

A PROPOSAL OF NITROGEN BALANCE IN A VERY HIGH DENSITY OLIVE ORCHARD

H. Belguerri^{1,2,*}, J.M. Villar², M. Pascual², A. Fatmi¹, A. Amadeu¹ and J. Rufat¹

¹Institut de Recherche et Technologie Agroalimentaire. IRTA, Province de Lleida, Catalogne, Espagne

²Université de Lleida (UdL), Province de Lleida, Catalogne, Espagne

Received: 23 February 2016 / Accepted: 27 April 2016 / Published online: 01 May 2016

ABSTRACT

The nitrogen (N) balance was estimated in a very high density olive orchard in north-east of Spain, in order to calculate the inputs and outputs of N related to tree response and soil nitrogen availability. The calculate N inputs and outputs showed that N exported by yield and pruning material were higher for fertilized plots than unfertilized ones, and no significant differences were recorded for nitrogen mineralization between both treatments. N balance, defined as the difference between inorganic N content in soil at the end and the beginning of each year, was positive for both treatments but when vegetative growth and olive yield were compared, fertilized plots showed higher values, So it is wrong noting that a positive N balance in both case means that olive tree will provide a peak yield and vegetative growth but it is an adaptation of the olive trees to different soil N availability conditions by equilibrating their vegetative growth and fruit yield.

Keywords: mineralization; N exported by pruning material; N exported by crop; fertilization; fruit yield; vegetative growth.

Author Correspondence, e-mail: belgham34@hotmail.fr

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i2.30>

1. INTRODUCTION

La fertilisation de l'olivier (*Olea europaea* L.) est une pratique culturale qui a comme objectifs de couvrir le manque en éléments nutritifs exportés par la plante [1]. Un de ces



éléments nutritifs les plus indispensables pour la croissance et la production des plantes est l'azote (N), dont il joue un rôle important et habituellement il est nécessaire en plus grandes quantités que d'autres éléments minéraux [2]. L'azote est un élément essentiel dans la fertilisation qui induit une réaction rapide de l'arbre, en accélérant l'activité végétative et le développement de la plante. Il augmente la quantité de chlorophylle des feuilles et la capacité d'assimilation des autres éléments nutritifs. Ils sont diverses les travaux sur l'olivier super-intensif (également appelé hyper-intensif), qui ont trouvé que l'application d'azote augmente significativement le volume de frondaison de l'arbre [3], [4], tandis que d'autres ont montré l'importance de la fertilisation azotée sur la production de l'olivier (fruit et qualité de l'huile). Quelques travaux ont montré que l'application des quantités additionnelles du fertilisant azoté augmente la production de l'olivier de la variété Arbequina particulièrement en super-intensif, bien que le niveau de l'azote dans la feuille est dans l'intervalle adéquat [4] et [5], par contre d'autres auteurs ont trouvé que la production n'augmente pas avec l'application de cet élément, tandis que son niveau dans les feuilles est approprié [6] et [7].

Le bilan de l'azote est considéré comme la différence entre les apports (entrées) et les exportations (sorties) de cet élément, et il représente les gains ou les pertes d'azote dans l'olivieraie. Le bilan de l'azote est positif lorsque les apports sont plus élevés que les exportations et négatif dans le cas inverse. Le cycle de l'azote chez l'olivier est très complexe à cause de l'interaction de plusieurs processus dont la plupart d'eux ne sont pas entièrement compris [8]. L'azote disponible pour la plante, qui est la fraction existante au niveau de la zone racinaire, provient de la minéralisation de la matière organique (la source la plus importante d'azote disponible pour les plantes), de l'application des fertilisants azotés, des nitrates apportés par les eaux d'irrigation et de pluie, de l'ammonium libéré à partir des argiles, et de la fixation naturelle de l'azote atmosphérique. Les exportations consistent en lixiviation qui représente la source majeure des pertes d'azote des sols agricoles, les pertes gazeuses vers l'atmosphère par dénitrification et volatilisation, l'immobilisation en matière organique, la fixation d'ammonium aux argiles, l'érosion, et les exportations par les opérations de la taille et la récolte [8].

L'objectif de cette expérience est d'estimer les entrées et les sorties de cet élément sur une oliveraie en système super-intensif, et déterminer le comportement de l'olivier par rapport aux conditions du sol, particulièrement à la disponibilité de l'azote.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Localisation et caractéristiques de la parcelle expérimentale

L'essai a été réalisé sur une oliveraie super-intensive adulte commerciale (cv.Arbequina) à Torres de Segre (Lleida) en nord-est de l'Espagne ($41^{\circ} 31' 24.44''$ N – $0^{\circ} 33' 55.59''$ E) durant trois ans : 2010, 2011 et 2012. Le climat est de type méditerranéen continental. La pluviométrie moyenne annuelle était de 324 mm, irrégulièrement répartie au long de l'année. L'évapotranspiration de référence (ET_o) (Penman-Monteith) moyenne annuelle était de 1101 mm. Les arbres ont été plantés en été du 2002 à 4,5 m × 2,2 m, (1010 arbre.ha⁻¹) qui poussent sur un sol modérément profond de texture Loam-limoneuse avec un taux de calcaire élevé, (pH = 8), une densité apparente de 1.3 Mg/m³, une teneur de la matière organique de 15 g.kg⁻¹, et une conductivité électrique (CE 1:5) de 1.4 dS/m (en raison de la présence du gypse).

