

Universitat de Lleida

Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation et la fertilisation azotée et potassique sur les performances productives et qualitatives de l'olivier super-intensif

Hemza Belguerri

<http://hdl.handle.net/10803/385736>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.



Universitat de Lleida
Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agrària



Université de Lleida

Département de l'environnement et sciences du sol

IRTA

Programme de l'utilisation efficace de l'eau

Science et Technologie Agricole et Alimentaire

**CONTRIBUTION À L'ETUDE DE L'EFFET DE L'IRRIGATION ET LA
FERTILISATION AZOTÉE ET POTASSIQUE SUR LES PERFORMANCES
PRODUCTIVES ET QUALITATIVES DE L'OLIVIER SUPER-INTENSIF**

THÈSE

En vue de l'obtention du grade de Docteur de l'Université de Lleida

DISSERTATION

To obtain the degree of Doctor by the University of Lleida

Présentée par

Hemza Belguerri

Dirigée par le Dr. Josep M^a Villar Mir et le Dr. Josep Rufat Lamarca,

Lleida, mai 2016

Le Dr. Josep M. Villar Mir, catedrático de Universidad, et le

Dr. Josep Rufat Lamarca, chercheur del'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries
(IRTA)

Déclarent

Que le présent mémoire " Contribution à l'étude de l'effet de l'irrigation, et la fertilisation azotée et potassique sur les performances productives et qualitatives de l'olivier super-intensif", présenté par Hemza Belguerri en vue d'obtenir le diplôme universitaire officiel de DOCTEUR par l'Université de Lleida, dans le programme de doctorat de cette Université, a été réalisé sous notre direction.

Et que nous autorisons la présentation de cette mémoire pour être jugée par le tribunal assigné

Le codirecteur

Le codirecteur

Dr. Josep M. Villar Mir

Dr. Josep Rufat Lamarca

Université de Lleida

IRTA

Membres du tribunal

Dr. Francesco Ramirez de Cartagena Bisbe

Dr. Miquel Pascual Roca

Dr. Luca Testi

Membres suppléants

Dra. Rosa Maria Poch Claret

Dr. Ignasi Batlle

REMERCIEMENTS

Mes sincères gratitude et reconnaissances à mes directeurs de la thèse, le **Dr JOSEP M. VILLAR** et le **Dr JOSEP RUFAT LAMARCA** qui ont grandement contribué au développement du travail en donnant des précieux conseils pour faire un bon travail. Ainsi un remerciement spécial pour le **Dr Miquel Pascual** pour son soutien et ces conseils valeureux.

Pour mes parents, je veux dédier un remerciement spécial d'être toujours à mes côtés malgré la distance qui nous séparent avec leurs prières à dieu pour qu'il m'aide et me protège.

Je tiens à exprimer mes plus sincères gratitude à ma chère femme **Meriem** qui m'a toujours encouragé dans les moments les plus difficiles. Je ne pourrais oublier de remercier ma famille, belle famille et mes amis pour leur soutien moral tout au long de ce travail.

A tous mes collègues de l'IRTA groupe de l'efficience de l'utilisation de l'eau, pour leur sympathie et leur amitié je cite en particulier: **Xavier, Amadeu, Jordi, Kim, Jordi.O, Kiko, Joan, Victor, Josep.**

A tous mes chers amis, **Fares, Halim, Aziz**, et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

Merci à tous.

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES	VI
LISTE DES TABLEAUX	X
RESUME	XIII
1. INTRODUCTION	1
2. REVISION BIBLIOGRAPHIQUE	7
2.1. L'Olivier	7
2.1.1. Origine et distribution.....	7
2.1.2. Importance économique	8
2.1.2.1. La production.....	8
2.1.2.2. La consommation	9
2.1.3. Caractéristiques générales de l'olivier.....	10
2.1.3.1. Les structures végétatives.....	10
2.1.3.1.1. L'Arbre	10
2.1.3.1.2. La feuille.....	11
2.1.3.1.3. Les racines	11
2.1.3.2. Les structures reproductives	11
2.1.3.2.1. La fleur	11
2.1.3.2.2. Le fruit	11
2.1.3.3. L'huile d'olive	12
2.1.3.3.1. Les critères de la qualité d'huile d'olive	12
2.1.3.3.1.1. L'acidité.....	12
2.1.3.3.1.2. L'indice de peroxydes	12
2.1.3.3.1.3. Extinction spécifique à 270 nm	12
2.1.3.3.1.4. Caractéristiques organoleptiques.....	13
2.1.3.2. Les exigences de la culture d'olivier	13
2.1.3.2.1. Exigences pédologiques	13
2.1.4. Exigences climatiques	14
2.1.4.1. La pluviométrie	14
2.1.4.2. La température.....	14
2.1.4.3. La lumière.....	15

2.2. Les différents systèmes culturaux	16
2.2.1. L'oléiculture traditionnelle	16
2.2.3. Oléiculture de haute densité ou super-intensive	17
2.2.3.1. Objectifs du système super-intensif.....	19
2.2.3.2. La superficie de l'oliveraie hyper intensive au monde.....	19
2.3. L'irrigation de l'olivier	20
2.3.1. Besoins hydriques.....	21
2.3.1.1. Disponibilité hydrique adéquate.....	21
2.3.1.2. Besoins hydriques pour une production maximale.....	23
2.3.2. Programmation de l'irrigation	26
2.3.3. Irrigation en conditions déficitaires	28
2.4. Fertilisation de l'olivier	29
2.4.1. Eléments nutritifs.....	30
2.4.1.1. Mégaéléments	30
2.4.1.2. Macroéléments.....	30
2.4.1.3. Microéléments	30
2.4.2. La détermination des besoins nutritifs de l'olivier	30
2.4.2.1. Observation des symptômes	31
2.4.2.2. Analyse du sol	31
2.4.2.3. Analyse foliaire.....	31
2.4.3. La fertilisation potassique.....	33
2.4.3.1. Les besoins et méthodes d'application	33
2.4.3.2. Symptômes de carence du potassium	34
2.4.4. La fertilisation azotée	34
2.4.4.1. L'Azote et la culture de l'olivier	34
2.4.4.1.1. Effet de l'azote sur la croissance végétative de l'olivier	34
2.4.4.1.2. Effet de l'azote sur la floraison de l'olivier.....	35
2.4.4.1.3. Effet de l'azote sur la nouaison de l'olivier.....	35
2.4.4.1.4. Effet de l'azote sur la production finale des fruits et d'huile	35
2.4.4.1.5. Effet de l'azote sur la qualité d'huile obtenue	36
2.4.4.2. Les formes d'azote dans le sol.....	36
2.4.4.2.1. Formes inorganiques de l'azote dans le sol.....	36
2.4.4.2.2. Formes organiques d'azote dans le sol.....	37

2.4.4.3. Le cycle d'azote dans l'olivieraie	37
2.4.4.4. Le bilan d'azote	40
2.4.4.4.1. Les entrées d'azote au sol.....	40
2.4.4.4.1.1. La minéralisation de la matière organique	40
2.4.4.4.1.1.1. Les facteurs qui influent sur la minéralisation.....	41
2.4.4.4.1.1.1.1. La composition des résidus organiques du sol	41
2.4.4.4.1.1.1.2. La température et le taux d'humidité du sol	41
2.4.4.4.1.1.1.3. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol.....	41
2.4.4.4.1.2. Application des fertilisants	42
2.4.4.4.1.3. Les apports d'eau de pluie et de l'irrigation	43
2.4.4.4.2. Les sorties d'azote du sol.....	43
2.4.4.4.2.1. Lixiviation des nitrates	43
2.4.4.4.2.2. Dénitrification.....	44
2.4.4.4.2.3. L'azote exporté par les différentes pratiques culturales (taille des arbres et récollecion des fruits)	44
3. HYPOTHESES ET OBJECTIFS	48
4. MATERIAL ET METHODES.....	51
4.1. Caractéristiques générales de la parcelle expérimentale	51
4.1.1. Localisation de la parcelle expérimentale	51
4.1.2. Caractéristiques du sol.....	52
4.1.3. Caractéristiques climatiques	53
4.2. Caractéristiques de la plantation.....	53
4.2.1. Caractéristiques générales	53
4.2.2. Matériel végétal	53
4.3. Le dispositif expérimental	54
4.4. Définition des traitements.....	56
4.4.1. Les stratégies d'irrigation	56
4.4.2. Les doses de fertilisants appliquées.....	56
4.4.3. L'orientation de plantation	57
4.5. Application du système d'irrigation	58
4.6. Les contrôles réalisés.....	60
4.6.1. Floraison et Nouaison.....	60
4.6.2. La croissance végétative.....	61
4.6.2.1. La longueur des pousses	61

4.6.2.2. Le volume de la frondaison de l'arbre et le poids des résidus de la taille	61
4.6.3. Analyse foliaire.....	62
4.6.4. Matière fraîche et sèche des fruits	62
4.6.5. Estimation de la production par faces de la haie	62
4.6.6. La recollection	63
4.6.7. La qualité de l'huile.....	63
4.6.8. La teneur en matières grasses des fruits	64
4.6.9. Indice de l'alternance annuelle	65
4.6.10. Le bilan d'azote	65
4.6.10.1. Azote inorganique initial et final dans le sol	65
4.6.10.2. Les entrées d'azote au système.....	66
4.6.10.2.1. Azote apporté par l'eau de pluie et d'irrigation.....	66
4.6.10.2.2. Azote apporté par la minéralisation de la matière organique	66
4.6.10.3. Les sorties d'azote du system	67
4.6.10.3.1. Azote perdue par lixiviation	67
4.6.10.3.2. Azote retiré par l'opération de la taille.....	68
4.6.10.3.3. Azote retiré par la recollection	68
4.6.10.3.4. Azote perdu par dénitrification.....	68
4.7. Analyses statistiques.....	68
5. RESULTATS	73
5.1. Effets de trois facteurs (irrigation, fertilisation, orientation de plantation) sur quelques paramètres végétatifs et productifs de l'olivier super intensif.....	73
5.1.1. Floraison	73
5.1.2. La nouaison	75
5.1.3. La croissance végétative.....	77
5.1.4. Paramètres productifs	80
5.1.4.1. Taux de la matière sèche des fruits.....	80
5.1.4.2. La production des olives.....	86
5.1.4.3. La production d'huile	87
5.1.4.4. Efficience de l'irrigation (la production d'huile par rapport à la quantité d'eau appliquée)	90
5.1.4.5. Efficience de production de la frondaison de l'arbre	90
5.2. Contribution à l'étude du bilan d'Azote en olivier super intensif	93
5.2.1. Azote inorganique initial et final dans le sol	93

5.2.2. Les entrées d'azote	94
5.2.2.1. L'azote appliqué par fertilisation.....	94
5.2.2.2. Apports par eaux d'irrigation	95
5.2.2.3. Apports par eaux de pluie.....	95
5.2.2.4. Azote apporté par la minéralisation de la matière organique	96
5.2.3. Les sorties d'azote	97
5.2.3.1. Pertes par lixiviation.....	97
5.2.3.2. Azote extrait par la récolte des olives et le bois de la taille.....	99
5.2.4. Le bilan d'azote	100
5.3. Une réévaluation des seuils d'azote dans les feuilles de l'olivier conduit en système super-intensif pour améliorer le rendement et la qualité de l'huile.	102
5.3.1. Les conditions météorologiques et l'irrigation	102
5.3.2. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur la concentration d'azote dans la feuille	103
5.3.3. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur le rendement de l'huile.....	107
5.3.4. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur la croissance végétative.....	111
5.3.5. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur l'indice d'alternance (IA).....	114
5.3.6. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur l'indice de récolte (HI).....	117
5.3.7. La relation entre la teneur en azote des feuilles et le rendement relatif d'huile .	120
5.3.8. Effet d'irrigation et de la nutrition sur la qualité d'huile	122
6. DISCUSSIONS	127
6.1. Effets de trois facteurs (irrigation, fertilisation, orientation de plantation) sur quelques paramètres végétatifs et productifs de l'olivier super-intensif.....	127
6.2. Contribution à l'étude du bilan d'Azote en olivier super intensif	131
6.2.1. Azote inorganique initial et final dans le sol	131
6.2.2. Les entrées et les sorties d'azote.....	131
6.2.3. Le bilan d'azote	132
6.3. Une réévaluation des seuils d'azote dans les feuilles de l'olivier conduit en système super-intensif pour améliorer le rendement et la qualité de l'huile	134
7. CONCLUSIONS.....	141
8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	145
9. ANNEXES	162

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Evolution de la production des olives de table et de l'huile d'olive au monde (COI, 2015).....	9
Figure 2. Evolution de la consommation des olives de table et d'huile d'olive au monde (COI, 2015).....	10
Figure 3. Relation entre les caractéristiques chimiques d'huile, l'indice de la maturité des olives avec les radiations solaires incidentes quotidiennes de 9 oliveraies de la variété Arbequina. (Gomez del campo et García, 2012).	15
Figure 4. Une oliveraie traditionnelle en Tunisie (Institut d'olivier, Sfax).....	16
Figure 5. Oliveraie intensive (Zone oléicole en province de Jaén. Espagne, 2011).....	17
Figure 6. Une oliveraie super-intensive (Lleida. Espagne, 2012).	18
Figure 7. La superficie de l'oliveraie super-intensive en hectares au monde (López <i>et al.</i> , 2015).....	20
Figure 8. L'évolution de la consommation mondiale des engrais azotés (2002-2009). (FAOSTAT, 2015).....	42
Figure 9. Localisation de la parcelle expérimentale	51
Figure 10. Arbre et fruits de la variété Arbequina en système super- intensif.....	54
Figure 11. Le dispositif expérimental et la distribution des traitements.....	55
Figure 12. La parcelle élémentaire.	57
Figure 13. Les deux faces de la haie selon l'orientation de la plantation de l'oliveraie.	57
Figure 14. Le système d'irrigation de la parcelle expérimentale.....	59
Figure 15. Le stade de comptage des fleurs et du fruit après la nouaison.	60
Figure 16. La mesure des dimensions de la haie.	61
Figure 17. La récolte mécanique de la parcelle expérimentale.	63
Figure 18 . L'extraction de l'huile à l'aide d'un équipement Abencor.	64

