temps (1998-2000).

La relation établie en 2002 entre la vitesse de croissance en hauteur et ET₀ a évolué selon une allure apparentée à celle de l'année 1998. Les valeurs initiales de r ont varié de 0,35 (Chétoui) à 0,48 (Picholine) avec un optimum de l'ET₀ de 4 mm/jour. Les coefficients de corrélation ont augmenté légèrement lorsque les mesures effectuées au cours des périodes de croissance active sont éliminés atteignant 0,91 pour Meski, 0,58 pour Manzanille, 0,72 pour Picholine. La variété Chétoui a présenté des coefficients très faibles quelque soit la période de mesures.

L'évolution des observations au cours de l'année 2003 est comparable à celle de l'année 1999. L'optimum de l'ET₀ se situe entre 4 et 6 mm/jour selon la variété. Les coefficients de corrélation ont varié de 0,70 à 0,99 lorsque toutes les observations sont

prises en compte et de 0,69 à 0,98 en dehors des périodes de croissance active.

Il apparaît ainsi que la croissance en hauteur mesurée en dehors des périodes de croissance active est significativement influencée par les températures maximales, minimales et l'évapotranspiration de référence, mais ces facteurs n'affectent pas toutes les variétés de la même manière. Des différences sont observées entre les cultivars d'une année à l'autre et au sein de la même année. La variété Manzanille présente les coefficients les plus élevés. De faibles valeurs de r ont été obtenues même en dehors des périodes de croissance rapide en 1999 et 2000, caractérisées respectivement par l'entrée en production des variétés Chétoui, Manzanille et Picholine et la pratique de la première taille de formation. Egalement ces relations sont étroitement

liées à la période de croissance. En dehors des périodes de croissance active les coefficients de corrélations sont plus élevés.

6. Relations entre les paramètres de production et les facteurs environnementaux

La masse de bois de taille produite au cours d'une année dépend de la quantité de pluie reçue entre les mois de juillet et de

décembre de l'année écoulée, mais également du niveau de sévérité de la coupe au moment de la taille et de la proportion de bois lignifié par rapport au bois tendre. Au cours des années 2001 et 2003 les taux de réductions de la masse de la frondaison ont été respectivement de 18% et 13%, mais les quantités de bois récupérées ont été beaucoup plus importantes en 2003 (**fig.9**).

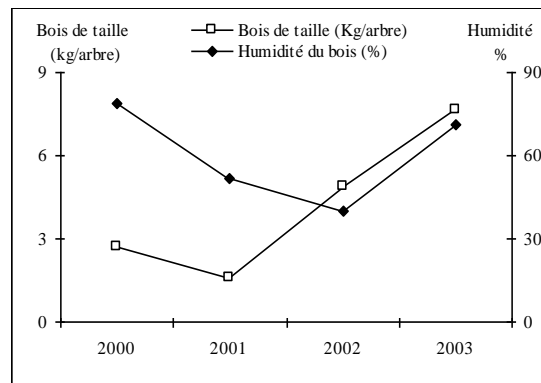


Fig.9. Quantité moyenne de bois de taille produite (kg/arbre) et humidité relative moyenne (%) correspondante.

Chez la variété Chétoui, la quantité de bois de taille produite est corrélée négativement au niveau de production d'olives ($Qté_{Bois} = -0,133 \text{ Prod.} + 12,52$, $r = 0,52$).

Le taux d'humidité du bois a varié de 34 à 86% en fonction de la variété et de l'année. Les moyennes annuelles ont varié de 40 à 79% avec des valeurs minimale et maximale observées chez la variété Picholine, respectivement, en 2002 et en 2003 (**fig.10**)

représentant respectivement l'une des années les plus sèches et la plus humide. Les taux minima ont été observés en 2001 et en 2002, deux années caractérisées par de faibles précipitations (203 et 147 mm respectivement). En 2003, l'humidité du bois de taille a été plus élevée ainsi que les quantités de pluie reçues au cours du second semestre de l'année (238 mm).

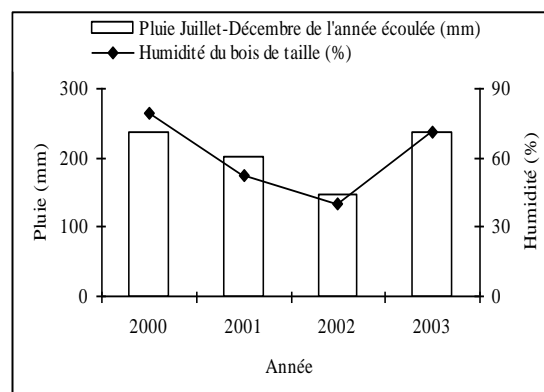


Fig.10. Humidité relative moyenne (%) du bois de taille observée au cours de la période 2000-2003 et quantités de pluies reçues durant la période allant de Juillet à Décembre de l'année écoulée. Site de Mornag.

7. Relations en rapport avec le niveau de satisfaction des besoins en eau

Relation entre la croissance en hauteur de l'arbre et le niveau de satisfaction des besoins en eau

L'analyse des relations obtenues pour chacune des années séparément (non publiées) en considérant les observations réalisées en dehors des périodes de croissance active présentent des coefficients de détermination plus élevés que ceux produits en considérant toutes les observations réalisées chaque année. L'accroissement en hauteur maximal est observé pour des valeurs des apports couvrant entre 0,11 et 0,38ET_c au cours des premières années et allant de 2,7ET_c à 4,8ET_c pour les années suivantes avec quelques différences variétales.

Relation entre le rendement et le niveau de satisfaction des besoins en eau

La valeur optimale de P+I/ET_c observée en 2001 et 2002 se situe aussi aux alentours de 1,4 pour les quatre variétés cultivées à Mornag. En 2003, la variété Picholine a donné un rendement plus élevé avec un rapport P+I/ET_c de 3,4. Les faibles valeurs observées pour la variété Meski ne sont pas dues à l'irrigation mais sont plutôt liées à des problèmes de pollinisation.

7. Relations entre l'état hydrique et la consommation en eau

Relation entre la consommation en eau de l'olivier et la demande climatique en rapport avec l'état hydrique du sol

La consommation en eau des jeunes oliviers, (mesure du flux de sève) est positivement corrélée à la demande climatique ET_o. Les coefficients r ont été de 0,94 et 0,98 pour un sol ayant respectivement une humidité volumique supérieure à 35% et inférieure à 30% (**fig.11**).

La densité de flux F_d a évolué de manière synchrone avec le rayonnement global R_g. Le niveau maximal atteint par F_d dépend de la saison et de l'eau disponible. En automne les valeurs ont varié de 2,7-3,5

litres/dm²/heure pour une demande climatique faible à modérée (1 < R_g < 2,0 Mj/h/m²) (**fig.12a**), de 3,5-4,0 l/dm²/h pour une demande climatique plus élevée (2,5 < R_g < 3,0 Mj/h/m²) (**fig.12b**), de 3,0 à 4,0 l/dm²/h pour une forte demande climatique (R_g=3,0 Mj/h/m²) et en présence de l'eau (**fig.12c**) et ne dépassant pas 3,0 l/dm²/h pour une demande climatique supérieure à 3,0 Mj/h/m² (**fig.12d**) avec l'apparition d'un plateau qui s'étale entre 9h du matin et 16h. Il traduit l'incapacité du système racinaire à satisfaire la demande en eau de l'arbre au vue de la faible teneur en eau du sol. La transpiration moyenne (T) déterminée à partir de ces valeurs situe la consommation en eau des jeunes oliviers de 6 ans entre 5 et 41 litres/jour, correspondant à un niveau de T respectif de 0,14 et 1,14 mm/jour obtenues pour des valeurs de l'ET_o de 1,5 mm pour le mois de février et 5,7 mm pour le mois d'août.

Le rapport T/ET_o représentant le coefficient cultural de base K_{cb} c'est-à-dire correspondant à la transpiration (T) a varié de 0,09 à 0,20. Ceci veut dire que la transpiration maximale des jeunes oliviers sous climat semi-aride de la basse vallée de la Medjerda est de l'ordre de 20% ET_o seulement.

Relation entre le contenu relatif en eau des feuilles et leur surface foliaire en rapport avec l'état hydrique du sol

La surface unitaire des feuilles (SF, cm²) a évolué en sens inverse de leur contenu relatif en eau (CRE, %), lui-même lié négativement à la teneur en eau du sol (TE_{sol}). Ceci est explicité par deux corrélations négatives avec respectivement r = 0,49 et r = 0,81 (**fig.13**). SF est corrélée à TE_{sol}. La valeur optimale est de 5-6 cm² pour TE_{sol}= 60 mm sur un horizon de 1m. Cependant on a pu dissocier deux réponses différentes selon l'endroit des prélèvements gravimétriques ; A l'aplomb de la frondaison une corrélation négative est trouvée (r=0,47) alors qu'au point d'intersection de 4 arbres une courbe en cloche est observée avec le même optimum

de SF (**fig. 14**). A l'échelle variétale, la relation entre CRE et SF est représentée par des comportements différents (**fig.15**).

Pour certaines variétés aucune corrélation n'a pu être établie.