L'irrigation a été effectuée en basant sur le bilan hydrique par l'application de 100% des besoins en eau de la plante tout au long de la campagne agricole, selon la méthodologie de la FAO [9], et les valeurs du coefficient de culture (K_c) [10], par un système goutte à goutte avec des goutteurs autorégulant (2,3 L.h⁻¹) espacés de 0.6 m. Les tubes porte-goutteurs ont été placés à une distance de 0.3 m du tronc d'arbre. L'eau d'irrigation vient de la rivière Segre. Sa conductivité électrique était de 0.9 dS.m⁻¹, la concentration du chlorure 2.25 mEq.L⁻¹ et de sodium 2.14 mEq.L⁻¹, avec une teneur en bore inférieur à 0.15 ppm et de 9 ppm pour l'azote nitrique. L'humidité du sol a été contrôlée en permanence avec des sondes ECH2O-10 (Decagon Devices Inc., Pullman, Washington, Etats-Unis) qui ont été installés en 2009. Les sondes ont été insérées dans le sol à une distance de 0.7 m du tronc de l'arbre et à des profondeurs de 0.2, 0.4 et 0.6 m.

2.2. Définition des traitements

Dans cette expérience on a contribué à calculer approximativement le bilan d'azote en appliquant deux traitements de cet élément :

N-0 : sans application de cet élément, qui donne une information sur la capacité de réserve de l'arbre et surtout les apports de la minéralisation de la matière organique du sol.

N-50 : application du 55 kg.ha⁻¹.an⁻¹ d'azote avec une solution azoté N32 (16% Urea, 8% Ammonium et 8% Nitrique) par fertigation chaque semaine.

Le dispositif expérimental appliqué est en blocs aléatoires avec quatre répétitions, dont l'unité expérimentale était constituée de 18 arbres dont les contrôles ont été effectués sur les quatre arbres centraux.

2.3. Le bilan d'azote

D'après [8], le bilan d'azote est exprimé par l'équation suivante :

$$\text{Bilan d'azote} = N_{\text{entrées}} - N_{\text{sorties}} = N_{\text{inorganique final}} - N_{\text{inorganique initial}} = \Delta N_{\text{inorganique}}$$

Dont :

$\Delta N_{\text{inorganique}}$: est la différence du contenu d'azote inorganique soluble dans le sol (mesuré comme $N\text{-NO}_3^-$) entre la fin et le début de chaque campagne en question.

Pour estimer la quantité du $N\text{-NO}_3^-$ dans le sol, des échantillons du sol ont été pris pour chaque parcelle élémentaire à une profondeur de 0 à 40 cm au début et à la fin de chaque campagne. On a tenu en compte que la surface mouillée par irrigation avec des goutteurs de débit de 2.3 L.h^{-1} pendant 6 heures représente 30 % de la surface totale [11].

Le bilan d'azote a été calculé durant les deux dernières années de l'essai (2011 et 2012) sans prendre en considération la première année 2010 pour faire en sorte que l'azote du système sol-plante ne soit pas affecté par l'application d'azote de l'agriculteur durant les années antérieures de l'essai et s'assurer que la plupart de cet élément provient seulement de la matière organique et des facteurs contrôlés dans cet essai ; cependant seulement quelques composantes du bilan ont été calculées pour 2010.

2.4. Les entrées d'azote au système

2.4.1. Azote apporté par l'eau de pluie et d'irrigation

L'azote apporté par l'eau de pluie a été mesuré après chaque pluie à travers des échantillons d'eau. Pour l'eau d'irrigation des échantillons d'eau ont été prélevés pour déterminer la concentration d'azote en sachant la quantité d'eau appliquée chaque campagne d'irrigation à l'aide des compteurs installés dans chaque parcelle élémentaire.

2.4.2. Azote apporté par la minéralisation de la matière organique

Une équation établie par [12] permet d'estimer la quantité d'azote résultante de la minéralisation à partir du taux de la matière organique du sol selon la formule suivante :

$$N_{\text{minéralisé}} \text{ (kg/ha)} = \text{Teneur en C organique} * N/C * K_2 * \text{Masse de terre}$$

Dont :

$$\text{Teneur en C organique (g.kg}^{-1}\text{)} = \text{Teneur en matière organique (g.kg}^{-1}\text{)} / 1.72$$

K_2 : c'est le coefficient de la minéralisation, ce coefficient donne la proportion d'humus transformé en matière minérale chaque année, et varie en fonction des caractéristiques pédoclimatiques. Calculé en basant sur le modèle de Henin-Depuis [13] (cité par [14]) selon la formule suivante :

$$K_2 = (1200 * f_0) / [(200 + c) * (200 + 0.3 * s)].$$

Dont :

c et **s** sont respectivement la teneur en argile et en limon du sol (g.kg^{-1}).