- Figure 19.** Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de l'orientation de la plantation de la haie. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 73
- Figure 20.** Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de la dose des deux types de fertilisants. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 74
- Figure 21.** Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de la stratégie d'irrigation. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 74
- Figure 22.** Le taux de nouaison en fonction de la stratégie d'irrigation et les dose des deux types des fertilisants. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 75
- Figure 23 .** Le taux de nouaison en fonction de l'orientation de la plantation. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 76
- Figure 24.** L'effet de l'interaction entre le N et le K sur le volume de frondaison de l'arbre de l'olivier. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test Tukey HSD. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 80
- Figure 25.** Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de l'orientation de plantation de la haie. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 81
- Figure 26.** Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la stratégie d'irrigation appliquée. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 82
- Figure 27.** Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la dose des deux types des fertilisants appliqués. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 83
- Figure 28.** Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la dose des deux types des fertilisants appliqués. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 84

- Figure 29.** L'effet de l'interaction N*K sur le taux de la matière sèche des fruits. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test Tukey HSD à ($P < 0.05$). Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 85
- Figure 30.** L'efficacité d'irrigation en fonction des deux types de stratégies appliqués. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 90
- Figure 31.** L'efficacité de production de la frondaison de l'arbre en fonction de la stratégie d'irrigation appliquée. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 91
- Figure 32.** L'efficacité de production de la frondaison de l'arbre en fonction des deux éléments nutritifs appliqués (N et K). Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 92
- Figure 33.** L'évolution de la teneur en azote inorganique ($N-NO_3^-$) du sol durant les trois années d'étude. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne..... 94
- Figure 34.** l'évolution de la (précipitation+irrigation) et l'évapotranspiration de l'olivier durant les deux années de l'étude. 97
- Figure 35.** L'évolution de l'humidité du sol durant les périodes d'irrigation. 98
- Figure 36.** L'évolution de la concentration d'azote dans la feuille durant les quatre années de l'étude pour les traitements appliqués, l'azote est en diminution continue dans les traitements N-0 et K-0. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 104
- Figure 37.** Histogramme de l'interaction N*K. Nleaf diminue progressivement en K-0 vs K-100. En N-0 Nleaf dépend à la dose du K appliqué. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 105
- Figure 38.** Histogramme de l'interaction Irrigation*K. Nleaf augmente sur les traitements R-100 et K-100. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 107

- Figure 39.** L'évolution de la production de l'huile durant les quatre années de l'expérience en fonction des différents traitements appliqués. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 109
- Figure 40.** Effet de l'interaction Année*N*K sur la production finale d'huile, le rendement d'huile augmente significativement avec l'application du K sur les traitements N-0 et pour les années OFF. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 110
- Figure 41.** L'évolution de la croissance végétative durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 113
- Figure 42.** Effet de l'interaction Année*N*K sur l'indice d'alternance de la production, IA diminue par l'application des deux éléments nutritifs N et K. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 114
- Figure 43.** L'évolution de l'indice d'alternance de la production durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 116
- Figure 44.** L'évolution de l'indice de la récolte durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne. 118
- Figure 45. (A)** Le rendement relative de l'huile des parcelles en fonction de la concentration en azote des feuilles pour ON et OFF. Parcelles classées selon les critères de Pearce (1967). **(B)** La régression entre la concentration de la feuille d'azote et le rendement d'huile pour les parcelles ON. Paramètres : $b_0 = 0.71$, $b_1 = 0.71$, $b_2 = 0$, $C = 1.94$. Std.Err: $b_0 = 0.01809$, $b_1 = 0.15609$, $b_2 = 0$, $C = 0.0590$. CL: $b_0 = [0.67-0.81]$, $b_1 = [0.52-1.16]$; $C = [1.80- 2.13]$ 121
- Figure 46.** La variation des polyphénols totaux et de la stabilité oxydative de l'huile en fonction de la concentration d'azote dans la feuille. Ces deux paramètres de qualité d'huile diminuent significativement avec l'augmentation de la concentration du N dans la feuille. 124
- Figure 47.** Le rendement relatif en fonction de la concentration du N dans la feuille des parcelles ON classifiées en fonction de la vigueur végétative (poids des résidus de la taille PW : Faible (1^{er} quartile : <4.5 kg), Moyenne (2^{em} et 3^{em} quartiles: 4.5-8.5 kg) et élevée le dernier quartile : >8.5kg). 137

LISTE DES TABLEAUX

Tableau. 1 : Caractéristiques d'un sol jugé adéquat pour l'oléiculture.	13
Tableau. 2: Effets du déficit hydrique sur les processus de croissance et de production de l'olivier (Beede et Goldhamer, 1994).	22
Tableau. 3: Interprétation des niveaux de nutriments dans des feuilles d'olivier prélevées en Juillet (exprimés sur matière sèche). (Beutel <i>et al.</i> , 1983)....	32
Tableau. 4: Résultats d'analyse du sol de la parcelle expérimentale.	52
Tableau. 5: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le nombre des fleurs par mètre linéaire de végétation et le taux de nouaison durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.....	77
Tableau. 6: Le volume de la frondaison de l'arbre (m ³) pour les deux années de l'expérience.....	78
Tableau. 7: Facteurs de signification sur ANOVA pour le volume de frondaison de l'arbre durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.....	79
Tableau. 8: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le taux de la matière sèche des fruits durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.....	85
Tableau. 9: Le nombre des olive par arbre et la productions des olives (kg ha ⁻¹) en fonction des différents traitements d'irrigation , d'azote et du potassium appliqués.	86
Tableau. 10: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le nombre des fruits par arbre et le rendement final des fruit par hectare durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.....	87
Tableau. 11: Le rendement de l'huiles sur matière sèche de fruits (%) et la production finale (kg ha ⁻¹) en fonction des différents traitements d'irrigation, d'azote et du potassium appliqués.....	88
Tableau. 12: Les facteurs de signification sur ANOVA pour pourcentage de l'huile sur matière sèche des fruits et le rendement final de l'huile par hectare durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.....	89
Tableau 13: Les paramètres de production en fonction des deux faces de la haie.....	89

Tableau. 14: Le bilan d'azote inorganique (N-NO ₃ ⁻) au sol dans les deux traitements appliqués pour les trois années d'étude à la fin de la saison.	93
Tableau. 15: La répartition des quantités d'azote inorganique (kg ha ⁻¹) appliqué par fertigation pour les trois années d'étude.	94
Tableau. 16: la quantité d'azote inorganique (N-NO ₃ ⁻) apportée par les eaux d'irrigation au sol au cours des trois années d'étude.	95
Tableau 17: La quantité d'azote apporté par la pluie durant les trois années de l'essai.	96
Tableau. 18: La quantité d'azote résultante de la minéralisation de la matière organique (2011, 2012).	96
Tableau. 19: L'azote exporté par la recollection des olives et l'opération de la taille des arbres (kg ha ⁻¹).	99
Tableau. 20: La quantité d'azote perdue par le processus de dénitrification (kg ha ⁻¹).	99
Tableau. 21: Le bilan d'azote dans les deux dernières années (2011, 2012) en (kg ha ⁻¹).	101
Tableau. 22: La moyenne et l'intervalle de variation du ETo et pluviométrie mensuelle, l'irrigation et le Kc réel pour les traitements R-100 et IDC.	102
Tableau. 23: La concentration du N dans la feuille en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (%) (Moyenne).	103
Tableau. 24: L'effet de l'irrigation et fertilisation azoté et potassique sur la concentration d'azote dans les feuilles (%). (Moyenne ± l'erreur standard).	106
Tableau. 25: Effet d'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur le rendement d'huile (kg ha ⁻¹) (Moyen ± l'erreur standard).	108
Tableau. 26: Le rendement de l'huile (kg ha ⁻¹) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).	111
Tableau. 27: Le poids des résidus de la taille (kg arbre ⁻¹) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).	112

Tableau. 28: L'effet d'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur la croissance végétative exprimée par le poids des résidus de la taille (kg arbre^{-1}) (Moyen \pm l'erreur standard).....	112
Tableau. 29: l'effet de l'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur l'indice d'alternance de la production IA (%) (Moyen \pm l'erreur standard).....	115
Tableau 30: L'indice de la récolte (%) exprimé par (OY/PW) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).....	117
Tableau 31: Facteurs de signification sur MANOVA modèle mixte de mesures répétées (année a été utilisé comme facteur répété) pour le rendement de l'huile (OY), le poids des résidus de la taille (PW), l'indice de récolte (HI), l'indice d'alternance (IA) et la concentration d'azote dans les feuilles (Nleaf) pour l'année, Irrigation, l'azote, potassium et les interactions entre eux.....	119
Tableau. 32: Résultats de la qualité d'huile en fonctions de l'état de l'année (ON-OFF): acidité totale (mg kg^{-1}); indice de peroxydes ($\text{mEq O}_2 \text{ Kg}^{-1}$); K232 et K270; la stabilité oxydative (heures) et Polyphenols totaux (mg kg^{-1}). Résultats présentés par traitements (moyenne \pm déviation std). Lettres majuscules désignent une différence significative entre colonne (ON-OFF) et les lettres minuscules désignent une différence significative entre les différents niveaux des traitements appliqués selon le test : test F $p < 0.005$	123
Tableau. 33: Les niveaux d'azote et du potassium dans la feuille.	127

LISTE DES ABREVIATIONS

ADN : acide désoxyribonucléique.
ANOVA: analyse de la variance.
ARN: acide ribonucléique.
ATP: adénosine triphosphate.
CE : comité européenne.
cm : centimètre.
COI: conseil oléicole international.
°C: degré Celsius.
dS: déci-siemens.
ETc: évapotranspiration de la culture.
ETo: évapotranspiration de référence.
FAO : food and agriculture organisation.
g: gramme.
h: heure.
ha: hectare.
Kc: coefficient de la culture.
kg: kilogramme.
kPa: kilo pascal.
l: litre.
m: mètre.
MANOVA: analyse de la variance multivariée.
mEq: milliéquivalent.
Mg: Méga gramme.
mg: milligramme.
MJ: Méga Joule.
mm: millimètre.
n°: numéro.
nm: nanomètre.
ppm: partie par million.
RAS: risque d'accumulation du sodium.
s: seconde.
t: tonne.
T max: température maximale.
T min: température minimale.
T m: température moyenne.
UV: ultraviolet.
V : volume.

RESUMÉ

L'optimisation de la productivité de l'irrigation et de la fertilisation azotée et potassique est un objectif primordial dans l'agriculture moderne. L'application des stratégies d'irrigation qui permettent d'économiser l'eau d'irrigation est indispensable actuellement vue à la pénurie et aux coûts des ressources hydriques et énergétiques qui ne cessent pas d'augmenter. Une de ces stratégies appliquées sur l'arboriculture fruitière est l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) dont elle consiste à appliquer des réductions d'eau d'irrigation aux moments où la culture est moins sensible au stress hydrique. La fertilisation efficace doit prendre en compte plusieurs critères dont une analyse foliaire combinée avec le bilan des nutriments dans le système sols-plante est indispensable pour appliquer les éléments nutritifs et éviter les effets négatifs sur le rendement et la qualité. Un autre facteur très important pour l'olivier super-intensif est le choix de l'orientation de la plantation de manière que l'arbre peut exploiter le maximum de rayonnement solaire durant la journée. Parallèlement, dans le cas d'une oliveraie super-intensive irriguée, l'optimisation du verger pour obtenir des rendements élevés implique une connaissance précise à la fois de la réponse à la nutrition, et ces effets sur la qualité de l'huile.

Dans ce travail on a étudié l'importance de tous les facteurs cités auparavant sur les performances productives et qualitatives de l'olivier conduit sous des conditions de super-intensive en zone nord-est de l'Espagne.

Le premier chapitre est dédié à l'évaluation de l'effet de l'application des deux stratégies d'irrigation qui sont l'irrigation complète (R-100) et l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) dont on a appliqué une réduction du 75% à partir du début du mois de Juillet jusqu'à 10 Septembre. Ces deux stratégies ont été combinées avec l'application d'azote (N) et du potassium (K) avec deux doses chacun (N-0, sans application du N, N-50, application de 50 kg ha⁻¹, K-0, sans application du K et K-100 application de 100 kg ha⁻¹). En plus de l'effet de ces deux facteurs on a étudié l'effet de l'orientation de la plantation en comparant les paramètres productifs et végétatifs entre les deux faces de la haie. Comme résultats de ce chapitre on a trouvé que l'application des réductions d'eau d'irrigation peut économiser jusqu'à 40 % d'eau irrigation sans effets préjudiciables sur les performances productives et végétatives de l'olivier, avec une augmentation

significatives de l'efficience de la production du conopée. Pour la fertilisation l'application du N et du K a eu un effet positif sur la croissance végétative et la production finale des fruits et de l'huile sans effet clair sur les paramètres de floraison et de nouaison. L'orientation de plantation a eu un effet sur tous les paramètres étudiés, dont l'exposition de la haie aux rayonnements solaires (face sud-est) a favorisé la floraison, la nouaison, et tous les composants du rendement (olives et huile).

Dans le deuxième chapitre le bilan d'azote a été estimé, afin de calculer les entrées et sorties de N liées à la réponse des arbres et à la disponibilité de l'azote du sol. Les calculs des entrées et des sorties de N ont montré que N exporté par la récolte des olives et les résidus de la taille étaient plus élevés pour les parcelles fertilisées que ceux non fertilisées. Aucune différence significative n'a été enregistrée pour la minéralisation de l'azote entre les deux traitements du N. Le bilan du N, définie comme la différence entre la teneur en azote inorganique dans le sol à la fin et le début de chaque année, a été positif pour les deux traitements, mais lorsque la croissance végétative et le rendement d'olive ont été comparés, les parcelles fertilisées ont montré des valeurs plus élevées. Cette réponse implique 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.

En fin le troisième chapitre consiste à faire une réévaluation des seuils d'azote dans les feuilles de l'olivier conduit en système super-intensif pour améliorer le rendement et la qualité de l'huile. Dans ce chapitre, on a étudié la concentration d'azote dans la feuille de l'olivier et sa relation avec le rendement et la qualité de l'huile. L'application du N augmente la concentration de ce dernier dans les feuilles et les traitements conduits sans application du N ont présenté une baisse continue. L'application du K maintient la concentration du N dans les feuilles dans les parcelles sans application de ce dernier. L'irrigation et le K ont un effet synergétique sur la concentration d'azote dans les feuilles. L'application de ces deux éléments nutritifs a diminué l'indice d'alternance de la production de l'olivier. Le rendement de l'huile a eu une réponse positive aux concentrations d'azote des feuilles jusqu'à près de 2%. Les performances de la qualité de l'huile telles que le taux des polyphénols et la stabilité oxydative ont diminué avec l'augmentation de la concentration du N dans les feuilles, mais avec des valeurs acceptables jusqu'à 1,94 %.

