

Valorisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de complément de l'olivier (*olea europaea* L.): effets sur les comportements végétatif et productif de l'arbre et sur la qualité sanitaire des fruits

M. Trad Raïs ¹, S. Sifi ², D. Xanthoulis ³

¹ Institut National de Recherches En Génie Rural, Eaux et Forêts, BP. 2, Ariana 2080, Tunisie, E-mail: rais.monia@iresa.agrinet.tn

² Office National de l'Huile, 10 Av. Mohamed V – Tunis, E-mail: s.sifi.onh@gnet.tn

³ Unité d'Hydraulique Agricole. Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail: xanthoulis.d@fsagx.ac.be

Résumé

L'oléiculture revêt une importance stratégique dans la zone méditerranéenne qui fournit la majeure partie de la production mondiale d'huile d'olive. Dans tous les pays méditerranéens, la tendance actuelle est au développement de ce secteur. Les objectifs de maximisation des rendements nécessitent le recours à l'irrigation, or l'eau est une ressource qui devient de plus en plus rare dans cette région. Par contre, les eaux d'origine non conventionnelles telles que les eaux usées traitées (EUT) sont disponibles en quantités relativement importantes; leur valorisation pour l'intensification de l'olivier pourrait constituer une bonne alternative. Cependant, vu les caractéristiques particulières de ces eaux, leurs effets potentiels sur l'arbre et sur la qualité sanitaire des produits doivent être bien connus et maîtrisés. La présente étude a pour objectif d'évaluer les effets des irrigations aux EUT sur les comportements végétatif et productif de deux variétés d'olivier ainsi que sur la qualité bactériologique des olives. Elle a été conduite durant trois années (2005-2007) dans une oliveraie expérimentale située au nord-est de la Tunisie et divisée en deux parties: la première partie reçoit des irrigations aux eaux de puits alors que la deuxième partie reçoit des irrigations aux EUT. Les résultats obtenus relatifs aux paramètres de croissance végétative montrent que l'évolution du diamètre des troncs des oliviers est significativement augmentée sous irrigation aux EUT durant l'année de faible production. L'allongement des pousses, leurs caractéristiques ainsi que le nombre de feuilles néoformées ne sont pas influencés par le type d'eau d'irrigation. Sur le plan physiologique, une amélioration significative de la production de matière sèche des feuilles et des rameaux d'un an est enregistrée chez les oliviers irrigués aux EUT. La teneur des sucres solubles est généralement plus élevée dans les feuilles des arbres irrigués aux EUT par rapport aux feuilles des arbres témoins. On a également enregistré une augmentation de la production d'olives ainsi qu'une amélioration significative du rapport Pulpe/noyau en cas d'irrigation aux EUT. Concernant la qualité sanitaire, aucune contamination bactérienne significative n'a été enregistrée sur les olives prélevées directement sur les arbres. Les fruits ramassés sur le sol irrigué aux EUT présentent une contamination bactérienne d'un faible niveau et similaire à celle des fruits ramassés sur le sol irrigué aux eaux de puits. Les salmonelles n'ont jamais été retrouvées sur les olives analysées. L'ensemble des résultats obtenus confirme la possibilité d'utilisation des EUT pour l'irrigation de l'olivier sans risques pour la santé publique et pour la culture.

Mots-clés: Olivier, Eaux usées traitées, croissance, production, qualité bactériologique.

Introduction

En zone méditerranéenne, l'oléiculture joue un rôle économique de premier plan. Environ 95% des ressources oléicoles mondiales sont localisées dans cette région (COI, 2000). Pour conserver leur position privilégiée sur le marché international, les différents pays méditerranéens ne cessent de renforcer ce secteur notamment par l'extension des superficies consacrées à l'olivier et par l'amélioration quantitative et qualitative de la production. Les objectifs de maximisation des rendements nécessitent le recours à l'irrigation, or le manque d'eau constitue un problème majeur dans cette zone et en particulier dans les pays du sud de la méditerranée et du Proche-Orient (Angelakis et al., 1999). Le recyclage des eaux usées dont le volume ne cesse d'augmenter est de plus en plus intégré dans la planification et le développement des ressources en eaux dans la région méditerranéenne particulièrement pour l'agriculture et l'irrigation des espaces verts (Kamizoulis et al., 2003).

L'irrigation de l'olivier aux eaux usées traitées (EUT) pourrait constituer une solution réaliste pour l'intensification de cette espèce dans un contexte de rareté et d'insuffisance des ressources hydriques conventionnelles. Cependant, compte tenu des caractéristiques particulières de ces eaux et des risques sanitaires potentiels liés leur usage agricole (Blumenthal et al., 2001; Minhas et al., 2006; Mara et al., 2007), il est important que les effets des irrigations aux EUT soient objectivement évalués et bien maîtrisés.

La présente étude a pour objectif d'évaluer les effets des irrigations aux EUT sur les comportements végétatif et productif de deux variétés d'olivier parmi les plus cultivées en Tunisie ainsi que sur la qualité sanitaire des olives.

2. Matériel et méthodes

2.1. Station expérimentale et conditions pédoclimatiques

L'étude a été conduite durant trois années (2005, 2006, et 2007) dans une station expérimentale située dans la région du Cap Bon au Nord-Est de la Tunisie. La parcelle d'essai est une oliveraie qui a été plantée en 1996 avec un espacement de 6 x 6m. Elle est équipée pour l'irrigation par goutte à goutte (rampes doubles avec des émetteurs espacés de 50 cm délivrant un débit de 4l/h sous une pression de 1 bar). Dès sa plantation, l'oliveraie a été divisée en deux parties: la première partie reçoit des irrigations aux eaux de puits alors que la deuxième partie est irriguée aux EUT provenant d'une station d'épuration par boues activées. L'oliveraie comporte plusieurs variétés; deux ont été sélectionnées pour cette étude. Il s'agit de la variété à huile Chétoui et de la variété à double fin Picholine.

Le climat de la zone d'étude est classé comme semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle est de 427 mm. La période sèche s'étend généralement de mai à septembre.