$f_0 = 0.2 * (T - 0.5)$, dont T est la température moyenne annuelle ($^{\circ}\text{C}$).

Masse de terre (Mg.ha^{-1}) = Densité apparente du sol (Mg.m^{-3}) * Profondeur (m)* 10000.

Profondeur : la minéralisation de la matière organique est pratiquement constante sur les premiers 40 cm du sol sous les conditions méditerranéennes [15].

2.5. Les sorties d'azote

2.5.1. Azote perdu par lixiviation

La quantité d'azote perdue par lixiviation a été estimée en basant sur la concentration du N-NO_3^- à la profondeur proche de la zone de drainage (90 cm) en prenant des échantillons du sol chaque 15 jour durant la campagne d'irrigation pour déterminer la concentration du nitrate. La quantité d'eau perdue par drainage a été calculée en appliquant le bilan hydrique dans le sol chaque semaine suivant la méthode décrite par [16] pour l'arbre de l'olivier dans la vallée du Guadalquivir (Andalousie) en prenant en compte la précipitation effective et l'évapotranspiration de la culture. Le contenu en eau dans le sol est le résultat de la différence entre les entrées d'eau au sol telles que la précipitation effective calculée comme 75 % de la précipitation journalière en excluant les précipitations inférieures à 4 mm [17], plus la quantité d'eau appliquée par l'irrigation et les sorties d'eau du sol par l'évapotranspiration (Etc) en prenant en considération l'humidité initiale pour chaque période de calcul: si le résultat est une valeur supérieur à la capacité au champ (CC), l'eau perdue par filtration sera la différence entre cette valeur et celle de la capacité au champ ; par contre, si ce contenu est inférieur à la CC, on le considère comme humidité initial pour la prochaine période de calcul. En cas où le contenu en eau dans le sol est inférieur au point de flétrissement permanent (PMP), on considère que l'humidité initiale de la prochaine période de calcul est celle correspondante à l'humidité au PMP.

Les calculs pour déterminer la quantité d'azote perdue par lixiviation ont été commencés le 01 Janvier 2011 en considérant que l'humidité initiale est égale à l'humidité correspondante à la capacité au champ. Les valeurs de l'humidité du sol en (mm) à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent sont estimées selon la texture du sol de la parcelle expérimentale en utilisant le modèle proposé par Saxton et Rawls (model Soil Water Characteristics) [18]. Les pertes d'azote par lixiviation ont été estimées en utilisant la formule suivante [8] :

$$N_{\text{Lix}} = \sum \frac{C_{(\text{N-NO}_3^-)}}{\text{CC}} * A_{\text{Lix}} * d_w * 10^{-6}$$

Dont :

N_{Lix} : La quantité d'azote perdue par lixiviation ($kg \cdot ha^{-1}$).

$C(N-NO_3^-)$: La concentration de l'azote en zone de drainage ($mg \cdot kg^{-1}$ du sol).

CC : La capacité au champ exprimée en ($kg \text{ d'eau} \cdot kg^{-1}$ du sol).

A_{Lix} : Le volume d'eau de lixiviation ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

d_w : La densité apparente d'eau ($1000 \text{ kg} \cdot m^{-3}$).

2.5.2. Azote retiré par l'opération de la taille

Le bois issu de la taille de chaque parcelle élémentaire (feuilles, brindilles, et branches) a été pesé pour déterminer le poids frais. Des échantillons représentatifs de chaque catégorie ont été pris dans chaque parcelle pour déterminer le taux d'azote en utilisant la méthode de Kjeldahl.

2.5.3. Azote retiré par la récolte

Après avoir récolté et pesé les fruits des arbres de chaque parcelle élémentaire, des échantillons de 1 kg de fruits ont été pris au hasard de chaque parcelle et ont été mis dans une étuve à $65^\circ C$ jusqu'à un poids constant. La détermination de la quantité d'azote a été faite au laboratoire en basant sur la méthode de Kjeldahl.

2.5.4. Azote perdu par dénitrification

Pour mesurer la quantité d'azote perdue par dénitrification, des échantillons du sol sous forme des cylindres de 15 cm de longueur et 7 cm de diamètre ont été pris de la zone humide générée par l'effet du système d'irrigation et immédiatement amenés au laboratoire. Cette procédure a commencé avec le début d'irrigation au mois d'Avril et continué jusqu'à la fin du période d'irrigation au mois d'Octobre, durant deux campagnes (2011,2012). Le flux du protoxyde d'azote (N_2O) provenant du sol a été mesuré en utilisant la méthode de chambre statique [19].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Azote inorganique initial et final dans le sol

Les traitements avec application d'azote présentent un niveau d'azote au sol en forme de nitrate ($N-NO_3^-$) plus élevé par rapport aux traitements sans application de cet élément (tableau 1).

