



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريش

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Intitulé :

*Synthèse bibliographique de l'effet de l'irrigation
déficitaire contrôlée sur les paramètres végétatifs,
productifs et qualitatifs de l'olivier (Olea europaea L.).*

Présenté par : BENAMEUR Asma & RAGOUB Chahinez.

Soutenu le :12/06/2024, Devant le Jury:

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. SEBBANE Mahieddine	MAB	Faculté SNV-STU, Univ. De B.B.A.
Encadrant :	M. BELGUERRI Hemza	MCB	Université de B.B.A. Univ. De B.B.A.
Examineur :	M. FORTAS Bilel.	MAA	Université de B.B.A. Univ. De B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024.



Remerciement

*Nous remercions tout d'abord **ALLAH** le tout puissant de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.*

*Je remercie chaleureusement mon encadreur **Mr. BELGUERRI Hemza** pour son aide précieuse et ses conseils éclairés dans la direction de mon travail, ainsi que pour sa grande disponibilité et son immense gentillesse.*

*Nous exprimons notre reconnaissance à **Mr. SEBBANE Mahiedine** qui a accepté de présider jury.*

*Nous remercions également **Mr. FORTAS Bilel** que nous faisons l'honneur d'examiner ce mémoire nous exprimons notre reconnaissance aussi envers mes enseignants et mes camarades de promotion 2024.*

Nous remercions mon oncle Ammar pour la chance qui a donné à nous pour réaliser ce travail dans son verger.

*Nous remercions également toutes les familles **RAGOUR** et **BEN AMEUR**,*

A ceux et celles qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre, de près ou de loin dans mon travail, je les remercie du fond du cœur.

Merci à tous





Dédicace

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui
ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu au long de ces
longues années d'études, En signe de reconnaissance. Qu'ils trouvent ici,
l'expression*

*De ma profonde gratitude pour me voir
Réussir dans mes études.*

*A toute ma famille **RAGOUB, TEBBI.***

A mon frère et mes sœurs

BILALL, IMAN, AYA.

*Et surtout le petit bel enfant **KHALIL.***

*A tous mes amis de promotion de 2^{ème} année master **SNV***

Toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

*En fin, je remercie mon cher binôme, **ASMA** qui à contribue à la réalisation
de ce modeste travail.*

CHAHINEZ





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes personnes

que j'aime et en particulier :

A ma mère qui m'a toujours apporté amour et affection

A mon père qui m'a encouragé avec ces conciles

Ma sœurs « WAHIBA »

*A mes frères et ces femmes « ABDKRIM BILAL ,MOUNIR
,MOURAD ,MAYA ,IMAN ,SABIHA ,HAYET »*

A toute ma famille « BENAMEUR »

A tous mes amis et mes collègues« AMIRA ,DOUNIA,BILAL »

A tous mes enseignants

A toute ma promo d'agronomie 2019

*Enfin, je remercie mon cher binôme, chahinaze qui à contribue à la
réalisation de Ce modeste travail*

ASMA



Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

Introduction	1
Chapitre 01 : L'irrigation de l'olivier	4
1. L'irrigation de l'olivier.....	4
1.1. Besoins hydriques.....	4
1.1.1. Disponibilité hydrique adéquate.....	4
1.1.2. Besoins hydriques pour une production maximale.....	6
1.2. Programmation de l'irrigation	8
Chapitre 02: Stratégies d'irrigation.....	10
2.1. Irrigation complète	10
2. 2. Irrigation déficitaire.....	10
2.2.1. Irrigation déficitaire contrôlée (RDI)	13
2.2.2. Irrigation déficitaire continue (SDI).....	13
Chapitre 03 : Effets de l'irrigation déficitaire sur la culture de l'olivier	14
3. Effets de l'irrigation déficitaire sur la culture de l'olivier.....	14
3.1. La croissance végétative.....	14
3.2. Les paramètres reproductifs.....	15
3.2.1. Floraison	15
3.2.2. Nouaison.....	15

3.3. Les paramètres productifs.....	18
3.3.1. Rendement en fruits.....	18
3.3.1. Rendement en huile	20
3.4. Les paramètres qualitatifs.....	21
4. Conclusion	26
5. Références bibliographiques.....	28

Liste des figures

Figures	Page
Figure 01 : Schéma des composants du bilan hydrique au champ.	9
Figure 02 : Cycle végétatif et de reproduction d'olivier.	12
Figure 03 : Échantillons représentatifs de pousses florales en pleine floraison chez les oliviers « Arbequina » irrigués avec différents niveaux d'eau (% ETc).	17
Figure 04 : A. Nombre de fleurs et B. pourcentage de fleurs parfaites par inflorescence en fonction du potentiel hydrique moyen de la tige à midi depuis le débourrement jusqu'à la pleine floraison.	18
Figure 05 : Évolution du volume moyen des fruits pour les traitements testés au cours des années 2004 (A) de forte production et 2005 (B) de faible production.	19

Liste des tableaux

Tableaux	Page
Tableau 01 : Effets du déficit hydrique sur les processus de croissance et de production de l'olivier.	6
Tableau 02 : Efficacité d'utilisation de l'eau pour la production d'huile d'olive (WUE-O), exprimée en kg d'huile par mètre cube.	20
Tableau 03 : Résultats de la qualité d'huile en fonctions de l'état de l'année (ON-OFF): acidité totale (mg /kg); indice de peroxydes (mEq O ₂ / kg); K232 et K270; la stabilité oxydative (heures) et Polyphenols totaux (mg /kg).	24

Liste des abréviations

RDI : Irrigation déficitaire contrôlée.

CDI : Irrigation déficitaire continue.

SDI : Irrigation déficitaire.

COI : Conseil oléicole international.

ETc: Evapotranspiration de la culture.

ETO : Evapotranspiration de référence.

T : Transpiration.

Kc: Coefficient de la culture

Kr: Coefficient de recouvrement

Pe : Précipitation.

FAO : Food and agriculture organisation.

Kg : Kilogramme.

Mg : Milligramme

Mm : Millimétré.

N° : numéro.

Résumé

L'optimisation de la productivité de l'irrigation est un enjeu crucial dans l'agriculture moderne. Compte tenu de la pénurie croissante et de l'augmentation des coûts des ressources hydriques et énergétiques, il est essentiel d'adopter des stratégies d'irrigation économes en eau. L'irrigation déficitaire contrôlée (RDI) est l'une de ces stratégies appliquées à l'arboriculture fruitière. Cette étude compile les résultats de recherches sur les effets de la RDI sur les paramètres végétatifs, productifs et qualitatifs de l'olivier. La plupart des études sur ce sujet montrent que la RDI permet d'économiser entre 25 et 40 % de l'eau d'irrigation tout en maintenant un rendement acceptable en huile ou en fruits, améliorant ainsi l'efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation. La croissance végétative est réduite, ce qui peut être bénéfique pour l'arbre en augmentant la pénétration de la lumière et l'aération, favorisant ainsi la photosynthèse et, par conséquent, le volume des fruits produits. La RDI augmente significativement le taux de polyphénols totaux, un paramètre clé de la qualité et de la valeur nutritive de l'huile, permettant ainsi une meilleure conservation. Pour les olives de table, la RDI améliore également la couleur des fruits.

Mots clé: Irrigation déficitaire contrôlée, Efficacité de l'utilisation de l'eau, Rendement, Croissance végétative, Qualité

Abstract

Optimizing irrigation productivity is a crucial issue in modern agriculture. Given the increasing scarcity and rising costs of water and energy resources, it is essential to adopt water-saving irrigation strategies. Regulated Deficit Irrigation (RDI) is one such strategy applied in fruit tree cultivation. This study compiles research findings on the effects of RDI on the vegetative, productive, and qualitative parameters of olive trees. Most studies on this topic show that RDI can save between 25 and 40% of irrigation water while maintaining an acceptable yield of oil or fruit, thus improving irrigation water use efficiency. Vegetative growth is reduced, which can be beneficial for the tree by increasing light penetration and aeration, thereby enhancing photosynthesis and consequently the volume of fruit produced. RDI significantly increases the total polyphenol content, a key parameter of oil quality and nutritional value, thus allowing for better preservation. For table olives, RDI also improves the color of the fruit.

Keywords: Regulated Deficit Irrigation, water use efficiency, yield, Vegetative growth, oil quality

المخلص

يُعد تحسين إنتاجية الري هدفًا أساسيًا في الزراعة الحديثة. نظرًا لزيادة ندرة المياه وارتفاع تكاليف الموارد المائية والطاقة، أصبح من الضروري اعتماد استراتيجيات ري توفر المياه. الري الناقص المنظم (RDI) هو إحدى هذه الاستراتيجيات المطبقة في زراعة الأشجار المثمرة. تجمع هذه الدراسة نتائج الأبحاث حول تأثير RDI على المعايير النباتية والإنتاجية والجودة لأشجار الزيتون. تشير معظم الدراسات في هذا المجال إلى أن RDI يمكن أن يوفر بين 25 و40% من مياه الري مع الحفاظ على مستوى مقبول من إنتاج الزيت أو الزيتون، مما يحسن كفاءة استخدام مياه الري. يؤدي هذا الأسلوب إلى تقليل النمو الخضري، وهو ما يمكن أن يكون مفيدًا للشجرة عن طريق زيادة اختراق الضوء والتهوية، مما يعزز عملية التمثيل الضوئي وحببات الزيتون المنتجة. يزيد RDI بشكل كبير من محتوى البوليفينول الكلي، وهو علامة رئيسية لجودة الزيت والقيمة الغذائية. بالنسبة لزيتون المائدة، يحسن RDI أيضًا لون حببات الزيتون.

الكلمات المفتاحية: الري الناقص المنظم، أشجار الزيتون، الكفاءة المائية، النمو الخضري، جودة الزيت، زيتون المائدة.

Introduction

L'olivier (*Olea europaea* L.) est probablement cultivé depuis plus longtemps que toute autre espèce d'arbre. Il a été domestiqué vers 3000 à 4000 av. J.-C. dans l'est de la Méditerranée et a ensuite été largement répandu en Afrique du Nord, dans la péninsule ibérique et dans le reste du sud de l'Europe par les civilisations qui ont successivement occupé la région (Connor, 2005). L'olivier est un arbre fruitier emblématique de la région méditerranéenne caractérisé par une importance culturelle et économique élevée et précieuse (Besnard *et al.*, 2018). Alors que l'olivier est désormais réputé pour son huile alimentaire de haute qualité et pour ses fruits destinés à la consommation directe, il était à l'origine récolté pour son huile utilisée comme médicament, combustible pour lampes et lubrifiant. Au cours des 500 dernières années, l'olivier a été introduit aux Amériques, en Afrique du Sud, en Australie, en Chine et au Japon, mais reste principalement une culture du bassin méditerranéen, qui représentait 95% de la production mondiale annuelle (Connor, 2005).

Le climat méditerranéen est caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers principalement pluvieux, et des automnes et printemps partiellement humides. Les précipitations se produisent principalement pendant la saison de dormance des arbres fruitiers, de sorte que la croissance végétative, la production de fruits et les rendements dépendent de l'eau stockée dans le sol et de l'irrigation pendant l'été. Une connaissance précise du moment et de la quantité d'eau à irriguer est essentielle pour atteindre une gestion durable et respectueuse de l'environnement, cette ressource naturelle devenant de plus en plus rare et coûteuse. Le réchauffement climatique prévu aggravera ce problème car les scénarios de changement climatique prévoient des réductions de la quantité totale de précipitations et des changements dans leur répartition saisonnière, exacerbant ainsi le problème de la rareté de l'eau pour l'agriculture (Ondrasek, 2014).