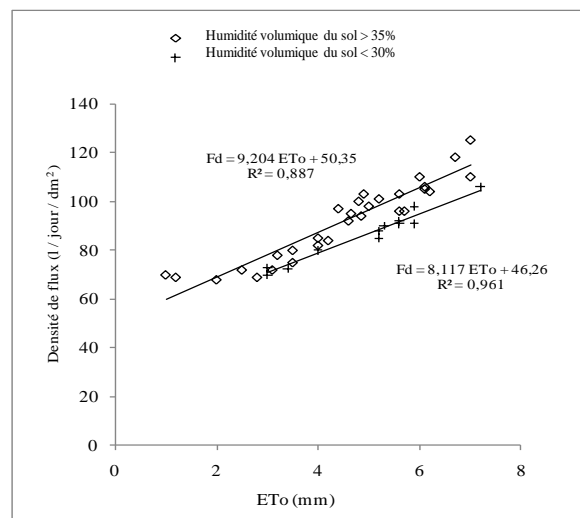


Fig.11. Corrélations entre la consommation en eau de l'olivier exprimée par la densité de flux de sève (F_d , litre/jour/ dm^2) et la demande climatique (ET_o , mm) sous des conditions hydriques du sol différentes. Essai de Mornag.

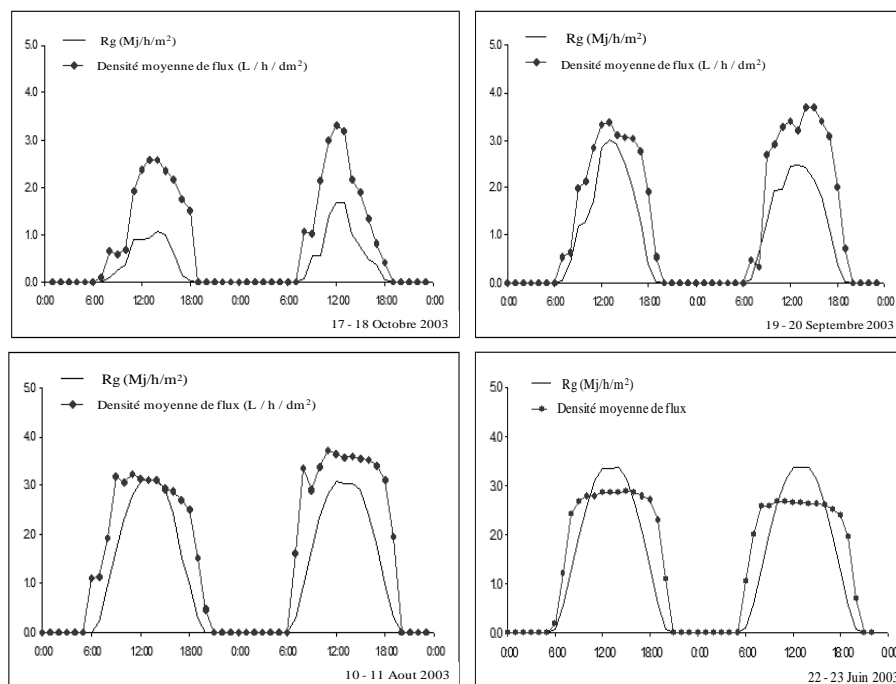


Fig.12. Valeurs horaires de la densité moyenne de flux de sève (F_d , litres/ dm^2 /heure) et du rayonnement global (R_g) mesurées sur des oliviers plantés à Mornag au cours de journées à demande climatique différente. (a)-Faible demande climatique et pluie (17-18 Octobre 2003). (b)-Demande climatique modérée et sol pourvu en eau (19-20 Septembre 2003). (c)-Forte demande climatique et irrigation (10-11 Aout 2003). (d)-Demande climatique importante et sans apport hydrique (22-23 Juin 2003). Essai de Mornag.

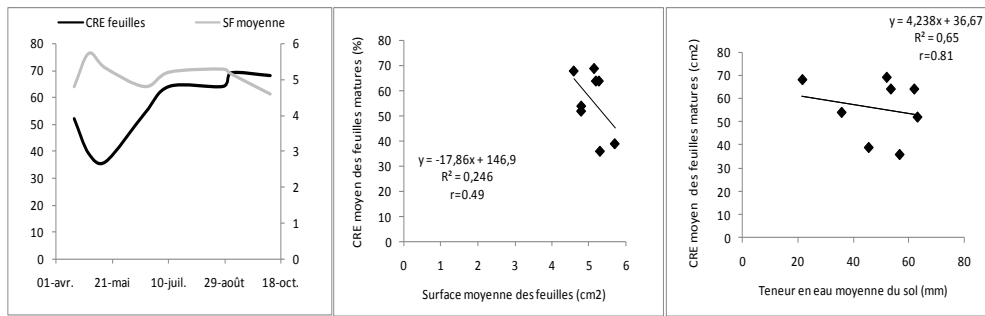


Fig.13. Evolution de la surface unitaire des feuilles (SF, cm²) et de leur contenu relatif en eau (CRE, %) et sa relation avec la teneur en eau du sol TE_{sol} (mm) au cours de la campagne 2012. Essai de Nabeul.

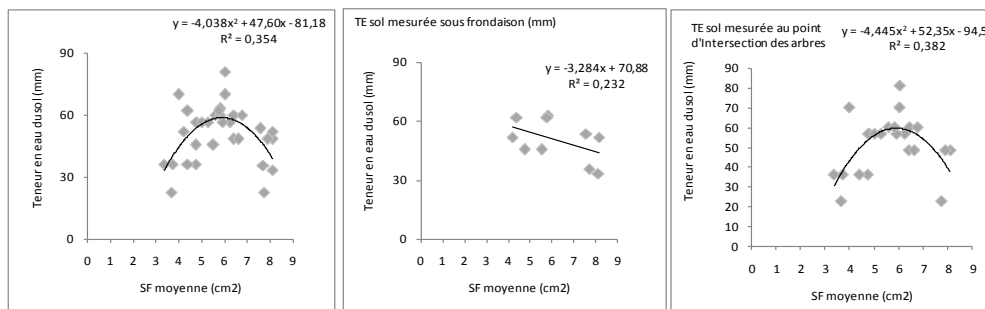


Fig.14. Relation entre la surface unitaire des feuilles (SF, cm²) et la teneur en eau du sol au cours de la campagne 2012 pour différents emplacements des prélevés gravimétriques. Essai de Nabeul.

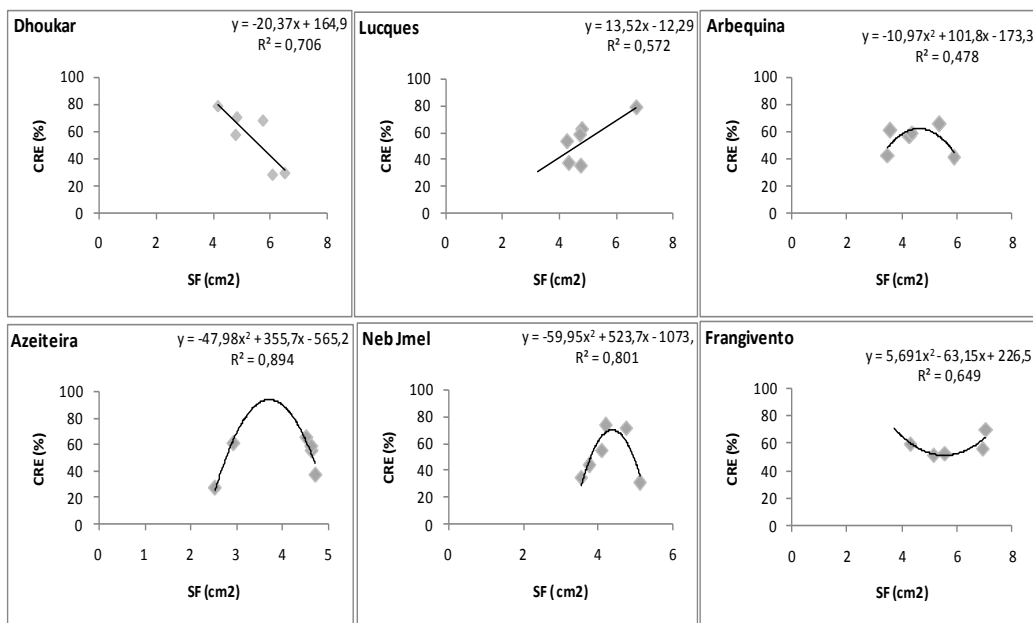


Fig.15. Relation entre la surface unitaire des feuilles (SF, cm²) et leur contenu relatif en eau (CRE, %) pour différentes variétés au cours de la campagne 2012. Essai de Nabeul.

8. Relations en rapport avec l’efficacité d’utilisation de l’eau

L’efficacité de l’utilisation de l’eau par les fruits (EUE_{fruit}, mm de croissance du

fruit/m³ I+P) est corrélée négativement au taux de couverture du sol par la végétation (Collection de Nabeul). Plus l’arbre est vigoureux moins bonne est l’utilisation de

l'eau par les fruits. Celle-ci est corrélée à la production avec un optimum situé aux alentours de 10kg/arbre. Au-delà de ce

tonnage, l'eau est moins bien utilisée par les fruits (**fig.16**).