ABSTRACT

The optimization of irrigation and fertilization productivity is a crucial objective in modern agriculture. Nowadays, the application of irrigation strategies which save irrigation water is essential because of scarcity and high cost of water and energy resources that continue to increase. One of these strategies applied to fruit trees is regulated deficit irrigation (RDI), which consists in applying irrigation water reductions during periods of time when the crop is less sensitive to water stress. Efficient fertilization must take into account several criteria such as foliar analysis combined with the nutrient balance in the soil-plant system that are essential to apply the nutrients and avoid negative effects on yield and quality. Another very important factor for the super-high-density olive orchard is the choice of the orientation of plantation to exploit the maximum solar radiation during the day. Namely, in the case of a super-high-density irrigated olive orchard, optimizing to get high yields requires a precise knowledge of the response to nutrition and its effects on oil quality.

In this work, the importance of all the factors previously mentioned on productive and qualitative performance was studied in an olive orchard conducted under super-high-density conditions in the northeast area of Spain.

The first chapter was devoted to the evaluation of the effect of two irrigation strategies which are a full irrigation (R-100) and regulated deficit irrigation (RDI) where a reduction of 75% was applied from the beginning of July until September 10th. Both strategies have been combined with the application of nitrogen (N) and potassium (K) with two doses for each one (N-0, without application of N, N-50, application of 50 kg ha⁻¹ K-0 without application of K and K-100 application of 100 kg ha⁻¹). In addition to the effect of these two factors, the effect of planting orientation was studied by comparing the productive and vegetative parameters between both sides of the hedgerow. In this chapter, it was found that the application of regulated deficit irrigation can save up to 40% of water without adverse effects on vegetative and productive performance of the olive tree, with a significant increase of the production efficiency of the tree canopy. For fertilization, application of N and K had a positive effect on plant growth and the final production of fruit and oil without a clear effect on parameters of flowering and fruit set. The planting orientation had an effect on all parameters studied.

Exposure of hedgerow to solar radiation (southeast side) has improved flowering, fruit set, and all yield components (olives and oil).

In the second chapter, the nitrogen balance was estimated to calculate the inputs and outputs of N related to the response of trees and the availability of soil nitrogen. The calculations of the N inputs and outputs have shown that N exported by the crop and pruning material was higher in fertilized plots than unfertilized ones. No significant differences were recorded for nitrogen mineralization between the two N treatments. The N balance, defined as the difference between the inorganic N content in the soil at the end and the beginning of each year, was positive for both treatments, but when the vegetative growth and the olive yield were compared, fertilized plots showed higher values. This response involves an adaptation of the olive trees to different soil N availability conditions by equilibrating their vegetative growth and fruit yield.

Finally, the third chapter is considered as a reappraisal of nitrogen levels in leaf of super-high-density olive orchard to improve yield and oil quality. In this chapter the concentration of nitrogen in the leaf of the olive tree and its relationship with the oil yield and quality was studied. The application of N increases its concentration in the leaf and treatments without application of N showed a continued decline. The application of K maintained N concentration in leaf in N-0 plots. Irrigation and K have a synergistic effect on the N concentration in leaf. The application of the two nutrients, N and K, decreased the bearing index of the olive tree. Oil yield has had a positive response to N concentration in leaf until approximately 2%. Oil quality performance such as the content of polyphenols and oxidative stability decreased when N concentration in leaf increased, but with good values until 1,94%.

RESUMEN

La optimización de la productividad de riego y de la fertilización nitrogenada y potásica es un objetivo esencial en la agricultura moderna. Los recursos hídricos y energéticos son cada vez más escasos y más costosos y la aplicación de estrategias de riego que permiten ahorrar agua es indispensable. Una de estas estrategias aplicadas en los frutales es el riego deficitario controlado (RDC) que consiste a aplicar reducciones de agua de riego en los momentos en que el cultivo sea menos sensible al estrés hídrico. La fertilización eficaz debe tener en cuenta varios criterios, y el análisis foliar combinado con el balance de nutrientes en el sistema suelo-planta es esencial para aplicar los nutrientes y evitar efectos negativos sobre el rendimiento y la calidad. Otro factor muy importante para el olivar superintensivo es la elección de la orientación de la plantación para que el árbol puede explotar la máxima radiación solar durante el día. Paralelamente, en el caso del olivar intensivo con riego, la optimización del olivar para obtener altos rendimientos comporta un conocimiento preciso de la respuesta a la nutrición, a la vez que el efecto sobre la calidad del aceite.

En este trabajo se ha estudiado la importancia de todos los factores mencionados anteriormente sobre el comportamiento productivo y cualitativo del olivo superintensivo en el noreste de España.

El primer capítulo está dedicado a la evaluación del efecto de la aplicación de dos estrategias de riego que son el riego completo (R-100) y riego deficitario controlado (RDC) en el que se aplicó una reducción de 75% a partir de principios de julio hasta el 10 de septiembre. Ambas estrategias se han combinado con la aplicación de nitrógeno (N) y potasio (K) con dos dosis cada uno (N-0, sin aplicación de N, N-50, aplicación de 50 kg ha⁻¹, K- 0, sin aplicación de K y K-100, aplicación de 100 kg ha⁻¹). Además del efecto de estos dos factores se estudió el efecto de la orientación de plantación mediante la comparación de los parámetros productivos y vegetativos entre las dos caras del seto. Como resultado de este capítulo se ha encontrado que la aplicación de reducciones de agua de riego (RDC) puede ahorrar hasta un 40% del agua de riego sin efectos adversos sobre los parámetros vegetativos y productivos del olivo, con un aumento significativo la eficiencia de la producción de la copa del árbol. Para la fertilización, la aplicación de N y K ha tenido un efecto positivo sobre el crecimiento vegetativo y la producción final de aceitunas y del aceite, sin un claro efecto sobre los

parámetros de la floración y el cuajado. La orientación de plantación tuvo un efecto sobre todos los parámetros estudiados, donde la exposición del seto a la radiación solar (cara sureste) favoreció la floración, el cuajado, y todos los parámetros productivos (aceitunas y aceite).

En el segundo capítulo se estimó el balance de nitrógeno con el fin de calcular las entradas y salidas de N relacionadas con la respuesta de los árboles y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Los cálculos de las entradas y las salidas de N han demostrado que la N exportado por la cosecha de las aceitunas y los residuos de la poda fueron mayores en las parcelas fertilizadas que las parcelas no fertilizadas. No se ha encontrado diferencias significativas para la mineralización de nitrógeno entre los dos tratamientos de N. El balance de nitrógeno definido como la diferencia entre el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo al principio y al final de cada campaña fue positivo para ambos tratamientos de N, pero cuando el crecimiento vegetativo y la producción del olivo se han comparado, las parcelas fertilizadas mostraron valores más altos. Esta respuesta implica una adaptación del olivo a las diferentes situaciones de disponibilidad de N en el suelo mediante el equilibrio de su crecimiento vegetativo y su rendimiento.

El tercer capítulo es una reevaluación de los niveles de nitrógeno en las hojas del olivo superintensivo para mejorar el rendimiento y la calidad del aceite. En este capítulo se estudió el nivel de nitrógeno en la hoja del olivo y su relación con el rendimiento y la calidad del aceite. La aplicación de N aumenta la concentración de este último en las hojas y los tratamientos sin aplicación de N mostraron una bajada continua durante los años del ensayo. La aplicación de K mantiene la concentración de N en la hoja en las parcelas sin aplicación de este último. El riego y K tienen un efecto sinérgico sobre la concentración de nitrógeno en las hojas. La aplicación de estos dos nutrientes disminuyó el índice de la alternancia del olivo. El rendimiento de aceite ha tenido una respuesta positiva a las concentraciones de nitrógeno en hoja hasta un valor cerca del 2%. La calidad de aceite expresada como el contenido de los polifenoles y la estabilidad oxidativa disminuye con el aumento de concentración de N en las hojas, pero con valores correctos de estos dos parámetros hasta 1,94% de N en la hoja.

RESUM

L'optimització de la productivitat de reg i de la fertilització nitrogenada i potàssica és un objectiu essencial en l'agricultura moderna. Els recursos hídrics i energètics són cada vegada més escassos i més costosos i per tant l'aplicació d'estratègies de reg que permeten estalviar aigua és indispensable. Una d'aquestes estratègies aplicades en els fruiters és el reg deficitari controlat (RDC) que consisteix a aplicar reduccions d'aigua de reg en els moments en què el cultiu sigui menys sensible a l'estrès hídric. La fertilització eficaç ha de tenir en compte diversos criteris, i les anàlisis foliars combinades amb el balanç de nutrients en el sistema sòl-planta són essencials per aplicar els nutrients i evitar efectes negatius sobre el rendiment i qualitat. Un altre factor molt important per a l'olivera superintensiva és l'elecció de l'orientació de la plantació per a que l'arbre pugui explotar la màxima radiació solar durant el dia. Paral·lelament, en el cas de l'olivera superintensiva en reg, l'optimització per obtenir alts rendiments comporta un coneixement precís de la resposta a la nutrició, alhora que l'efecte sobre la qualitat de l'oli.

En aquest treball s'ha estudiat la importància de tots els factors esmentats anteriorment sobre el comportament productiu i qualitatiu de l'olivera superintensiva al nord-est d'Espanya.

El primer capítol està dedicat a l'avaluació de l'efecte de l'aplicació de dues estratègies de reg que són el reg complet (R-100) i el reg deficitari controlat (RDC) on es va aplicar una reducció del 75% a partir de principis de juliol fins al 10 de setembre. Les dues estratègies s'han combinat amb l'aplicació de nitrogen (N) i potassi (K) amb dues dosis cadascun (N-0, sense aplicació de N, N-50, aplicació de 50 kg ha⁻¹, K 0, sense aplicació de K i K-100, aplicació de 100 kg ha⁻¹). A més de l'efecte d'aquests dos factors es va estudiar l'efecte de l'orientació de plantació mitjançant la comparació dels paràmetres productius i vegetatius entre les dues cares. Com a resultats d'aquest capítol s'ha trobat que l'aplicació de reduccions d'aigua de reg (RDC) pot estalviar fins a un 40% de l'aigua de reg sense efectes adversos sobre els paràmetres vegetatius i productius de l'olivera, amb un augment significatiu de l'eficiència de la producció de la copa de l'arbre. Per a la fertilització, l'aplicació de N i K ha tingut un efecte positiu sobre el creixement vegetatiu i la producció final d'olives i l'oli, sense un clar efecte sobre els paràmetres de la floració i el quallat. L'orientació de plantació va tenir un

efecte sobre tots els paràmetres estudiats, on l'exposició a la radiació solar (cara sud-est) va afavorir la floració, el quallat, i tots els paràmetres productius (olives i oli).

En el segon capítol es va estimar el balanç de nitrogen per tal de calcular les entrades i sortides de N relacionades amb la resposta dels arbres i la disponibilitat de nitrogen en el sòl. Els càlculs de les entrades i les sortides de N han demostrat que el N exportat per la collita de les olives i els residus de la poda van ser majors en les parcel·les fertilitzades que les parcel·les no fertilitzades. No s'ha trobat diferències significatives per a la mineralització de nitrogen entre els dos tractaments de N. El balanç de nitrogen definit com la diferència entre el contingut de nitrogen inorgànic al sòl al principi i al final de cada campanya, va ser positiu per a ambdós tractaments de N, però quan el creixement vegetatiu i la producció de l'olivera s'han comparat, les parcel·les fertilitzades van mostrar valors més alts. Aquesta resposta implica una adaptació de l'olivera a les diferents condicions de la disponibilitat de N en el sòl mitjançant l'equilibri del seu creixement vegetatiu i el seu rendiment.

El tercer capítol és una reavaluació dels nivells de nitrogen en les fulles de l'olivera superintensiva per millorar el rendiment i la qualitat de l'oli. En aquest capítol, es van estudiar el nivell de nitrogen en fulla i la seva relació amb el rendiment i la qualitat de l'oli. L'aplicació de N augmenta la concentració d'aquest últim en la fulla, però els tractaments sense aplicació de N van mostrar una baixada contínua durant els anys de l'assaig. L'aplicació de K manté la concentració de N en fulla en les parcel·les sense aplicació d'aquest últim. El reg i K tenen un efecte sinèrgic sobre la concentració de nitrogen en fulla. L'aplicació d'aquests dos nutrients va fer disminuir l'índex de l'alternança de l'olivera. El rendiment d'oli ha tingut una resposta positiva a les concentracions de nitrogen en fulla fins a un valor prop del 2%. La qualitat d'oli expressada com el contingut de polifenols i l'estabilitat oxidativa disminueix amb l'augment de concentració de N en les fulles, però amb valors correctes d'aquests dos paràmetres fins a 1,94% de N en la fulla.

ملخص

تحسين انتاجية الري و التسميد الازوتي و البوتاسي هو الهدف الأساسي في الزراعة الحديثة. لذلك تطبيق استراتيجيات الري التي تسمح بتوفير مياه السقي يعتبر أمرا مهما بالنظر الى ندرة و غلاء الموارد المائية و الطاقوية، واحدة من هذه الإستراتيجيات هي الري الناقص المنظم الذي يتمثل في تطبيق تخفيضات في مياه الري في المراحل التي تكون فيها الأشجار أقل حساسية للإجهاد المائي. التسميد الفعال يجب أن يأخذ بعين الإعتبار عدة معايير أهمها تحليل أوراق الأشجار مصحوبة بإجراء إحصاء للعناصر المغذية في النظام تربة – نبات و ذلك لتجنب الأثار السلبية على الإنتاج و جودته. عامل اخر لا يقل أهمية لزراعة الزيتون عالي الكثافة هو اختيار توجيه خطوط عند عملية الغرس بطريقة من خلالها يمكن للأشجار الإستفادة قدر المستطاع من أشعة الشمس. في هذا النوع من الزراعة الحصول على انتاج عالي مع جودة عالية يتطلب معرفة دقيقة لاستجابة الشجرة للعناصر المغذية و تأثيرها على جودة الزيت .

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير العوامل المذكورة سابقا على الانتاج و جودته في نظام زراعة الزيتون عالي الكثافة في شمال شرق اسبانيا.