La gestion de l'eau en agriculture comprend divers aspects liés à l'irrigation, tels que l'indice de productivité de l'eau, qui est le rapport entre le rendement/produit commercialisable ou rendement/revenu net et l'eau utilisée par la culture (Valipour, 2014). L'optimisation de la stratégie d'irrigation est nécessaire pour augmenter cette productivité et minimiser les fluctuations annuelles de la production agricole. L'irrigation est également essentielle pour assurer l'augmentation de la productivité et répondre ainsi aux besoins alimentaires croissants d'une population mondiale toujours

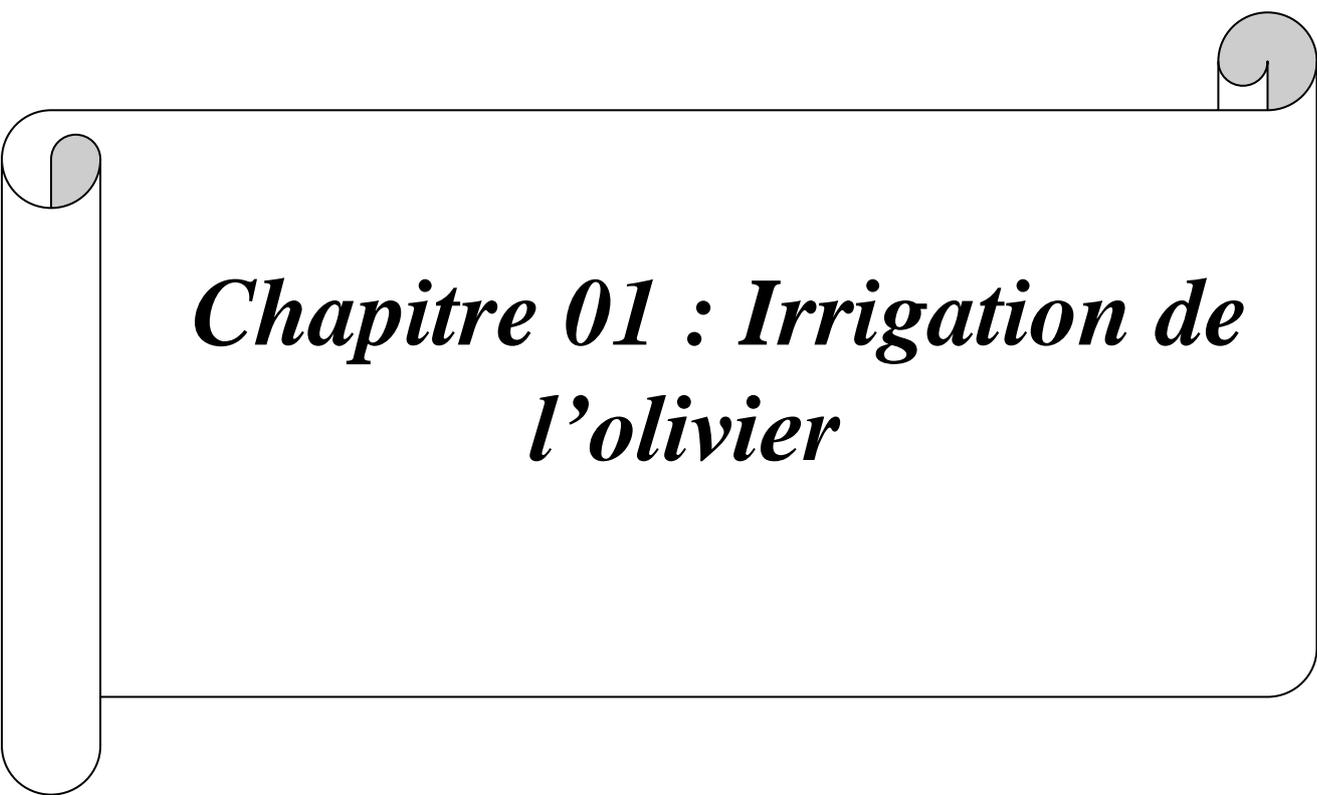
plus nombreuse, qui devrait augmenter de 30 % d'ici 2050 (**Godfray et Garnett, 2014**). Globalement, la production alimentaire provenant de l'agriculture irriguée représente 40 % de la production totale, en utilisant seulement 17 % de la superficie consacrée à la production alimentaire (**Fereres et Evans, 2006**). Les usages agricoles correspondent à plus des deux tiers des usages totaux d'eau douce (**Fereres et Soriano, 2006**). Dans de nombreuses régions du monde, l'eau d'irrigation a été surexploitée et sur utilisée, et la pénurie d'eau douce devient critique, notamment dans les zones arides et semi-arides, comme certaines régions méditerranéennes. L'allocation de l'eau douce entre l'agriculture et d'autres secteurs économiques est une source de conflit, exigeant une amélioration constante de l'efficacité d'utilisation de l'eau par cultures. Ainsi, une programmation précise de l'irrigation, combinant des indicateurs de stress hydrique des plantes et/ou du sol, est l'un des outils pouvant aider les agriculteurs à atteindre cet objectif (**Naor et al., 2006**), (**Ferreira et al., 2017**).

La culture de l'olivier est une pratique ancienne et largement répandue dans les régions arides et semi-arides du bassin méditerranéen, en raison de son adaptation remarquable aux conditions de faible humidité et de sa valeur nutritionnelle (**Connor et Fereres, 2004 ; Fernández, 2014**). Cependant, la productivité de l'olivier est limitée par la disponibilité en eau et en nutriments. Avec des rendements susceptibles de varier selon les caractéristiques des sols, les fluctuations de précipitations saisonnières, et les effets de l'alternance ou des conditions annuelles (**Stroosnijder et al., 2008**), Le marché mondial de l'huile d'olive vierge ne cesse de croître au cours des dernières décennies, ce qui stimule la culture de l'olivier (**Zafeiriou et al., 2012**).

L'eau est une ressource en constante pénurie, nécessitant une utilisation plus efficace. Une gestion adéquate de l'irrigation requiert un calendrier approprié, adapté aux exigences de la culture (**Marsal et al., 2002**). Comme connu, la plupart des vergers sont implantés dans des zones semi-arides, souffrant de périodes prolongées de déficit hydrique, l'adoption de stratégies d'irrigation telles que l'irrigation déficitaire contrôlée est nécessaires qui visent non seulement à économiser l'eau d'irrigation, mais aussi à réguler la croissance végétative (**Girona et al., 1993, 2003**), tout en minimisant l'impact sur le rendement et en améliorant la qualité finale des fruits (**Gelly et al., 2003**). Au cours des dernières décennies, de nombreuses recherches sur les cultures fruitières y compris l'olivier ont montré qu'elles réagissent positivement à des conditions de déficit hydrique modéré imposées par des stratégies d'irrigation déficitaire (**Behboudian et**

Mills, 1997), dans cette pratique agronomique, la quantité d'eau appliquée est réduite à un niveau inférieur aux besoins maximaux en irrigation de la culture, permettant ainsi le développement d'un déficit hydrique modéré avec des effets minimes sur le rendement (**Iniesta et al., 2009**), (**Fernandes-Silva et al., 2010**). En fait, plusieurs études ont démontré que l'irrigation déficitaire est particulièrement adaptée aux régions où l'eau est rare et où l'amélioration de la productivité de l'eau est un objectif crucial (**Molden, 2003**). L'augmentation de cette productivité lorsque ces stratégies sont appliquées aux cultures ligneuses telle que l'olivier est due à la réduction de la transpiration des plantes par la fermeture des stomates (**Monteith, 1965**) d'une part et au contrôle de la croissance végétative excessive, ce qui réduit la fréquence et l'intensité de la taille d'autre part. En fait, le contrôle de la vigueur des plantes revêt une importance particulière dans les vergers à haute densité de plantation, également appelés vergers super intensifs (**Fernández et al., 2013**), l'irrigation déficitaire pouvant ainsi augmenter leur durée de vie productive en diminuant la concurrence entre les arbres pour la lumière solaire (**Connor et al., 2014**). Selon **Alegre et al. (2001)**, l'application des réductions en eau d'irrigation sur les oliviers de la variété «Arbequina » a permis des économies significatives en eau d'irrigation, tout en augmentant la production et en améliorant considérablement la qualité de l'huile obtenue.

L'objectif de ce modeste travail sera de résumer les résultats des différents travaux réalisés sur l'effet de différentes stratégies de l'irrigation déficitaire sur la culture d'olivier tout en évoquant les différents paramètres végétatifs, productifs et qualitatifs.



***Chapitre 01 : Irrigation de
l'olivier***

1. Irrigation de l'olivier

Traditionnellement, la production des olives étant conduite en régime pluvial, donc cette espèce est capable de survivre en périodes de sécheresse intense en donnant des productions acceptables (**Fernandes-Silva et al, 2010**), certains nombres d'adaptations anatomiques et de mécanismes physiologiques lui permettent de préserver ses fonctions vitales, même dans des conditions très sévères. Parmi ces mécanismes, on citera l'aspect tomenteux (duveteux) de la face inférieure de la feuille ; la conductance élevée des tissus ; le nombre réduit de stomates sur la face supérieure de la feuille, ce qui contribue à limiter la transpiration (**d'Andria et Lavini, 2007**).

De nombreuses expériences démontraient que l'irrigation est un instrument fondamental pour l'amélioration qualitative et quantitative des productions de l'arbre. Selon **Moriana et al. (2003)**, l'irrigation a un impact important sur la productivité des oliveraies, même avec des petites quantités d'eaux (**Sole, 1990**). En été, et à partir du durcissement de noyau, il est possible d'appliquer une coupure d'alimentation de l'eau d'irrigation, tout en assurant que le stress hydrique n'a pas atteint un niveau qui réduit la croissance de l'olivier d'une manière irréversible (**Pastor, 2005**).

1.1. Besoins hydriques de l'olivier

Le calcul des besoins hydriques dans les différents milieux de production oléicole n'est possible que si l'on définit correctement les principaux paramètres édaphiques et climatiques.

1.1.1. Disponibilité hydrique adéquate

Pour gérer correctement l'irrigation, il convient de bien connaître le cycle biennal de l'olivier, en particulier si l'on a recours à une stratégie d'irrigation en déficit (**Fernandez et Moreno, 1999**).

Dans un environnement méditerranéen, les pousses apparaissent au début du printemps (fin du mois de Mars pour l'hémisphère nord). Le flux de croissance du printemps qui est le plus important dure jusqu'à mi-juillet (**Rallo et Cuevas, 2008**), si les conditions climatiques sont favorables (pluie au début d'Automne ou oliveraie irriguée), une reprise végétative peut même se produire en automne (entre Septembre et mi-October). Si aucun incident ne retarde la coulure des fruits, il suffit d'un pour cent d'induction florale pour obtenir une bonne production (**d'Andria et Lavini, 2007**).

Le noyau (endocarpe) de l'olive (drupe) commence à se lignifier (durcir) entre quatre et six semaines après la nouaison, la croissance du fruit se poursuit alors pendant trois mois. Le mésocarpe (pulpe) continue pendant tout l'été, avec l'évolution sigmoïdale qui le caractérise, le fruit mûrit au moment du changement complet de couleur et la croissance peut être considérée comme terminée au début de la véraison

La programmation de l'irrigation devra tenir compte des interactions entre les nécessités hydriques de l'olivier et ses différents stades phénologiques :

- 1- Au moment du débourrement, la disponibilité d'eau et de substances nutritives est fondamentale pour garantir la croissance végétative, la formation de fleurs, la floraison et la nouaison **(d'Andria et Lavini, 2007)**.

- 2- Durant la phase de durcissement du noyau, l'expérience montre que l'olivier manifeste une moindre sensibilité au stress hydrique. Pendant cette période, il sera donc possible de réduire le volume des apports d'eau, ce qui permettra une économie significative du volume saisonnier d'irrigation sans entraîner d'effets négatifs significatifs sur la production **(Pastor, 2005), (d'Andria et Lavini, 2007), (Rufat et al., 2014), (Ibba et al., 2024)**.

- 3- La lipogenèse (**synthèse des triglycérides**) et le remplissage des cellules ont lieu durant la phase de maturation du fruit jusqu'à la récolte. C'est donc une période où la plante est très sensible au stress hydrique, surtout si la carence a lieu en été, car c'est le moment où la dimension finale des fruits se définit et où les réserves nécessaires pour assurer un potentiel de production correct pour l'année suivante s'accumulent dans la plante **(d'Andria et Lavini, 2007)**.