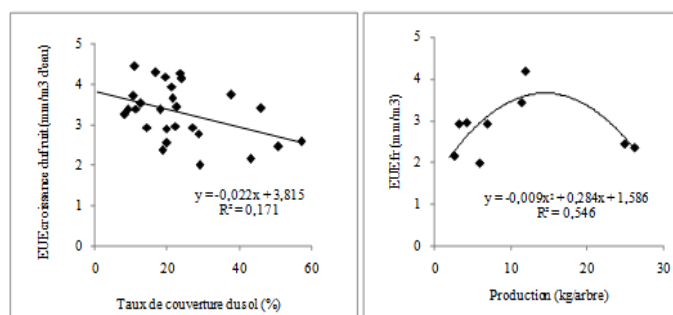


Fig.16. Relation entre l'EUE_{fr} (mm/m³ I+P), la production et le taux de couverture du sol par la végétation. Essai de Nabeul (2010).

L'analyse détaillée des données relatives à la couverture du sol en relation avec l'EUE_{fruit} a montré que pour des taux de couverture inférieurs à 40% (Nabeul, 2012), l'EUE_{fr} est corrélée à la couverture du sol avec un optimum situé entre 15% et 17% (**fig.17**), donnant une EUE_{fr} proche de 5 mm/m³

Relation entre l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la croissance du fruit EUE_{fruit} et l'accroissement du calibre

Les relations statistiques établies entre l'EUE_{fr} et l'accroissement du calibre des olives (rapporté à l'accroissement de la phase de croissance ou à l'accroissement annuel du diamètre de l'olive) ont montré que pour avoir une bonne efficacité il faut avoir un accroissement de la phase 2 au alentours de 25-30% et de 50% pour la phase 1 (**fig.18**). Quelque soit l'accroissement de la phase 3 l'EUE_{fruit} est inférieur à 4 mm/m³ d'eau apporté (P+I). Les valeurs de l'EUE_{fr} obtenues au cours des phases 3 et 2 sont bien corrélées aux accroissements correspondants à ces phases

avec des coefficients r respectifs de 0,93 et 0,73. Ceci veut dire que lorsque l'accroissement du diamètre au cours de la phase 2 ou 3 de croissance du fruit est élevé, il y a une bonne utilisation de l'eau au cours de ces phases mais ceci n'implique pas nécessairement des valeurs maximales de l'EUE_{fr} à

l'échelle de l'année et de bonnes corrélations à l'échelle de la campagne puisque les valeurs de r ont été respectivement de 0,05 et 0,31 seulement pour ces phases (**fig.18**).

Relation entre l'efficacité d'utilisation de l'eau pour la croissance du fruit EUE_{fruit} et celle de la production EUE_p

L'EUE_{fr} est corrélée négativement à l'EUE_p, ce qui veut dire que lorsque l'utilisation de l'eau est rientée vers le grossissement des olives, ceci se répercute négativement sur le tonnage final de l'arbre. L'équation de corrélation est de type linéaire telle que EUE_p = -2,1 EUE_{fruit} + 10,52 (R² = 0,397).

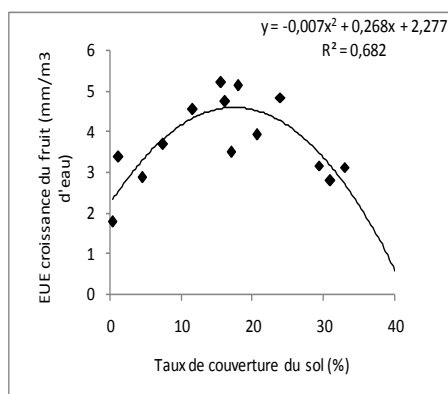


Fig.17. Relation entre EUE_{fr} (mm de croissance du fruit/ m^3 P+I apporté) et le taux de couverture du sol par la frondaison (%). Essai de Nabeul. 2012.

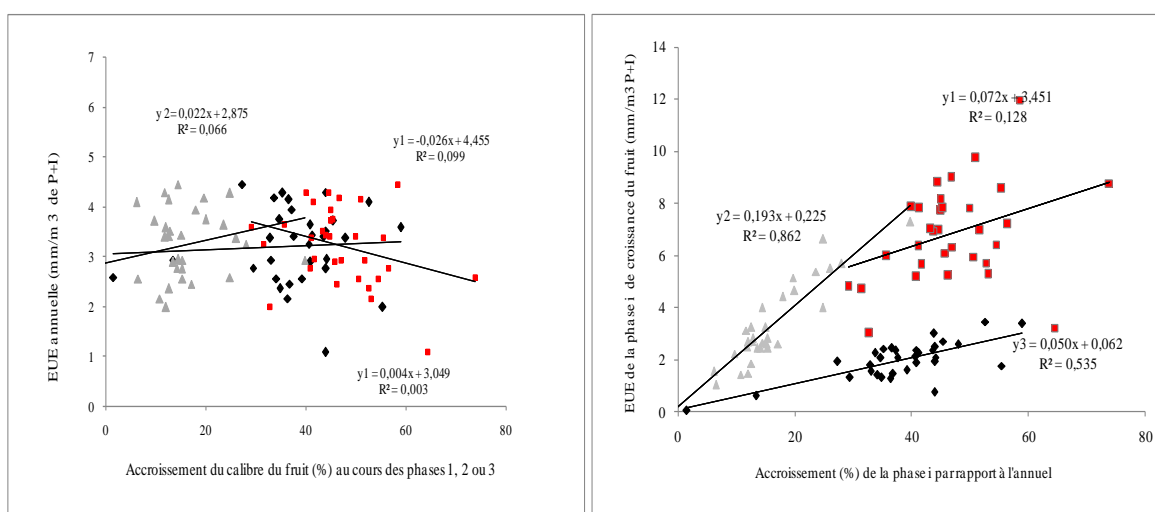


Fig.18. Relation entre l' EUE_{fr} (mm/m^3 I+P) et l'accroissement du calibre des olives rapporté à (a)- l'accroissement de la phase de croissance ou à (b)- l'accroissement annuel du diamètre de l'olive. Essai de Nabeul.

9. Relations entre les paramètres éco-physiologiques

L'étude des relations hydriques réalisée à la station expérimentale de Taoues-Sfax a montré que le potentiel foliaire (Ψ_f) est corrélé à la conductance stomatique (g_s), cependant la réponse varie selon la variété et le traitement hydrique appliqué (**fig.19**). A 20% et 50% ET_c , g_s et Ψ_f sont linéairement et positivement corrélés avec des valeurs respectives de r de 0,84 et 0,96. A 100% ET_c , la relation n'est pas linéaire et l'optimum de g_s se situe à $450 \text{ mmole}/m^2/s$. Le potentiel hydrique foliaire Ψ_f est également corrélé à la résistance stomatique R_s . A 20% ET_c , Ψ_f est corrélé à R_s par une

fonction linéaire et positive. A 50% ET_c et 20% ET_c , la relation n'est pas linéaire et l'optimum de R_s se situe à $4 \text{ cm}/s$ (**fig.20**).

10. Relations entre la production et la quantité d'eau fournie

Les résultats obtenus à la station expérimentale de Taoues-Sfax ont montré que la production est corrélée à la quantité d'eau fournie (**fig.21**). La réponse dépend de la variété. Les cvs. Picholine, Coratina, Chétoui et Manzanille montrent une baisse de la production lorsque les quantités d'eau ont dépassé 200 mm. La variété Chemlali montre un comportement différent avec une production maximale obtenue pour un apport de 400 mm.

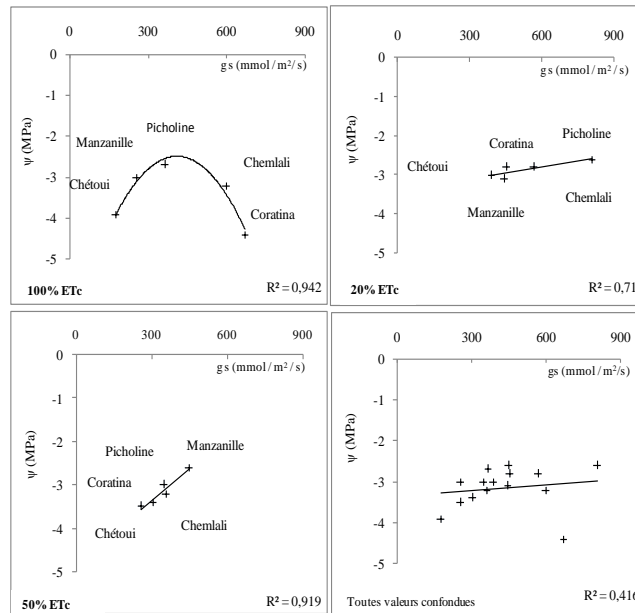


Fig.19. Relations entre la conductance stomatique (g_s , $\text{mmol/m}^2/\text{s}$) et le potentiel foliaire mesuré à midi (Ψ_f , MPa) pour différents traitements hydriques appliqués. Essai de Taoues.