الجزء الأول خصص لتقييم تأثير نوعان من استراتيجيات السقي: السقي الكامل و الناقص المنظم و ذلك بتخفيض 75% من احتياجات الشجرة و ذلك لفترة ممتدة ما بين 1 جويلية و 10 سبتمبر مع تطبيق عنصرين أساسيين الأزوت و البوتاسيوم بتركيزين لكل عنصر منهما (بدون تطبيق الأزوت، تطبيق 50 كغ في الهكتار) و(بدون تطبيق البوتاسيوم و تطبيق 100كغ في الهكتار) ، بالإضافة الى دراسة تأثير توجيه خطوط الغرس و ذلك بمقارنة الخصائص الإنتاجية و الخضرية بين وجهي خط الغرس.

أهم النتائج المتحصل عليها هي أن تطبيق استراتيجية السقي الناقص ساهم في توفير 40% من مياه السقي دون أثار سلبية على النمو الخضري و الإنتاج النهائي مع زيادة في فعالية إنتاج الشجرة، تطبيق كل من الازوت و البوتاسيوم ساهم في تحسين النمو الخضري و إنتاج ثمار الزيتون و زيت الزيتون دون تأثير واضح على الإزهار و عقد الثمار، توجيه خطوط الغرس كان له تأثير إيجابي على الخصائص المدروسة حيث أن تعرض الشجرة لأطول وقت ممكن لأشعة الشمس عزز كل من الإزهار و الإنتاج النهائي للزيت و ثمار الزيتون .

في الجزء الثاني تم احصاء عنصر الازوت و ذلك بحساب مدخلات و مخرجات هذا الأخير في نظام تربة – نبات مع دراسة استجابة الشجرة لتوفر هذا العنصر في التربة و قد أظهرت النتائج أن كمية

المخرجات عن طريق عملية الجني و التقليم كانت أعلى في (50) بالمقارنة بالمعالجات (0) ،لم يتم تسجيل كمية الازوت الناتجة عن التمدن بين كلتا المعالجتين.

ميزان الازوت في التربة معرف على أنه الفرق في تركيز هذا الأخير بين بداية ونهاية كل سنة كان موجبا في كلتا المعالجتين لكن عند مقارنة الإنتاج و النمو الخضري بين المعالجتين أظهرت المعالجة (50) قيم عليا هذا يمكن شرحه بأن شجرة الزيتون تملك قدرة على التكيف في الأوساط التي تنمو بها و ذلك بترشيد نموها الخضري و إنتاجها على قدر توفر العناصر المغذية.

في النهاية الجزء الثالث تم تخصيصه لإعادة تقييم مستويات الازوت في أوراق الزيتون بهدف تحسين كمية المحصول و جودته. تطبيق الأزوت يزيد من تركيز هذا الأخير في الأوراق مع مرور الزمن و العكس صحيح، و تطبيق البوتاسيوم يحافظ على تركيز الأزوت في الأوراق في حالة عدم تطبيق هذا الأخير، الري و تطبيق البوتاسيوم يزيدان من تركيز الازوت في ورقة الزيتون، تطبيق كل من الازوت و البوتاسيوم يقلل من ظاهرة الإنتاج المتناوب للزيتون. تم تسجيل زيادة في إنتاج الزيت مع زيادة تركيز الأزوت في الأوراق التي قيم تصل حتى 2%. جودة الزيت المعبر عنها بكمية البوليفينول و الاستقرار التأكسدي تنخفض مع زيادة تركيز الأزوت في الأوراق و لكن مع قيم مقبولة حتى 1,94%.

INTRODUCTION.

1. INTRODUCTION

La culture de l'olivier (*Olea europaea*, L.) est l'une des activités les plus anciennes et les plus répandues dans les zones arides et semi-arides du bassin méditerranéen, principalement en raison de sa grande adaptabilité aux conditions de déficit hydrique et sa valeur nutritive (Connor et Fereres, 2004) (Fernández, 2014). Néanmoins, la productivité de l'olivier est limitée à la fois par la disponibilité de l'eau et des nutriments, étant affecté le rendement de plusieurs degrés selon les sols, la variabilité des précipitations au cours de la saison et l'alternance ou l'effet de l'année (Stroosnijder *et al.*, 2008). Le marché mondial de l'huile d'olive vierge continue d'augmenter depuis des dernières décennies, en encourageant la culture de l'olivier (Zafeiriou *et al.*, 2012), couramment planté dans des conditions de culture intensive.

L'eau est un bien en pénurie continue, qui exige une utilisation plus efficace. Une bonne gestion de l'irrigation exige un calendrier d'irrigation approprié adapté à la culture en rangs (Marsal *et al.*, 2002). Du fait qu'en Espagne la plupart des plantations des arbres fruitiers sont situés dans les zones de climat semi-aride, avec des périodes importantes de déficit hydrique, l'orientation vers des stratégies d'irrigation avec des doses réduites d'eau ou l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) est justifiée non seulement pour économiser l'eau d'irrigation, mais aussi pour régler la croissance végétative (Girona *et al.*, 1993, 2003), avec un effet minimal sur la production et une amélioration de la qualité finale du fruit (Gelly *et al.*, 2003). D'après Alegre *et al.* (2001), l'application d'IDC sur l'olivier de la variété Arbequina a permis d'économiser des quantités importantes d'eau d'irrigation, en augmentant la production avec une amélioration significative de la qualité de l'huile obtenue.

Le rendement de l'olivier et la qualité d'huile sont fortement influencées par un ensemble de facteurs non exclusifs comme le génotype ou l'état nutritionnel et hydrique de la plante (Mora *et al.*, 2007). En conséquence de cette influence, les oliveraies traditionnelles sont bien adaptées aux conditions locales (Aguilera *et al.*, 2014) en présentant un haut degré de plasticité sur la réponse productive aux variations environnementales (Trentacoste *et al.*, 2011) (Rossi *et al.*, 2013) (Fernández, 2014). En contrepartie, les systèmes intensifs modernes exigent une utilisation intensive de l'eau et des éléments nutritifs pour améliorer le rendement (Metzidakis *et al.*, 2008) pour augmenter le rendement et maintenir la qualité d'huile (Naor *et al.*, 2013). Il est bien

connu que l'amélioration de l'état hydrique de la plante et de la nutrition azotée ont une influence positive sur la croissance des pousses, le nombre de fleurs, la teneur des feuilles en chlorophylle, la nouaison, la charge finale des fruits et, globalement, améliorent la productivité de l'olivier (Erel *et al.*, 2008) et la qualité de l'huile (Erel *et al.*, 2013b). Mais ce système de culture intensive n'est pas toujours sans inconvénients, un excès d'azote (N) affecte négativement la qualité de l'huile d'olive (Fernández-Escobar *et al.*, 2006), la teneur de l'huile en composés phénoliques et en acides gras saturés (Erel *et al.*, 2013b), aussi diminue l'amertume et la stabilité de l'huile (Fernández-Escobar *et al.*, 2004).

Du point de vue de la nutrition minérale, l'évaluation de l'état nutritionnel de la plante a été généralement basée sur l'analyse des éléments nutritifs dans les feuilles. Les premiers travaux sur l'état nutritionnel de l'olivier ont été menés par Hartman (1958) et Chapman (1966), en établissant les seuils de diagnostic pour plusieurs nutriments qui sont encore utilisés aujourd'hui avec des modifications mineures (Beutel *et al.*, 1983). Actuellement, l'analyse des feuilles est encore une méthode très répandue pour la planification de la fertilisation des oliveraies. Connaissances actuelles sur l'état nutritionnel des oliviers et l'interprétation des seuils de la réponse des cultures sont complexes en raison de la variabilité environnementale, des géotypes et des caractéristiques des systèmes de culture. Cependant, il est relativement fréquent de trouver des écarts en réponse à la performance et à l'application d'azote. Cela peut être attribué à des multiples effets de l'application de cet élément sur sa concentration dans les feuilles et leurs effets sur le rendement et la qualité de l'huile.

Complémentairement, il est impossible d'ignorer les effets des interactions avec d'autres éléments nutritifs principalement le phosphore (P), le Potassium (K) et Magnésium (Mg) (Dikmelik *et al.*, 1999), (Erel *et al.*, 2008), (Elloumi *et al.*, 2009), (Fernández-Escobar *et al.*, 2009) (Tubeileh *et al.*, 2014), la variété (Michelazzo et Sebastiani, 2011), la charge en fruits et la date d'échantillonnage des feuilles (Gucci *et al.*, 2010), l'état hydrique de la plante (Pierantozzi *et al.*, 2013) et le système de culture (Fernández-Escobar *et al.*, 2009) (Michelazzo et Sebastiani, 2011). Les changements dans la productivité et le comportement qualitatif des oliviers à cause de ces effets cités antérieurement peuvent fausser l'interprétation du contenu de N dans les feuilles et appeler à réviser l'efficacité des seuils de diagnostic habituels de N dans la feuille. Généralement l'intensification des systèmes de culture d'oliviers soulève une question

fondamentale, qui semble à être partiellement résolue, en particulier dans l'évaluation de la nécessité pour les éléments nutritifs afin d'optimiser la production et la qualité de l'huile.

La culture de l'olivier traditionnelle ou extensive se caractérise par des faibles rendements et des exigences plus ou moins pareils que celles du système super-intensif, par conséquent, un coût de production élevé par un litre d'huile en réduisant ainsi sa compétitivité sur le marché international (Proietti *et al.*, 2012). En fait, il semble que la durabilité de la production d'huile est liée à l'application de nouvelles techniques de gestion de l'irrigation et de la plantation. Le système de plantation super-intensif est une de ces techniques appliquées récemment qui se caractérise par des rendements élevés par hectare et permet une entrée très précoce en production de sorte que de la troisième à la cinquième année de la plantation, selon le milieu de culture, peut atteindre la production d'une oliveraie adulte (Navarro et Parra, 2008). La mécanisation des différentes pratiques culturales telles que les opérations de la taille et de la récolte permet de réduire la main d'œuvre qui est de plus en plus chère, et par conséquent la réduction des coûts de production. Cependant la haute densité de plantation de ce système peut augmenter la compétitivité des arbres par rapport à la radiation solaire dont la frondaison d'arbre ne reçoit pas la même intensité des rayonnements photosynthétiques actifs (PAR) en créant une irrégularité de la production au sein du même arbre. La maximisation de la productivité des oliveraies super-intensives nécessite une bonne gestion de l'illumination de l'extérieur et l'intérieur de la frondaison d'arbre (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2013). Dans ce sens, le choix de l'orientation de plantation de l'oliveraie est essentiel dans ce système de culture. La plupart des oliveraies sont orientées Nord-Sud (N-S) ce qui assure une distribution équitable de la radiation solaire entre les deux faces de la haie et par conséquent une production d'huile similaire (Connor *et al.*, 2009 ; Gómez del Campo *et al.*, 2009). Actuellement il existe des déviations dans cette orientation pour s'adapter aux différentes formes et superficies des parcelles, dont autres orientations permettent une utilisation efficace du terrain et des machines (Trentacoste, 2015). Plusieurs études ont trouvé que l'orientation N-S conduit à une meilleure productivité de l'oliveraie par rapport à l'orientation Est-Ouest (E-O), dont Tous *et al.* (2012) ont trouvé qu'une oliveraie de la variété Arbequina orientée N-S a donné des rendements plus élevés que ceux obtenus dans une oliveraie orientée E-O durant une période de 8 années dans la

zone de Tarragona en nord-est de l'Espagne. L'optimisation de la production d'huile et sa qualité en se basant seulement sur l'orientation de plantation n'est pas suffisamment claire à l'heure actuelle pour permettre de prendre une décision pour la plantation d'une oliveraie. Plutôt, le choix de l'orientation dépendra sur d'autres aspects, y compris la facilité de mouvement des machines, le contrôle de l'érosion des sols, et la réduction des dégâts du vent sur les branches en orientant le verger dans le sens des vents dominants dans la zone (Connor *et al.*, 2014). L'orientation E-O doit être évitée dans les zones froides où le faible rayonnement solaire sur la face ombragée pendant l'hiver peuvent conduire à des grandes dommages dus aux gelés, haute humidité des feuilles et la présence des maladies.

REVISION BIBLIOGRAPHIQUE.

2. REVISION BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. L'Olivier

2.1.1. Origine et distribution

L'olivier, (*Olea europaea* L.), est un arbre appartenant à la famille des Oléacées, dont ils existent 29 genres différents et environ 600 espèces, avec une distribution cosmopolite. Cette famille possède deux sous-familles: Oleoideae et Jasminoideae. L'olivier appartient à la première sous famille, Oleoideae, comprenant d'autres genres avec un intérêt agronomique comme *Fraxinus* (frêne), *Syringa* (Lilas), ou *Ligustrum* (troène). La deuxième sous-famille présente comme genres cultivés le *Jasminum* (jasmin) et le *forsythia*. Les espèces avec un intérêt agronomique appartenant à ces genres ont un usage ornemental (lilas, le troène, forsythia jasmin) en parfumerie et pour ses huiles essentielles (jasmin), ou pour le bois (frêne et l'olivier). L'espèce la plus importante sur le plan économique et la seule utilisée comme nourriture est l'olivier (Heywood, 1978).

Il ya environ 30 à 40 espèces du groupe *Olea*, y compris arbustes et arbres à feuilles persistantes distribuées en Océanie, l'Asie, l'Afrique et la région méditerranéenne (Rugini et Baldoni, 2005; Therios, 2009).

Le genre *Olea* comprend trois sous-genres: *Olea*, *Paniculatae* et *Tetrapilus*. Le sous-genre *Olea* est subdivisé en deux sections : *Olea* et *Ligustroides*. Selon la nouvelle révision de la taxonomie de l'espèce *Olea europaea* comprend six sous espèces basée sur la morphologie et la distribution géographiques sous-espèces: (1) *O. europaea ssp. guanchica*, des îles Canaries; (2) *O. europaea ssp. cuspidata*, de l'Asie et du Sud Ouest de l'Afrique; (3) *O. europaea ssp. laperrinei* des massifs Sahariens; (4) *O. europaea ssp. maroccana*, présente au Maroc; (5) *O. europaea ssp. cerasiformis* typique des îles Canaries et Madère; et (6) *O. europaea ssp. europaea* du bassin méditerranéen, qui comprend les variétés cultivées (*europaea* var.) et plantes sylvestres (*sylvestris* var.) (Rugini et Baldoni, 2005; Mataix et Barancho, 2006 ; Baldoni et Belaj, 2009). L'olivier est une espèce diploïde avec $2n = 2x = 46$ chromosomes (Therios, 2009 ; Baldoni et Belaj, 2009).