Le sol de la parcelle expérimentale est de type limono-sableux contenant 12,4% argile, 22% de limon et 64,2% de sable. Les principaux paramètres météorologiques sont mesurés quotidiennement dans une station météo installée sur le site expérimental.

2. 2. Irrigation et conduite de l'essai

L'évapotranspiration de la culture (ETc) a été calculée selon la méthode de Penman-Monteith recommandée par la FAO (Allen et al., 1998): $ETc = Kr \times Kc \times ETo$ (avec Kc = coefficient cultural = 0,6 et Kr = coefficient de recouvrement estimé à 0,7).

La dose d'irrigation a été calculée en soustrayant la pluviométrie à l'ETc. L'irrigation était généralement appliquée entre la mi-mai à la fin du mois d'Août. Durant cette période, un volume total d'eau égal à 70% de l'ETc est appliqué en 6 à 10 irrigations.

Les arbres reçoivent chaque année une fertilisation minérale à base d'Ammonitrate 33% (1kg/

arbre) et de superphosphate 45% (0,5 kg/arbre). L'apport a lieu, toujours, vers la mi-février. Les arbres reçoivent une taille légère tous les deux ans et le sol de la parcelle est retourné trois à quatre fois par an.

2. 3. Mesure des paramètres de croissance végétative.

L'étude de ces paramètres a été réalisée sur trois arbres par variété et par type d'eau d'irrigation. Le diamètre des troncs a été évalué à travers la mesure de la circonférence; cette dernière a été effectuée à 10 cm par rapport à la surface du sol. Les mesures ont été réalisées chaque année pendant le repos végétatif (Décembre - Janvier), à la fin de la période de croissance printanière (juillet) et à la fin de la période de croissance automnale (novembre). Pour l'étude de l'élongation et des caractéristiques des pousses, nous avons choisi sur chaque arbre quatre rameaux en position moyenne et selon les orientations Nord, Est, Sud et Ouest puis étiquetés au cours de la période de repos végétatif. Sur ces rameaux, les bourgeons terminaux ont été marqués avant leur initiation dans le but de suivre leur évolution. Les observations ont porté simultanément sur la croissance du bourgeon terminal, le nombre de feuilles néoformées ainsi que le nombre et la longueur des entre-nœuds.

2. 4. Prélèvement et analyse des échantillons d'eaux d'irrigation

Les échantillons d'eau ont été prélevés au moment des irrigations dans des flacons de 2 litres en polyéthylène; les échantillons destinés aux analyses bactériologiques ont été prélevés dans des flacons en verre stérilisés. Le transport au laboratoire a eu lieu dans une glacière et les analyses ont été réalisées dans les plus brefs délais.

La détermination de la teneur des eaux en azote, phosphore et potassium a été réalisée selon les méthodes décrites par les normes NF T 90-110, ISO 6878 et ISO 9964-3. L'analyse bactériologique a consisté en un dénombrement des coliformes totaux, d'*Escherichia coli* et des streptocoques fécaux ainsi qu'une recherche des salmonelles. Les dénombrements bactériens ont été réalisés selon la technique du nombre le plus probable en milieux de culture liquides (NT 16.11-1995; NT ISO 7251-2005; Rodier, 1997). Pour la recherche des salmonelles, un litre d'eau a été filtré sur une membrane millipore (taille des pores 0,45µm); la membrane a été par la suite placée dans un bouillon d'enrichissement au sélénite de sodium et incubée à 37°C durant 24 h. Pour l'isolement des souches, deux milieux sélectifs solides ont été utilisés; il s'agit des géloses XLD et Hektoen. L'incubation a eu lieu à 37°C durant 24h. L'identification biochimique a été réalisée sur des galeries API 20E. Les salmonelles présumées ont été envoyées à l'Institut Pasteur de Tunis pour confirmation de diagnostic et typage sérologique.

2. 5. Prélèvement des échantillons de feuilles, de bois et de fruits

Pour chacune des deux variétés d'olivier étudiées et pour chaque type d'eau d'irrigation, trois arbres ont été sélectionnés pour le prélèvement des échantillons. Les feuilles et le bois ont été prélevés sur la partie centrale des rameaux d'un an. Entre 100 et 200 feuilles ont été prélevées sur chaque arbre. Pour le bois, une vingtaine de brindilles par arbre ont été prélevées à raison de 5 par orientation. Les échantillons ont été conservés dans des sachets en papier et transportés dans une glacière.

Les échantillons d'olives ont été prélevés au stade caractérisé par le début du noircissement de l'épicarpe à raison d'environ 1 kg de fruits par variété et par type d'eau d'irrigation. Les échantillons destinés à l'analyse bactériologique ont été prélevés séparément à l'aide de gants stériles et conservés dans des sachets stériles à l'intérieur d'une glacière. Sur la partie de l'olivieraie qui reçoit des irrigations aux EUT, un échantillon moyen de 1,5 kg d'olives a été récolté sur les arbres à partir des branches situées à une hauteur supérieure ou égale à 1m; un deuxième échantillon a été constitué à partir de fruits ramassés sur le sol. Le même échantillonnage a été réalisé sur la deuxième partie de l'olivieraie qui reçoit des irrigations aux eaux de puits.

2. 6. Détermination de la biomasse et préparation des échantillons pour le dosage

Une fois ramenés au laboratoire, les échantillons de feuilles et de bois ont été lavés à l'eau distillée, égouttés puis enveloppés dans du papier Kraft et séchés dans une étuve à 60°C jusqu'à constance du poids. Après la détermination de la biomasse des feuilles et des tiges exprimée par la matière sèche, les échantillons ont été broyés finement et les poudres conservées dans des piluliers pour le dosage des glucides solubles.

2. 7. Détermination de la teneur des feuilles et du bois en glucides solubles.

L'extraction a été réalisée à l'aide de l'alcool éthylique à 80% à raison de 10 ml pour 100 mg de broyat. Après chauffage au bain-marie pendant 30 mn à 70°C avec agitation intermittente, refroidissement et centrifugation à 6000 tours/mn durant 10 minutes, le surnageant a été récupéré pour le dosage. Ce dernier a été réalisé par la méthode au phénol et à l'acide sulfurique (Robyt et White, 1987). Cette méthode a consisté à additionner 1 ml d'une solution aqueuse de phénol à 5% à 1 ml d'extrait végétal; après agitation, 5 ml d'acide sulfurique concentré ont été ajoutés et la solution a été, de nouveau, homogénéisée. Après incubation à température ambiante durant 20 minutes, l'absorbance a été mesurée à 470 nm. La concentration en glucides solubles est déterminée par référence à une courbe étalon préalablement établie à l'aide de solutions de glucose ayant des concentrations croissantes.