Tableau 1. Le bilan d'azote inorganique (N-NO₃⁻) au sol dans les deux traitements appliqués pour les trois années d'étude à la fin de la saison

Année	ΔN (ppm)		ΔN (kg.ha ⁻¹)	
	N-0	N-50	N-0	N-50
2010	9,5	10,0	14,9	15,6
2011	1,9	10,3	3,0	16,1
2012	6,9	17,5	10,7	27,2
Moyenne	6,1	12,6	9,5	19,6

Pour les trois années du suivi, les différences entre le début et la fin de chaque campagne varient entre années, la moyenne de ces différences est de 19.6 kg.ha⁻¹ pour les traitements avec application d'azote et 9.5 kg.ha⁻¹ pour ceux de N-0. Ces valeurs peuvent être considérées comme la différence entre les entrées et les sorties d'azote en définissant le bilan de cet élément dans l'oliveraie qui est positif pour les trois années de l'étude dans le cas du N-50 et il reste presque constant dans le N-0 (Fig 1), résultats similaires à ceux du [8].

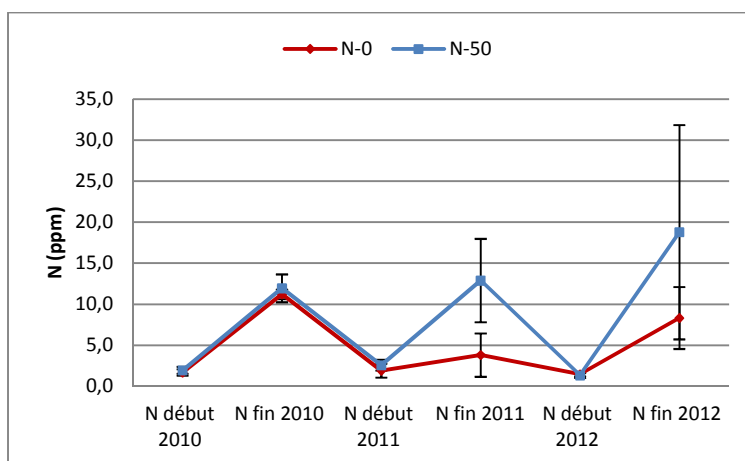


Fig.1. L'évolution de la teneur en azote inorganique (N-NO₃⁻) du sol durant les trois années de l'étude. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne

3.2. Les entrées d'azote

3.2.1. L'azote appliqué par fertilisation

Les quantités d'azote appliquées pour les traitements (N-50) étaient de 53, 55 et 55 kg.ha⁻¹ respectivement pour 2010, 2011 et 2012, (tableau 2).

Tableau 2. La répartition des quantités d'azote inorganique appliquées par fertigation pour les trois années de l'étude

Mois	kg .ha ⁻¹ (2010)	kg .ha ⁻¹ (2011)	kg .ha ⁻¹ (2012)
Avril	21	-	-
Mai	21	22	8
Juin	-	17	24
Juillet	-	-	14
Aout	-	-	-
Septembre	11	16	9
Octobre	-	-	-
Total	53	55	55

3.2.2. Apports par eaux d'irrigation

La quantité moyenne d'azote apportée par l'eau d'irrigation des trois années de l'essai était environ de 8.8 kg.ha⁻¹ avec une différence entre années dépend de la quantité d'eau d'irrigation appliquée, (tableau 3).

Tableau 3. La quantité d'azote inorganique (N-NO₃⁻) apportée par les eaux d'irrigation au sol au cours des trois années de l'étude

Année	Eau d'irrigation (m ³ .ha ⁻¹)	Concentration du N (mg. L ⁻¹)	N apporté (kg .ha ⁻¹)
2010	3380	2,14	7,2
2011	4760	2,14	10,2
2012	4220	2,14	9,0
Moyenne	4120	2,14	8,8

3.2.3. Apports par eaux de pluies

La quantité d'azote apportée par eaux de pluie varie entre 5 et 9 kg.ha⁻¹.an⁻¹ durant les trois années de l'étude, (tableau 4). Ces valeurs sont similaires aux valeurs obtenues par [20], qui a trouvé que l'azote total issu des eaux de pluie varie entre 6 et 10 kg.ha⁻¹.an⁻¹ sur des forêts méditerranéennes de la zone de Barcelone (nord-est de l'Espagne) sans changements significatifs durant une période de 16 ans.

Tableau 4. La quantité d'azote apporté par la pluie durant les trois années de l'essai

Mois	Pluviométrie	Pluviométrie	Pluviométrie	N kg. ha ⁻¹	N kg. ha ⁻¹	N kg. ha ⁻¹
	(mm) 2010	(mm) 2011	(mm) 2012	(2010)	(2011)	(2012)
Janvier	77,2	6,5	2,0	1,54	0,13	0,04
Février	25,6	8,3	1,7	0,51	0,17	0,03
Mars	31,0	61,0	24,2	0,62	1,22	0,48
Avril	27,0	15,0	52,0	0,54	0,30	1,04
Mai	45,0	45,0	13,0	0,90	0,90	0,26
Juin	70,0	6,0	16,0	1,40	0,12	0,32
Juillet	2,0	21,0	6,0	0,04	0,42	0,12
Aout	24,0	0,0	4,0	0,48	0,00	0,08
Septembre	45,0	6,0	38,0	0,90	0,12	0,76
Octobre	37,0	11,0	92,0	0,74	0,22	1,84
Novembre	12,1	74,8	39,4	0,24	1,50	0,79
Décembre	8,4	1,2	4,7	0,17	0,02	0,09
Total	404,3	255,8	293,0	8,1	5,1	5,9