Tableau.1 : Effets du déficit hydrique sur les processus de croissance et de production de l'olivier **(Beede et Goldhamer, 1994)**.

Phases du cycle de végétation et de production	Période	Effet du déficit hydrique
Croissance végétative	Fin été-automne	Développement réduit des bourgeons à fleurs et des pousses de l'année suivante
Formation des bourgeons à fleurs	Février-avril	Réduction du nombre de fleurs ; avortement ovarien
Floraison	Mai	Réduction de la fécondation
Nouaison	Mai- juin	Réduction de la fécondation (Augmentation de l'alternance)
Croissance initiale du fruit	Juin-juillet	Diminution de la taille du fruit (moins de cellules/fruit)
Croissance postérieure du fruit	Aout-novembre	Diminution de la taille du fruit (cellules du fruit plus petites).
Lipogenèse	Juillet-novembre	Teneur plus faible d'huile/fruit.

1.1.2. Besoins hydriques pour une production maximale

Les plantes se fonctionnent comme une usine de fabrication des assimilats, dont la surface verte utilise le rayonnement solaire, le CO₂ atmosphérique et l'eau du sol pour produire de la biomasse grâce à la photosynthèse. Dans des conditions potentielles, la production de biomasse est directement proportionnelle au rayonnement intercepté par la surface verte de la plante. Lorsque les stomates de la feuille sont ouverts pour permettre l'entrée du CO₂ atmosphérique, la vapeur d'eau qui occupe les espaces intercellulaires des feuilles est perdue dans l'atmosphère en suivant un gradient de pression de vapeur, cette perte d'eau est connue par la transpiration (**Orgaz et Fereres, 2008**).

Pour atteindre la production maximale, la teneur en eau du sol doit permettre à la culture d'extraire la quantité d'eau que demande l'atmosphère. Cette quantité d'eau ou la transpiration (T), ajoutée à celle perdue par évaporation de la surface du sol et à partir des goutteurs (E), est connue par l'évapotranspiration maximale de la culture (ET_c):

$$ET_c = E + T$$

qui doit être compensée par la pluie et / ou l'irrigation pour éviter la réduction de la production en raison du déficit hydrique (**Orgaz et al., 2005**). Pour calculer les besoins en eau d'irrigation d'une oliveraie adulte, on utilise l'ET_c, calculé comme le produit de deux termes:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

ET_o: évapotranspiration de la culture de référence.

K_c: coefficient de la culture.

L'ET_o est la demande évapotranspiratoire de l'atmosphère, elle correspond à l'évapotranspiration d'une prairie de graminées qui couvre complètement le sol, doit être maintenue par la tonte mécanique à une hauteur comprise entre 10 et 15 cm, qui pousse sans limitation en eau et en nutriments au sol et sans incidence des ravageurs et / ou maladies (**Orgaz et al., 2005**). L'évapotranspiration de référence (ET_o) peut être calculée à partir des données météorologiques, en utilisant des formules empiriques qui ont été développées pour différentes zones, les plus utilisées sont celles de Penman Monteith (FAO) (**Allen et al., 1998**) et de **Hargreaves et Samani, (1985)**.

1.2. Programmation de l'irrigation

Pour définir les intervalles entre deux irrigations et les volumes d'eau (mm ou m³ ha ou L plante⁻¹), il est nécessaire de se disposer des informations concernant les paramètres suivants:

- caractéristiques physiques du sol :
 - Capacité au champ (CC).
 - Point de flétrissement permanent (PF)
 - Réserve utilisable (RU).
 - Réserve facilement utilisable (RFU).

- profondeur de l'appareil racinaire

- Besoins hydriques de la culture dans différents environnements et aux différents stades phénologiques (kc ; kr)
- Eau disponible (quantité et qualité)
- Variables climatiques (Pe ; ETo)
- Techniques agronomiques qui influencent la consommation hydrique (sol nu ou couvert végétal, type de conduite et densité de plantation ; système de taille ; méthode d'irrigation utilisée, etc.)

Une des méthodes les plus répandues pour la programmation de l'irrigation, est la balance hydrique qui consiste à estimer les variations dans le contenu en eau du sol comme la différence entre les entrées et les sorties d'eau du système (parcelle) (**Orgaz et Fereres, 2008**). L'équation de la balance hydrique peut être écrite comme suit :

$$\mathbf{R\ acc\ (t) = R\ acc\ (t-1) + Irr + Pe - Etc}$$

R acc : la teneur en eau dans le sol au début (t-1) et à la fin (t) de la période de temps considérée.

Etc, Pe, Irr : sont respectivement, Evapotranspiration maximale de la culture, Précipitation et irrigation nette durant la période considérée.

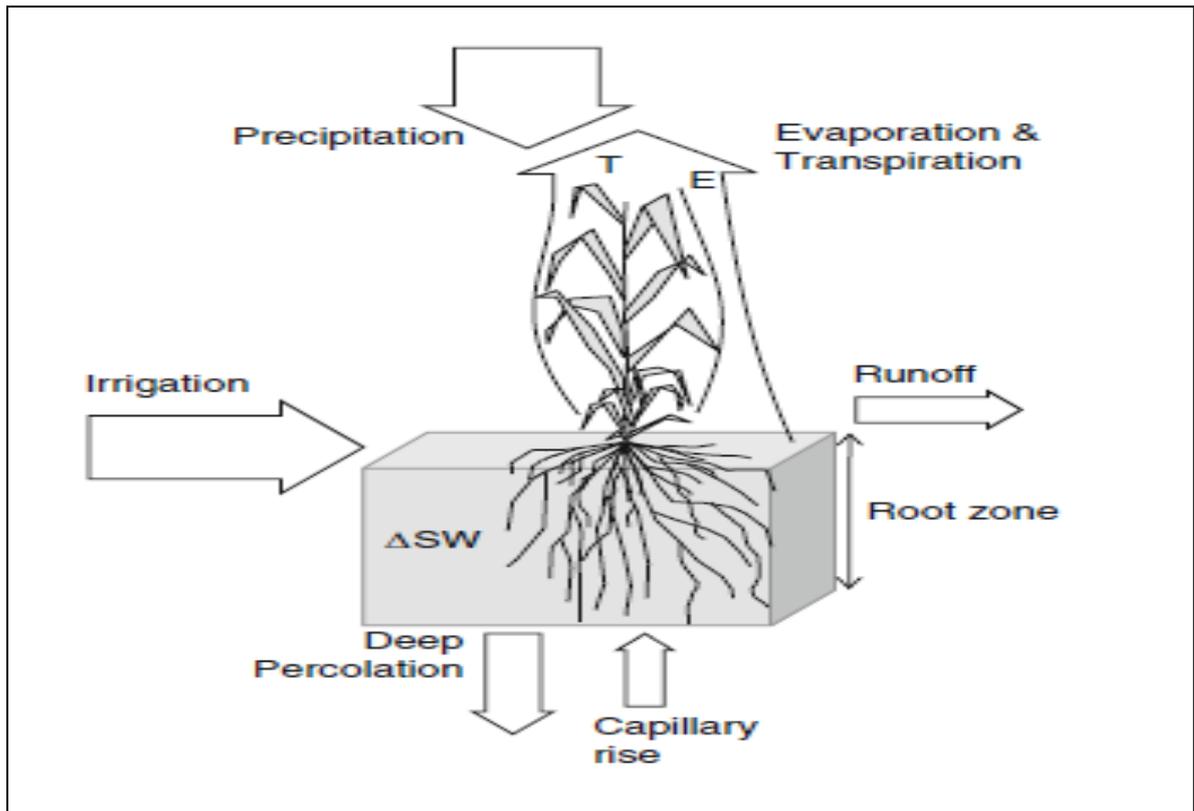


Figure 01: Schéma des composants du bilan hydrique au champ (Villalobo *et al.*, 2016).

Afin de programmer les irrigations, le sol se considère comme un dépôt d'eau avec un niveau supérieur appelé capacité au champ (CC) et un autre inférieur appelé point de flétrissement permanent (PF), la différence entre ces deux derniers détermine la réserve en eau utile pour la culture (RU). Selon **Veihmeyer et Hendrickson (1950)**, la capacité au champ est la quantité d'eau qui reste au sol après le drainage de l'excès d'eau et la diminution de mouvement en profondeur qui a lieu entre 2 à 3 jours après une pluie ou une irrigation dans un sol de texture et de structure uniforme. Selon **Villar et Ferrer (2005)**, la CC est estimée par la teneur en eau dans le sol, qui correspond à un potentiel matriciel de -33 kPa. En sols sableux on utilise la teneur en eau qui correspond à un potentiel matriciel de -10 kPa. Le PF correspond à une teneur en eau dans le sol, dont la culture présente un point flétrissement irréversible où en dessous de ce niveau la plante ne peut plus extraire de l'eau.

La réserve utilisable (RU) est calculée comme la différence entre la CC et le PF Selon la formule suivante :

$$\mathbf{RU\ (mm) = (CC - PF) \times Pr}$$

Dont :

La valeur de **Pr** dépend des caractéristiques du sol (texture, profondeur) et de la profondeur de l'appareil racinaire de la culture (âge et stade de développement des plantes). Pour l'olivier, la couche de sol où se produit la plus grande extraction de la solution circulante se situe entre 50 cm et 1 m de profondeur. Dans le cas d'arbres adultes plantés sur des sols profonds, les racines peuvent se développer jusqu'à 2 m de profondeur (**Fernández et Moreno, 1999**). Ainsi, pour estimer le bilan hydrique, on considère une profondeur de 1 m pour une oliveraie adulte.

Après le calcul de la réserve utilisable par la culture **RU**, il est nécessaire de savoir la réserve facilement utilisable par la culture (**RFU**), qui est une fraction du (**RU**) utilisée par les plantes sans qu'elles ne manifestent des symptômes de stress hydrique, qui varie en fonction de la culture, de son stade du développement et de la demande évaporatoire. Selon **Orgaz et Fereres (2008)**, malgré qu'il n'y a pas d'information expérimentale précise sur l'olivier, sa nature pérenne, son système racinaire bien développé et son ETC relativement bas, permet de déduire qu'il peut absorber jusqu'à 75 % de la réserve utilisable (RU) sans que la production ne soit affectée. Ainsi pour la programmation de l'irrigation de l'olivier pour obtenir une production maximale, la (RFU) ne doit pas être inférieure à la valeur suivante :

$$\mathbf{RFU = 0,75 \times (CC - PF) \times Pr}$$



***Chapitre 02 : Stratégie
d'irrigation***

2. Stratégies d'irrigation

Le choix de différentes stratégies d'irrigation des oliveraies dépend de plusieurs facteurs dont le plus important est la disponibilité des ressources hydriques.

2.1. Irrigation complète

Consiste à l'application de l'ETc journalière en couvrant 100% des besoins de la plante toute au long de la campagne agricole (Mars - Octobre), selon la méthode (FAO) (Allen *et al.*, 1998).

2.2. Irrigation déficitaire

Dans plusieurs cultures fruitières, l'irrigation a été utilisée comme un outil pour améliorer la production. Il est essentiel d'établir une série d'objectifs lors de l'application de cette opération, tels que le contrôle de la vigueur des arbres, la prévention des périodes occasionnelles de stress hydrique, la gestion du développement des fruits ou la modification de leur qualité. Lorsque le déficit hydrique, la différence entre l'évapotranspiration et l'absorption d'eau par les racines, est inférieur à 10 %, les dommages sont minimes et facilement réversibles car l'équilibre est rétabli ; alors que si le déficit hydrique atteint environ 30 à 40 %, les dommages peuvent devenir irréversibles même après que les arbres aient retrouvé un statut hydrique optimal (Gucci *et al.*, 2012).