2. 8. Etude des paramètres de production

L'étude de la floraison a été réalisée sur trois arbres par variété et par qualité d'eau d'irrigation. Elle a consisté à compter le nombre de fleurs par grappe sur quatre branches par arbre correspondant aux orientations Nord, Sud, Est et Ouest.

Le poids moyen des fruits a été déterminé par pesée de 100 olives par variété et par type d'eau d'irrigation. Le rapport (Pulpe/Noyau) a été calculé après dénoyautage et pesée des noyaux.

La production en olives a été déterminée par des pesées individuelles, arbre par arbre, de la récolte obtenue.

2. 9. Analyse bactériologique des fruits

L'analyse a toujours été effectuée dans les heures qui suivent le prélèvement. A partir de chaque échantillon une suspension mère a été préparée avec 100 g d'olives et 900 ml d'eau peptonée tamponnée stérile (Norme ISO 6887-1: 1999). Après homogénéisation durant 2 minutes dans un broyeur homogénéisateur « stomacher 400 », une série de dilutions décimales a été préparée à partir de cette suspension mère en utilisant le même diluant que précédemment. Cette suspension a été par la suite soumise aux mêmes dénombrements bactériens que les échantillons d'eaux. Les salmonelles ont été recherchées dans 25 g d'olives. Conformément à la norme ISO 6579 de 2002, le protocole de recherche a comporté quatre phases qui sont: un pré enrichissement dans de l'eau peptonée, un enrichissement dans un bouillon sélectif, un isolement sur deux milieux sélectifs solides et une identification. Les milieux de culture utilisés et les conditions d'incubation sont les mêmes que ceux utilisés pour l'analyse des échantillons d'eau.

2. 10. Traitement statistique des résultats

Le traitement statistique des données a été réalisé grâce au logiciel Statistica version-V. Pour chaque paramètre mesuré, on a procédé à une analyse de la variance à deux facteurs (qualité de l'eau d'irrigation et variété) par le test F de Fisher. Cette analyse a été complétée par une comparaison multiple des moyennes par le test de Newman-Keuls (Steel Robert et Torrie, 1980; Dagnélie, 1986) pour une probabilité de 95%. Pour les paramètres bactériologiques, les moyennes ont été comparées deux à deux par le test « t » de Student au seuil de 5%.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3. 1. Qualité des eaux d'irrigation

Les principales caractéristiques chimiques et bactériologiques moyennes des eaux d'irrigation sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1: Principales caractéristiques chimiques et bactériologiques des eaux d'irrigation

Eaux	pH	CE	Nk (mg/l)	Pt (mg/l)	K (mg/l)	NPP/100 ml		
						CT	E. coli	SF
EP	7,5	3,6	1,4 ± 0,9	0,2 ± 0,1	46,2 ± 19,1	3,2. 10 ²	1,7. 10 ²	6. 10 ²
EUT	7,6	3,4	32,8 ± 10,6	12,6 ± 4,2	53,4 ± 21,6	3,2. 10 ⁵	2,5. 10 ⁵	5,7. 10 ⁵

Nombre d'échantillons: 19 ; EP : Eaux de puits ; EUT : Eaux usées traitées ; CE : Conductivité électrique (mS/cm) ; Nk : Azote Kjeldahl ; Pt : Phosphore total ; K : potassium ; NPP : Nombre le plus probable.

Le pH et la conductivité électrique moyenne des EUT sont proches des valeurs correspondantes aux eaux de puits. La charge en éléments nutritifs (N, P et K) est nettement plus importante dans le cas des EUT. Quant à la qualité bactériologique, les eaux de puits véhiculent une charge bactérienne relativement faible et de même ordre que celle généralement rencontrée dans les eaux naturelles (Nefzaoui et al., 1989; Trad Raïs, 1997; WHO, 1989). Pour les trois microorganismes étudiés, le niveau de contamination des EUT est significativement plus élevé que celui des eaux de puits. La présence des salmonelles a été enregistrée dans quelques échantillons d'EUT; la fréquence de cette bactérie pathogène dans les échantillons d'EUT analysés est de l'ordre de 15,8%. D'après les recommandations de l'OMS (WHO, 1989), ces EUT ne possèdent pas la qualité bactériologique requise pour l'irrigation des légumes dont les produits sont destinés à être consommés crus.

3. 2. Effets des irrigations aux EUT sur les paramètres de croissance végétative

Les résultats relatifs à l'augmentation du diamètre du tronc des oliviers durant deux années de forte production (2005 et 2007) et une année de faible production (2006) sont présentés dans la Figure 1.

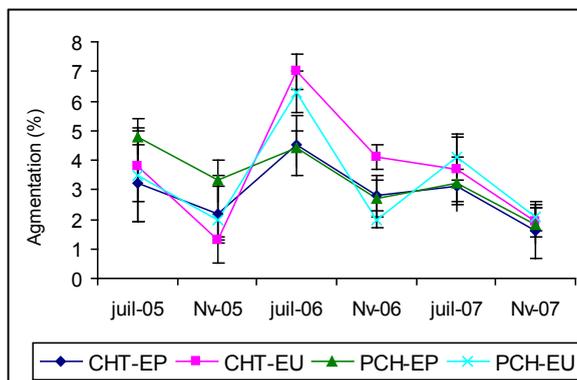


Figure 1: Augmentation du diamètre des troncs des oliviers Chétoui (CHT) et Picholine (PCH) irrigués aux eaux de puits (EP) et aux eaux usées (EU)