3.2.4. Azote apporté par la minéralisation de la matière organique

Le taux de la matière organique au sol était 1.8% et 1.7% pour N-0 et N-50 respectivement en 2011 et 2.03% et 1.9 % pour N-0 et N-50 respectivement en 2012. On n'a pas trouvé des différences significatives entre les deux traitements, la quantité d'azote provenant de la minéralisation de cette matière organique est de 39 et 36 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour N-0 et N-50 respectivement en 2011 et de 43 et 40 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour N-0, et N-50 respectivement en 2012 (tableau 5).

Tableau 5. La quantité d'azote résultante de la minéralisation de la matière organique (2011, 2012)

Traitement	MO (%)		K2 (%)		N (kg. ha ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
N-0	1,80	2,03	2,38	2,32	38,8	42,6
N-50	1,67	1,90	2,38	2,32	36,1	40,0

3.3. Les sorties d'azote

3.3.1. Les pertes par lixiviation

Comme il est indiqué sur la figure 2, les apports d'eau représentés par la précipitation effective et l'irrigation sont plus ou moins équivalents à la demande de l'olivier (ETc) durant toute la campagne pour les deux dernières années de l'expérience (2011, 2012).

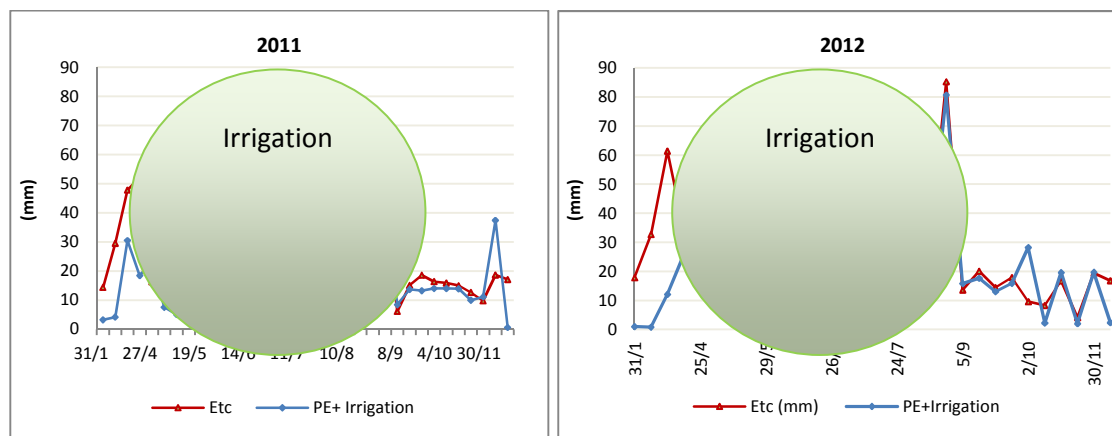


Fig.2. Evolution de la (précipitation effective + irrigation) et l'évapotranspiration de l'olivier durant les années 2011 et 2012

L'humidité du sol (HS) durant les périodes d'irrigation (exprimée en mm) était toujours inférieure à la capacité au champ (CC) (Fig 3), due à la réduction des précipitations et à l'évapotranspiration très élevée, Cela signifie qu'il n'y avait pas des pertes d'eau par drainage est en conséquence on n'a pas enregistré des pertes d'azote nitrique [21].