Selon Fereres et Soriano (2006), le terme "Irrigation déficitaire" devrait être défini en fonction du niveau d'approvisionnement en eau par rapport à l'évapotranspiration maximale de la culture (ETc), un rendement maximal n'est pas recherché car il est largement connu que les conditions limitant l'utilisation de l'eau et diminuent généralement l'évapotranspiration de la culture (ETc) et la croissance végétative en limitant ainsi son principal composant, la transpiration (T), et donc l'assimilation du carbone. C'est pour cette raison il est essentiel de prendre en compte le niveau de la réduction maximale de l'ETc qui donne un impact minimal sur le rendement, par rapport à celui obtenu lorsque l'ETc est entièrement remplacée. Pour les jeunes arbres fruitiers, il n'est pas souhaitable de pratiquer l'irrigation déficitaire, car à ce stade de développement, l'objectif principal est de maximiser la croissance végétative afin d'atteindre le stade adulte le plus rapidement possible pour obtenir une

production maximale (**Ruiz-Sanchez et al., 2010**) . La bonne application de l'irrigation déficitaire nécessite une connaissance précise de la réponse de la culture au stress hydrique aux différents stades phénologiques, afin d'identifier les périodes où les arbres fruitiers sont moins sensibles (**Fereres et Goldhamer, 1990**) et de définir le niveau de déficit hydrique à appliquer. Selon les périodes et les niveaux du déficit hydrique appliqués, on trouve plusieurs stratégies d'irrigation déficitaire, les plus appliquées dans la culture de l'olivier et les plus étudiées sont l'irrigation déficitaire contrôlée (**Regulated Deficit Irrigation RDI**) et l'irrigation déficitaire continue (**Sustained Deficit Irrigation SDI**).

2.2.1. Irrigation déficitaire contrôlée (RDI)

Le concept d'irrigation déficitaire a été proposé la première fois par **Chalmers et al. (1981)** pour contrôler la croissance végétative des vergers de pêche, et ils ont constaté qu'une économie d'eau d'irrigation pourrait être réalisée sans réduire le rendement. Ils ont constaté que le déficit hydrique limitait la croissance des pousses lorsque celles-ci et les fruits étaient en concurrence pour les photo-assimilats. Il est important de garder à l'esprit que la sensibilité des arbres fruitiers au déficit hydrique n'est pas constante pendant toute la saison de croissance, et un déficit hydrique pendant une phase phénologique moins sensible pourrait bénéficier à l'efficacité de l'utilisation de l'eau, car il augmente les économies d'eau d'irrigation et minimise les impacts négatifs sur le rendement et les bénéfices de la culture (**Chalmers et al., 1981**), (**McCarthy et al., 2002**), (**Domingo et al., 1996**). Ainsi, lorsqu'une stratégie de RDI est appliquée, il peut être nécessaire de fournir une irrigation complète pendant les phases phénologiques sensibles à la sécheresse tel que la floraison et l'accumulation de l'huile, et l'irrigation peut être arrêtée ou restreinte pendant les périodes non critiques, moins sensibles à la sécheresse tel que la période du durcissement du noyau (**Gucci et al., 2019**), (**Geerts et Raes, 2009**).

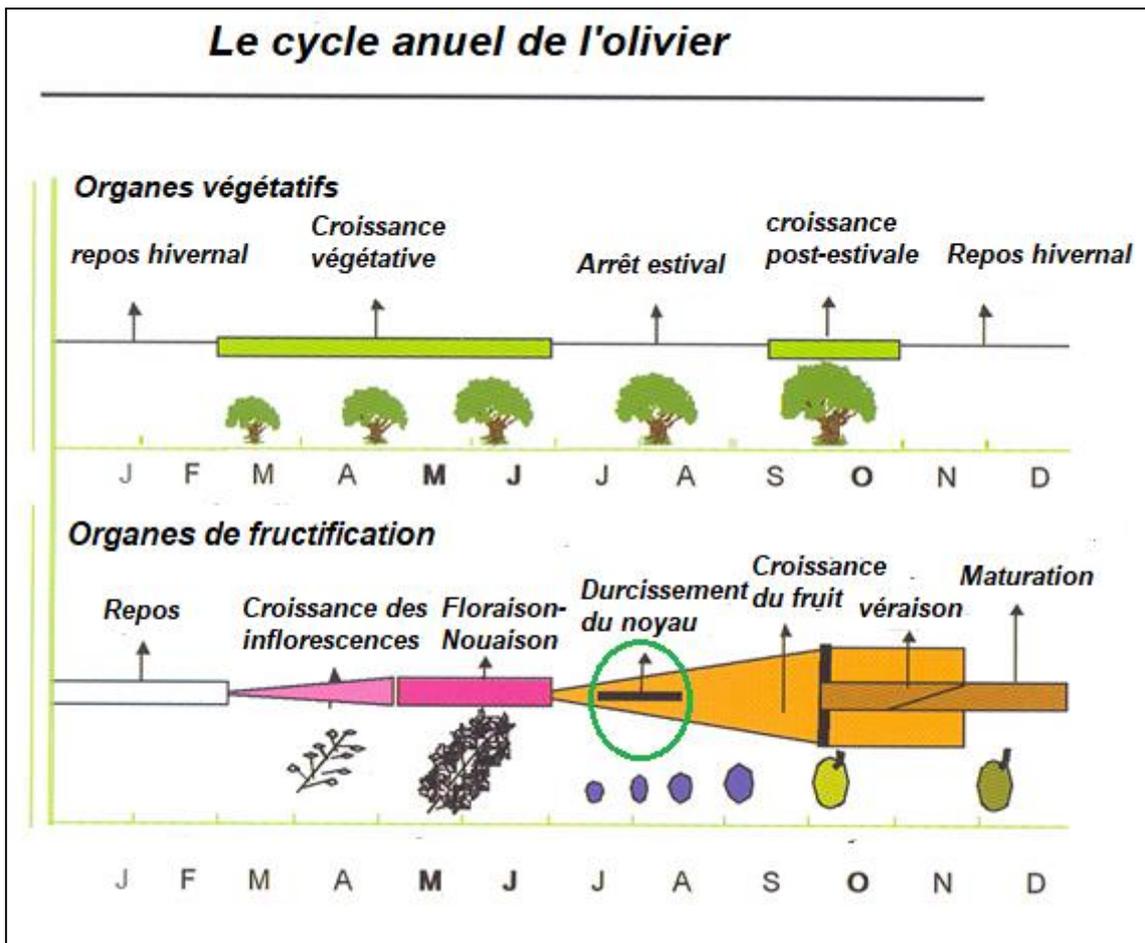
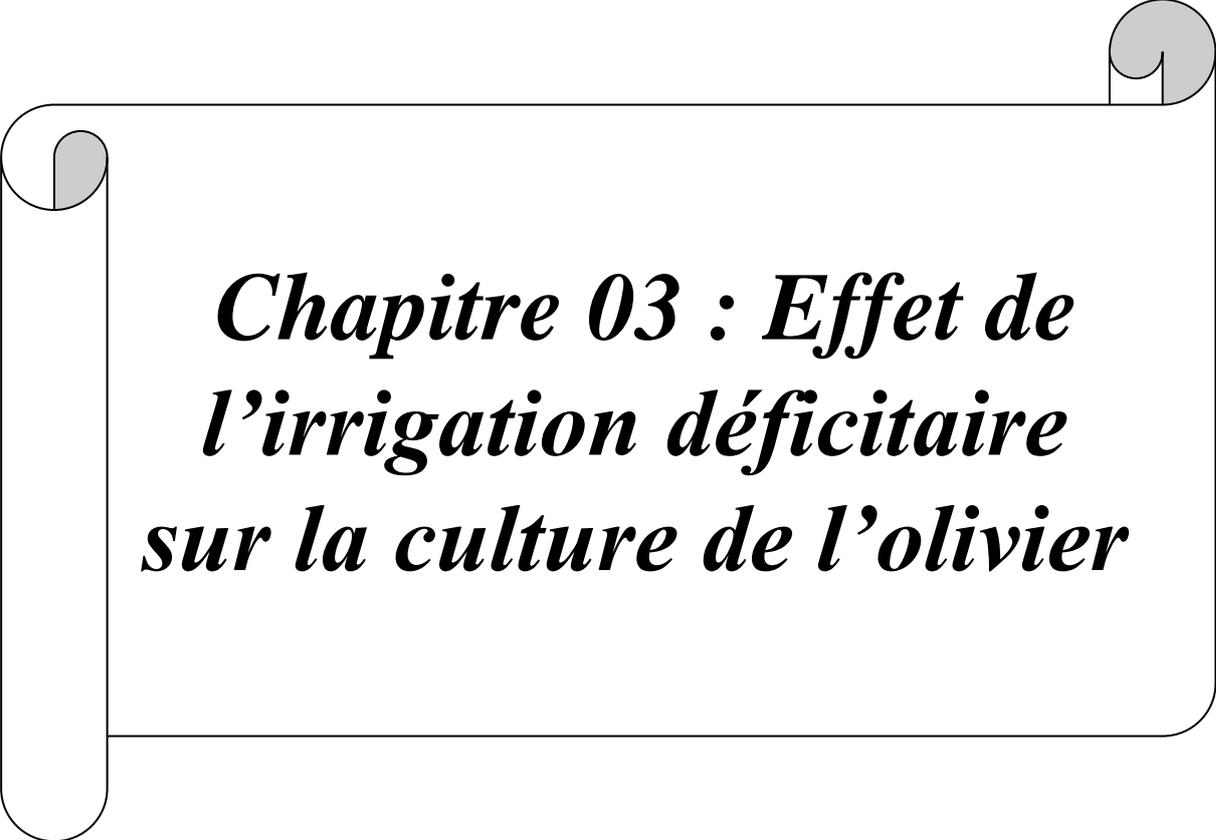


Figure 2 : Cycle végétatif et de reproduction d'olivier (Girona, 2001).

2.2.2. Irrigation déficitaire continue (SDI)

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. (Masmoudi *et al.*, 2004). L'irrigation déficitaire continue est une stratégie d'irrigation qui repose sur la distribution d'un volume d'eau réduit, contrôlé par un indicateur de stress hydrique ou en pourcentage des besoins en eau complets pour une culture tout au long de la saison d'irrigation, de sorte que le déficit hydrique soit uniforme sur tout le cycle de la culture afin d'éviter l'apparition de stress hydrique sévère à un moment particulier qui peut entraîner des dégâts sur le culture (Sofa *et al.*, 2012).

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shading on the rolled-up ends, framing the text.

***Chapitre 03 : Effet de
l'irrigation déficitaire
sur la culture de l'olivier***

3. Effet de l'irrigation déficitaire sur la culture de l'olivier

3.1. La croissance végétatives

Selon **Fernandez et Moreno (1999)**, la croissance est définie comme étant l'ensemble des phénomènes biologiques qui se manifestent par une augmentation irréversible des dimensions et du poids d'une plante ou des organes qui le composent. En plus, l'allongement de tout rameau est le résultat de processus d'organogenèse au niveau d'une zone de prolifération cellulaire et de la croissance des tissus et organes néoformés.

La croissance de l'olivier est marquée essentiellement par l'accroissement des bourgeons développés pendant la saison précédente (pousse d'un an). La croissance végétative de l'olivier se déroule en deux vagues importantes, printanières et automnales avec une vague estivale moins importante (**Rallo et Cuevas 2008**). La réponse de la croissance végétative envers le déficit hydrique varie selon la sévérité et le moment d'application des restrictions.

Rufat et al., (2014), ont trouvé que la croissance végétative exprimée par le volume de la frondaison d'arbre a été influée par le régime d'irrigation appliqué, dont la réduction des apports d'eau à partir du Juillet jusqu'au début de Septembre (RDI) a altéré le développement de l'arbre et diminué le volume de la frondaison, néanmoins l'efficacité de production de la frondaison a été plus élevée pour les traitements conduits sous régime d'irrigation déficitaire contrôlée dont le volume de la frondaison est inférieur par rapport à l'irrigation complète mais sans arriver à un point critique qui préjudice la production. **Richard et al, (2015)** ont rapporté que la croissance des arbres a été significativement réduite chez les arbres conduits en régime d'irrigation déficitaire. Les diminutions se sont élevées en moyenne à 36 %, 67 % et 46 % pour la croissance des pousses, la circonférence du tronc et les poids des tailles, respectivement.