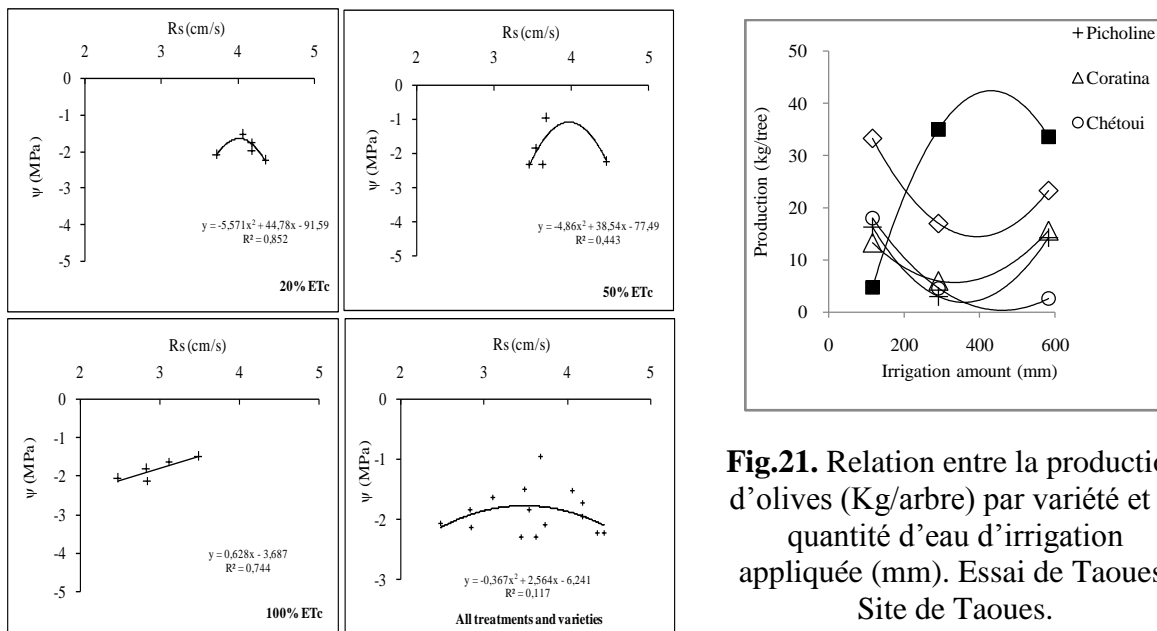


Fig.21. Relation entre la production d'olives (Kg/arbre) par variété et la quantité d'eau d'irrigation appliquée (mm). Essai de Taoues. Site de Taoues.

Fig.20. Relations entre la résistance stomatique (R_s , cm/s) et le potentiel foliaire mesuré à midi (Ψ_f , MPa) pour différents traitements hydriques. Essai de Taoues.

DISCUSSION

Les expérimentations réalisées sous diverses conditions édapho-climatiques au Nord (basse vallée de la Medjerda), au Nord-est (Nabeul) et au Sud-est (Taoues-sfax) de la Tunisie au cours de la période 1998-2013

ont permis de dégager de nombreuses corrélations entre les paramètres de végétation, de fructification, de production et les paramètres hydriques. Ces corrélations ont montré une grande variabilité de la distribution des observations, qui dépend de la variété, du niveau de croissance ou de

production obtenus mais également du niveau de la demande climatique et de l'état hydrique du sol et de l'arbre.

A Mornag, la mise en relation des paramètres végétatifs relatifs à l'arbre ont montré que les diamètres de la frondaison et du tronc sont hautement corrélés ($r=0,94$) et ont évolué proportionnellement à la hauteur de l'arbre ($r=0,96$), qui est un paramètre déterminant dans l'élaboration de sa forme et la construction de son ossature ; il influence aussi le niveau de production qui se trouve étroitement corrélé à la hauteur de l'olivier et au périmètre du tronc. Ces corrélations sont linéaires, positives et hautement significatives ($r>0,86$). Un coefficient r de 0,91 est obtenu pour des productions supérieures à 8kg/arbre.

Le développement rapide de la frondaison observé au cours des premières années de culture a généré une masse importante de bois de taille qui a évolué proportionnellement à l'accroissement du diamètre de la canopée réalisé au cours de la saison qui a précédé la coupe ($r=0,87$). Le maximum a été produit au cours des années 2002 et 2003 ($>5\text{kg/arbre}$), correspondant respectivement à l'année la plus sèche et à l'année la plus humide. Les quantités de bois de taille produites ont conditionné dans une large mesure le niveau de production, qui se trouve lui-même positivement corrélé à l'accroissement du diamètre de la frondaison chez les variétés Manzanille, Chétoui et Picholine, avec des valeurs de r allant de 0,45 à 0,61. Cette marge de valeurs montre que d'autres paramètres sont impliqués dans la détermination du rendement et notamment la température, les niveaux de la demande climatique ET_o et de la satisfaction des besoins en eau, $(P+I/ET_c)$.

L'influence des facteurs extrinsèques s'est traduite par des niveaux de croissance et de production variables. Les relations établies entre la croissance en hauteur des jeunes oliviers plantés à Mornag et les températures maximale et minimale ont montré une réponse différente qui s'est traduite par l'absence de corrélation entre l'accroissement en hauteur et la température

au cours des années 2001 et 2002 et la présence de corrélations positives hautement significatives en 2000 et en 2003 ($r=0,79$). Pour les années 1998 et 1999 des valeurs de r inférieures à 0,65 sont trouvées. Les observations qui s'écartent du nuage de points correspondent aux mesures effectuées au cours des vagues de croissance printanières et automnales (1998, 2001 et 2002). Lorsque ces mesures sont éliminées, les coefficients de corrélation doublent et même triplent. On remarque toutefois que les plus faibles valeurs de r sont toujours celles de 2001 et de 2002 qui sont des années de sécheresse. Ces résultats montrent que de manière générale, l'accroissement en hauteur est hautement corrélé à la température, avec quelques exceptions notamment pour les variétés Manzanille et Picholine en 2002, Chétoui en 2001 et 2002 et pour Meski en 1999, qui sont des années où l'eau a manqué, soit au niveau de la parcelle (Mornag) à cause d'une panne de réseau (1999) soit à cause de la sécheresse (2001-2002). Des corrélations similaires sont obtenues entre la hauteur de l'arbre et l'évapotranspiration de référence qui intègre tous les paramètres climatiques, avec des valeurs de r toujours plus élevées lorsque les mesures réalisées au cours des vagues de croissance automnale ou printanière sont écartées. L'accroissement en hauteur a évolué en fonction de l' ET_o en prenant l'allure de cloche (1999) ou d'une exponentielle (2000) en rapport avec les conditions de l'année. Les vitesses maximales de croissance en hauteur ont été observées pour des valeurs de l' ET_o allant de 3 à 6 mm/jour en fonction de la variété. Les résultats relatifs à l'influence des facteurs extrinsèques ont également montré que la production d'olives est corrélée à la quantité d'eau fournie. Toutefois, des réponses différentes sont obtenues selon le régime hydrique et la variété. Il apparaît que l'augmentation de la quantité d'eau d'irrigation ne se traduit pas nécessairement par une amélioration du statut hydrique du sol ou de la plante, de la production ou de l'EUE. A Taoues-Sfax, les meilleurs

rendements (5 à 7 T/ha) ont été obtenus chez les variétés Chemlali, Chétoui et Manzanille (7-8 ans) avec une restitution de 20-50%ET_c corroborant de nombreux auteurs [6], [12], [13], [14], [41], [42], [43] montrant qu'un traitement hydrique de 100%ET_c n'améliore pas les rendements, bien au contraire, l'excès d'eau détériore dans une certaine mesure la qualité du produit fini et notamment celle de l'huile [44], [45], [46] et [47].

Les multiples relations développées en rapport avec le calibre des olives ont montré que la croissance diamétrale des fruits est étroitement liée aux quantités d'eau fournies corroborant [13] qui ont étudié l'effet de l'irrigation régulée sur la croissance des olives. Cependant, il faut noter que la réponse à l'eau varie en fonction du niveau de production. Pour de faibles rendements l'accroissement annuel du diamètre des fruits a été important. Cette corrélation négative est significative au seuil de 5% ($r=0,62$), ceci montre que lorsque les réserves de l'arbre ne sont pas suffisantes pour soutenir la charge pendante, l'olivier procède à un éclaircissage naturel des fruits qui se traduit par une réduction de la production avec une amélioration de la taille des olives qui restent sur l'arbre [45], [48] et [49]. Ce processus se produit essentiellement au cours des premiers stades de développement des olives [50] et [51]. A cet effet, **Proietti et al., (2006)** [52] évaluant l'effet du rapport feuille/nombre de fruits sur la croissance des olives, ont montré que toutes les phases de leur développement sont affectées par la disponibilité des assimilats et en particulier celui qui suit la nouaison. A partir de ce stade, les équilibres nutritifs sont modifiés en faveur des olives en croissance qui deviennent le principal puits, drainant une masse importante d'assimilats aux dépens même des racines [21], [53] et [54], et par conséquent, la réponse de l'arbre à l'eau va dépendre de l'étendue de l'appareil foliaire qui est rapportée comme étant corrélée au nombre de fruits produits, lui-même lié aux quantités d'eau fournies avec un optimum de 71-89%ET_c. Les résultats

obtenus à Mornag ont montré que le rapport N/SF chez des oliviers âgés de six ans a varié de 0,15 (Meski) à 2,59 (Chétoui), sans pour autant faire apparaître une quelle conque corrélation entre N et SF, probablement en raison du nombre réduit d'observations. Les variétés Picholine et Manzanille ont présenté des rapports respectifs de 1,21 et 1,55 fruit/cm² de feuille, contre 0,15 fruit/cm² pour Meski. La variété Chétoui a produit en moyenne 2,59 fruits par cm² de feuilles. Elle montre une plus grande efficacité de l'utilisation des ressources carbo-hydratées, dont la production, la mise en réserve et la distribution est tributaire de la quantité de radiation interceptée et du potentiel de la variété à l'utiliser.