L'augmentation moyenne du diamètre des troncs exprimée en % est en général indépendante du cultivar et de l'origine des eaux d'irrigation durant les années de forte production. Durant l'année de faible production 2006, l'augmentation enregistrée au cours de la période de croissance printanière est significativement plus importante chez les oliviers irrigués aux EUT. Quant à la valeur de cette augmentation, elle varie de 3,1 à 7% pour la période de croissance printanière mesurée au mois de juillet; elle est de l'ordre de 1,3 à 4,1% pour la période de la croissance automnale évaluée à la fin du mois de novembre. D'une façon générale l'augmentation enregistrée en juillet est supérieure à celle correspondante au mois de novembre. La différence entre les augmentations printanières et automnales n'est pas toujours statistiquement significatives ce qui pourrait être dû à l'importance de la variabilité entre les répétitions. La comparaison des moyennes obtenues durant les années de forte production (2005 et 2007) à celles correspondantes à l'année de faible production (2006) montre que ces dernières sont nettement plus élevées. Ce résultat peut s'expliquer par la production insignifiante de fruits donc par l'absence de compétition entre la croissance végétative et la production durant cette année. Exprimé en unité de longueur, l'augmentation moyenne du diamètre des troncs est de l'ordre de 1 à 1,5 cm par an dans le cas des deux variétés; elle est de même ordre que celle indiquée par Msallem (2002) qui a mis en évidence sur des plants âgés de 7 ans, une évolution de 1 cm durant la période allant du réveil végétatif à la fin de la croissance automnale.

Les résultats relatifs à l'élongation des pousses durant les trois années de suivi sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2: Allongement des pousses enregistré à deux périodes des années de suivi 2005 – 2007 (cm)

Cultivar et eau d'irrigation	2005		2006		2007	
	Juillet	Novembre	Juillet	Novembre	Juillet	Novembre
CHT-EP	4,8 ± 1,9 a	0,7 ± 0,2 a	12,5 ± 3,6 a	1,8 ± 0,7 a	6,9 ± 1,4 a	0,9 ± 0,2 a
CHT-EU	5,2 ± 2,1 a	4,7 ± 1,6 b	9,4 ± 3,3 b	1,2 ± 0,8 a	5,8 ± 2 a	1,8 ± 0,7 b
PCH-EP	12,1 ± 3,4 b	3,2 ± 0,9 b	8,1 ± 3,8 b	1,7 ± 0,7 a	5,6 ± 1,3 a	2,5 ± 1 b
PCH-EU	7,1 ± 2,8 a	5,1 ± 1,1 b	7,4 ± 2,6 b	1,4 ± 0,9 a	10,2 ± 3,1 b	3,6 ± 1,4 b

CHT: Chétoui; PCH: Picholine; EP: eau de puits; EU: Eau usées traitées; Dans chaque colonne, les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 95% (Test de Newman et Keuls).

Durant les années de forte production 2005 et 2007, l'élongation totale des pousses a varié de 5,5 à 15,3 cm. Elle a été plus importante dans le cas de la variété Picholine par rapport à la variété Chétoui. Par contre, durant l'année de faible production 2006, les valeurs les plus importantes ont été enregistrées chez la variété Chétoui. D'une façon générale, l'allongement des pousses déterminé en Juillet a été plus important que celui correspondant au mois de novembre. Ce résultat serait attribuable aux conditions de température et d'éclairage plus favorables à la croissance végétative au cours du printemps par rapport à l'automne. L'accumulation des réserves glucidiques dans le bois durant l'hiver contribuerait à assurer une croissance active au printemps alors qu'en automne, la croissance végétative est concurrencée par la production. En général, l'élongation moyenne des pousses n'a pas été influencée par l'origine des eaux utilisées en irrigation sauf dans quelques cas où on a enregistré une augmentation significative chez les oliviers irrigués aux EUT: Il s'agit de la variété Picholine en juillet 2007 et de la variété Chétoui en novembre 2005, juillet 2006 et novembre 2007.

Pour la variété Chétoui, les valeurs moyennes de l'élongation enregistrées au cours de la période de croissance printanière sont proches de celle déterminée par Mehri et al., (2002) sur

cette même variété cultivée dans la région de Tunis. Les résultats de la présente étude relatifs à l'élongation moyenne des rameaux des oliviers Picholine sont de même ordre que ceux mesurés sur la Picholine marocaine par Boulouha (1986). La comparaison des résultats obtenus au cours des trois campagnes successives montre que l'élongation des pousses est dans la plupart des cas plus importante en année de faible production qu'en année de forte production; ce résultat confirme l'existence d'une compétition entre la production et la croissance végétative de l'olivier (Magliulo et al., 1999; Boulouha, 1986). Concernant les caractéristiques des pousses, le tableau 3 indique pour chacune des deux variétés étudiées le nombre moyen des entre-nœuds, leur longueur moyenne ainsi que le nombre de feuilles néoformées en relation avec l'origine des eaux utilisées en irrigation.

Tableau 3: Nombre et longueur moyenne des entre-nœuds

Origine des eaux d'irrigation	Variété	Nombre d'entre-nœuds	Longueur d'un entre-nœuds (cm)	Nombre de feuilles formées
Eaux de puits	Chétoui	13,6 ± 3,3 a	2,5 ± 1 a	15,8 ± 5,1 a
Eaux de puits	Picholine	13,4 ± 3,6 a	2 ± 0,6 b	9,8 ± 2,8 b
Eaux usées traitées	Chétoui	11,2 ± 4,5 a	2,3 ± 0,7 ab	14,4 ± 3,8 a
Eaux usées traitées	Picholine	12,5 ± 2 a	2,1 ± 0,6 b	11,6 ± 3,1 b

La même lettre dans une colonne indique que les moyennes ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 95% (Test de Newman et Keuls).

On constate que le nombre moyen des entre-nœuds se situe entre 11,2 et 13,6 et ne subit pas de variations importantes selon l'origine des eaux d'irrigation. La longueur moyenne d'un entre-nœud est de l'ordre de 2 cm chez la variété Picholine, elle est un peu plus élevée chez la Chétoui avec un maximum de 2,5 cm chez les arbres irrigués aux eaux de puits. Ces résultats sont en accord avec ceux de Fernandes Serrano et Abela (1984) qui ont constaté que l'irrigation des oliviers Galega vulgare au Portugal n'entraîne aucune influence sur la longueur moyenne d'un entre-nœud qui semble être liée plutôt au cultivar.