L'olivier est originaire du sud-ouest d'Asie (la Syrie, l'Asie Mineure) (Polymerou-Kamilakis, 2006) et a été domestiqué probablement au Moyen-Orient

(Rugini et Baldoni, 2005) ou aux deux extrémités de la Méditerranée depuis 3000 avant J.-C , à travers la migration humaine, comme les Phéniciens et les Romains (Baldoni et Belaj, 2009), mêmes si des évidences scientifiques montrent la présence de certaines formes d'olives au cours de la dernière période glaciaire (18 000 avant J-C) dans les régions méditerranéennes de l'Ouest et de l'Est (Rugini et Baldoni, 2005). Ensuite, les Espagnols vont le répandre dans le pays latins et les Italiens l'ont emmené en l'Australie (Polymerou- Kamilakis, 2006).

L'olivier est concentré entre les latitudes 30° et 45° des deux hémisphères nord et sud, au niveau des régions avec un climat de type méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec. Dans l'hémisphère sud, l'olivier est présent dans des latitudes plus tropicales à climat modifiés par l'altitude. À l'heure actuelle, il est aussi cultivé en Afrique du Sud, en Chine, au Japon et en Australie (Civantos, 2008).

2.1.2. Importance économique

2.1.2.1. La production

L'olivier est une des espèces cultivées la plus relevant de la région méditerranéenne et son importance ne cesse d'augmenter rapidement (Rugini et Baldoni, 2005), On compte actuellement plus de 1000 millions d'oliviers cultivés à travers le monde qui occupent une superficie d'environ 10 millions d'hectares (Civantos, 2008 ; Baldoni et Belaj, 2009). C'est la deuxième culture productrice d'huile au monde après le palmier d'huile (Baldoni et Belaj, 2009), avec une production d'huile et d'olive de table annuelle qui est passée respectivement de 1,5 et 1 million de tonnes en 1990 à plus de 2,4 et 2,5 millions de tonnes en 2014 (Figure1).

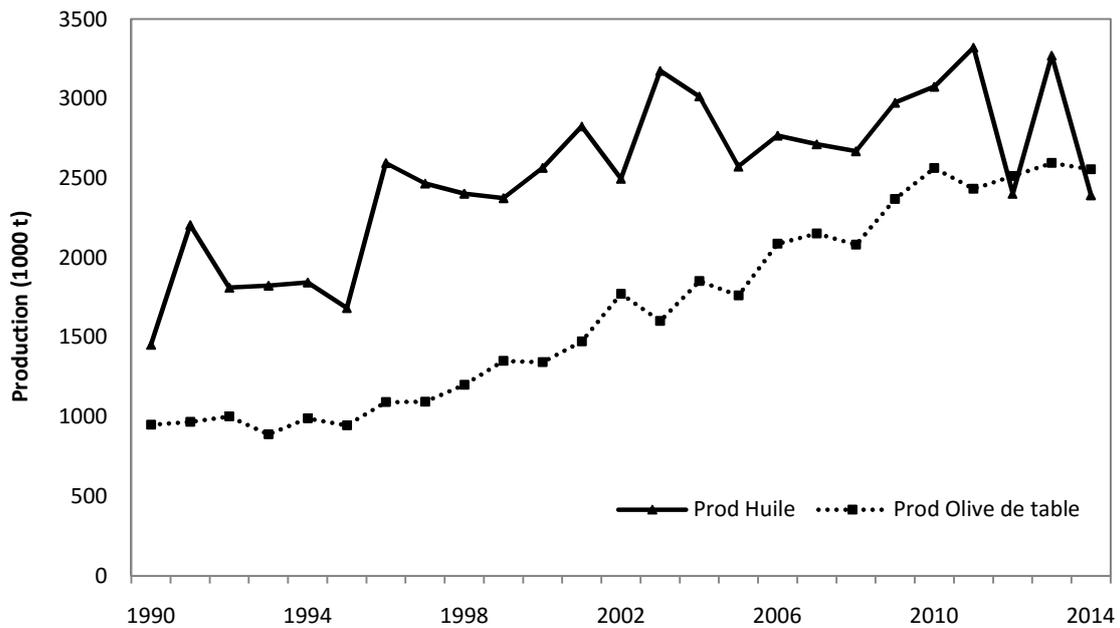


Figure 1. L'évolution de la production des olives de table et de l'huile d'olive au monde (COI, 2015)

2.1.2.2. La consommation

Le succès de l'huile d'olive est dû non seulement à sa valeur nutritionnelle mais également aux propriétés thérapeutiques du régime alimentaire méditerranéen dont il fait partie et qui est reconnu comme modèle d'alimentation idéale, y compris au-delà des confins méditerranéens. La recherche médicale et la diffusion d'informations sur les vertus biologiques de l'huile d'olive ont ainsi confirmé, la valeur de ce produit est favorisée par sa présence sur de nouveaux marchés à fort potentiel de consommation. La convergence de tous ces facteurs a entraîné au cours des quinze dernières années à une augmentation considérable de la consommation mondiale d'huile d'olive, qui est passée de 1,7 millions de tonnes en 1990 à 2,8 millions de tonnes en 2014 (Figure 2), cette croissance qui est due principalement à l'augmentation de la consommation dans les pays non traditionnellement producteurs et/ou consommateurs.

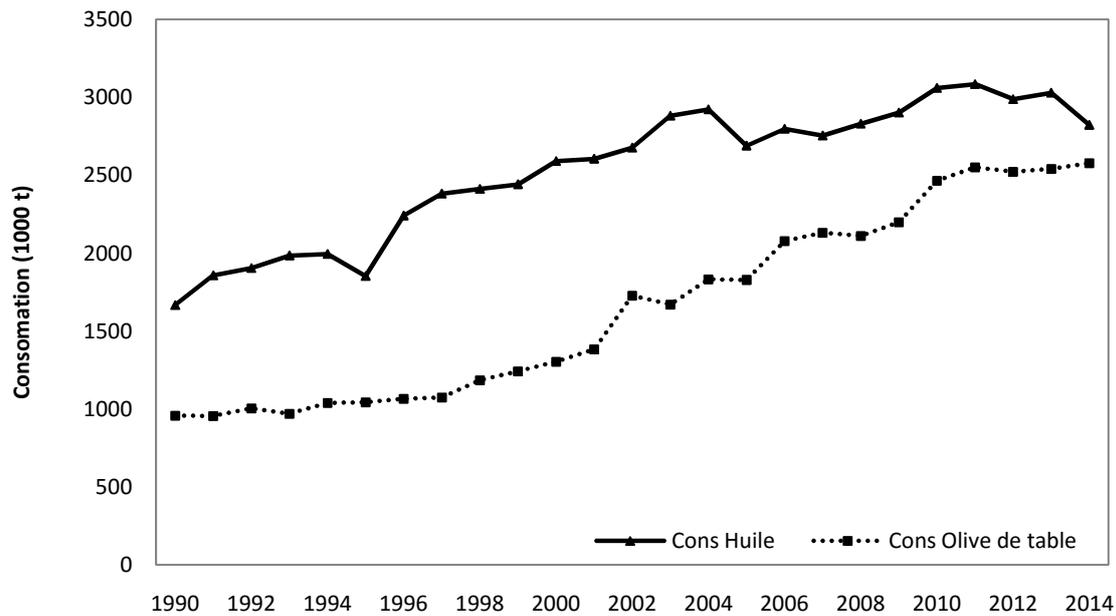


Figure 2. L'évolution de la consommation des olives de table et d'huile d'olive au monde (COI, 2015).

2.1.3. Caractéristiques générales de l'olivier

2.1.3.1. Les structures végétatives

2.1.3.1.1. L'Arbre

L'olivier cultivé est un arbre de taille moyenne, de 4 à 8 m de haut, selon la variété, c'est une plante sempervirente d'une grande longévité (il peut vivre des centaines d'années), le tronc est épais avec un cortex de couleur gris à vert-grisâtre de forme plus ou moins ronde. L'arbre de l'olivier passe par deux phases durant son développement, juvénile et adulte, dont les différences entre ces deux derniers sont : la capacité de reproduction (seulement en phase adulte), le potentiel d'enracinement (supérieur en phase juvénile) et les différences morphologiques des feuilles et des branches (les feuilles juvéniles sont plus courtes et plus épaisses et les entrenœuds des branches sont plus courts) (Rapoport, 2008).

2.1.3.1.2. La feuille

Les feuilles sont relativement petites, opposées, ovales et lancéolées aux bords entiers de couleur vert foncé et vert argenté au verso. Elles apparaissent sur les branches du printemps à l'automne et vivent une année voir plus. À l'aisselle de chaque feuille, un bourgeon qui peut donner naissance à une inflorescence (bourgeon floral) ou à un bourgeon a bois. La structure anatomique des feuilles de l'olivier lui permet de s'adapter au milieu de haute température (transpiration élevée) pour la minimisation des pertes d'eau.

2.1.3.1.3. Les racines

L'olivier est caractérisé par un système racinaire très étendu et se compose principalement de racines adventices qui se développent dans les premiers centimètres du sol. Chez l'adulte le point d'insertion entre la tige et la racine (le collet) semble enflé et s'appelle « cépée » ; il se caractérise par plusieurs formations plus ou moins sphériques, « les rejetons », développant facilement des bourgeons. Si on enterre la base d'un rejeton, il produira d'autres racines et donnera une nouvelle plante. Continuant à grossir à mesure que l'olivier vieillit, le système racinaire forme une masse parfois énorme appelée « gourgue ».

2.1.3.2. Les structures reproductives

2.1.3.2.1. La fleur

La fleur de l'olivier est hermaphrodite, autrement dit elle possède les organes masculins (deux étamines) et féminins (pistil). Très petites dimensions (3-5 mm de diamètre), sa corolle se compose de quatre pétales blanchâtres reliés les uns aux autres à la base. Le pistil est court, trapu ; le stigmate est large, couvert de plumes et pourvu de papilles idéales pour retenir le pollen.

2.1.3.2.2. Le fruit

L'olive est une drupe ovoïde et globuleuse, de taille variable, de quelques grammes. A maturité, selon les variétés, l'olive est de couleur plus ou moins foncée, elle contient un noyau très dur. Les olives sont généralement récoltées à pleine maturité, en milieu d'automne, lorsqu'elles commencent à se rider. Ces fruits rentrent dans la fabrication de l'huile d'olive, ou peuvent être préparées en saumures, ou encore

accompagner divers plats salés. L'olive est un fruit très riche en lipides (jusqu'à 99 % de l'huile que l'on extrait), mais également en vitamine E et A, ainsi qu'en acides gras, mono et polyinsaturés.

2.1.3.3. L'huile d'olive

L'huile d'olive vierge est le jus des olives obtenues par un système d'extraction mécanique issu des fruits frais et de bonne qualité sans défauts ni altérations et avec un degré de maturité adéquate.

2.1.3.3.1. Les critères de la qualité d'huile d'olive

L'huile d'olive vierge peut être classée en différentes catégories selon ces caractéristiques physicochimiques et organoleptiques. Les critères de la qualité applicables se réfèrent généralement à:

2.1.3.3.1.1. L'acidité: qui est la quantité d'acides gras libres, exprimée en acide oléique. L'acidité est une anomalie généralement due au mauvais état du fruit, mauvaises conditions de recollection 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.

2.1.3.3.1.2. L'indice de peroxydes

Sa valeur détermine l'état d'oxydation et indique la détérioration qui peut avoir subi certains composants d'intérêt nutritionnelle, tels que la vitamine E. Il est mesuré en mEq d'oxygène actif par kg, la valeur acceptable selon le règlement précédemment cité doit être inférieure ou égale à 20 mEq kg⁻¹.

2.1.3.3.1.3. Extinction spécifique à 270 nm

C'est un paramètre utilisé pour détecter les composants anormaux d'huile vierge et mesurer l'absorbance d'une huile à la longueur d'onde de 270 nm. En règle générale, si l'extraction est réalisée à partir d'olive de bon état, qui n'a pas fait l'objet d'un traitement différent aux opérations d'extractions physiques, sa valeur est inférieure ou égale à 0,25.

2.1.3.3.1.4. Caractéristiques organoleptiques

L'analyse sensorielle est une discipline scientifique qui est utilisée pour mesurer, analyser et interpréter les réactions humaines aux caractéristiques organoleptiques de l'huile. Elle est faite par un groupe de dégustateurs sélectionnés, et formés auparavant selon des techniques sensorielles préétablies. Les caractéristiques organoleptiques sont l'ensemble de sensations détectables par les dégustateurs: l'odeur, le goût et la couleur. Selon le règlement CE n°.1989/03. Les huiles extra vierges ne doivent pas avoir des défauts et doivent présenter de fruité.

2.1.3.2. Les exigences de la culture d'olivier

L'olivier est une espèce typiquement méditerranéenne, très bien adaptée à un climat caractérisé par une période sèche, l'été, pendant laquelle l'olivier va utiliser les réserves d'eaux accumulées dans le sol durant la période humide (Denis, 1998).

2.1.3.2.1. Exigences pédologiques

Tous les terrains sont susceptibles à la plantation de l'olivier à l'exception des sols très argileux. Cependant il est préférable que le sol soit profond et perméable. La texture doit être équilibrée avec un rapport éléments fins/éléments grossiers de l'ordre de 50/50. Tombesi et Tombesi (2007) ont recommandé les caractéristiques présentées au tableau 1.

Tableau. 1 : Caractéristiques d'un sol jugé adéquat pour l'oléiculture.

Texture	Sable (20-75%)
	Limon (5-35%)
	Argile (5-35%)
Structure	Friable
Capacité de rétention d'eau	30-60 %
Perméabilité	10-100 mm/h
pH	7-8
Matière organique	>1%
Azote	>0,10 %
Phosphore disponible (P₂ O₅)	5-35 ppm
Potassium échangeable (K₂ O)	50-150 ppm
Calcium échangeable (Ca CO₃)	1 650-5 000 ppm
Magnésium échangeable	10-200 ppm

2.1.4. Exigences climatiques

2.1.4.1. La pluviométrie

Une des caractéristiques du climat méditerranéen est l'irrégularité des précipitations annuelles et la mauvaise répartition des pluies. En général les deux-tiers, voire les trois-quarts de ces précipitations tombent en hiver (de Novembre à Février), c'est à dire en période de repos des arbres. Alors qu'en été (Juin, Juillet, août), les précipitations sont pratiquement nulles, ou du moins sans effet pour les arbres à cause de la grande évaporation (Loussert et Brousse, 1978).