Il apparaît ainsi que tous ces facteurs interfèrent pour contrôler la distribution des carbohydrates et l'allongement des rameaux au début de la saison de croissance qui se fait grâce aux réserves propres de la structure végétative, considérée dès lors comme unité indépendante. Mais après la nouaison des fruits, leur développement sera d'autant plus important que la pousse qui les porte est photo-synthétiquement active. Le nombre de feuilles/pousse et leur degré de maturité ainsi que la longueur des rameaux porteurs de ces fruits interviennent dans ce processus. Les résultats obtenus au niveau de la collection variétale de Nabeul ont montré l'existence d'une corrélation hautement significative entre l'accroissement du diamètre des fruits et celui des pousses qui ont assuré un accroissement annuel en longueur supérieur à 45% ($r=0,89$). C'est le cas des variétés Azeitera, Conserva, Galega, Sigoise, Picholine, Besbassi, Tounsi et Rkhami. Pour les rameaux qui ont assuré moins de 45% d'accroissement annuel, aucune relation n'a pu être établie entre le développement des pousses et celui des fruits, dont l'accroissement diamétral est resté fortement tributaire de la disponibilité de l'eau. A ce propos, il apparaît que la réponse de l'arbre est plus affectée par la charge en fruits que par la dose d'irrigation et que la réponse à l'eau est beaucoup plus nette au cours des

années 'off' et qu'une charge excessive inhiberait la formation de nouveaux bourgeons qui contribueraient normalement dans le modèle biannuel de production [9], [16], [55], [56]. Par ailleurs **Gucci et al., (2007)** [43] et **Barone et al., (2014)** [57] ont rapporté l'existence de relations négatives entre le poids des olives et la production aussi bien en année 'on' que 'off' et qui sont considérées comme un indicateur du rapport feuille/fruit. Pour une production élevée, les poids moyens de fruits et des noyaux sont plus faibles. Cette relation touche en particulier le développement du mésocarpe [45]. **Rapoport et al., (2004)** [51] et **Barone et al., (2014)** [57], en comparant le poids du mésocarpe et des noyaux proportionnellement à celui des olives, ont montré qu'en année 'off' les fruits étaient plus gros avec une proportion moindre de chair et un poids plus important des noyaux, sachant que le développement de ces derniers se fait au cours d'une période plus clémente en utilisant les photo-assimilats synthétisés au cours de la même année au niveau de la pousse qui les porte alors que les réserves emmagasinées alimenteraient plutôt le mésocarpe en développement ([49] et [58]), en donnant la priorité aux fruits les plus proches et en année 'off' aux pousses qui ont une position distale, indépendamment du niveau hydrique.

L'efficacité de l'utilisation de l'eau par les fruits, représentée par leur efficacités EUE_{fruit} varie en fonction de la variété et du stade de développement de l'olive comme l'ont déjà signalé d'autres auteurs [50] et [51]. Lorsque l'accroissement du diamètre des olives au cours du stade 1 de leur développement est supérieur à 50% et variant de 25 à 30% pour les autres phases de croissance, des valeurs élevées de EUE_{fruit} sont obtenues. L'accroissement pendant la phase 1 est déterminant pour l'obtention d'une bonne efficacité finale, contrairement à l'accroissement de la phase 3 qui est peu influant, son EUE_{fruit} est toujours inférieur à 4 mm^3 quelque soit le niveau des apports d'eau (P+I). L' EUE_{fruit} dépend aussi du niveau de couverture du sol

par la végétation. Des valeurs élevées de EUE_{fruit} sont obtenues pour une couverture optimale du sol située entre 15% et 17%. Celle-ci traduit l'étendue de l'appareil végétatif et son importance tout comme la quantité de bois de taille produite qui se trouve corrélée à l' EUE_{fruit} . La couverture du sol est par ailleurs liée au périmètre du tronc, elle est d'autant plus élevée que ce périmètre est important. De ce fait, il est possible de prendre ce dernier comme un indicateur de l'état hydrique de l'arbre d'autant plus qu'il est hautement corrélé à la production d'olives.

Par ailleurs, les résultats obtenus en relation avec l'état hydrique du sol en rapport avec celui de la plante et sa consommation en eau, montrent que l'augmentation de la dose d'irrigation même si elle a amélioré significativement l'humidité du sol (Taoues) au niveau de tous les horizons -avec toutefois une distribution hétérogène de l'eau et une teneur maximale observée à 0,4-0,6m de profondeur- elle s'est répercutée négativement sur le niveau de production chez les variétés Picholine, Coratina, Chétoui et Manzanille en passant de $50\%ET_c$ à $100\% ET_c$ ($P+I > 300 \text{ mm}$). Ce résultat est en accord avec celui de **Fernandez et Moreno (1999)** [25] montrant que le maintien d'un petit déficit hydrique permet de mieux contrôler la végétation et fournir une meilleure distribution des assimilats [59], contrairement à **Michelakis (2000)** [7] et **Grattan et al., (2006)** [46] qui ont observé un échange hydrique plus intense et un niveau d'utilisation de l'eau plus élevé dans les blocs qui ont reçu des quantités d'eau d'irrigation plus élevées (-0.02-0,06MPa) matérialisées par des taux d'humidité du sol plus faibles ; selon ces auteurs, les blocs qui ont reçu moins d'eau ont présenté des échanges plus modestes et une plus faible consommation, que nous avons évalué dans l'essai de Mornag à travers le suivi de l'évolution de la variation du flux de la sève brute au niveau du tronc. Les résultats relatifs à ces mesures, effectuées durant les campagnes 2003-2004 sur des oliviers Chétoui âgés de six ans, ont

montré que la consommation en eau est principalement influencée par le niveau du rayonnement global R_g intercepté par les arbres. Les valeurs maximales sont atteintes, *en général*, au cours des heures de forte demande climatique. Leur niveau dépend de la saison et de l'état hydrique du sol. En automne, les valeurs ont varié de 2,7 à 3,5 litres/dm²/heure pour une demande climatique faible à modérée ($1,0 < R_g < 2,0$ Mj/h/m²) et ont oscillé entre 3,5 et 4,0 l/dm²/h pour une demande climatique plus élevée (R_g compris entre 2,5 et 3,0 Mj/h/m²). En été et pour une forte demande climatique ($R_g > 3,0$ Mj/h/m²) et en présence de l'eau, la consommation horaire des jeunes oliviers a varié de 3,0 à 4,0 l/dm² et n'a pas dépassé 3 l/dm²/h lorsque la demande climatique est passée à 3,0 Mj/h/m² avec l'apparition d'un plateau durant les heures de forte demande en eau, qui résulte de l'effet d'une régulation stomatique effectuée par l'olivier dans le but de limiter les pertes d'eau durant les heures de forte demande évaporatoire [60]. Le maintien de valeurs de flux plus ou moins stables au milieu des journées à fort rayonnement (palier) traduit une incapacité du système racinaire à satisfaire cette demande vue la faible teneur en eau du sol qui est corrélée négativement au contenu relatif en eau des feuilles, lui-même lié au potentiel hydrique foliaire (Ψ_{feuille}) mesuré à midi. Celui-ci a varié en fonction du cultivar, de la dose d'eau appliquée, de la réserve en eau du sol et de la période de mesure. Les suivis effectués à Taoues ont montré de faibles différences entre les traitements et les variétés au démarrage de la saison ; la réserve en eau du sol aurait été à ce stade encore élevée pour induire une baisse remarquable de Ψ_{feuille} comme l'ont signalé **Deidda et al., (1990)** [61]. Plus tard dans la saison, d'importantes variations ont été observées avec des réponses différentes selon la variété et la dose d'irrigation. Les variétés Chemlali et Coratina ont montré une baisse du potentiel foliaire lorsque les doses d'eau **ont augmenté** de 20% à 50%ET_c. Chez la variété Picholine le potentiel foliaire a baissé quand la quantité d'eau appliquée

est passée de 50%ET_c à 100%ET_c. Certains auteurs ([10] et [29]) attribuent les différentes réponses des cvs., à leur potentiel variétal, en outre la variété Coratina est plus sensible à l'eau que le cultivar Picholine. Dans le cas de la variété Chemlali, la dose de 33%ET_c n'a pas permis de répondre aux besoins de la variété ; sa production maximale a été obtenue avec un apport saisonnier moyen plus important (400 mm). Cette variété s'est comportée différemment dans la région du Chaal sous des conditions culturales différentes et avec des écartements beaucoup plus importants [62]. Une restitution de 33%ET_c lui a été suffisante pour couvrir correctement les besoins en eau des arbres qui sont âgés de plus de 70 ans et disposant d'un système racinaire beaucoup plus développé ; il est doté d'une grande capacité pour alimenter cette culture et à autoréguler son potentiel hydrique interne, qui a atteint dans certains cas - 2,5 MPas.