Durant la période située entre le débourrement et la fin de l'automne, le nombre total de feuilles formées varie de 9,8 à 15,8. Ce nombre est plus élevé chez les oliviers Chétoui par rapport aux oliviers Picholine mais, il n'est pas influencé par l'origine des eaux utilisées en irrigation. Ces résultats rappellent ceux d'une étude menée sur la croissance de trois variétés d'olivier dont la Chétoui et la Picholine (Mehri et al., 2001); cette étude a révélé que le nombre moyen de feuilles formées entre le repos hivernal et la nouaison était de l'ordre de 10,4 et 10,9 respectivement pour ces deux variétés.

3. 3. Effets des irrigations aux EUT sur quelques paramètres physiologiques

3. 3. 1. Evolution de la masse de matière sèche des feuilles et du bois

Pendant la durée de l'étude, la masse de matière sèche des feuilles a été mesurée à trois périodes de l'année qui correspondent à la fin de du printemps, de l'été et de l'automne. Les valeurs moyennes obtenues sur les deux variétés d'olivier en fonction de l'origine des eaux d'irrigation sont représentées dans la Figure 2.

On constate qu'à la fin du printemps, la masse de matière sèche est plus importante dans le cas de la variété Picholine par rapport à la variété Chétoui mais, pour ces deux variétés, elle est indépendante de l'origine des eaux d'irrigation. A la fin de l'été, la masse de matière sèche des feuilles est significativement

plus importante dans le cas de la variété Chétoui par rapport à la variété Picholine. L'irrigation par les eaux usées traitées entraîne une augmentation significative chez les deux variétés. A la fin de l'automne, aucune tendance claire n'est constatée quant à l'effet de la variété. Par contre, l'irrigation par les EUT entraîne une augmentation significative dans le cas de la Picholine.

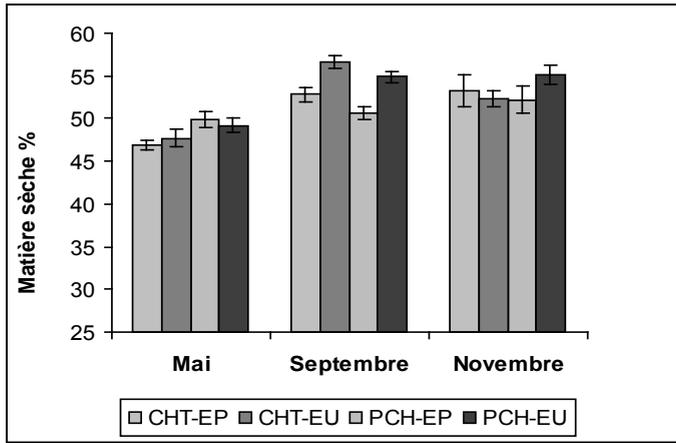


Figure 2: Evolution de la masse de matière sèche des feuilles d'oliviers Chétoui (CHT) et Picholine (PCH) irrigués aux eaux de puits (EP) et aux eaux usées traitées (EU)

Quant à l'évolution dans le temps, on constate que d'une façon générale, la masse de matière sèche des feuilles augmente entre mai et septembre puis se maintient à peu près au même niveau sauf dans le cas de la variété Chétoui irriguée à l'eau usée pour laquelle on enregistre une diminution. La tendance générale de l'évolution dans le temps est en accord avec les résultats d'autres travaux (Baldy et Lakhoua, 1987; Msallem, 2002). Les résultats de mesure de la masse de matière sèche du bois aux trois périodes sont représentés dans la Figure 3.

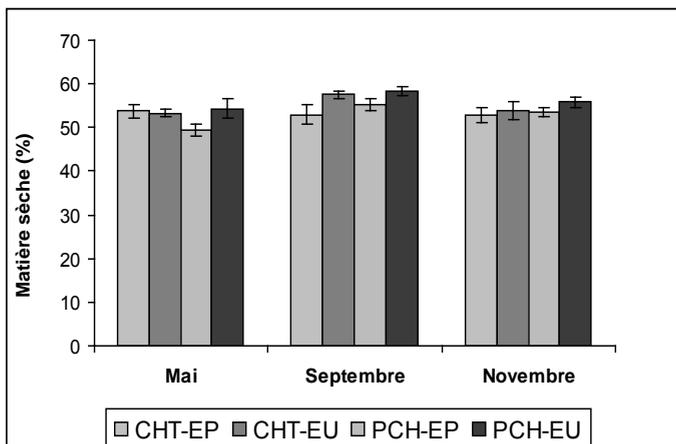


Figure 3: Evolution de la masse de matière sèche du bois d'un an des oliviers Chétoui (CHT) et Picholine (PCH) irrigués aux eaux de puits (EP) et aux eaux usées traitées (EU)

On constate qu'au printemps, la masse de matière sèche est généralement plus importante dans le bois des oliviers Chétoui. En septembre, on enregistre une augmentation pour tous les échantillons avec un avantage pour la variété Picholine. A la fin de l'automne, une légère diminution par rapport aux valeurs enregistrées en septembre est constatée dans le cas des deux variétés et des deux qualités d'eaux d'irrigation. D'une façon générale, l'irrigation aux eaux usées traitées entraîne une légère augmentation de la masse de matière sèche du bois par rapport à l'irrigation aux eaux de puits. Cette augmentation est significative au printemps et en été pour la variété Picholine; pour la variété Chétoui, l'augmentation est relativement importante seulement en été. Par ailleurs, on constate que la masse de matière sèche du bois est supérieure à celle des feuilles. Ce même résultat a été déjà enregistré par Msellem (2002).

3. 3. 2. Teneur des glucides solubles dans les feuilles

Les valeurs moyennes obtenues sur les deux variétés étudiées à trois périodes différentes de l'année sont représentées dans la Figure 4.