Au cours des premières années de l'établissement d'un verger, lorsque la croissance végétative rapide est souhaitable pour obtenir rapidement une taille et une canopée d'arbre optimal, ainsi que pour commencer la production de fruits dès que possible, il est crucial de ne pas réduire l'activité végétative. Pour cette raison, dans les vergers commerciaux, l'irrigation par déficit est généralement mise en œuvre une fois que les arbres ont atteint leur pleine croissance pour éviter les effets négatifs sur la

formation de la structure de l'arbre pendant la période de formation (**Hernandez-Santana et al., 2018**). L'irrigation déficitaire aux premiers stades du développement de l'arbre peut s'avérer utile non seulement pour économiser l'eau, mais aussi pour contrôler la vigueur dans les oliveraies à haute densité de plantation, en particulier dans les régions où les conditions locales entraînent une croissance végétative excessive (**Correa-Tedesco et al., 2010**).

Arbizu-Milagro et al, (2023) ont trouvé que l'effet des stratégies d'irrigation sur la hauteur et la croissance des branches latérales pendant la phase de durcissement des noyaux était plus important dans les traitements d'irrigation déficitaire continue et d'irrigation déficitaire contrôlée, et moins important dans les stratégies complète, surtout lors des années de forte production, selon les résultats rapportés par **Moriana et al. (2003)**, **Grattan et al. (2006)**, **Iniesta et al. (2009)**, et **Pierantozzi et al. (2014)**. Cela semble indiquer que le déficit hydrique constant réduit la croissance, ce qui pourrait être intéressant pour contrôler la vigueur dans les vergers d'oliviers à très haute densité (**Martínez-Gimeno et al., 2022; Tognetti et al., 2006**). Cet objectif devrait être atteint sans compromettre le rendement en huile d'olive et le profit économique. Cela peut être accompli grâce à une stratégie de déficit contrôlée qui applique environ 60 % des besoins en eau de la culture lorsque la disponibilité en eau est limitée, comme suggéré par **Fernández et al. (2020)**.

3.2. Les paramètres reproductifs ;

3.2.1. Floraison

Le taux de floraison est une caractéristique variétale souvent influencé par l'historique de fructification de l'arbre. Le degré de différenciation est déterminé à la fois par les facteurs endogènes et par des facteurs exogènes et l'interaction de ces facteurs permet d'exprimer le niveau du potentiel de différenciation de chaque arbre pris individuellement (**Trabelsi, 2020**).

3.2.2. Nouaison

La nouaison est la phase initiale de la formation du fruit. C'est le moment où l'ovaire de la fleur se transforme en fruit après la fécondation. La nouaison commence en Juin (**Cuevas, 1995**). De nombreux auteurs ont montré qu'après une année

productive la nouaison était faible même en présence d'un nombre élevé de fleurs sur l'arbre

Taux de nouaison(%)= (nombre des fruits/nombre des fleurs)*100.

Le stress hydrique en début de saison peut réduire le rendement en raison des effets sur la floraison et la nouaison (**Orgaz et Fereres, 2004**). La deuxième phase du développement du fruit, celle où se produit le durcissement des noyaux, est la plus résistante au déficit hydrique (**Goldhamer, 1999**). Selon **Trentacoste et al (2019)**, les structures des inflorescences n'ont pas été affectées par le déficit hydrique, mais l'irrigation complète à 100% des besoins de l'arbre a montré en moyenne 5,8 fruits par inflorescence fructifère, significativement plus élevé que les 2,4 fruits par inflorescence fructifère observés dans l'irrigation déficitaire contrôlée (RDI) dont on a appliqué des restrictions des apports d'eau durant la phase végétative. Après la troisième saison, les traitements conduits en irrigation déficitaire étaient respectivement 174 % et 146 % plus productives que les traitements contrôlés.

Il a été démontré que, selon la sévérité du stress, l'irrigation déficitaire contrôlée (RDI) pendant l'été pouvait sévèrement affecter l'induction des bourgeons lorsque la photosynthèse est affectée (**Alegre et al., 2001**). Cependant, **Marshall et al, (2018)** ont observé que, quel que soit le moment d'application de l'irrigation déficitaire, plus de 90 % des bourgeons qui se sont développés au printemps-été étaient des bourgeons floraux à l'année suivante ; cependant, elles ne se sont pas développées en raison de la restriction d'eau depuis le débourrement jusqu'à la pleine floraison. (Fig.3)

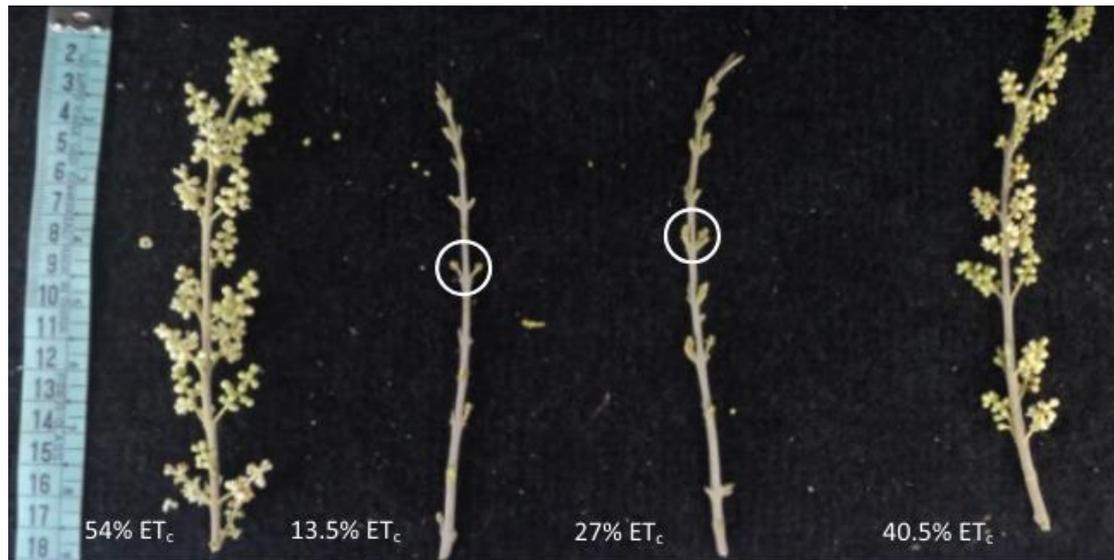


Figure 3 : Échantillons représentatifs de pousses florales en pleine floraison chez les oliviers 'Arbequina' irrigués avec différents niveaux d'eau (% ET_c). Les pousses florales des traitements à 13,5 % ET_c et 27 % ET_c ont montré 90 % d'inflorescences par nœud (cercles blancs) ; cependant, elles ne se sont pas développées en raison de la restriction d'eau depuis le débourrement jusqu'à la pleine floraison. (Marshall *et al.*, 2018).

De plus, selon **Rapoport et al. (2012)**, la restriction d'eau pendant le développement des fleurs (élongation et ramification de l'axe de l'inflorescence, et formation de la fleur individuelle) a significativement réduit la structure et la qualité des inflorescences (c'est-à-dire le nombre de fleurs par inflorescence, le nombre et la proportion de fleurs parfaites, et la qualité des ovaires). De même, il a été observé que la valeur moyenne de potentiel hydrique (Ψ_{stem}) depuis le débourrement jusqu'à la pleine floraison avait un impact significatif sur le pourcentage de fleurs parfaites ($R^2=0,80$; $p<0,0001$) et sur le nombre de fleurs par inflorescence ($R^2=0,72$; $p<0,0001$), où le nombre de fleurs par inflorescence diminuait linéairement de 20 à 0 à mesure que le Ψ_{stem} diminuait de $-2,0$ MPa à $-3,0$ MPa (Fig. 4) (Marshall *et al.*, 2018).

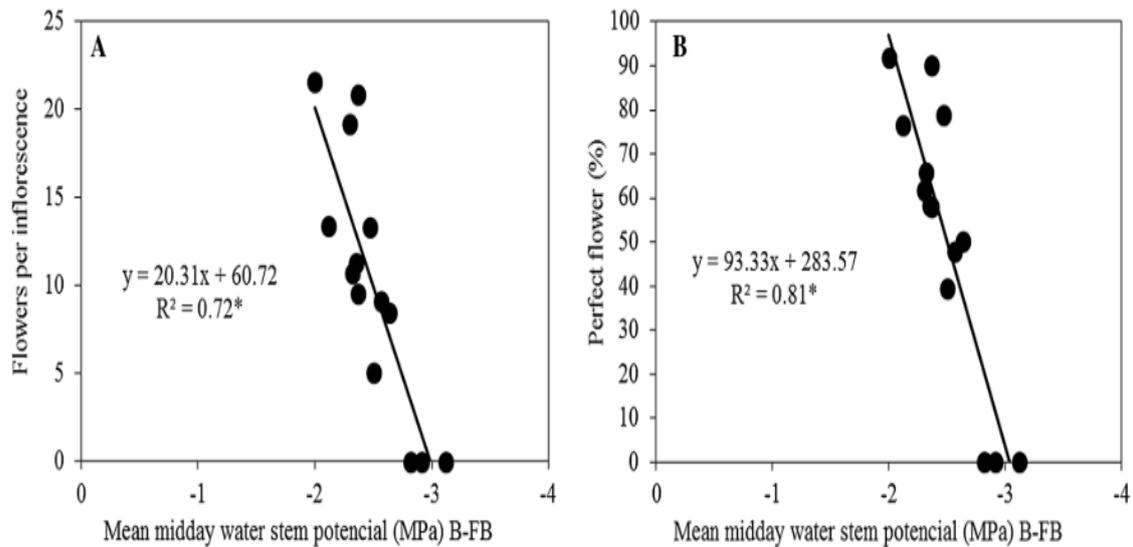


Figure 4 : A. Nombre de fleurs et B. pourcentage de fleurs parfaites par inflorescence en fonction du potentiel hydrique moyen de la tige à midi depuis le débourrement jusqu'à la pleine floraison, *indique une relation linéaire significative à $p \leq 0,05$.

(Marshall *et al.*, 2018).

3.3. Les paramètres productifs

3.3.1. Rendement en olives

De nombreuses études ont montré qu'une disponibilité élevée en eau dans le sol augmente les composants du rendement, tels que le nombre de fruits, le poids frais des fruits, le volume des fruits, le rapport pulpe/noyau et la teneur en huile, ce qui entraîne une augmentation des rendements en fruits et en huile (Fernandes-Silva *et al.*, 2010), (Moriani *et al.*, 2003). En revanche, la rareté de l'eau peut avoir des effets négatifs, selon son degré.

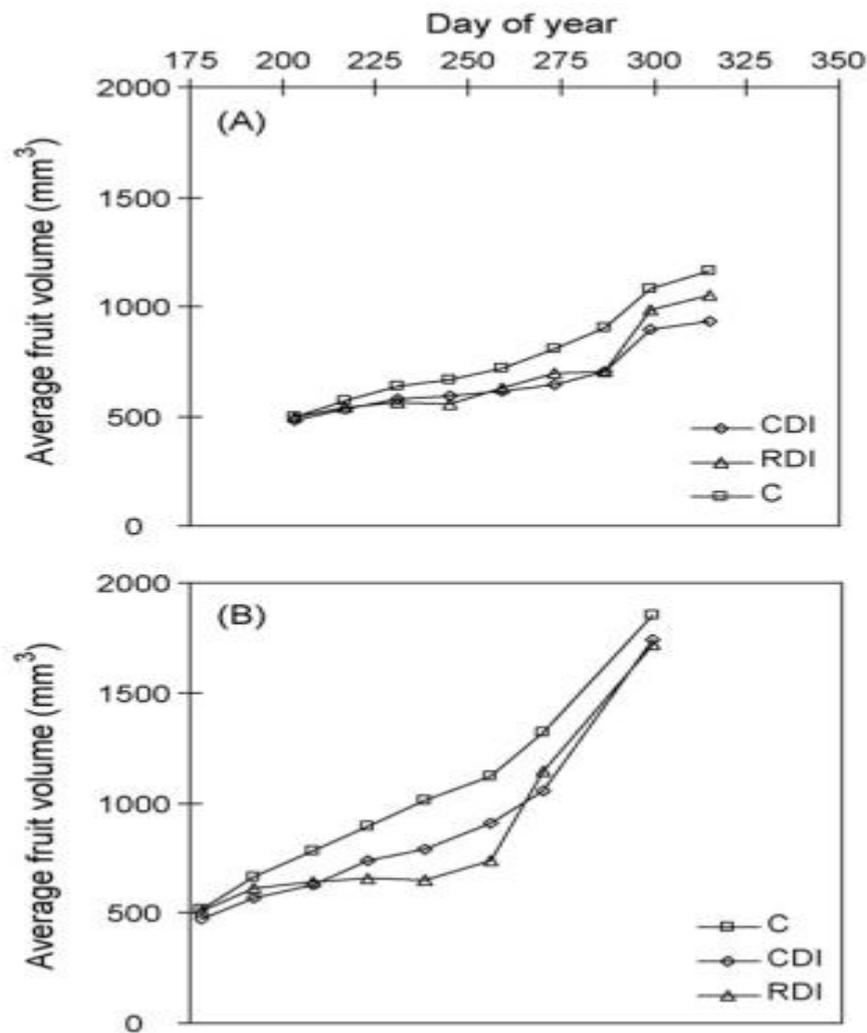


Figure 5 : Évolution du volume moyen des fruits pour les traitements testés au cours des années 2004 (A) de forte production et 2005 (B) de faible production (**Iniesta et al., 2009**).