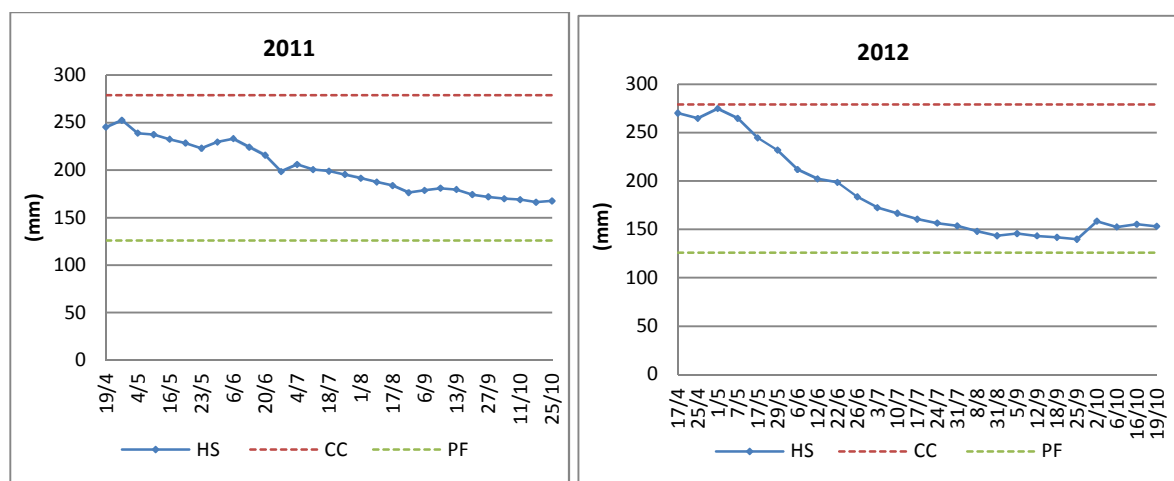


Fig.3. Evolution de l'humidité du sol durant les périodes d'irrigation

3.3.2. Azote exporté par la récolte des olives et le bois de la taille

La quantité d'azote exporté avec les olives récoltées était plus importante sur les traitements N-50 par rapport aux traitements N-0. Cette différence est maintenue durant les trois années

de l'expérience, avec des valeurs plus élevées pour l'année 2011 (année ON) que 2010 et 2012 (année OFF), pour les deux traitements, cependant cette différence n'était pas significative statistiquement (tableau 6). Par contre, il y a une différence entre les années due à l'alternance de production forte et faible obtenue. L'azote exporté par l'opération de la taille présente une différence significative entre les traitements durant les trois années de l'étude dont les extrants de cet élément varient entre 44 et 77 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour N-50 et entre 23 et 38 kg.ha⁻¹.an⁻¹ pour N-0. Cela est due au rendement plus élevé et à la concentration de cet élément dans les résidus de la taille (feuilles, branches, brindilles) et dans les fruits [4].

Tableau 6. L'azote exporté par la récolte des olives et l'opération de la taille des arbres

Traitement	N exporté par la récolte des olives (kg. ha ⁻¹)			N extrait par la taille (kg. ha ⁻¹)		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
N-0	11,0	30,6	18,9	37,4 b	23,7 b	37,1b
N-50	19,1	44,5	24,2	76,4 a	44,2 a	64,9 a
Prob<F				0.0002*	0.0076*	0.0065*

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative ($P<0.05$) entre les traitements, selon le test t-Student.

3.3.3. Azote perdu par dénitrification

La quantité d'azote perdue par le processus de dénitrification est insignifiante par rapport aux autres pertes, dont les valeurs obtenues ne dépassent pas les 2 kg.ha⁻¹.an⁻¹. En comparant entre traitements, les N-50 ont présenté des valeurs plus élevées que les traitements sans application d'azote avec une différence significative en 2011 (tableau 7) cela est due probablement à la présence des quantités importantes du nitrate au sol pour les N-50 [21], [22] et [23].

Tableau 7. La quantité d'azote perdue par le processus de la dénitrification

Traitement	N perdu par dénitrification (kg.ha ⁻¹)	
	2011	2012
N-0	0,87b	0,37 a
N-50	1,77a	0,68 a
Prob<F	0.0391*	

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative ($P<0.05$) entre les traitements, selon le test t-Student

3.4. Le bilan d'azote

Le tableau 8 résume toutes les informations de ce travail pour les deux dernières années de l'expérience (2011, 2012). On a constaté que le bilan d'azote ($\Delta N_{\text{inorganique}}$) est positif et stable pour les deux traitements en question, avec des quantités plus élevées et en augmentation continue avec les années pour le traitement N-50 pour raison de l'application de cet élément. Un nouveau terme « N_{bilan} », a été ajouté qui représente la différence entre le bilan d'azote mesuré par l'analyse du sol au début et à la fin de chaque campagne agricole et celui calculé comme la différence entre les fournitures et les exportations de cet élément au système sol-plante, ce qui permet de prévoir la possibilité des pertes ou des gains de cet élément par d'autres processus. Une valeur négative du N_{bilan} représente qu'il y a des autres intrants de cet élément par des autres processus qui n'ont pas directement mentionné dans ce travail et qui peuvent enrichir le sol par cet élément nutritif en couvrant les besoins de la plante, tandis qu'une valeur positive implique qu'il y a des autres pertes de cet élément due à un excès de cet élément au sol par rapport aux besoins de la plante. Pour le traitement N-0, N_{bilan} est varié entre -9 et -5 $\text{kg. ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ et entre -7 et -0.08 $\text{kg. ha}^{-1}.\text{an}^{-1}$ pour le traitement N-50. Cela peut être expliqué par l'existence des autres intrants de cet élément difficile à quantifier dans ce travail. Parmi ces sources on peut citer :