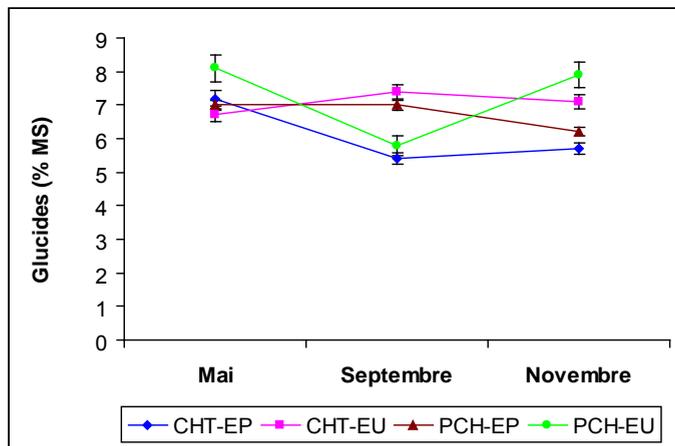


Figure 4: Concentration des glucides solubles dans les feuilles des oliviers Chétoui (CHT) et Picholine (PCH) irrigués aux eaux de puits (EP) et aux EUT (EU) à trois périodes

Dans la plupart des cas, la teneur en glucides solubles est un peu plus élevée dans les feuilles prélevées sur les arbres irrigués aux EUT par rapport à ceux irrigués aux eaux de puits sauf dans le cas de la variété Chétoui à la fin du printemps et de la variété Picholine à la fin de l'été. Au mois de novembre, cette augmentation a lieu simultanément chez les deux variétés et devient statistiquement significative: La quantité de sucres mobilisée par les feuilles des arbres irrigués aux EUT est plus importante du fait d'une meilleure assimilation grâce aux apports nutritifs des eaux d'irrigation d'une part; d'autre part, il a été démontré que la productivité photosynthétique foliaire est contrôlée par la force d'accumulation dans l'organe de prélèvement (Dali et al., 1996); cette force serait plus importante chez les oliviers irrigués aux EUT puisque leur charge fructifère est plus grande. La comparaison des deux variétés montre que les feuilles de la Picholine sont toujours un peu plus riches en sucres solubles par rapport aux feuilles de la variété Chétoui mais, ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

3. 4. Effets des irrigations aux EUT sur les paramètres de production

L'effet des irrigations aux EUT sur l'intensité de la floraison a été évaluée durant la période de suivi; les valeurs moyennes du nombre de fleurs formées par grappe chez les deux variétés d'olivier étudiées en relation avec l'origine des eaux d'irrigation sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4: Nombre moyen de fleurs par grappe chez les deux variétés étudiées en relation avec l'origine des eaux d'irrigation

Cultivars	Eaux usées traitées	Eaux de puits
Chétoui	21,3 ± 1,2 a	22,3 ± 1 a
Picholine	22,1 ± 1 a	22,6 ± 1,4 a

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes à un niveau de probabilité de 95% (Test de Newman et Keuls).

L'analyse statistique des résultats de comptages montre que le nombre de fleurs par grappe est sensiblement le même chez les variétés Chétoui et Picholine; L'origine des eaux utilisées pour l'irrigation des arbres n'exerce aucun effet significatif sur ce nombre qui est de l'ordre de 22 fleurs/grappe pour les différents échantillons.

Dans une étude de la biologie florale de différentes variétés d'olivier, Msallem (2002) a trouvé que le nombre moyen de fleurs par grappe était de 15 pour la variété Chétoui et 9 pour la variété Picholine. Une autre étude menée sur les potentialités végétatives et l'auto-compatibilité de huit variétés d'oliviers a conduit à des valeurs un peu plus élevées, de l'ordre de 24 et 18 fleurs par grappe respectivement pour les variétés Chétoui et Picholine (Mehri et al., 2002). La différence par rapport aux résultats actuellement obtenus peut s'expliquer par la variation de plusieurs facteurs tels que l'âge, la densité des plantations et les conditions de cultures.

Les résultats relatifs à la production d'olives et à la consistance de leur pulpe sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Valeurs moyennes du rapport pulpe/noyau et de la production d'olives (kg/arbre)

Traitement	2005		2006		2007	
	P/N	Prod	P/N	Prod	P/N	Prod
CHT-EP	5,2 ± 0,3 a	3,9 ± 0,8 a	7,2 ± 0,4 a	-	5,9 ± 0,3 a	15,8 ± 2,3 a
CHT-EU	5,6 ± 0,2 b	4,6 ± 0,8 a	8,5 ± 0,4 b	-	6,1 ± 0,5 a	21,6 ± 4,1 b
PCH-EP	7,5 ± 0,3 c	9,1 ± 1 b	11,8 ± 0,6 c	-	9,8 ± 0,2 b	23,5 ± 4,8 b
PCH-EU	7,4 ± 0,2 c	14,3 ± 1,5 c	13 ± 0,6 d	-	10,8 ± 0,4 c	29,2 ± 4 c

P/N : pulpe/noyau ; Prod : Production de fruits ; CHT : Chétoui ; PCH : Picholine ; EP : Eau de puits ; EU eau usée traitée.

En général, la valeur moyenne du rapport pulpe/noyau dépend à la fois de la variété et du type d'eau utilisée en irrigation. Ce rapport est significativement plus élevé dans le cas de la Picholine par rapport à la Chétoui. Pour ces deux variétés, il est plus élevé chez les fruits prélevés sur les arbres irrigués aux EUT; la différence par rapport aux valeurs enregistrées sur les fruits prélevés sur les arbres témoins est significative au seuil de 5% sauf dans le cas de la variété Chétoui au cours de la dernière année de suivi. L'irrigation des oliviers aux EUT entraîne donc une amélioration de la consistance de la pulpe des fruits ce qui a un impact direct sur leur valeur commerciale car cette consistance est un important critère de qualité des olives notamment pour les variétés de table et les variétés à double fin.

Les résultats relatifs à la production moyenne d'olives durant les deux années de forte production

2005 et 2007 montrent que dans les conditions de l'essai, la variété Picholine est nettement plus productive que la variété Chétoui. Dans le cas de ces deux variétés, la production est meilleure lorsque les arbres sont irrigués aux EUT; l'augmentation de la production par rapport aux arbres témoins irrigués aux eaux de puits varie de 18% dans le cas de la Chétoui durant l'année 2005 à 57% dans le cas de la Picholine au cours de l'année 2007. Par ailleurs, les valeurs obtenues au cours de l'année 2005 sont relativement réduites en comparaison avec celles enregistrées en 2007 ce qui s'explique par les chutes de grêle survenues durant deux jours consécutifs du mois de septembre 2005 ce qui a eu pour conséquence la perte d'une importante quantité de fruits. En 2006, la production a été particulièrement faible ou nulle pour une partie des oliviers; les rendements en fruits n'ont pas été évalués car la récolte n'a pas eu lieu.