De plus, le régime d'irrigation peut influencer la relation entre la croissance végétative et la croissance reproductive (**Correa-Tedesco et al., 2010**). **Iniesta et al., (2009)** a rapporté que les traitements de l'irrigation déficitaire ont fortement réduit la croissance végétative, mais n'ont que légèrement réduit le volume final des fruits.

Ibba et al., (2023) ont montré que le stress hydrique modéré et contrôlé sous RDI n'a pas affecté de manière significative le rendement de la variété d'olivier Menara. De plus, en réduisant les besoins en eau de la plante de 20 % pendant les périodes sensibles et de 40% pendant les périodes normales, sous RDI, il est possible d'économiser entre 25% et 30 % d'eau d'irrigation et d'augmenter la productivité de l'eau

de 5 % à 20 % avec une légère diminution du rendement en fruits variant entre 10 % et 15 %. Des résultats similaires ont été obtenus par **Ben-Gal et al., (2021)**.

La réponse globale à la réduction de l'irrigation était relativement limitée. Cependant, le moment choisi pour appliquer l'eau était cruciale pour diverses caractéristiques des fruits. Dans le meilleur scénario, une réduction de 50 % de l'eau d'irrigation annuelle a entraîné une diminution du rendement en huile sur 4 ans de seulement 12,2 % et du rendement en fruits de 18,5 %. Le calendrier le plus efficace consistait à appliquer toute l'eau d'irrigation après le durcissement du noyau. Cependant, dans les sols plus légers avec une capacité de rétention d'eau plus faible ou dans les régions où les précipitations sont moins abondantes, il pourrait être nécessaire de répartir une partie de l'eau pendant la période de floraison et de nouaison (**Lavee et al., 2007**).

3.3.2. Rendement en huile

Souvent, l'irrigation déficitaire entraîne une forte réduction de la croissance végétative, mais n'a qu'un impact minime sur le volume final des fruits. Le stress hydrique provoque une plus grande réduction du rendement en fruits frais que du rendement en huile, en raison d'une concentration d'huile plus élevée dans les arbres irrigués en RDI sur la variété "Picual" (Espagne) (**Iniesta et al., 2009**). De plus **Iniesta et al, (2009)** ont constaté que la productivité de l'eau pour la production d'huile avait triplé pour une réduction de 25 % de l'eau totale appliquée. (Tableau 02).

Tableau 02 : Efficacité d'utilisation de l'eau pour la production d'huile d'olive (WUE-O), exprimée en kg d'huile par mètre cube, Les données sont des moyennes biennales (2004/2005 et 2005/2006) pour éviter l'effet de la fructification alternative. Traitements : C, Contrôle ; CDI, irrigation déficitaire continue ; RDI, irrigation déficitaire contrôlée (**Iniesta et al., 2009**).

		WUE-O/IA (kg m ⁻³)
Biennium 2004/2005	C	0.50
	CDI	1.66
	RDI	1.63
Biennium 2005/2006	C	0.45
	CDI	1.31
	RDI	1.43

De même, **Fernandes-Silva et al, (2010)** ont rapporté que pour un SDI à 30 % de l'ETc, la productivité de l'eau pour l'huile est plus élevée ou très proche de celui de l'irrigation complète selon l'année, et est plus que le doublé par rapport aux vergers conduits en pluviale. Le rendement en huile est réduit seulement de 35 % par rapport à l'irrigation complète, tout en économisant 60 % de l'eau appliquée. Cependant, la concentration en huile sur une base de matière sèche dans le SDI était de 7 à 19 % plus élevée par rapport à l'irrigation complète, ce qui signifie que la réduction du rendement en huile était inférieure à celle du rendement en fruits.

Le rendement en huile plus élevé observé dans l'irrigation complet est principalement dû à un plus grand nombre de fruits. Cependant, sous irrigation déficitaire, les fruits présentent des valeurs légèrement plus élevées de mésocarpe (>3–5 %) par rapport aux olives irrigation totale, principalement attribuées à une charge de récolte plus élevée dans les oliviers . **Fernandes-Silva et al, (2010)** ont établi une bonne relation entre la quantité d'huile par masse sèche de mésocarpe (g) ($y = 0,83 X - 0,17$, $r^2 = 0,97$). Ceci peut être utile pour soutenir la décision du moment le plus approprié pour la récolte afin d'optimiser la productivité en huile.

Marra et al, (2016) ont mené une étude dans l'ouest de la Sicile (Italie), dans un verger d'oliviers à très haute densité (variété "Arbequina"), où cinq traitements d'irrigation ont été testés : 100 % des besoins en irrigation, trois traitements d'irrigation déficitaire (SDI) avec 75 %, 50 % et 25 % des besoins en irrigation, et un témoin non irrigué en mode pluvial. Ils ont observé que le rendement en huile augmentait avec des niveaux d'irrigation plus élevés jusqu'à un certain seuil (50 % SDI), et qu'une augmentation supplémentaire du niveau d'irrigation améliorait d'une part la charge de récolte, mais réduisait la croissance végétative et accentuait la fructification alternée. Ils en concluent (**Marra et al., 2016**) que la planification de l'irrigation dans les nouveaux vergers d'oliviers à très haute densité devrait se faire sur une base biennale, avec des ajustements annuels en fonction de la charge de récolte.

3.4. Les paramètres qualitatifs

La notion de la qualité est vaste, complexe et évolutive. Dans le cas des oliviers, deux principaux produits sont obtenus à partir des fruits d'olive : l'huile d'olive vierge (le jus du fruit) et les olives de table ; tous deux sont des éléments essentiels du régime

alimentaire méditerranéen. Les caractéristiques de qualité prises en compte pour chaque produit sont largement différentes (**Fernandes-Silva et al., 2018**).

Des doses d'irrigation élevée sont associées à une diminution des composés mineurs de l'huile d'olive vierge tels que les polyphénols totaux (TP), les orthodiphénols (OD), les tocophérols (TC) et les composés volatils (VC) (**Fernandes-Silva et al., 2013**)¹, (**Fernandes-Silva et al., 2013**)². Ces composés jouent un rôle crucial dans la valeur nutritionnelle, les propriétés biologiques et les caractéristiques organoleptiques d'huile d'olive extra vierge. Il existe une controverse sur l'effet de l'irrigation sur la qualité globale de l'huile. Certains chercheurs affirment que l'irrigation à 100 % des besoins de l'arbre diminue la qualité de l'huile d'olive (**Berenguer et al., 2006**), (**Rufat et al., 2018**), (**Ben-Gal et al., 2021**), (**Belguerri, 2016**). Cela peut être vrai pour les cultivars pauvres en TP, comme "Arbequina", (**Belguerri, 2016**) où l'irrigation complète (100%) peut compromettre les conditions nécessaires pour atteindre la catégorie extra vierge et réduire sa durée de conservation. Cependant, pour les cultivars très riches en TP (>1000 mg/kg), comme "Cornicabra", où l'huile est très amère et piquante, rendant son acceptabilité par le consommateur faible, l'irrigation à 100 % des besoins de l'arbre peut aider à atténuer ce problème (**Fernandes-Silva et al., 2018**).

Motilva et al. (2000) ont observé que les stratégies d'irrigation déficitaire régulée (RDI) appliquées à la variété "Arbequina" entraînaient une augmentation significative de la concentration en polyphénols et de la stabilité de l'huile. **Gómez del Campo (2013)** et **García (2013)** ont constaté que l'application de RDI en été augmentait significativement la stabilité oxydative, coïncidant avec une teneur en dérivés des TP également plus élevée. Ces composés sont d'un grand intérêt car ils influencent la qualité et la saveur de l'huile d'olive vierge et prolongent sa durée de conservation en ralentissant la formation d'hydroperoxydes d'acides gras polyinsaturés.

L'acidité d'huile vierge de l'olivier qui est défini comme la quantité d'acides gras libres, exprimée en acide oléique est une anomalie généralement due au mauvais état du fruit, mauvaises conditions de récolte ou de conservation. Dans une huile d'olive extra vierge le taux d'acidité doit être inférieur à 0,8% selon le règlement CE n°.1989/03. La composition en acides gras de l'huile d'olive est souvent peu affectée par les stratégies d'irrigation déficitaire régulée (RDI) (**Debbou et al., 2010**), bien que certaines études montrent de légères variations des acides oléique et palmitique en

fonction des stratégies d'irrigation (**Motilva et al., 2000**). **Magliulo et al., (2003)** ont rapporté que la composition en acides gras de l'huile d'olive de deux cultivars différents ("Frantoio" et "Leccino") était davantage influencée par les facteurs variétaux et les conditions climatiques de l'année que par les régimes d'irrigation. De manière intéressante, lorsque la variété "Arbequina" est cultivée dans les vallées arides et chaudes du nord-ouest de l'Argentine, elle produit une teneur en acide oléique (18:1) inférieure par rapport à la région méditerranéenne (**Rondanini et al., 2014**). De plus, il a été observé une diminution de 2 % de cet acide par degré Celsius avec l'augmentation de la température pendant l'accumulation de l'huile.

L'indice de peroxyde est un paramètre de qualité lié à la présence d'olives endommagées (**Grossi et al., 2015**), et/ou à un processus d'extraction incorrect (**Kamikata et al., 2019**). Une étude menée par **Garcia-Garvi et al., (2023)** a montré que les huiles obtenues sous une irrigation déficitaire donnent des valeurs élevées (16,46 meq O₂ kg⁻¹), les valeurs maximales autorisées sont fixées à 20 meq O₂ kg⁻¹ **Servili et al., (2007)** ont déterminé que l'application de l'irrigation déficitaire n'entraînait que des modifications mineures de la valeur du peroxyde, sans affecter de manière significative la classification des huiles obtenues.

Les coefficients d'extinction ultraviolette (K232, K270) sont influencés par les conditions de stockage (**Li et al., 2022**). Le K232 est associé à l'oxydation primaire, résultant de la formation d'hydroperoxydes d'acides linoléiques, tandis que le K270 est lié à l'oxydation secondaire (**da Silveira et al., 2017**). Pour qu'une huile d'olive soit qualifiée d'huile d'olive extra vierge, les valeurs maximales définies par le Conseil Oléicole International (COI) pour ces paramètres sont de 2,50 pour K232, 0,22 pour K270. **Garcia-Garvi et al., (2022)** ont trouvé que la stratégie d'irrigation déficitaire n'a pas un effet significatif sur ces paramètres.

Tableau 03 : Résultats de la qualité d'huile en fonctions de l'état de l'année (ON-OFF): acidité totale (mg /kg); indice de peroxydes (mEq O₂/ kg); K232 et K270; la stabilité oxydative (heures) et Polyphenols totaux (mg /kg). (Belguerri, 2016).