Les précipitations doivent être supérieures à 400 mm ; jusqu'à 600 mm, les conditions sont suffisantes ; elles sont acceptables jusqu'à 800 mm et bonnes jusqu'à 1000 mm. La distribution doit permettre qu'il n'y ait pas de périodes de sécheresse supérieures à 30-45 jours ni d'inondations prolongées. La grêle est nuisible, tout comme la neige, qui ne doit pas être excessive pour éviter qu'elle ne s'accumule dans la frondaison et qu'elle ne rompe les branches (Tombesi et Tombesi, 2007).

2.1.4.2. La température

Les zones aptes à la culture de l'olivier sont caractérisées par un climat avec des températures minimales non inférieures à -6 ou -7°C, seuil en dessous duquel les feuilles sont gravement affectées. Une température de -3 ou -4 °C peut abîmer les fruits ayant une teneur élevée en eau qui n'auraient pas encore été récoltés, avec des conséquences négatives sur la qualité de l'huile. C'est pourquoi dans les zones situées au nord, l'olivier est planté sur les flancs des collines, à des altitudes intermédiaires. Les zones de plus grande diffusion de l'olivier sont caractérisées par des hivers doux, des températures rarement inférieures à zéro degré et des étés secs avec des températures élevées. Dans les régions chaudes, il est nécessaire de satisfaire les exigences en froid de la culture car des températures constamment supérieures à 16°C empêchent le développement des bourgeons à fleur. Les températures doivent en effet être inférieures à 11-12°C pendant au moins un mois. Enfin, les températures élevées durant la maturation du fruit provoquent une augmentation de l'acide linoléique dans l'huile et une forte réduction de l'acide oléique (Tombesi et Tombesi, 2007).

2.1.4.3. La lumière

L'olivier étant exigeant en lumière, l'insolation est à considérer dans le choix de l'orientation des arbres et la densité de plantation. En effet, l'aspect le plus important pour une bonne productivité est l'exposition importante à la lumière du soleil de toute la cime de l'arbre (Sikaoui, 2006). L'insuffisance de la lumière provoque des diminutions des substances élaborées par les feuilles et par conséquent la diminution des bourgeons floraux, de la nouaison et du volume des olives mures et sa teneur en huile (Navarro et Parra, 2008). Gomez del campo et García (2012) ont trouvé que la quantité des radiations interceptées a un effet positif sur la qualité d'huile obtenue (Figure 3).

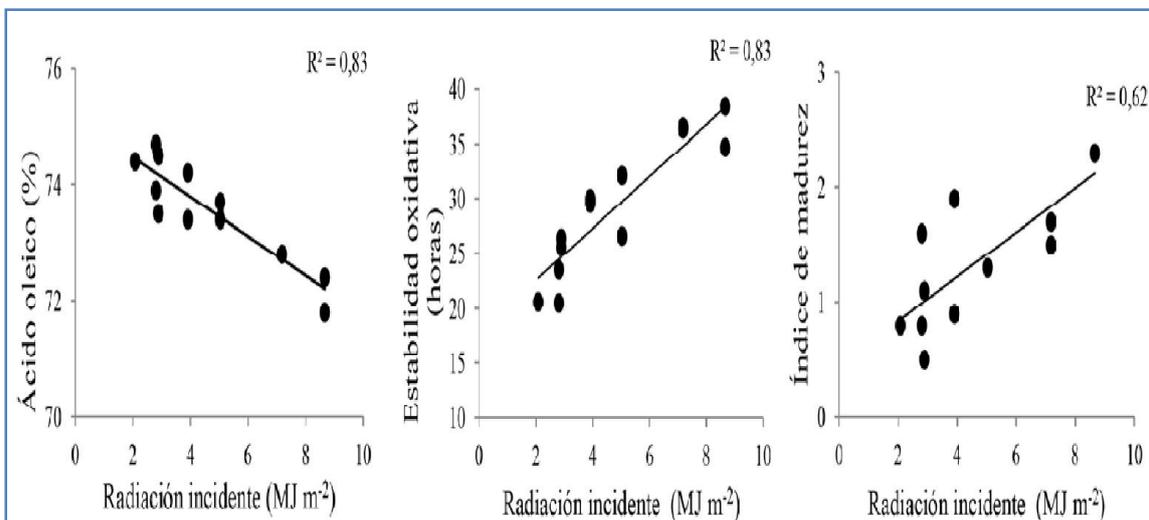


Figure 3. Relation entre les caractéristiques chimiques d'huile, l'indice de la maturité des olives avec les radiations solaires incidentes quotidiennes de 9 oliveraies de la variété Arbequina. (Gomez del campo et García, 2012).

2.2. Les différents systèmes cultureux

Le but de l'oléiculture est de maximiser la quantité et la qualité de la production obtenue. Pour obtenir certaine rentabilité économique, l'effort doit être concentré sur l'optimisation des coûts de production. Un des facteurs les plus déterminants pour la rentabilité est le système de culture adopté. Actuellement, différents systèmes cultureux de l'olivier coexistent: l'oléiculture traditionnelle, l'oléiculture intensive ou moderne, l'oléiculture super-intensive.

2.2.1. L'oléiculture traditionnelle

L'oléiculture traditionnelle est caractérisée par des pratiques agricoles très anciennes, elle persiste dans tous les pays oléicoles. Ce système de production confie à l'espèce une rusticité excessive. Ce système de culture est caractérisé par une faible production, la cueillette des olives est manuelle nécessitant une forte utilisation de main d'œuvre engendrant des coûts de production très élevés, ce système est caractérisé par :

- Arbres avec plusieurs troncs (2 à 3), occasionnellement en sol pauvre un seul tronc (figure 4).
- Dimensions de plantation de (10-12 m) avec une densité de 80 à 120 arbres ha⁻¹
- Généralement sous régime pluvial, avec possibilité d'introduire l'irrigation en conditions favorables.
- Rendement de moyen à faible : 2000 à 4000 kg d'olives par hectare.



Figure 4. Une oliveraie traditionnelle en Tunisie (Institut d'olivier, Sfax).

2.2.2. L'oléiculture intensive ou moderne

Dans les pays du bassin méditerranéen à côté du système de culture traditionnel, l'oléiculture intensive a été développée. En effet, l'essentiel de l'évolution des techniques au cours des dernières décennies permet de l'intensification de la culture, la densité de plantation en ce système varie entre 200 à 600 arbre par hectare (Figure 5), généralement équipé du système d'irrigation, avec des quantité d'eau de 1500 à 2500 m³ ha⁻¹, caractérisée par une production des olives élevée: 8000 à 12000 kg ha⁻¹, la récolte dans ce système est mécanisée à l'aide des vibreurs du tronc ou des récolteuses.



Figure 5. Oliveraie intensive (zone oléicole en province de Jaén. Espagne, 2011).

2.2.3. Oléiculture de haute densité ou super-intensive

Les premières plantations super-intensives de l'olivier (environ 2000 arbre ha⁻¹), a eu lieu en catalogne vers 1995 (Navarro et Parra, 2008). C'est un système de plantation qui se caractérise par :

Une distance entre arbres de 1 à 1,5 mètres entre arbre avec une séparation de 3 à 7 mètres entre ligne, ceci est dépendant de l'attitude et de la disponibilité d'eau (Rius et Lacarte, 2010).

Selon Tous (2010), la densité de plantation en ce système peut atteindre plus de 1500 arbres/ha avec des rendements élevés (entre la troisième et la septième année on peut obtenir des rendements moyens de 8000 à 13000 kg ha⁻¹), avec une efficacité

élevée de la machine de l'enjambeur ou de la récolte durant cette période de plantation en réduisant le temps de la récolte ce qui améliore la qualité d'huile obtenue.

Les arbres sont formés en axe central dont la hauteur limite ne dépasse pas les 2,5 m, suivant une structure pyramidale qui permettra à la machine de récolter sans endommager l'arbre.

Dans ce système il est recommandé d'utiliser des variétés moins vigoureuses, comme la variété Arbequina qui s'adapte bien à ce système de culture, malgré sa vigueur exigeante en tailles fréquentes pour contrôler le volume d'arbre (Navarro et Parra, 2008). Outre qu'Arbequina existent autres variétés qui montrent une bonne adaptation comme : Koroneiki, Sikitita, Arbosana, et Tosca.



Figure 6. Une oliveraie super-intensive (Lleida. Espagne, 2012).

2.2.3.1. Objectifs du système super-intensif

Les résultats obtenus le long de l'évolution de ce système ont montré une révolution dans le secteur de l'olivier, non seulement du point de vue coûts de la culture, mais aussi la quantité et la qualité de la production :

Les coûts de récolte varient entre 0,03 - 0,05 euros pour un kilogramme d'olive, par contre la récolte avec des vibreurs et la récolte manuelle ça coûtent entre 0,05 - 0,10 euros et 0,10 - 0,30 euros respectivement (Barranco, 2008).

La réduction de la main d'œuvre à la fois pour la récolte (100% mécanisée) comme pour l'opération de la taille. Deux ouvriers uniquement, un conducteur de tracteur et un autre pour conduire la machine, sont capables de récolter un hectare d'olivier en moins de deux heures (Rius et Lacarte, 2010).

La haute densité de ces olivettes se traduit en une entrée en production très précoce, de sorte que de la troisième à la cinquième année de la plantation, selon le milieu de culture, peut atteindre la production d'une olivette adulte (Navarro et Parra, 2008).

2.2.3.2. La superficie de l'oléiculture hyper intensive au monde

Après 21 ans de la première oléiculture hyper intensive commerciale réalisée par l'entreprise *Agromillora*, plus de 100 millions d'hectares à travers le monde ont connu ce type de plantation (Figure 7). Ce nombre non significatif par rapport aux 11,07 millions d'hectares plantés au total d'olivier, est très important si l'on considère le peu de temps depuis la mise en œuvre de ce système.

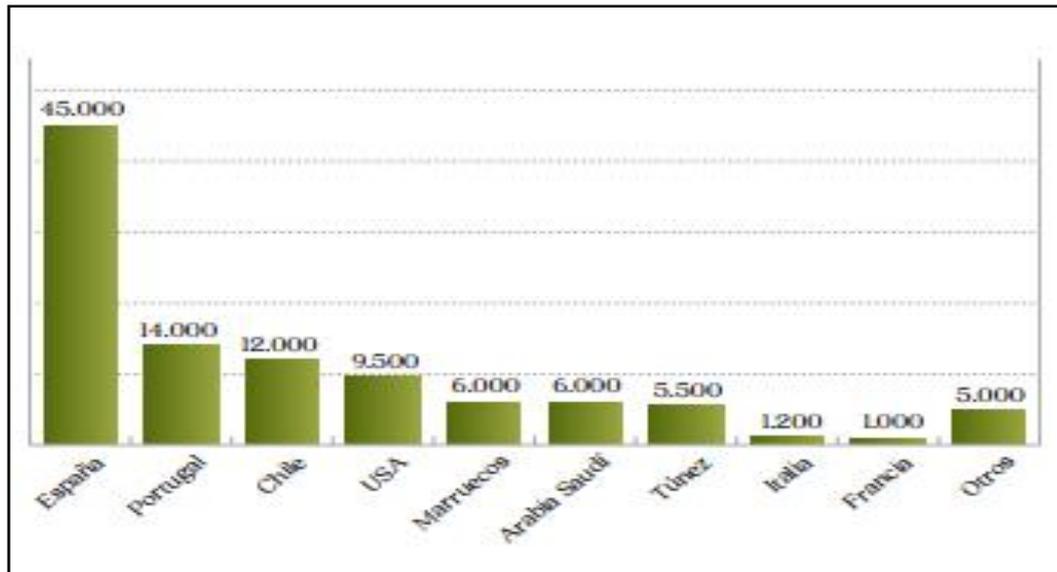


Figure 7. La superficie de l'oliveraie super-intensive en hectares au monde (López *et al.*, 2015).

2.3. L'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 et leur positions en petites dépressions sur la face supérieure de la feuille, ce qui contribue à limiter la transpiration (d'Andria et Lavini, 2007).

L'activation de ces mécanismes de défense suppose toutefois, une dépense énergétique notable de la part de la plante, qui peut affecter les performances de la production (Goldhamer *et al.*, 1994) et entraîner une réduction sensible de la croissance végétative (Mariscal *et al.*, 2000 ; Bacelar *et al.*, 2007), situation susceptible de s'avérer compromettante, non seulement pour les productions de l'année en cours mais également pour celles des années suivantes (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).

2.3.1. Besoins hydriques

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.

2.3.1.1. 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-Octobre). 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).

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

PHASES DU CYCLE DE VEGETATION ET DE PRODUCTION	PERIODE	EFFET DU DEFICIT 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.

2.3.1.2. 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 compensé 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 maintenu 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 développés pour différentes zones, les plus utilisées sont celles de Penman-Monteith (FAO) (Allen *et al.*, 1998) et de Hargreaves et Samani, (1985).

Pour FAO Penman-Monteith :

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Dont :

ET_o : l'évapotranspiration de la culture de référence.

R_n : la radiation nette (MJ m⁻²jour⁻¹).

G : le flux de la chaleur au sol (MJ m⁻²jour⁻¹).

u₂: la vitesse du vent (moyenne quotidienne) mesurée à une altitude de 2 m (m s⁻¹).

T : la température de l'air moyenne quotidienne mesurée à une altitude de 2 m (°C).

Δ : Pente de la courbe de saturation de la vapeur d'eau, calculé température à la T de l'air (kPa °C⁻¹).

e_s : la pression de saturation de la vapeur d'eau moyenne quotidienne (kPa)

e_a : la pression de saturation de la vapeur d'eau moyenne quotidienne existante dans l'aire (kPa)

γ : Constant psychrométrique (kPa °C⁻¹).

Pour Hargreaves

$$ET_o = 0,0023 \times Ra \times (T_m + 17,8) \times (T_{max} - T_{min})^{1/2}$$

Dont :

ET_o est l'évapotranspiration de référence de la culture en mm / jour, **T_{max}**, **T_{min}** et **T_m** sont respectivement, la température moyenne (°C) du maximum, minimum et moyenne sur une période de temps considérée, **R_a** est le rayonnement extraterrestre exprimée en (MJ m⁻² jour⁻¹), qui dépend seulement de la latitude et de la saison.