D'une façon générale, les résultats obtenus sur les deux variétés étudiées indiquent l'existence d'un impact positif de l'irrigation aux EUT sur le niveau de production de fruits. Ces résultats corroborent ceux d'autres travaux qui ont permis de mettre en évidence un effet similaire des EUT sur le rendement de différentes espèces végétales annuelles et arboricoles (Mojtahid et al., 2001; Xanthoulis et al., 2002; Trad Raïs et al., 2008).

3. 5. Effets des irrigations aux EUT sur la qualité bactériologique des olives

Les résultats des analyses bactériologiques réalisées sur les olives prélevées sur les arbres et celles ramassées sur le sol sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6: Nombre des indicateurs bactériens enregistré sur les fruits d'olives analysés (NPP/100g fruits frais)

Années	Eaux	origine	CT/100g	E. coli/100g	SF/100g	Salmonelles (25g)
2005	EP	Arbre	0	0	0	Absence
		Sol	nd	nd	nd	Absence
	EUT	Arbre	0	0	0	Absence
		Sol	nd	nd	nd	Absence
2006	EP	Arbre	0	0	0	Absence
		Sol	23,7	9,4	12,7	Absence
	EUT	Arbre	0	0	0	Absence
		Sol	17,9	3,6	28,8	Absence
2007	EP	Arbre	2,4	0	7	Absence
		Sol	193	43	23	Absence
	EUT	Arbre	0	0	16	Absence
		Sol	206	36	48	Absence

EP : Eaux de puits ; EUT : Eaux usées traitées ; CT : Coliformes totaux ; SF : Streptocoques fécaux

La recherche des trois indicateurs bactériens et des salmonelles n'a pas permis leur mise en évidence dans les échantillons d'olives prélevés directement sur les arbres au cours des deux premières années de l'étude. Les résultats obtenus en 2007 mettent en évidence une très légère contamination par les coliformes et les streptocoques fécaux. Cette contamination serait due à des facteurs naturels tels que les oiseaux. Globalement, les fruits cueillis sur les arbres présentent une bonne qualité bactériologique ce qui serait dû en majeure partie aux conditions d'utilisation des EUT sur ce site. En effet, ces eaux ont été appliquées au sol par un système d'irrigation localisée (goutte à goutte) et les irrigations ont été arrêtées plusieurs semaines avant la récolte des fruits.

Concernant les olives ramassées sur le sol, les résultats du tableau 6 montrent que la contamination bactérienne de ces fruits est d'un niveau relativement faible et indépendant de l'origine des eaux utilisées pour l'irrigation des arbres. Aucune salmonelle n'a été trouvée sur ces fruits. Les informations disponibles sur la durée de survie des indicateurs bactériens dans le sol (Côté et Quessy, 2005; WHO, 1989) permettent de conclure à la disparition, sous l'effet des conditions climatiques et environnementales, des microorganismes apportés au sol par les EUT durant la période qui sépare la récolte de la dernière irrigation de la campagne.

En considérant la valeur des concentrations bactériennes tolérées par différentes normes internationales sur les produits agricoles frais et qui peuvent atteindre 105 *Escherichia coli* par 100g de fruits ou légumes prédécoupés (CEE, 2005), il est clair que les olives analysées dans le cadre de la présente étude ne posent aucun problème sanitaire même lorsqu'elles sont ramassées sur un sol ayant reçu des irrigations estivales aux EUT. Par ailleurs, il faut rappeler que les olives de table ne sont consommées qu'après plusieurs traitements normalement incompatibles avec la survie bactérienne. Quant aux olives destinées à l'élaboration de l'huile, elles subissent un lavage avant d'être broyées; de plus les micro-organismes ne survivent pas dans l'huile. Aucun danger microbiologique ne peut donc être observé dans ce produit (Rahmani, 2000).

Conclusions

Des eaux usées traitées par voie biologique ont été utilisées, sous les conditions semi arides du nord-est de la Tunisie, pour l'irrigation de complément de l'olivier. Les résultats des suivis réalisés durant trois années successives montrent que l'irrigation à partir de ces eaux n'entraîne aucun effet dépressif sur la croissance végétative et sur la floraison. Au contraire, des effets bénéfiques ont été enregistrés sur les arbres; ils consistent notamment en une augmentation de la production de matière sèche aux niveaux des feuilles et des tiges, une intensification de l'activité métabolique d'accumulation de glucides solubles aux niveaux des feuilles et du bois d'une année ainsi qu'une augmentation de la production de fruits et une amélioration du rapport pulpe/noyau. La contamination bactérienne des fruits prélevés sur les arbres irrigués aux eaux usées traitées est insignifiante. Les fruits ramassés sous ces arbres sont légèrement contaminés par les indicateurs fécaux. Cette contamination étant similaire à celle des fruits ramassés sur le sol irrigué aux eaux de puits. Tous les fruits analysés présentent une qualité bactériologique satisfaisante selon les critères européens applicables aux fruits et légumes prédécoupés. Ainsi, sous des conditions convenables, les eaux usées secondaires peuvent être utilisées pour l'irrigation de l'olivier sans inconvénients pour la culture ni risque microbien pour les consommateurs.

Bibliographie

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper-65. FAO, Rome, Italy, 300 p.
- Angelakis A. N., Marecos Do Monte M. H. F., Bontoux L. et Asano T., 1999. The status of Wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: Need for guidelines. Wat. Res. 33 (10): 2201-2217.
- Baldy C. et Lakhoua H., 1987. Caractéristiques morphologiques des feuilles d'olivier (*Olea europea* L.) en Tunisie. Annales de l'INRAT, 60 (9): 28.
- Blumenthal U. J., Cifuentes E., Bennett S., Quigley M., Ruiz-Palacios G., 2001. The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 95: 1-7.
- Boulouha B., 1986. Croissance, fructification et leur interaction sur la production chez la 'Picholine marocaine', *Olea*: 41-47.
- CEE, 2005. Règlement (CE) N° 2073/2005 de la commission du 15 novembre 2005 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. Journal officiel de l'Union

européenne L 338/1 du 22.12.2005.