- 1) les résidus de la taille des arbres [8], tenant en compte que dans cette oliveraie ces derniers ont été broyés et épandus entre les lignes des arbres en augmentant la matière organique au sol. Une fraction importante de cette dernière se minéralise en libérant l'azote minéral qui sera facilement absorbé par l'arbre, sachant que le coefficient isohumique du bois de la taille et des feuilles sénescents est de 0.35 et 0.2 respectivement [24],
- 2) l'abscission naturelle des feuilles d'arbre qui est équivalente à 30% du feuillage totale de l'olivier chaque année, sachant que les feuilles de l'olivier peuvent vivre jusqu'à environ 3 ans [25],
- 3) la rhizo-déposition, qui représente la perte de la matière organique à partir des racines de la plante qui se développent dans le sol [26]. Ce phénomène est réalisé par deux processus qui sont: la libération des molécules organiques par les racines vivantes ou mortes telles que les sucres, les acides aminés et les hormones [27], et la décomposition des tissus et cellules des racines peut aussi contribuer à la rhizo-déposition [28]. Pour l'instant, il n'existe pas des travaux sur la rhizo-déposition de l'olivier, mais quelques auteurs [29] ont trouvé que la rhizo-déposition compte de 2 à 11% de l'azote total absorbé par l'arbre du pommier pendant une saison de croissance, cette quantité est variée selon la texture du sol et sa teneur en

matière organique. Des résultats similaires ont été trouvés par [30] sur le pêcher qui peut libérer chaque année de 11 et 21% (respectivement pour textures grossières et fines) d'azote total absorbé par l'arbre sous forme d'azote minéral facilement utilisé par l'arbre.

Tableau 8. Le bilan d'azote dans les deux dernières années (2011, 2012) en (kg.ha⁻¹)

Traitements	$\Delta N_{\text{inorganique}}$	Entrées					Sorties			N_{bilan}
		N_{fert}	N_{pluie}	$N_{\text{irrigation}}$	N_{min}	$N_{\text{lixiviation}}$	N_{taille}	N_{fruits}	$N_{\text{dénitrification}}$	
2011										
N-0	3,0	0	5,1	10,2	38,8	0	23,7	30,6	0,87	-5,0
N-50	16,1	55	5,1	10,2	36,1	0	44,2	44,4	1,77	-0,08
2012										
N-0	10,7	0	5,9	9	42,6	0	37,1	18,9	0,37	-9,54
N-50	27,2	55	5,9	9	40,0	0	64,9	24,15	0,68	-7,01

$\Delta N_{\text{inorganique}}$: La différence du contenu d'azote inorganique entre le début et la fin de chaque année agricole en question.

N_{fert} : Azote appliqué par fertilisation.

N_{pluie} : Azote apporté par pluies.

$N_{\text{irrigation}}$: Azote apporté par les eaux d'irrigation.

N_{min} : Azote provenant de la minéralisation de la matière organique.

$N_{\text{lixiviation}}$: Azote perdu par lixiviation.

N_{taille} : Azote exporté par l'opération de la taille.

N_{fruits} : Azote exporté par les olives récoltées.

$N_{\text{dénitrification}}$: Azote perdu par la dénitrification.

N_{bilan} : (Entrées – Sorties) - $\Delta N_{\text{inorganique}}$.

4. CONCLUSION

L'application de l'azote augmente significativement le rendement, la croissance végétative et la concentration de cet élément dans les tissus végétaux en augmentant l'exportation de cet élément par différentes pratiques culturales telles que la taille et la récolte des fruits. Selon la différence de la teneur en azote nitrique du sol au début et à la fin de chaque campagne agricole le bilan d'azote est positif pour les deux traitements. En principe cela peut signifier que l'arbre n'a pas besoin de quantités additionnelles de cet élément, cependant si on compare les rendements obtenus et la croissance végétative entre les deux traitements, on constate que l'application d'azote augmente ces deux paramètres, ces résultats peuvent être expliqués par une adaptation de l'olivier aux différentes conditions de la disponibilité du N au sol où il est cultivé en équilibrant sa croissance végétative et ces rendements.

5. REFERENCES

- [1] Hidalgo J, and Pastor M, Fertilización y corrección de deficiencias nutritivas en olivar. Vida rural, 2002, pp. 46-50.
- [2] Fernández-Escobar R, Prado M, Ortiz A, and Rapoport H, Nitrogen status influence on olive tree flower quality and ovule longevity. Environmental and Experimental Botany, 64, 2008, pp. 113-119.
- [3] Hidalgo J, and Pastor M, Los nutrientes y el olivar. In M .Pastor (Eds.), Cultivo del olivo con riego localizado. Diseño del cultivo y las instalaciones. Programación de riegos y fertirrigación. Madrid: Mundi-Prensa, 2005, pp. 479-503.
- [4] Rufat J, Villar J.M, Pascual M, Falguera V, and Arbones A, Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. Agricultural Water Management, 144, 2014, pp. 33-41.
- [5] Centeno A, and Gómez Del Campo M, Response of mature olive trees with adequate leaf nutrient status to additional nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. Acta Horticulturae., 888, 2011, pp.277-280.
- [6] Fernández-Escobar R, García-Novelo J.M, Restrepo H, Benlloch M, Uceda M, Beltran G, and Aguilera M.P, Influencia del abonado nitrogenado y potásico en la calidad de aceite de oliva. 3ra Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva, Madrid (España), 2004, pp. 61-69.
- [7] Fernández-Escobar R, Marin, L, Sánchez-Zamora M.A, García-Novelo J.M, Molina-Soria C, and Parra M.A, Long-term effects of N fertilization on cropping and growth of olive trees and on N accumulation in soil profile. European Journal of Agronomy., 31, 2009, pp. 223-232.
- [8] Fernández-Escobar R, García-Novelo J.M, Molina-Soria C, and Parra M.A, An approach to nitrogen balance in olive orchard. Scientia horticulturae., 135, 2012, pp. 219 - 226.
- [9] Allen R.G, Pereira L.S, Raes D, and Smith M, Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements.FAO Irrigation and drainage., 56, 1998, pp. 1-15.
- [10] Girona J, Luna M, Arbonés A, Mata M, Rufat J, and Marsal J, Young olive trees responses (*Olea europea*, cv “Arbequina”) to different water supplies. Water function determination. Acta Hortic., 586, 2002, pp. 277-280.
- [11] Gispert J.R, Investigación para caracterizar el volumen de suelo húmedo (VSH) en riegolocalizado. Influencia del VSH en olivo (*Olea europaea* L.), manzano (*Malus domestica*