D'un autre côté, les résultats ont montré que le potentiel hydrique de la feuille mesuré à midi Ψ_{feuille} est corrélé à la résistance stomatique R_s avec une valeur optimale de R_s égale à 4 cm/s, ne corroborant qu'en partie les résultats de **Wullschleger et al., (1998)** [63] et **Wahbi et al., (2005)** [64], qui ont observé une corrélation linéaire entre Ψ_{feuille} et R_s pour une marge de valeurs donnée. A 50%ET_c et 100%ET_c les valeurs de Ψ_{feuille} sont également corrélées au CRE par une fonction polynomiale avec un minimum situé à 82-85%. A 20%ET_c, le paramètre Ψ_{feuille} est corrélé à CRE par une fonction linéaire et positive, lequel est lui-même corrélé à la surface des feuilles avec une valeur optimale de 5-6 cm² pour une teneur en eau du sol de 60 mm (profil 1m). Au niveau variétal, la relation entre CRE et SF est représentée par des comportements différents. Pour certaines variétés aucune corrélation n'a pu être établie.

Aussi, les résultats ont montré que le potentiel est corrélé positivement et linéairement à la conductance stomatique g_s pour des apports d'eau réduits de 20 et 50%ET_c avec des valeurs respectives de r de

0,84 et 0,96. Pour le traitement 100%ET_c, Ψ_{feuille} a évolué différemment selon l'année et le site soit inversement à g_s soit relié à g_s par une fonction polynomiale avec une valeur optimale de 450 mmole/m²/s. Ce comportement est différent de celui rapporté dans la littérature par plusieurs auteurs ([23], [24], [29], [46] et [64]) qui ont indiqué que le potentiel foliaire baisse lorsque les apports d'eau ne sont pas suffisants pour établir un gradient suffisamment important pour extraire l'eau du sol. Il semblerait que cette règle ne soit pas toujours vérifiée et notamment sous irrigation déficitaire. Plusieurs explications sont avancées. La réponse de l'arbre peut, en effet, être modifiée à cause de l'effet de l'hétérogénéité de la distribution de l'eau dans la zone racinaire, en plus de l'effet de la charge en fruits et de l'adaptation variétale. **Chehab (2007)** [42] explique cette baisse du potentiel concomitante à l'augmentation de la dose par une augmentation de l'activité des feuilles ou à un plus grand transfert des assimilats vers les fruits surtout pendant les stades de maturation et de synthèse des huiles. **Wahbi et al., (2005)** [64] en testant la technique d'irrigation par zone racinaire ont rapporté la présence de signalisation chimique émise par les racines qui se trouvent dans les zones non humectées chez des arbres irrigués à pleine dose. **Fernandez (2006)** [18] indique que la fermeture des stomates des feuilles se fait en réponse à la partie la moins humide du système racinaire qui envoie des signaux chimiques de stress, sur la base desquels se feront la régulation stomatique et la fermeture éventuelle des stomates même lorsque l'olivier est irrigué. En conséquence, nous pouvons observer des variations du potentiel plus importantes que celles qui seraient induites par le traitement hydrique lui-même. En raison de ces variations, de nombreux auteurs recommandent l'utilisation de paramètres d'évaluation de l'état hydrique de l'olivier moins sensibles aux variations micro-environnementales que le potentiel foliaire mesuré à midi, par exemple le potentiel de

base ou le potentiel de la tige [18] et [30]. Par ailleurs, l'extrapolation des résultats de mesures du potentiel foliaire pour la gestion de l'irrigation de la parcelle peut nous induire en erreur étant donné que la réponse dépend de facteurs propres à l'arbre comme l'étendue du système racinaire ou de sa surface foliaire ou de la variété comme le nombre de stomates ou l'épaisseur de la cuticule...etc., qui influencent directement le niveau de transpiration de l'olivier [25], [36] et [53].

La diversité des inter-relations montre la complexité des mécanismes impliqués dans les relations hydriques surtout à l'échelle variétale [19] et [65]. En particulier la variabilité observée au niveau de la mesure du potentiel de la feuille qui ne traduit pas toujours l'état hydrique réel de l'arbre, ce qui peut générer des erreurs d'estimation des besoins en eau d'irrigation. En effet, la mesure entreprise doit refléter correctement l'équilibre entre l'état du sol et de la plante pour éviter les effets néfastes sur la production, en particulier l'accentuation de l'alternance des productions [16], [48] et [66]. Au niveau des apports hydriques, un optimum est requis pour répondre simultanément aux besoins de production et de la végétation (production de carbohydrates) mais qui varie amplement avec les conditions de culture et notamment son âge et les propriétés du sol. A Mornag, une valeur optimale de P+I/ET_c de 1,4 a été obtenue au cours des années 2001 et 2002 (années sèches) pour les quatre variétés Meski, Chétoui, Picholine et Manzanille et de 3,4 ET_c en 2003, qui est une année pluvieuse au cours de laquelle nous avons observé un développement très important des racines occupant plus de 11m³ de volume du sol. Ceci veut dire que la réponse de l'olivier ne dépend pas strictement de la quantité d'eau qui se trouve dans le sol mais plutôt de la capacité du système racinaire à extraire cette eau et son extension qui est déterminante dans l'estimation des besoins en eau de la culture ; le fait de considérer l'ensemble de la surface du sol exploitée par les racines dans nos calculs de l'ET_c et son

évolution avec l'âge de la culture nous permet d'utiliser des valeurs de K_c (I^*/ET^*) plus adaptées à la culture en place. Cette étude, réalisée de manière concomitante avec celle du développement des parties aériennes, a montré que la surface du système racinaire est corrélée avec celle de la frondaison par une relation linéaire et positive, hautement significative ($r=0,94$). Le rapport des surfaces S_r/D_f a varié de 20 à 0,9 entre la 1^{ère} et la 5^{ème} année de culture et ont été plus stables (0,9-1,7) après la 3^{ème} année de plantation, montrant que l'équilibre entre les parties aérienne et racinaire s'établit à cet âge. Ceci confirme bien l'existence de relation sectorielle racine-charpente selon laquelle chaque partie de la frondaison serait directement liée à une racine principale qui assurerait son alimentation hydrique et minérale [67] et donc, toute intervention au niveau de l'une ou de l'autre des deux parties affectera l'équilibre de l'arbre, en faveur du développement racinaire ou de celui de la frondaison pour ré-atteindre l'équilibre. La surface occupée par les racines (S_r) se trouve considérablement réduite après la pratique de la taille de formation, ce qui a stimulé fortement l'émission de nouveaux bourgeons végétatifs, générant un rapport optimal de la longueur des racines/surface foliaire de 2,3 Km/m² [68]. Ceci est cohérent avec les résultats de **Proeitti et Tombesi, (1996)** [48], montrant que la taille est un facteur déterminant dans la structuration du port de l'arbre et l'élaboration des rendements; une taille appropriée augmente significativement le nombre de sites potentiels de différenciation des bourgeons floraux à travers un allongement plus important des pousses alors que le maintien d'une frondaison excessivement dense donne, pour un volume donné de la frondaison une surface de fructification plus faible. **Barone et al., (2014)** [57], indiquent que la taille tout comme l'éclaircissage des fruits affectent la disponibilité de l'eau dans le sol; et que ces pratiques sont utilisées dans les zones semi-arides pour améliorer le calibre des olives

plutôt que pour augmenter le niveau de production. De leur côté **Connor et Ferreres (2005)** [68] rapportent que la taille modifie l'indice foliaire qui augmente en adoptant des formes excurrentes, engendrant une augmentation du rendement.

Cependant, la pratique de la taille n'explique qu'en partie la variation de la dynamique de croissance et de production observées au cours des années 2001, 2002 et 2003 et qui serait liée à l'implication d'autres facteurs qui contrôlent la production de nœuds, l'expansion des feuilles, l'épaississement des rameaux. **Connor et Ferreres, (2005)** [68] et **Martin-Vertedor et al., (2011a)** [16] évoquent la dominance apicale qu'exerce le bourgeon terminal sur ses axillaires et les équilibres hormonaux auxine/gibberelline ([69] et [70]) comme facteurs régulant l'évolution du rapport croissance végétative/production, mais aussi les interactions entre les organes source et puits [16] et [66] et l'alternance de la production [55] qui serait contrôlée par des signaux en provenance du noyau en développement et qui inhiberaient l'élaboration de nouvelles structures productives [58].

CONCLUSION

Considérant les objectifs de ce travail on peut dire que la présence de l'eau de manière continue depuis le début du printemps jusqu'à la véraison est primordiale pour aboutir à un équilibre entre les paramètres de végétation et de production. Une restitution de 50-60% ET_c paraît convenir à la plupart des sites et des variétés étudiées. Les résultats obtenus au niveau des différentes oliveraies permettent de dégager deux points essentiels: (1) l'apport d'un surplus d'eau se traduit chez certaines variétés par une consommation de luxe sans pour autant investir dans le fruit ou au niveau du tonnage et (2) la complexité des processus impliqués dans les relations hydriques.