(ON) : Année forte production

(OFF) : Année faible production

	Irrigation	OFF	ON
Acidité	R-100	0.18±0.08	0.13±0.05
	RDI	0.24±0.05 A	0.14±0.07 B
Peroxydes	R-100	8.17±1.72	7.31±1.5
	RDI	8±1.87	7.25±1.93
K232	R-100	1.82±0.13	1.76±0.14
	RDI	1.76±0.27	1.74±0.15
K270	R-100	0.09±0.01	0.1±0.02
	RDI	0.08±0.01	0.09±0.01
Stabilité	R-100	8.0±3.3	9.71±3.27
	RDI	6.8±1.46	10.26±3.83
Polyphenols	R-100	168.0±97.77	197.5±89.61 b
	RDI	168.6±10.41	258.56±11.61a

L'irrigation déficitaire peut également influencer les attributs sensoriels de l'huile d'olive. Pour des cultivars comme l'« Arbequina », qui ont généralement de faibles concentrations en polyphénols, l'irrigation déficitaire est bénéfique en raison de l'augmentation des concentrations en polyphénols. Une plus grande teneur en polyphénols contribue à des huiles mieux équilibrées, avec une saveur plus sophistiquée, piquante et amère (Fernandes-Silva *et al* , 2013)¹. Dans des études antérieures, aucun effet significatif du traitement d'irrigation sur le profil sensoriel des huiles d'olive n'a été trouvé (Sastre *et al.*, 2023), (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2020).

En ce qui concerne les attributs de qualité des olives de table, ils sont également affectés par les stratégies d'irrigation déficitaire. Cano-Lamadrid *et al*, (2015) et Cano-Lamadrid *et al*, (2017) ont évalué la qualité des olives de table de la variété «

Manzanilla » après transformation, qui avaient été préalablement soumises à trois traitements d'irrigation : irrigation complète (100%); RDI1 avec un stress modéré pendant le durcissement du noyau (stress hydrique léger) et RDI2 avec un faible stress à la fin de la floraison et un stress modéré pendant le durcissement du noyau. Ils ont observé que les olives (100%) avaient le plus grand poids et la plus grande taille, et étaient plus arrondies. Les coordonnées de couleur L* et b* étaient les plus élevées dans les olives RDI2. L'évaluation sensorielle a indiqué que l'acceptation globale était plus élevée pour les olives RDI1, avec un degré de satisfaction élevé parmi les consommateurs en raison de la saveur fraîche des olives, de leur croquant et de la satisfaction globale. Ils affirment que les deux stratégies RDI sont efficaces et peuvent être une bonne pratique d'irrigation alternative pour ce cultivar. Cependant, ces auteurs ont évalué la qualité des olives de table après transformation, une évaluation après récolte, c'est-à-dire avant la transformation des olives, pourrait être plus intéressante.

Conclusion

L'irrigation déficitaire est une technique de gestion de l'eau dans l'agriculture où les cultures reçoivent une quantité d'eau inférieure à leurs besoins totaux en eau. Cette méthode vise à maximiser l'efficacité de l'utilisation de l'eau en maintenant les rendements agricoles à des niveaux acceptables tout en utilisant moins d'eau. L'irrigation déficitaire contrôlée (RDI) est une technique agricole qui a montré des résultats prometteurs pour la gestion de l'eau dans la culture de l'olivier. En modulant les apports en eau en fonction des besoins spécifiques de la plante et des périodes critiques de son cycle de développement.

L'irrigation déficitaire contrôlée (RDI) peut induire un stress hydrique modéré qui limite la croissance excessive de la canopée. Cela peut être bénéfique car une taille de canopée plus contrôlée permet une meilleure aération et une pénétration plus efficace de la lumière solaire, réduisant ainsi les risques de maladies et favorisant une meilleure maturation des fruits. Cependant, un stress hydrique trop sévère peut nuire à la croissance globale des arbres et réduire leur vigueur.

Les effets de RDI sur les rendements de l'olivier sont variables et dépendent fortement de la période d'application du stress hydrique. Une réduction contrôlée de l'irrigation pendant les phases non critiques (comme le durcissement du noyau) peut ne pas affecter significativement le rendement en fruits. En revanche, appliquer un stress hydrique pendant les phases critiques comme la floraison ou la nouaison peut réduire le nombre de fruits produits. Une gestion précise et bien planifiée est donc cruciale pour éviter des impacts négatifs sur la production.

L'un des avantages les plus notables de RDI est l'amélioration de la qualité des fruits et de l'huile d'olive. Le stress hydrique peut augmenter la concentration en composés phénoliques, ce qui améliore le profil organoleptique de l'huile d'olive, augmentant ainsi sa valeur sur le marché. De plus, la réduction de l'irrigation peut conduire à une plus grande concentration en sucre et en huile dans les fruits, améliorant ainsi leur qualité globale.

L'irrigation déficitaire contrôlée est une stratégie viable pour améliorer la gestion de l'eau dans les oliveraies, particulièrement dans les régions arides et semi-arides où l'eau est une ressource limitée. En équilibrant soigneusement les apports en eau pour minimiser le stress hydrique pendant les phases critiques de développement de l'olivier,

il est possible de maintenir ou même d'améliorer les rendements tout en augmentant la qualité des fruits et de l'huile. Toutefois, une surveillance continue et une adaptation aux conditions spécifiques de chaque culture sont essentielles pour maximiser les bénéfices de RDI et minimiser ses risques.

Références bibliographiques

1. **Alegre S, Girona J, Arbonés A, Mata M, Marsal J. (2001).** Estrategias de riego deficitario controlado para el riego del olivar. *Especial Olivicultura III, Fruticultura Profesional* 120, 19–28.
2. **Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., et Smith, M. (1998).** Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and drainage* 56: 1- 15.
3. **Arbizu-Milagro,J., Castillo-Ruiz, F., Tascon, A., Pena, J.M. (2023).** Effects of regulated, precision and continuous deficit irrigation on the growth and productivity of a young super high-density olive orchard. *Agricultural Water Management* 286 : 108-393.
4. **Beede, R.H. et Goldhamer, D.A. (1994).** Olive irrigation management. In: Ferguson, L., Sibbett, G.S. Martin, G.C. (Eds.). Olive Production Manual. University of California Publication 3353, pp. 61–68.
5. **Behboudian MH, Mills TM. (1997).** Deficit Irrigation in deciduous orchard. In: Janick J, editor. *Horticultural Reviews*. 21, 105-131
6. **Berenguer MJ, Vossen PM, Grattan SR, Connell JH, Polito VS. (2006).** Tree irrigation levels for optimum chemical and sensory properties of olive oil. *Hortscience*.41, 427-432.
7. **Besnard, G., Khadari, B., Navascués, M., Fernández-Mazuecos, M., El Bakkali, A., Arrigo, N., Baali-Cherif, D., Brunini-Bronzini de Caraffa, V., Santoni, S., Vargas, P., & Savolainen, V. (2018).** The complex history of the olive tree: From late Quaternary diversification of Mediterranean lineages to primary domestication in the northern Levant. *Annals of Botany*, 121(3), 385-403.
8. **Beyá-Marshall, V., Herrera, J., Fichet, T., Trentacoste, E. R., & Kremer, C. (2018).** The effect of water status on productive and flowering variables in young ‘Arbequina’ olive trees under limited irrigation water availability in a semiarid region of Chile. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 59, 815–826.

9. **Cano-Lamadrid M, Girón IF, Pleite R, Burló F, Corell M. (2015).** Quality attributes of table olives as affected by regulated deficit irrigation. *Food Science and Technology*. 62, 19-26.
10. **Cano-Lamadrid M, Hernández F, Corell M, Burló F, Legua P. (2017).** Antioxidant capacity, fatty acids profile, and descriptive sensory analysis of table olives as affected by deficit irrigation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97,444-451.
11. **Chalmers DJ, Mitchell PD, Vanheek L.(1981).** Control of peach-tree growth and productivity by regulated water-supply, tree density, and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1981;106:307-312
12. **Connor, D.J. (2005).** Adaptation of Olive (*Olea europaea* L.) to water-limited environments. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(11), 1181-1189.
13. **Connor, D.J., et Fereres, E. (2004).** The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. In: Janick, J. (Eds.). *Horticultural Reviews*. John Wiley & Sons, Inc., Oxford, UK.
14. **Correa-Tedesco G, Rousseaux MC, Searles PS. (2010).** Plant growth and yield responses in olive (*Olea europaea*) to different irrigation levels in an arid region of Argentina. *Agricultural Water Management* 97, 1829-1837.
15. **D'Andria, R., et Lavini, A. (2007).** Irrigation In: *Techniques de production en oléiculture*. 1ère Ed: COI, 169-210.
16. **da Silveira, R.; Vágula, J.M.; de Lima Figueiredo, I.; Claus, T.; Galuch, M.B.; Santos Junior, O.O.; Visentainer, J.V. (2017).** Rapid methodology via mass spectrometry to quantify addition of soybean oil in extra virgin olive oil: A comparison with traditional methods adopted by food industry to identify fraud. *Food Res. Int.* 102, 43–50.
17. **Dabbou S, Chehab H, Faten B, Dabbou S, Esposto S, Selvaggini R. (2010).** Effect of three irrigation regimes on Arbequina olive oil produced under Tunisian growing conditions. *Agricultural Water Management*. 97,763-768.
18. **Domingo R, Ruiz-Sánchez MC, Sánchezblanco MJ, Torrecillas A. (1996).** Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 16, 115-123.
19. **Fereres E, Evans RG. (2006).** Irrigation of fruit trees and vines: An introduction. *Irrigation Science*.;24:55-57.

20. **Fereres E, Goldhamer D. (1990).** Irrigation of deciduous fruit and nut trees. In: Lascano RJ, Sojya RE, editors. *Irrigation of Agricultural Crops*. ASA Monograph No. 30. American Society of Agronomy; 1990. pp. 987-1017
21. **Fereres E, Soriano MA. (2006).** Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*. 58, 147-159.
22. **Fernandes-Silva AA, Falco V, Correia CM, Villalobos FJ. (2013).** Sensory analysis and volatile compounds of olive oil (cv. Cobrançosa) from different irrigation regimes. *Grasas y Aceites*. 61,59-67.
23. **Fernandes-Silva AA, Gouveia JB, Vasconcelos P, Ferreira TC, Villalobos FJ. (2013).** Effect of different irrigation regimes on the quality attributes of monovarietal virgin olive oil from cv. ‘Cobrançosa’. *Grasas y Aceites*. 64, 41-49.
24. **Fernandes-Silva AA, Ferreira TC, Correia CM, Malheiro AC, Villalobos FJ. (2010).** Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant and Soil*. 333, 35-47.
25. **Fernandes-Silva AA, Gouveia JB, Vasconcelos P, Ferreira TC, Villalobos FJ.(2013).** Effect of different irrigation regimes on the quality attributes of mono varietal virgin olive oil from cv. ‘Cobrançosa’. *Grasas y Aceites* 64,41-49.
26. **Fernandes-Silva, A., Oliveira, M., A. Paço, T., & Ferreira, I. (2019).** Deficit Irrigation in Mediterranean Fruit Trees and Grapevines: Water Stress Indicators and Crop Responses. *IntechOpen*.
27. **Fernández J.E., et Moreno F. (1999).** Water use by olive tree. *Journal of Crop Production*2, 101-162.
28. **Fernandez, ´ J.E., Alcon, F., Diaz-Espejo, A., Hernandez-Santana, V., Cuevas, M., (2020).** Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: a case study of a super high density olive tree orchard. *Agric. Water Manag* 237, 106-074
29. **Ferreira MI, Conceição N, Malheiro AC, Silvestre JM, Silva RM. (2017).** Water stress indicators and stress functions to calculate soil water depletion in deficit irrigated grapevine and kiwi. *Acta Horticulturae*.1150, 119-126.
30. **García JM, Cuevas MV, Fernández JE. (2013).** Production and oil quality in ‘Arbequina’ olive (*Olea eurpoaea*, L.) trees under two deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*. 31, 359-370.