COI, 2000. Conseil Oléicole International. Catalogue mondial des variétés d'olivier: 360 p.

Côté C. et Quessy S., 2005. Persistence of *Escherichia coli* and *Salmonella* in Surface Soil following Application of Liquid Hog Manure for Production of Picking Cucumbers. *Journal of Food Protection*, 68, (5): 900-905.

Dagnelie P., 1986. Théorie et méthodes statistiques. Applications agronomiques, Presse Universitaire de Gembloux. Belgique. 2: 463 p.

Dali N., Fertani A., Tissaoui T. et Harbaoui Y., 1996. Importance du saccharose et de la force de l'organe puits dans l'accumulation des sucres dans les fruits de tomates. *Revue de l'INAT*. 11 (2): 97-103.

Fernandes Serrano J. M. et Abela V., 1984. L'irrigation goutte à goutte: Comportement de la variété *Galega vulgar*. Bilan de 4 années d'observation. *Olivae* 4: 31-37.

ISO 9964-3, 1993. Qualité de l'eau – Dosage du sodium et du potassium – partie 3: Dosage du sodium et du potassium par spectrométrie d'émission de flamme.

ISO 6887-1, 1999. Norme Internationale. Microbiologie des aliments – Préparation des échantillons, de la suspension mère et des dilutions décimales en vue de l'examen microbiologique – Partie 1: Règles générales pour la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales.

ISO 6579: 2002. Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour la recherche des salmonella spp.

ISO 6878, 2004. Qualité de l'eau – Dosage du phosphore – Méthode spectrométrique au molybdate d'ammonium.

Kamizoulis G., Bahri A., Brisseaud et Angelakis A. N., 2003. Wastewater recycling and reuse practices in Mediterranean region: Recommended guidelines.

http://www.med-reunet.com/docs_upload/med_recom_guidelines.pdf

Magliulo V., D'Andria R., Morelli G., Fragnito F., 1999. Growth traits of five young olive cultivars, grown under different irrigation regimes. *Proc. 3rd Int. ISHS Symp. On Olive Growing*, Eds. I. T. Metzidakis et D. G. Voyiatzis. *Acta Hort (ISHS)* 474: 395-398.

Mara D. D., Sleigh P. A., Blumenthal U. J. et Carr R. M., 2007. Health risks in wastewater irrigation: Comparing estimates from quantitative microbial risk analyses and epidemiological studies. *Journal of water and Health*, 5 (1): 39-50.

Mehri H., Mehri R. et Fendri F., 2001. Processus de croissance en relation avec le développement génératif de trois variétés d'olivier: 'Meski', 'Chétoui' et 'Picholine'. *Olivae*, 85: 33-38.

Mehri H., Msallem M., Mehri-Kammoun R. et Msallem J., 2002. Etude des potentialités végétatives et des auto-compatibilités de huit variétés d'oliviers. *Annales de l'INRGREF*, 5: 115-131.

Minhas P. S., Sharma N., Yadav R. K., et Joshi P. K., 2006. Prevalence and control of pathogenic contamination in some sewage irrigated vegetable, forage and cereal grain crops. *Bioresource Technology*, 97 (10): 1174-1178.

Mojtahid A., Lamiri M., Choukr-Allah, Hamdy A. et El Omari H., 2001. Best management practices for reducing nitrogen pollution under irrigated sweet pepper with treated wastewater. *ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management*, 19-20 September 2001, Seoul, Rep. Korea: 55-62.

Msallem M., 2002. Etude de la juvénilité chez l'olivier (*Olea europaea* L.) Aspects morphologiques, anatomiques, physiologiques et biochimiques. Thèse de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques: 219 p.

Nefzaoui A., Chermiti A., Trad M., et Dhidah M., 1989. Valeur Nutritive, caractéristiques

- fermentaires et contamination microbienne d'ensilage de graminées irriguées avec les eaux usées traitées. *Annales de l'INRAT*, 62 (4), 20 p.
- NF T 90-110, 1994. Qualité de l'eau. Dosage de l'azote Kjeldahl. Méthode après minéralisation au sélénium.
- NT 16.11 -1995. Microbiologie – Directive générale pour le dénombrement des coliformes – Technique du nombre le plus probable.
- NT ISO 7251-2005. Microbiologie des aliments – Méthode horizontale pour la recherche et le dénombrement d'*Escherichia coli* présumés – Technique du nombre le plus probable.
- Rahmani M., 2000. Contrôle de la qualité de la production de l'huile d'olive vierge selon la démarche HACCP. *Olivae*, 84: 50-53.
- Robyt J. F. and White B. J., 1987. *Biochemical techniques. Theory and Practice*. Brooks/Cole Publishing Company, Monterey. Chapter 7: Methods for Determining Biological Molecules: 213 p.
- Rodier J., 1997. *L'Analyse de l'Eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer*. Dunod, 8e édition: 1199 p.
- Steel Robert G. D et James H. Torrie., 1980. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. McGraw-Hill Book Company: 633.
- Trad Raïs M., 1997. Aspects sanitaires et environnementaux de l'utilisation agricole des boues d'épuration en Tunisie. II- Effet sur la contamination microbienne des cultures. Programme National Mobilisateur. Rapport INRGREF: 43 p.
- Trad Raïs M., Mejri S., Khali M. et Xanthoulis D., 2008. La réutilisation des eaux usées traitées pour la production de biens alimentaires: Méthodes pour la conservation de la ressource et la maîtrise des risques sanitaires. 4ème Conférence Internationale sur: Les Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen. Alger, 22-24 mars 2008.
- WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical report series 778. World Health Organization, Geneva 1989: 1-74.
- Xanthoulis D., Rejeb S., Chenini F., Khelil M. N. et Chaabouni Z., 2002. Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Rapport scientifique, Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts/ Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux: 81 p.