A l'échelle de l'arbre ou de ses structures, les corrélations obtenues montrent que le taux de couverture du sol par la végétation,

joue un rôle primordial dans ces relations ainsi que dans l'élaboration des rendements, l'efficacité d'utilisation de l'eau et la consommation en eau en rapport avec les périodes de croissance de l'arbre et des fruits. Il apparaît également que les paramètres de croissance suivis sont tous corrélés, entre eux et avec le système racinaire. Par conséquent, toute intervention de nature à réduire ou à stimuler la croissance de l'une des parties de la plante se répercutera sur l'autre, en particulier, la pratique de la taille de

formation pendant cette période de jeune âge. De ce fait il est recommandé d'optimiser cette pratique avant l'entrée effective en production afin de maximiser le développement de la frondaison qui est la base de la fructification et d'éviter les coupes sévères de correction. Des investigations plus poussées sont donc nécessaires telle que l'étude de l'efficacité de fonctionnement de cette biomasse sous restriction hydrique contrôlée et son effet sur les paramètres de croissance et de production.

Références bibliographiques

- [1] Hamza M., 2009 : La politique de l'eau en Tunisie. Conférence Régionale sur la gouvernance de l'eau, Echanges d'expériences entre l'OCDE et les pays arabes, CITET-Tunis, 8-9 Juillet 2009.
- [2] Vernet A., Mousset P., Gouayeb O., 1970 : Alimentation en eau de l'olivier. Séminaire Oléicole National. Sfax 27- 29 Janvier 1970.
- [3] Rapport de la Commission Nord pour la Promotion de la Culture de l'Olivier dans le Nord de la Tunisie, 2011. Pp11.
- [4] Ben Mechlia, N., Hamrouni A., 1978: Alternance et production potentielle chez l'olivier irrigué. Séminaire International sur l'olivier et autres plantes oléagineuses cultivées en Tunisie. Mahdia. 3-7 Juillet 1978. pp. 199-208.
- [5] Châabouni M., 1982 : L'économie de l'eau et les systèmes d'irrigation sur oliviers dans les conditions arides de la Tunisie. Séminaire International sur l'utilisation des eaux chargées en Oléiculture, Tunisie, Octobre 1982.
- [6] Michelakis N., 1990: Yield Response of Table and Oil Olive Tree Varieties to Different Water Doses under Drip Irrigation. *Acta Horticulturae*, 286, 271-274.
- [7] Michelakis N., 2000: Water Requirements of Olive Tree on the Various Vegetative Stages. *Proceedings of the International Course on Water Management and Irrigation of Olive Orchards*, Cyprus, April 2000, 39-49.
- [8] Fernandez J.E., Paloma M.J., Diaz-Espejo A., Giron I.F., 2003: Influence of Partial Soil Wetting on Water Relation Parameters of the Olive Tree. *Agronomie*, 23:545-552.
- [9] Moriana A.F., Orgaz F., Pastor M., Fereres E., 2003: Yield Response of a Mature Olive Orchard to Water Deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128: 425-431.
- [10] Tognetti R., D'Andria R., Lavini A., Morelli, G., 2006 : The Effect of Deficit Irrigation on Crop Yield and Vegetative Development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino). *European Journal of Agronomy*, 25, 356-364.
- [11] D'Andria R., Tognetti R., Morales-Sillero A., Fernandez J.E., Sebastiani L., Troncoso A., 2008 : "Deficit Irrigation and Fertirrigation Practices in Olive Growing: Convergences and Divergences in Two Case Studies," *Plant Biosystems*, Vol. 142, No. 1, 2008, pp. 138-148.
- [12] Melgar J.C., Mohamed Y., Navarro C., Parra M.A., Benlloch M., Fernandez-Escobar, R., 2008: Long-Term Growth and Yield Responses of Olive Trees to Different Irrigation Regimes. *Agricultural Water Management*, 95, 968-972.
- [13] Iniesta F., Testi L., Orgaz F., Villalobos F.J., 2009 : The Effects of Regulated and Continuous Deficit Irrigation on the Water Use, Growth and Yield of Olive Trees. *European Journal of Agronomy*, 25, 258-265.
- [14] Palease A.M., Nuzzo V., Favati F.,

- Pietrafesa A., Celano G., Xiloyannis C., 2010: Effects of water deficit on the vegetative response, yield and oil quality of olive trees (*Olea europaea* L., cv. Coratina) grown under intensive cultivation. *Sci. Hortic.*, 125: 222-229.
- [15] Pérez-Lopez D., Ribas F., Moriana A., Olmedilla N., De Juan A., 2007: The effect of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Agric. Water Manage.* 89, 297-304.
- [16] Martin-Vertedor A.I., Perez Rodriguez J.M., Prieto Losada M.H., Fereres Castiel E., 2011: Interactive responses to water deficits and crop load in olive (*Olea Europaea* L., cv. Morisca). I-growth and water relations. *Agric. Water Manage.* 98, 941-949.
- [17] Ghrab M., Gargouri K., Bentaher H., Chartzoulakis K., Ayadi M., Ben Mimoun M., Masmoudi M., Ben Mechlia N., Psarras G., 2013: Water Relations and Yield of Olive Tree (cv. Chemlali) in Response to Partial Root-Zone Drying (PRD) Irrigation Technique and Salinity under Arid Climate. *Agricultural Water Management*, 123, 1-11.
- [18] Fernandez J.E., 2006 : Irrigation Management in Olive, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiologia de Sevilla (IRNAS), 295-305.
- [19] Guerfel M., Baccouri B., Boujnah D., Zarrouk M., 2007: Seasonal Changes in Water Relations and Gas Exchange in Leaves of Two Tunisian Olives (*Olea europaea* L.) Cultivars under Water Deficit. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82, 721-726.
- [20] Palese A.M., Nuzzo V., Dichio B., Celano G., Romano M., Xiloyannis C., Ferreira M.I., Jones H.G., 2000 : The Influence of Soil Water Content on Root Density in Young Olive Trees. *Acta Horticulturae*, 537, 329-336.
- [21] Dichio B., Romano M., Nuzzo V. Xiloyannis C., 2002. Soil Water Availability and Relationship between Canopy and Roots in Young Olive Trees (Cv. Coratina). *Acta Horticulturae*, 586, 255-258.
- [22] Dichio B., Xiloyannis C., Angelopoulos K., Nuzzo V., Bufo S.A., Celano G., 2003 : Drought induced variations of water relations parameters in *Olea europaea*. *Plant soil* 257, 381-389.
- [23] Pastor M., 2005: Cultivo del olivo con riego localizado. In: Junta de Andalucía y Ediciones Mundi-Prensa (Eds), 783 pp plus CD, ISBN 84-8476-229-7.
- [24] Naor A., 2006: Irrigation scheduling and evaluation of tree water status in deciduous orchards. *Horticultural Reviews* 32, 111–165.
- [25] Fernandez J.E., Moreno F., 1999 : Water Use by the Olive Tree. *Journal of Crop Production*, 2,101-162.
- [26] Palomo M.J., Moreno F., Fernandez J.E., Diaz-Espejo A., Giron I.F., 2002: Determining Water Consumption in Olive Orchards Using the Water Balance Approach. *Agricultural Water Management*, 55 :15-5.
- [27] Habaieb H., Masmoudi-Charfi C., 2003 : Calcul des besoins en eau des principales cultures exploitées en Tunisie: Estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques. Cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte, *Sécheresse*, 14 : 1-9.
- [28] Orgaz F., Testi L., Villalobos F.J., Fereres E., 2006 : Water Requirements of Olive Orchards. Determination of Crop Coefficients for Irrigation Scheduling. *Irrigation Science*, 24, 77-84.
- [29] Ben Rouina B., Trigui A., D'andria R., Boukhriss M., Chaieb M., 2007: Effects of Water Stress and Soil Type on Photosynthesis, Leaf Water Potential and Yield of Olive Trees (*Olea europaea* L. cv Chemlali Sfax). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 1484-1490.
- [30] Shackel K.A., Lampinen B., Sibbet S., Olsen, W., 2000: The relation of midday stem water potential to the growth and physiology of fruit trees under water limited conditions. *Acta Horticulturae* 537, 425–430.
- [31] M'sallem M., Say M.B., 1994: Normes d'installation des plantations intensives d'olivier. Série document Technique. Institut de l'Olivier.
- [32] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D.,