BORKH.) y avellano (*Corylus avellana* L.). Thèse doctorale. Université de Lleida, 2008, pp. 345.

[12] Ancelino O, Duranel J, Duparque A, Dersigny C, and Fleutryl L, Sols et matières organiques. Agro-transfert Ressources et Territoires, Chambre d'Agriculture de Picardie., 2007, pp. 47.

[13] Hénin M, and Dupuis M, Essai de bilan de la matière organique du sol. Annals. Agronomiques., 15 (1), 1945, pp. 19-29.

[14] Sofo A, Nuzzo V, Maria Palese A, Xiloyannis C, Celano G, Zukowskyj P, and Dichio B, Net CO₂ storage in Mediterranean olive and peach orchards. Scientia Horticulturae., 107, 2005, pp. 17-24.

[15] Rovira P, and Vallejo V.R, Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean conditions: The effects of incubation depth. Soil. Biol. Biochem., 29, 2007, pp.1509-1520.

[16] Orgaz F, and Fereres E, Riego. In Fernández-Escobar R, and Rallo L (Eds.), El cultivo del olivo. Madrid: Mundi Prensa., 2001, pp. 288-360.

[17] Caruso G, Rapoport H. F, and Gucci R, Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. Irrig Sci., 31, 2013, pp.37-47

[18] Saxton K. E, and Rawls W. J, Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. SOIL SCI. SOC. AM. J., 70, 2006, pp. 1569-1578.

[19] Maris S.C, Teira-Esmatges M.R, Arbonés A, and Rufat J, Effect of irrigation, nitrogen application, and a nitrification inhibitor on nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from an olive (*Olea europaea* L.) orchard. Science of the Total Environment., 538, 2015, pp. 966-978.

[20] Roda F, Avila A, and Rodrigo A, Nitrogen deposition in Mediterranean forests. Environ. Pollut., 118, 2002, pp. 205-213.

[21] Vallejo A, García-Torres L, Díez J, Arce A, and López-Fernández S, Comparison of N losses (NO₃ -, N₂O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. Plant Soil 272, 2005, pp. 313-325.

[22] Germon J.C and Couton Y, La dénitrification dans les sols: régulation de son fonctionnement et applications à la dépollution. Courrier de l'environnement de l'INRA., 38, 1999, pp. 67-74.

- [23] Henault C, Devis X, Page S, Justes E, and Reau R, Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions., *Biol. Fertil. Soils* 26, 1998, pp. 199-207
- [24] Celano G, Palese A.M, and Xiloyannis C, la gestione sostenibile del suolo nell'albicoccheto. *Frutticoltura.*, 3, 2002, pp. 37-39.
- [25] Rapoport H.F, Botánico y morfología. In: Barranco D, Fernández-Escobar R, and Rallo L, (Eds.) *El cultivo del olivo*. Madrid: Mundi-Prensa, 2008, pp. 37-62.
- [26] Whipps J.M, Carbon economy. In: Lynch J.M. (Eds.), *The Rhizosphere*. New York: Wiley Interscience, 1990, pp. 59-98.
- [27] Nguyen C, Rhizodeposition of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie.*, 23, 2003, pp.375-396.
- [28] Wichern F, Eberhardt E, Mayer J, Joergensen R.G, and Müller T, Nitrogen rhizodeposition in agricultural crops: methods, estimates and future prospects. *Soil Biol. Biochem.*, 40, 2008, pp.30-48.
- [29] Scandellari F, Tonon G, Thalheimer M, Ceccon C, Gioacchini P, Aber J.D, and Tagliavini M, Assessing nitrogen fluxes from roots to soil associated to rhizodeposition by apple (*Malus domestica*) trees. *Tree* 21, 2007, 499-505.
- [30] Scandellari F, Ventura M, Gioacchini P, VittoriAntisari L, and Tagliavini M, Seasonal pattern of net nitrogen rhizodeposition from peach (*Prunus persica* L. Batsch) trees in soils with different textures. *Agriculture, Ecosystems and Environment.*, 136, 2010, pp. 162-168.

How to cite this article:

Belguerri H, Villar J.M, Pascual M, Fatmi A, Amadeu A and Rufat J. A proposal of nitrogen balance in a very high density olive orchard. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2016, 8(2), 639-654.