Coefficient de la culture (Kc)

Pour une demande évaporatoire déterminée (ETo), la quantité d'eau perdue par évapotranspiration dans une oliveraie est la somme de trois processus:

- a) la transpiration d'olive, qui dépend de sa taille et de la période de l'année;
- b) l'évaporation à partir de la surface du sol, qui dépend de l'énergie disponible et de la teneur de l'humidité,
- c) l'évaporation, en irrigation goutte à goutte, qui se produit à partir de la surface du sol mouillé par les émetteurs, et qui dépend de leur niveau d'exposition au soleil, la taille du bulbe humide et la fréquence de l'irrigation, tous ces facteurs sont inclus dans ce qui est appelé le coefficient de la culture (Kc).

Des travaux récents du groupe des relations hydriques de l'institut d'agriculture durable de Córdoba (CSIC), a abouti à l'élaboration d'une méthodologie pour le calcul de l'ETc de l'oliveraie. Cette méthode divise le coefficient de la culture en trois composantes correspondantes à chacun des trois procédés décrits ci-dessus (Orgaz *et al.*, 2005).

$$\mathbf{Kc = Ks + Kt + Kg}$$

Dont :

Kt : en fonction de la taille de frondaison, la densité de plantation et l'époque de l'année

Ks: en fonction de l'intervalle entre les précipitations, ETo et la taille de frondaison.

Kg: en fonction de l'intervalle entre les irrigations, la taille de frondaison, le type de sol, la mise en place des goutteurs et de la demande évaporatoire.

2.3.2. 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.

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 :

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

2.3.3. Irrigation en conditions déficitaires

L'olivier est une espèce qui réagit positivement à l'irrigation, même dans des conditions de limitation. Cette caractéristique permet d'adopter des stratégies d'irrigations en déficit, qui consistent à apporter un volume d'irrigation saisonnier ne satisfaisant que partiellement le besoin hydrique.

L'une des techniques qui commence à faire l'objet d'une certaine diffusion est celle du *déficit hydrique contrôlé*, qui consiste à appliquer des réductions d'apports d'eaux d'irrigation durant les stades phénologiques moins sensibles au stress hydrique (Girona *et al.*, 2005).

Comme il est indiqué au tableau 2, les périodes les plus critiques sont les phases de floraison, de nouaison et de différenciation cellulaire. Il a été démontré que la présence d'un stress hydrique modéré au cours de la phase de durcissement du noyau, peut influencer légèrement la dimension finale du fruit sans toutefois réduire la production d'huile. Des essais menés par Girona (2001) en Catalogne (nord-est de l'Espagne) ont montré que des volumes correspondants à 75 % et 50 % des besoins hydriques apportés au stade de durcissement du noyau, n'ont pas entraîné de réductions significatives de la production par rapport à une irrigation couvrant totalement les besoins de la plante. En revanche, un apport de seulement 25 % a entraîné une réduction de 16 % de la production. En termes d'économie d'eau, ces essais ont montré une réduction possible du volume saisonnier de 24, 35 et 47 % respectivement. Cette stratégie est particulièrement intéressante car elle permet de réduire le niveau de concurrence pour l'emploi de l'eau à des périodes où celle-ci est nécessaire à d'autres cultures ou à la consommation humaine. L'adoption de cette stratégie améliore l'efficacité de l'emploi de l'eau puisqu'elle permet d'obtenir des réductions significatives des volumes saisonniers d'irrigation (d'Andria et Lavini, 2007).

2.4. Fertilisation de l'olivier

La fertilisation est une pratique commune en agriculture, elle vise à satisfaire les besoins nutritionnels des cultures lorsque les nutriments nécessaires pour leur croissance ne sont pas apportés en quantités suffisantes par le sol. Bien que tous les sols aient de nombreuses caractéristiques communes, chaque sol présente des caractéristiques morphologiques et une fertilité différentes. De la même manière, toutes les plantes ont besoin des mêmes éléments nutritifs pour leur croissance mais leur capacité à les puiser du sol varie selon les espèces et les variétés. Les besoins d'un jeune arbre peuvent également être différents de ceux d'un arbre adulte et le système de culture aura aussi une influence sur la disponibilité des nutriments pour l'arbre. Chaque culture pose donc, dans chaque exploitation et à chaque moment, un problème différent, ce qui rendrait peu logique l'établissement de recommandations générales sur les apports annuels de fertilisants, y compris pour une même culture ou au même endroit (Fernández-Escobar, 2007).

La nécessité de connaître les besoins nutritifs des cultures durant le cycle productif est indispensable pour planifier une stratégie de fertilisation adéquate, cette information se traduit par une meilleure productivité ainsi qu'une bonne utilisation des ressources qui optimisera la rentabilité et la compétitivité de l'exploitation, avec une affectation minimale de l'environnement. Une fertilisation rationnelle doit :

- 1- Satisfaire les besoins nutritifs de l'olivier.
- 2- Minimiser l'impact sur l'environnement, en particulier la contamination du sol, de l'eau et de l'air.
- 3- Permettre d'obtenir une production de qualité.
- 4- Éviter les apports systématiques et excessifs de nutriments.

2.4.1. Eléments nutritifs

Selon Hidalgo et Pastor (2005), les éléments nutritifs essentiels pour compléter le cycle vital des plantes peut être divisé en trois groupes :

2.4.1.1. Mégaéléments

Le Carbone (C), l'Oxygène (O), et l'Hydrogène (H), sont des éléments non minéraux qui constituent approximativement 95 % du poids sec d'un olivier. Ils ne concernent pas la fertilisation puisque l'arbre les absorbe à partir du CO₂ de l'atmosphère et de l'eau (H₂O) du sol, dont la combinaison, grâce à la photosynthèse, forme les hydrates de carbone. Cela explique pourquoi le déficit hydrique réduit la croissance et la production de manière si spectaculaire (Fernández-Escobar, 2007).

2.4.1.2. Macroéléments

L'Azote (N), le Phosphore (P), le Potassium (K), le Magnésium (Mg), le Calcium (Ca), et le Soufre (S).

2.4.1.3. Microéléments

Le Fer (Fe), le Manganèse (Mn), le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Bore (B), le Chlore (Cl), et le Molybdène (Mo).

Ces derniers treize éléments (micro et macroéléments) sont des éléments minéraux, constituent l'objet de la fertilisation; tous ensemble, ils ne représentent que 5 % environ du poids sec de l'olivier, ce qui signifie qu'un excès est facile à provoquer. Ces éléments sont absorbés par les racines de l'olivier, au niveau de la solution du sol où ils sont présents sous forme d'ions. Une fois dans l'arbre, l'équilibre entre eux doit être conservé.

2.4.2. La détermination des besoins nutritifs de l'olivier

Pour réaliser le programme de fertilisation de l'olivier, il est indispensable de déterminer en premier lieu son état nutritif. Comme en règle générale, une fertilisation rationnelle doit apporter seulement les éléments nutritifs que nécessite l'arbre à un moment déterminé et uniquement quand il existe des signes de carence de ces éléments (Fernández-Escobar, 2008). Afin de diagnostiquer l'état nutritif de l'oliveraie on utilise plusieurs méthodes :

2.4.2.1. Observation des symptômes

C'est une méthode très utilisée, mais elle reste peu fiable car l'absence des symptômes n'indique pas nécessairement un bon état nutritif, du fait que une fois les symptômes apparaissent, la carence doit être généralement très grave et qui affecte déjà la production. D'autre part, il peut manifester des symptômes, cependant, l'élément existe dans le sol ou même dans la plante, mais le problème est dû à un déséquilibre avec un autre élément. Tout ça, sans prendre en compte la possibilité de confusion avec les agents biotiques, comme les ravageurs et les maladies. L'observation des symptômes donc, n'est pas suffisante pour déduire l'application ou non d'élément pour corriger le manque (Molina-Soria, 2008).

2.4.2.2. Analyse du sol

La connaissance des caractéristiques du sol permettra d'évaluer la quantité des nutriments qui y sont présents et leur disponibilité pour l'arbre. Si un sol présente une faible quantité d'un nutriment, il est probable que l'olivieraie qui y est plantée finisse par montrer des carences en ce nutriment. Toutefois, si la teneur en nutriments du sol est suffisante, cela ne veut pas dire que ceux-ci seront disponibles pour les arbres lorsqu'ils en auront besoin, le nutriment pouvant rester bloqué dans le sol en raison d'une caractéristique particulière. L'état calcaire de nombreux sols méditerranéens est un facteur fréquent de blocage de certains éléments minéraux, c'est pourquoi l'analyse du sol, bien que très utile pour la conduite de la culture et de la fertilisation, a un intérêt limité pour déterminer les besoins nutritionnels de l'olivieraie. Cependant l'analyse du sol a une grande utilité pour détecter des toxicités causées par des éléments comme le chlore (Cl), le bore (B) ou le sodium (Na) (Fernández-Escobar, 2007).

2.4.2.3. Analyse foliaire

Le diagnostic de l'état nutritionnel de l'olivieraie est la seule alternative pour déterminer ses besoins nutritifs à un moment précis. Parmi les méthodes de diagnostic, celle de l'analyse foliaire, c'est-à-dire l'analyse chimique d'un échantillon de feuilles, qui s'avère la plus précise et se considère comme un guide pour la gestion de la fertilisation des arbres fruitiers (Beutel *et al.*, 1983), cette méthode est basée sur les arguments de Bould (1966) qui sont : 1) la feuille est le principal lieu du métabolisme de la plante, 2) les changements dans l'approvisionnement en éléments nutritifs sont

reflétées dans la composition de la feuille, 3) ces changements sont plus prononcés dans certains stades de développement, et 4) les concentrations des éléments nutritifs dans la feuille, qui en périodes spécifiques de la croissance, sont en relation avec le comportement de la culture. Cette technique est très utile pour identifier les déséquilibres nutritifs, évaluer le niveau de nutriments avant l'apparition de carences, mesurer la réponse aux programmes de fertilisation et détecter des toxicités causées par des éléments comme le chlore (Cl), le bore (B) ou le sodium (Na), qui doivent être confirmées par l'analyse du sol et de l'eau d'irrigation, le cas échéant (Fernández-Escobar, 2008).

Le niveau critique d'un nutriment est considéré comme la concentration de ce nutriment dans la feuille, sous laquelle le taux de croissance et de production de la plante diminue par rapport à celui d'autres plantes présentant des concentrations plus élevées. Ces niveaux sont universels pour chaque espèce et sont valables indépendamment du lieu ou de la situation dans laquelle les plantes sont cultivées (tableau 3).

Tableau. 3: Interprétation des niveaux de nutriments dans des feuilles d'olivier prélevées en Juillet (exprimés sur matière sèche). (Beutel *et al.*, 1983).

Elément	Insuffisant	Adéquat	Toxique
N (%)	1,4	1,5-2,0	-
P (%)	0,05	0,1-0,3	-
K (%)	0,4	>0,8	-
Ca (%)	0,3	>1	-
Mg (%)	0,08	>0,1	-
Cu (ppm)	-	>4	-
Mn (ppm)	-	>20	-
Zn (ppm)	-	>10	-
B (ppm)	14	19-150	185
Na (%)	-	-	>0,2
Cl (%)	-	-	>0,5

Un bon programme d'analyse foliaire permet d'évaluer l'état nutritif actuel et anticiper les besoins nutritifs de la campagne prochaine ; en considérant l'arbre comme un authentique entrepôt des réserves nutritives, qui se recharge sous des conditions favorables et l'utilise postérieurement. Cette information permet d'établir un plan de fertilisation annuel de forme rationnelle basée sur le diagnostic, en apportant les éléments nécessaires et en évitant les excès des fertilisants si fréquents actuellement (Fernández-Escobar, 2008).

2.4.3. La fertilisation potassique

Le potassium est l'élément nutritif le plus exporté par la récolte des oliveraies, environ 4,5 g kg⁻¹ des olives (Fernandez-Escobar, 2008). Il se trouve sur les plantes sous forme ionique (K⁺) dans les vacuoles des cellules et il est très mobile dans la plante comme l'azote (N) et plus que le phosphore (P). Il participe dans le métabolisme cellulaire en agissant en tant qu'activateur enzymatique dans les processus de la synthèse des carbohydrates et des graisses ainsi dans la photosynthèse. Le potassium joue un rôle important dans la croissance végétative de l'olivier (Benlloch *et al.*, 2008) (Arquero *et al.*, 2006), ainsi dans l'efficacité d'utilisation d'eau (Arquero *et al.*, 2006), en régulant l'ouverture et la fermeture des stomates des feuilles en selon les conditions climatiques. Plusieurs études ont reporté que les plantes avec un apport adéquat du potassium ont des tissus mieux hydratés que ceux des plantes présentant une déficience de cet élément (Mengel et Kirkby, 2001), Fernandez-Escobar *et al.* (1994) ont montré que la fertilisation potassique a diminué les effets négatifs du stress hydrique de l'olivier les arbres avec un niveau réduit de cet élément sont les plus sensibles à la sécheresse et au froid, il a été montré que les oliviers ayant une déficience de cet élément présentent des pertes d'eau plus élevées (Hidalgo et Pastor, 2005).

2.4.3.1. Les besoins et méthodes d'application

D'après Fernandez-Escobar (2008), les oliveraies qui présentent des carences en potassium sont difficiles à corriger sachant que le potassium apporté sous forme des engrais est lentement absorbé par les arbres en état de carence et du stress hydrique même avec une application foliaire (Restrepo *et al.*, 2002), ce pourquoi il convient de surveiller la concentration du potassium dans les feuilles tout les ans et d'appliquer cet élément dès que les valeurs sont insuffisantes avant d'arriver à un état de carence. Dans ce cas une quantité de 1 kg arbre⁻¹ appliqué au sol proche de l'arbre ou 2 à 4

applications foliaires avec 1 à 2 % du K en fonction de la teneur en K de l'arbre ont donné des résultats satisfaisant (Fernandez-Escobar, 2008).

2.4.3.2. Symptômes de carence du potassium

Des nécroses apicales sur les feuilles et une défoliation des branches avec des fruits ridés sont généralement les symptômes de la carence de cet élément ces symptômes sont manifesté de forme intense sur les oliveraies conduites en régime pluviale et durant les années les plus sèches car le manque de l'humidité limite la diffusion de l'ion K^+ dans la solution du sol et empêche les racines de l'absorber.