- Smith M., 1998: Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements. *Irrigation and Drainage Paper* 56, FAO, Rome, 300.
- [33] Allen R.G., Pruitt W.O., Wright J.L., Howell T.A., Ventura F., Snyder R., Itenfisu D., Steduto P., Berengena J., Basalga J., Smith M., Pereira L.S., Raes D., Perrier A., Alves I., Walter I. Elliott R., 2006: A Recommendation on Standardized Surface Resistance for Hourly Calculation of Reference ET_0 by the FAO56 PM-Method. *Agricultural Water Management*, 81, 1-22.
- [34] Jabloun M., Sahli A., 2008: Evaluation of FAO-56 Methodology for Estimating Reference Evapotranspiration Using Limited Climatic Data Application to TUNISIA. *Agricultural Water Management*, 95: 707-15.
- [35] Annandale J.G., Jovanovic N.Z., Benadé N., Bchir A., Boussadia O., Lemeur R., Braham M., 2013 : Water Use In Olive Orchards Estimated by Physiologic and Climatic Methods in Tunisia. *European Scientific Journal*, 9.
- [36] Granier A., 1985: Une nouvelle méthode pour la mesure des flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For* 42 (2), 193–200.
- [37] Do F., Rocheteau A., 2002: Influence of natural temperature gradients on measurements of xylem sap flow with thermal dissipation probes.1. Field observations and possible remedies. *Tree Physiology* 22, 641–648.
- [38] Masmoudi-Charfi C., Masmoudi M.M., Karray-Abid J., Ben Mechlia N., 2012: The Sap Flow Technique: A Precise Means to Estimate Water Consumption of Young Olive Trees (*Olea europaea* L.). Chapter 2 in *Irrigation Management Technologies and Environment Impact*, Nova Sciences Publishers, NY.
- [39] Masmoudi-Charfi C., Habaieb H., 2014 : Rainfall Distribution Functions for Irrigation Scheduling: Calculation Procedures Following Site of Olive (*Olea europaea* L.) Cultivation and Growing Periods. *American Journal of Plant Sciences*, 5: 2094-2133.
- [40] Masmoudi-Charfi C., 2013. Growth of Young Olive Trees. Special Issue on Plant Growth and Development. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 1316-1344. <http://www.scirp.org/journal/ajps>.
- [41] Michelakis N., 1995 : Effet des disponibilités en eau sur la croissance et le rendement des oliviers. *Olivae*, 56, 29-39.
- [42] Chehab H., 2007 : Etude écophysiological, agronomique, de production et relation source-puits chez l'Olivier de table en rapport avec les besoins en eau. Doctorat Sci. Agronomiques, Institut National Agronomique de Tunisie, Tunis.
- [43] Gucci R.; Lodolini E.; Rapoport H.F., 2007 : Productivity of olive trees with different water status and crop load. *Journal of Horticultural science and Biotechnology*, 82, 648-656.
- [44] Patumi M., D'Andria R., Marsilio V., Fontanazza G., Morelli G., Lanza B., 2002 : Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (*Olea europaea* L., cv. Kalamata) in different irrigation regime. *Food Chem.*, 77: 27-34.
- [45] Lavee S., Wodner M., 2004: The effect of yield, harvest time and fruit size on the oil content in fruit of irrigated olive trees (*Olea europaea* L.), cvs. Barnea and Manzanillo. *Scientia Horticulturae* 99:267-277.
- [46] Grattan S.R., Berenguer M.J., Connel J.H., Polito V.S., Vossen P.M., 2006: Olive oil production as Influenced by different quantities of applied water. *Agric. Water Manage.* 85, 133-140.
- [47] Dabbou S., Chehab H., Brahmi F., Esposto S., Elvaggini R., Tatitcchi A., Servili M., Montedoro G.F., Hammami M., 2010: Effect of Three Irrigation Regimes on Arbequina Olive Oil Produced under Tunisian Growing Conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 763-768.
- [48] Proietti P., Tombesi A., 1996: Translocation of assimilates and source-sink influences on productive characteristics of the olive tree. *Adv. Hortic. Sci.*, 10: 11-14.
- [49] Hammani S.B.M., Manrique T., Rapoport H.F., 2011: Cultivar based fruit size in olive depends on different tissue and cellular processes throughout growth.

- Scientia Horti. 130: 445- 451.
- [50] Rallo L., Rapoport H.F., 2001: Early Growth and Development of the Olive Fruit Mesocarp. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76, 408-412.
- [51] Rapoport H.F., Costagli G., Gucci R., 2004: The effect of water deficit during early fruit development on olive fruit morphogenesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129:121-127.
- [52] Proietti P.; Nasini L.; Famiani F., 2006: Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 44:275-285.
- [53] Michelakis N., Vougioucalou E., 1988: Water use, root and top growth of olive trees for different methods of irrigation and levels of soil water potential. *Olea*, 19, 17-31.
- [54] Rallo L., Suarez M. P., 1989: Seasonal distribution of dry matter within the olive fruit - bearing limb. *Adv. Hortic. Sci.*, 3: 55-59.
- [55] Lavee S. 2007: Biennial bearing in olive (*Olea europaea*). *Annales: Series Historia Naturalis* 17:101-112.
- [56] Dag A.; Bustan A.; Avni A.; Tzipori I.; Lavee S., Riov J., 2010: Timing of fruit removal affects concurrent vegetative growth and subsequent return bloom and yield in olive (*Olea europaea* L.). *Scientia Horti*. 123:469-472.
- [57] Barone E., La Mantia M., Marchese A., Marra Francesco P., 2014: Improvement in yield and fruit size and quality of the main Italian table olive cultivar 'Nocellara del Belice'. *Sci.Agric.* vol.71 no.1 Piracicaba Jan./ Feb. 2014.
- [58] Bustan A., Avni A.; Lavee S., Zipori I.; Yeselson, Y., Schaffer A.A., Riov J., Dag A., 2011: Role of carbohydrate reserves in yield production of intensively cultivated oil olive (*Olea europaea* L.) trees. *Tree Physiology* 31:519-530.
- [59] Chehab H., Mechri B., Benmariem F., Hammami M., Ben Hadj S., Braham M., 2009: Effect of Different Irrigation Regimes on Carbohydrate Partitioning in Leaves and Wood of Two Table Olive Cultivars *Olea europaea* L. cv., Meski and Picholine. *Agricultural Water Management*, 96, 293-298.
- [60] Abid-Karray J., 2006: Bilan hydrique d'un système de cultures intercalaires (Olivier – Culture maraîchère) en Tunisie Centrale: Approche expérimentale et essai de modélisation. Thèse de Doctorat, Univ. de Montpellier II, France, pp. 172.
- [61] Deidda P., Dettori S., Filigheddu M.R., Viridis F., Pala M., 1990 : Lysimetric analysis of water requirements for young table - olive trees. *Acta Horticulturae* 286: 259-261.
- [62] Ben Ahmed C., Ben Rouina B., Boukhris M.M., 2007: Effect of Water Deficit on Olive Trees cv., Chemlali under Field Conditions in Arid Region in Tunisia. *Scientia Horti*. 113, 267-277.
- [63] Wullschlegel S.D., Meinzer F.C., Vertessy R.A., 1998: A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology* 18, 499–512.
- [64] Wahbi S., Wakrim R., Aganchich B., Tahri H., Serraj R., 2005: Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate. I. Physiological and agronomic response. *Agric. Ecost. Environ.* 106, 289-301.
- [65] Guerfel M., Baccouri B., Boujnah D., Zarrouk M., 2007: Evaluation of Morphological and Physiological Traits for Drought Tolerance in 12 Tunisian Olive Varieties (*Olea europaea* L.). *Journal of Agronomy*, 6, 356-361.
- [66] Castillo-Llanque F.J., Rapoport H.F, Navarro C., 2008. Interaction between shoot growth and reproductive behavior in olive trees. *Acta. Hortic.*, 791: 453-457.
- [67] Cruiziat P., Tyree M.T., 1990. La montée de la sève dans les arbres. *La Recherche*, N°220.
- [68] Connor D.J., Fereres E., 2005. *The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive*. Horticultural Review, Vol. 31, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.
- [69] Lavee S., 1989: Involvement of plant growth regulators and endogenous growth substances in the control of alternate

bearing. *Acta Horticulturae* 239: 311-322.

[70] Ulger S.; Sonmez S.; Karkacier M.; Ertoy N., Akdesir O., Aksu M., 2004 : Determination of endogenous hormones,

sugars and mineral nutrition levels during the induction, initiation and differentiation stage and their effects on flower formation in olive. *Plant Growth Regulation* 42:89-95.

Articles publiés en référence à ces travaux

Masmoudi-Charfi C., Masmoudi, M.M., Ben Mechlia, N., 2004 : Irrigation de l'olivier: Cas des jeunes plantations intensives. *Revue Ezzaitouna*, 10, 37-51.

Masmoudi-Charfi C., 2006 : Irrigation des plantations d'olivier. Document Technique, Institut de l'Olivier, Tunisie.

Masmoudi-Charfi C., Masmoudi M.M., Mahjoub I., Ben Mechlia N., 2007: Water Requirements of Individual Olive Trees in Relation to Canopy and Root Development. *Options Méditerranéennes*, Série B, Studies and Research, Vol. 1. CIHEAM. *Proceedings of the International Conference on Water saving in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs*, 73-80.

Masmoudi-Charfi C., Ayach-Mezghani M., Gouia M., Labidi F., Lamari S., Ouled Amor A., Bousnina M., 2010: Water Relations of Olive Trees Cultivated under Deficit Irrigation Regimes. *Scientia Horti*. 125, 573-

578.

Masmoudi-Charfi C., Abid-Karray J., Gargouri K., Rhouma A., Habaieb H., Daghari H., 2012: *Manuel d'Irrigation de l'Olivier, Techniques et Applications*, Institut de l'Olivier, 110 p.

Mezghani-Ayachi M., Masmoudi-Charfi C., Gouia M., Laabidi F., 2012: Vegetative and Reproductive Behavior of Some Olive Tree Varieties (*Olea europaea* L.) under Deficit Irrigation Regimes in Semi-Arid Conditions of Central Tunisia. *Scientia Horti*. 146, 152.

Masmoudi-Charfi C., Mezghani-Ayachi M., 2013: Response of Olive Trees to Deficit Irrigation Regimes: Growth, Yield and Water Relations. *Agricultural Research Updates*, Vol.6, NovaSciences Publishers, New York.

Masmoudi-Charfi C., Msallem M., Ben Abdallah S., 2015: Variabilité des paramètres morphologiques chez l'olivier et relations corrélatives. *Revue des BioRessources* Vol 5 N° 2 Décembre 2015.