31. **García-Garví, J.M.; Sánchez-Bravo, P.; Hernández, F.; Sendra, E.; Corell, M.; Moriana, A.; Burgos-Hernández, A.; Carbonell Barrachina, Á.A. (2022).** Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of ‘Arbequina’ Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agronomy* . 12, 18-92.
32. **Geerts S, Raes D. (2009).** Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management* 96, 1275-1284
33. **Gelly, M., Recasens, I., Mata, M., Arbonés, A., Rufat, J., Girona, J. et Marsal, J. (2003).** Effects of water deficit during stage II of peach fruit development and postharvest on fruit quality and ethylene production. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 78 (3), 324-330.
34. **Girona, J. (2001).** Strategie di deficit irriguo controllato. Atti del Corso Internazionale “Gestione dell’acqua e del territorio per un olivicoltura sostenibile” – Napoli, 24-28 Settembre, pp.138-148.
35. **Girona, J., Mata, M., Arbonés, A., Alegre, S., Rufat, J. et Marsal, J. (2003).** Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128(3), 433-440.
36. **Girona, J., Mata, M., Goldhamer, D.A., Johnson, R.S. et DeJong, T.M. (1993).** Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(5), 580-586.
37. **Godfray HCJ, Garnett T.(2014).** Food security and sustainable intensification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B.* p 369
38. **Gómez del Campo M. (2013).** Summer deficit–irrigation strategies in a hedgerow olive orchard cv. ‘Arbequina’: Effect on fruit characteristics and yield. *Irrigation Science.* 31, 259-269.
39. **Grattan, S.R., Berenguer, M.J., Connell, J.H., Polito, V.S., Vossen, P.M., (2006).** Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agric. Water Manag.* 85, 133–140.
40. **Grossi, M.; Di Lecce, G.; Arru, M.; Gallina Toschi, T.; Riccò, B. (2015).** An opto-electronic system for in-situ determination of peroxide value and total phenol content in olive oil. *J. Food Eng.* 146, 1–7.

41. **Gucci, G. Caruso, C. Gennai, S. Esposito, S. Urbani, M. Servili, (2019).** Fruit growth , yield and oil quality changes induced by deficit irrigation at different stages of olive fruit development. *Agric Water Manag* 212, 88–98.
42. **Hargreaves, G.H., et Samani, Z.A. (1985).** Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. In Agris., ASCE* 108(3), 225-230.
43. **Hernandez-Santana V, Fernandes RDM, Perez-Arcoiza A, Fernández JE, Garcia JM, Diaz-Espejo A. (2018).** Relationships between fruit growth and oil accumulation with simulated seasonal dynamics of leaf gas exchange in the olive tree. *Agricultural and Forest Meteorology* 256, 458-469
44. **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. *Eur. J.Agron.* 30, 258–265.
45. **Kamikata, K.; Vicente, E.; Ariseto-Bragotto, A.P.; Miguel, A.M.R.D.O.; Milani, R.F.; Tfouni, S.A.V. (2019).** Occurrence of 3-MCPD, 2- MCPD and glycidyl esters in extra virgin olive oils, olive oils and oil blends and correlation with identity and quality parameters. *Food Control.* 95, 135–141.
46. **Lavee S, Hanoch E, Wodner M, Abramowitch E. (2007).** The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. Muhasan olives (*O. europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae* 112, 156-163
47. **Li, X.; Zhang, Y.; Liu, Z.; Wang, W.; Sun, S.; Wang, J.; Zhu, Z.; Liu, J.; Yang, H.; Zhu, S.(2022).** Quality assessment and geographical origin classification of extra-virgin olive oils imported into China. *J. Food Compos. Anal.* 113, 104-713.
48. **Magliulo V, d’Andria R, Lavini A, Morelli G, Patumi M.(2003).** Yield and quality of two rainfed olive cultivars following shifting to irrigation. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 78,15-23.
49. **Marra FP, Marino G, Marchese A, Caruso T. (2016).** Effects of different irrigation regimes on a super-high-density olive grove cv. “Arbequina”: Vegetative growth, productivity and polyphenol content of the oil. *Irrigation Science.* 4, 313-325.
50. **Marsal, J., Girona, J., Mata, M., Arbonés, A. et Rufat, J. (2002).** Regulated deficit irrigation and modification scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *E. J. of Agronomy* 17(2), 111-122.

51. **Martínez-Gimeno, M.A., Zahaf, A., Badal, E., Paz, S., Bonet, L., Pérez-Pérez, J.G. (2022).** Effect of progressive irrigation water reductions on super-high-density olive orchards according to different scarcity scenarios. *Agric. Water Manag* 262, 107-399.
52. **McCarthy MG, Loveys BR, Dry PR. (2000).** Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying as irrigation management techniques for grapevines. In: FAO, editor. Deficit Irrigation Practices. *Water Reports Publication 22*, 79-87
53. **Molden DA. (2003).** Water-productivity framework for understanding and action. In: Kijne JW, Barker R, Molden D, editors. *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. pp. 1-18.
54. **Monteith JL. (1965).** Evaporation and Environment. *Symposia of the Society for Experimental Biology*. 1965;XIX:205-234.
55. **Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., Fereres, E., (2003).** Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 128, 425–431.
56. **Motilva MJ, Tovar MJ, Romero MP, Alegre S, Girona J. (2000).** Influence of regulated deficit irrigation strategies applied to olive trees (Arbequina cultivar) on oil yield and oil composition during the fruit ripening period. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80, 2037-2043.
57. **Naor A, Yoni Gal Y, Moti Peres M. (2006).** The inherent variability of water stress indicators in apple, nectarine and pear orchards, and the validity of a leaf-selection procedure for water potential measurements. *Irrigation Science*. 24, 129-135.
58. **Ondrasek G. (2014).** Water scarcity & water stress in agriculture. In: Ahmad P, Wani MR, editors. *Physiological Mechanism and Adaptation Strategies in Plants Under Changing Environments I*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. pp. 75-96.
59. **Orgaz, F., et Fereres, E. (2008).** Riego. In *El cultivo del olivo*, 2008, (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, pp. 339-361.
60. **Orgaz, F., Villabolas, F., Testi, L., Pastor, M., Hidalgo, J.C., et Freres, E. (2005).** Programación de riegos en plantaciones de olivar. Metodología para el cálculo de las necesidades de agua de riego en el olivar regado por goteo. In *Cultivo del olivo con riego localizado. Diseño del cultivo y las instalaciones*.

- Programación de riegos y fertirrigación. (2005). Pastor, M. (Eds.). Junta de Andalucía y Mundi-Prensa, España, 783 p, pp.85-136.
61. **Pastor, M. (2005).** Ciclo anual del olivo y sensibilidad al déficit hídrico. In. Cultivo del olivo con riego localizado. Diseño del cultivo y las instalaciones. Programación de riegos y fertirrigación. (2005). Pastor, M. (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, 783 pp. 61-137.
62. **Pierantozzi, P., Torres, M., Lavee, S., Maestri, D. (2014).** Vegetative and reproductive responses, oil yield and composition from olive trees (*Olea europaea*) under contrasting water availability during the dry winter-spring period in central Argentina. *Ann. Appl. Biol.* 164, 116–127.
63. **Rallo, L., et Cuevas, J. (2008).** Fructificación y producción. In. El cultivo del olivo, (2008), Barranco, D., Fernandez-Escobar, R. et Rallo, L. (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, 864 p, pp. 191-237.
64. **Rapoport HF, Hammami S, Martins P, Pérez-Priego O, Orgaz F. (2012).** Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environ Exp Bot* 77, 227–233.
65. **Richard C, Rosecrance RC, William H, Krueger WH, Milliron L, Bloese J .(2015).** Moderate regulated deficit irrigation can increase olive oil yields and decrease tree growth in super high density ‘Arbequina’ olive orchards. *Scientia Horticulturae*.
66. **Rondanini DP, Castro DN, Searles PS, Rousseaux MC.(2014).** Contrasting patterns of fatty acid composition and oil accumulation during fruit growth in several olive varieties and locations in a non-Mediterranean region. *European Journal of Agronomy*.52, 237-246.
67. **Rufat, J.; Romero-Aroca, A.J.; Arbonés, A.; Villar, J.M.; Hermoso, J.F.; Pascual, M. (2018).** Mechanical Harvesting and Irrigation Strategy Responses on ‘Arbequina’ Olive Oil Quality. *Hort Technology Hortte.* 28, 607–614.
68. **Ruiz-Sanchez MC, Domingo R, Castel JR. (2010)** . Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*.;8(S2):S5-S20. <http://www.inia.es/sjar>
69. **Sánchez-Rodríguez, L.; Kranjac, M.; Marijanović, Z.; Jerković, I.; Pérez-López, D.; Carbonell-Barrachina, Á.A.; Hernández, F.; Sendra, E. (2020).** “Arbequina” Olive Oil Composition Is Affected by the Application of Regulated

- Deficit Irrigation during Pit Hardening Stage. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 97, 449–462.
70. **Sastre, B.; Arbonés, A.; Pérez-Jiménez, M.Á.; Pascual, M.; Benito, A.; de Lorenzo, C.; Villar, J.M.; Bonet, L.J.; Paz, S.; Santos, Á. (2023).** Influence of Regulated Deficit Irrigation on Arbequina's Crop Yield and EVOOs Quality and Sensory Profile. *Agronomy*. 13, 31.
71. **Servili, M.; Esposito, S.; Lodolini, E.; Selvaggini, R.; Taticchi, A.; Urbani, S.; Montedoro, G.; Serravalle, M.; Gucci, R. (2007).** Irrigation Effects on Quality, Phenolic Composition, and Selected Volatiles of Virgin Olive Oils Cv. Leccino. *J. Agric. Food Chem.* 55, 6609–6618.
72. **Sofa A, Palese AM, Casacchia T, Dichio B, Xiloyannis C. (2012).** Sustainable fruit production in mediterranean orchards subjected to drought stress. In: Ahmad P, Prasad MNV, editors. *Abiotic Stress Responses in Plants Metabolism, Productivity and Sustainability*. Springer. pp. 105-129.
73. **Sole Riera M.A. (1990).** The influence of auxiliary drip irrigation with low quantities of water in olive trees in Las Garrigas (cv. Arbequina). *Acta Horticulturae* 286, 307- 310.
74. **Stroosnijder, L., Mansinho, M.I., et Palese, A.M. (2008).** OLIVERO: the project analysing the future of olive production systems on sloping land in the Mediterranean basin. *J. Environ. Manage* 89, 75-85.
75. **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). *Eur. J. Agron.* 25, 356–364
76. **Trabelsi, L. (2020).** Adaptation des stratégies nutritionnelles de l'olivier (*Olea europaea*. L) à différents régimes hydriques en milieu aride. Mémoire de doctorat, l'école nationale d'ingénieurs de Sfax, 242p.
77. **Trentacoste, E.R., Calderón, F.J., Contreras-Zanessi, O., Garleza, W., Banco, A & Puertas, C., (2019).** Effect of regulated deficit irrigation during the vegetative growth period on shoot elongation and oil yield components in olive hedgerows (cv. Arbosana) pruned annually on alternate sides in San Juan, Argentina. *Irrig Sci* 37, 533–546.
78. **Valipour M. (2014).** Pressure on renewable water resources by irrigation to 2060. *Acta Advances in Agricultural Sciences*. 2, 32-42.

79. **Veihmeyer, F.J., et Hendrickson, A.H. (1950).** Soil moisture in relation to plant growth. *Ann. Rev. Plant physiol* 1, 285-304.
80. **Villalobos F.J., L. Mateos, E. Fereres. (2016).** Irrigation Scheduling Using the Water Balance. In *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. (F.J. Villalobos & E. Fereres Eds.). pp 269-279.
81. **Villar, J.M., et Ferrer, F.A. (2005).** Técnicas de medida y control del agua en el suelo. In. *Agua y agronomía*, (2005). Mañas, F. Fuster, F. et Belmonte, A. (Eds.). MundiPrensa. 606 p, pp. 25-86.
82. **Zafeiriou, E., Koutroumanidis, T., Karelakis, C., et Trivellas, T. (2012).** The virgin olive oil production in Mediterranean basin: An empirical approach. *African Journal of Agricultural Research* 7 (43), 5734-5750.