2.4.4. La fertilisation azotée

Après le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, le composant le plus important des plantes est l'azote, élément qui existe dans la majorité des constituants végétaux, en représentant entre 1,5 et 5% du poids sec de ces derniers, il fait partie des composants structuraux, génétiques et métaboliques des cellules. C'est un composant fondamental des acides aminés ; un des transporteurs d'énergie, comme l'ATP et c'est le constituant principale des acides nucléaires, ADN et ARN, de sorte qu'il est impliqué directement dans la croissance et la reproduction cellulaire (Molina-Soria, 2008),

L'azote est un élément essentiel dans la fertilisation de l'olivier, il induit une réaction rapide de l'arbre, en accélérant l'activité végétative et le développement de la plante, et augmente la production, c'est probablement l'élément le plus rentable pour l'olivier (Hidalgo et Pastor, 2005).

2.4.4.1. L'Azote et la culture de l'olivier

2.4.4.1.1. Effet de l'azote sur la croissance végétative de l'olivier

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, cet élément forme une partie des protéines qui présentent dans les noyaux des cellules en étant le promoteur de la reproduction cellulaire, pour cela il est indispensable dans toutes les phases de la croissance végétative. Il augmente aussi la quantité de chlorophylle et la capacité d'assimilation des autres éléments nutritifs (Hidalgo et Pastor, 2005), Rufat et al. (2014) ont trouvé que sur l'olivier super-intensif, l'application de l'azote augmente significativement le volume de frondaison de l'arbre.

2.4.4.1.2. Effet de l'azote sur la floraison de l'olivier

Une phase particulièrement critique dans le processus de production c'est la floraison et la pollinisation, en effet, disposer d'une grande quantité de fleurs est fondamentale pour obtenir une bonne production. La présence de fleurs en mi-mai - juin dépend de l'évolution des bourgeons qui commencent à se développer aux mois d'avril - mai de l'année antérieure sur les pousses en phase de croissance, postérieurement se produit la différenciation florale. Ce processus complexe et important commence avec l'induction florale, avec la création des conditions physiologiques pertinentes, comme la disponibilité des nutriments et d'hormones, pour que le bourgeon terminal tende à la formation de l'axe inflorescentiel et des fleurs (Tombesi et Tombesi, 2007). Un des nutriments les plus indispensables dans cette phase est l'azote, Erel et al. (2008), trouvent que l'intensité florale (inflorescence/branche) augmente avec l'augmentation de concentration de cet élément dans l'eau d'irrigation en sols pauvres, ainsi qu'un excès peut provoquer une diminution de la qualité de la fleur en diminuant la longévité des primordiaux séminales (Fernandez-Escobar *et al.*, 2006).

2.4.4.1.3. Effet de l'azote sur la nouaison de l'olivier

La nouaison est un processus qui influence directement sur la productivité des fruits, plusieurs expériences ont été réalisées pour déterminer l'effet de l'azote sur cette étape clé de l'olivier, Hartman (1958) a trouvé que la fertilisation azotée augmente le taux de nouaison dans l'olivier pluviale cultivé en sols pauvres, ainsi qu'en Italie, l'application de cet élément a augmenté le taux de nouaison (Cimato *et al.*, 1990). Sous une déficience d'azote, la nouaison et la croissance des pousses ont été négativement influencé (Freeman *et al.*, 2005).

2.4.4.1.4. Effet de l'azote sur la production finale des fruits et d'huile

Plusieurs travaux ont montré l'importance de la fertilisation azotée sur la production de l'olivier (olive et huile), selon Centeno et Gómez Del Campo, (2011), l'application de quantité additionnelle 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 adéquate, les mêmes résultats ont été trouvés par Rufat et al. (2014), par contre Fernandez-Escobar et al. (2004) et Fernandez-

Escobar et al. (2009), trouvaient que la production n'augmente pas par l'application de cet élément, tandis que le niveau de ce dernier dans les feuilles est approprié.

2.4.4.1.5. Effet de l'azote sur la qualité d'huile obtenue

Bien que l'azote ait un effet positif sur la production de l'olive et d'huile, l'application excessive de cet élément augmente l'accumulation d'azote dans les fruits et par conséquent, il provoque une diminution significative de la qualité d'huile obtenue (Fernandez-Escobar *et al.*, 2006). Belguerri (2013) a trouvé que l'application de l'azote sur olivier super intensif qui présente des niveaux adéquats de cet élément dans la feuille, provoque une diminution du taux des polyphénols et de sa stabilité, ainsi que les caractéristiques organoleptiques des fruits.

2.4.4.2. Les formes de l'azote dans le sol

L'azote se trouve dans le sol sous deux formes, inorganiques et organiques :

2.4.4.2.1. Formes inorganiques de l'azote dans le sol

Les formes inorganiques du N dans le sol sont principalement les résultats de la décomposition de la matière organique, de dépôt des composés azotés apportés par l'eau de pluies, et la fixation biologique de l'azote. Les formes inorganiques du sol sont NH_4^+ , NO_3^- , NO_2 , N_2O , NO et l'azote moléculaire (N_2), qui existe dans l'atmosphère. La quantité d'azote inorganique ou minérale dans les couches superficielles du sol en zones humides, caractérisées par un climat tempéré, est faible durant l'hiver mais élevé au printemps, à cause de la minéralisation de la matière organique, puis se réduit en été à cause de la consommation élevée des plantes et la diminution de la minéralisation de la matière organique affectée par le dessèchement du sol, la quantité d'azote minérale dans le sol augmente de nouveau en automne, quand les plantes cessent de croître et les résidus commencent à se décomposer (Young et Aldag, 1982).

2.4.4.2.2. Formes organiques d'azote dans le sol

Plus de 90% d'azote dans la surface du sol est de forme organique incorporé dans la matière organique du sol, les formes du N organiques les plus caractérisées sont les acides aminés, les sucres aminés, les peptides, les protéines, les acides nucléiques, et autres formes complexes des composés azotés qui se produisent dans la première étape de la décomposition de la matière organique (Olk, 2008),

2.4.4.3. Le cycle d'azote dans l'olivieraie

L'azote est l'un des éléments les plus abondants dans la nature, cependant la fraction disponible pour les plantes est très réduite et se présente dans le sol en forme soluble. Son cycle dans l'olivier est très complexe et se compose de nombreux processus qui ne sont pas bien connus (Fernández-Escobar, 2008).

L'azote atmosphérique qui représente 78% de la masse atmosphérique n'est pas facilement assimilable par les plantes et doit d'abord être converti en diverses formes organiques et inorganiques communs dans le sol. Ce processus de conversion est connu comme la fixation de l'azote atmosphérique. Alors que certains fixations se produit dans l'atmosphère en raison des réactions photochimiques et des coups de foudre, la plus grande partie est produite dans le sol et est effectuée par différents microorganismes qui transforment l'azote atmosphérique en matière protéique et des ions ammonium. Cet azote fixé trouve son chemin dans la fraction organique du sol et se retient sous forme semi- stable. La minéralisation de l'azote et la réabsorption par les plantes et le retour au sol dans les déchets, constituent un processus continu connu comme le cycle de l'azote. Dans l'olivieraie, l'azote est enlevé par la récolte et l'élagage, d'où il est nécessaire de faire la fertilisation azotée pour maintenir des rendements élevés (William, 2005).

La grande partie du cycle de l'azote à lieu au sol, les apports naturels les plus importants du N au sol sont réalisés par l'action des microorganismes fixateurs du N₂ atmosphérique et par les réserves sèches et humides (NO_x, NH₃⁺, NH₄⁺ et N organique). L'azote fixé industriellement est appliqué comme fertilisant par les agriculteurs, contribue aussi de manière importante, aux apports du N dans le sol.

L'azote du sol qui n'est pas assimilé par les plantes ou immobilisé par les microorganismes édaphiques, sera fixé par les argiles. Les pertes du N du sol se

produisent à travers la volatilisation de l'ammoniac, la dénitrification (pertes gazeuses de NO_2 , N_2 et autres gaz), la lixiviation du nitrate et le ruissèlement superficiel.

L'être humaine peut modifier la balance d'azote dans la nature à travers les activités industrielles et les pratiques agricoles (principalement par l'apport des fertilisants et de fumier), et établir de nouveaux déséquilibres qui sont influencés par le climat, la végétation, la topographie et le type du sol (Stevenson, 1982).

Le cycle d'azote dans le sol est un cycle interne opératif, dont une partie du cycle de N dans la nature dans lequel l'azote passe d'un système régulier à un autre à travers des divers processus chimiques et biologiques. Sous les conditions naturelles l'azote du sol ne provient pas de la dégradation de la roche mère, mais il est présent dans l'atmosphère terrestre, lequel est incorporé ou fixé par différents processus, fondamentalement la fixation biologique (Crews et Peoples, 2004). Ainsi quelques microorganismes vivent librement dans le sol, ainsi que ceux possèdent un système de vie symbiotique avec des plantes déterminées (principalement les légumineuses), intègrent le N_2 dans leurs structures, par l'intermédiaire de l'ensemble des réactions chimiques et biochimiques, ces microorganismes sont responsables de maintenir l'azote présent dans le sol à un certain niveau. On a estimé que la fixation biologique dans l'écosystème terrestre est de 27 millions de tonnes par an (Eickhout *et al*, 2006).

L'incorporation des différentes formes gazeuses d'azote (principalement N_2O , N_2 et NH_3) à travers des dépôts humides et secs par l'eau de pluie est faible, par rapport à la fixation biologique. Les conditions climatiques et les systèmes de productions agricoles dans le monde ont un effet sur l'émission de gaz azotés dans l'atmosphère (Eickhout *et al*, 2006) et en conséquence sur le type et la quantité des dépôts.

La matière organique est une source importante d'azote ainsi comme d'autres éléments nutritifs, cet élément se présente dans la matière organique sous forme de protéines. D'autres composés azotés proviennent de la décomposition des résidus végétaux, des engrais organiques (les engrais verts et le fumier), ou des tissus des microorganismes morts. Les résidus organiques se décomposent à travers la macrofaune du sol, puis se dégradent par la microfaune et l'activité microbienne en produisant l'azote organique par le processus de la minéralisation. Le résultat de ce processus est la libération du NH_3 qui est stabilisé dans la majorité des sols, comme NH_4^+ , sauf dans les sols fortement alcalins (Molina-Soria, 2008).

L'Ammonium (NH_4^+) issue de la minéralisation se transforme en Nitrate (NO_3^-), dans une phase ultérieure du cycle du N appelée la nitrification réalisée par des bactéries aérobies, c'est l'oxydation du NH_4^+ à NO_2^- puis postérieurement à N_2O avec une petite partie du NO_x qui peut être libéré durant le processus. La nitrification est un mécanisme important qui transforme l'immobilité relative du NH_4^+ en NO_3^- considéré comme fortement mobile, ce mécanisme est influencé par une série des conditions du sol et des facteurs environnementaux. Le dynamisme de nitrification dépend directement et indirectement de l'apport du N au sol et des facteurs externes qui régulent son intensité.

Sous conditions anaérobies certains microorganismes peuvent utiliser l'oxygène dérivé du NO_2^- ou du NO_3^- au lieu de l'oxygène atmosphérique (O_2). Ce processus est appelé la dénitrification, les gaz finals produits sont N_2O , NO_2^- , N_2 et NO_x . La dénitrification a lieu principalement dans les couches superficielles du sol, l'intensité de ce processus dépend de l'humidité du sol, la température, l'aération, l'apport du carbone organique et la concentration du NO_2^- ou du NO_3^- dans le substrat. La dénitrification se produit communément aux niveaux des sols mal drainés ou des textures fines, ainsi que les milieux dont le taux d'humidité favorise l'existence des conditions anaérobies.

La volatilisation de l'Ammoniac (NH_3) du sol dans l'atmosphère dépend de la relation $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ existante dans la phase aqueuse du sol. L'application du fumier liquide ou certains fertilisants inorganiques (urée ou fertilisants à base de $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) aux sols, augmente le potentiel de la volatilisation selon la méthode d'application, la nature et l'état du sol. Sols secs, températures élevées et pH élevé sont des conditions favorables pour augmenter la libération du NH_3 par volatilisation.

La lixiviation du nitrates avec l'eau de drainage est la cause principale des pertes d'azote dans le sol, généralement les colloïdes édaphiques n'adsorbent pas l'ion NO_3^- à cause de sa charge négative qui reste dans la solution du sol et qui sera facilement transporté par l'eau à travers les différents horizons.

2.4.4.4. Le bilan d'azote

Le bilan d'azote est considéré comme la différence entre les apports et les exportations de cet élément, et représente les gains ou la perte d'azote en oliveraie. La balance d'azote est positive lorsque les apports sont plus élevés que les exportations et négative dans le cas inverse. Le cycle d'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. L'azote disponible pour la plante, qui est la fraction existe au niveau de la zone des racines provient de la minéralisation de la matière organique (la source la plus importante d'azote disponible aux plantes), de l'application des fertilisants azotés, du 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. Toutes ces sources représentent les entres de cet élément, les exportations consistent en lixiviation qui représente la majeure source 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 (Fernández-Escobar *et al.*, 2012).

2.4.4.4.1. Les entrées d'azote au sol

2.4.4.4.1.1. La minéralisation de la matière organique

La minéralisation est la transformation de l'azote organique à des formes inorganiques (NH_4^+ , NH_3) durant le catabolisme. Le processus est effectué par des microorganismes hétérophiles du sol qui utilisent la substance organique comme simple source de l'énergie, en libérant l'ammonium (NH_4^+); ce processus est appelé l'ammonification. Le résultat du catabolisme est la libération de l'énergie nécessaire pour l'activité anabolique (la construction des composés cellulaires à partir des bases organiques et/ou inorganiques). Cette activité anabolique exige l'utilisation de l'azote minéral par les microorganismes responsables de la décomposition de la matière organique en produisant le phénomène de l'immobilisation. D'autre part le NH_4^+ libéré durant l'ammonification est soumis de divers sorts : perdue par lixiviation, adsorbé par les charges négatives des particules d'argiles. Selon Barker et Mills (1980), la contribution annuelle de la minéralisation dans la balance d'azote sur les terres agricoles est de 3 millions tonnes.

2.4.4.1.1.1. Les facteurs qui influent sur la minéralisation

2.4.4.1.1.1.1. La composition des résidus organiques du sol

Le contenu d'azote minéral et la relation C/N des substances organiques facilement disponibles contribuent à la régulation de l'activité des microorganismes responsable de la minéralisation de la matière organique dans un sens ou autre des processus de la minéralisation et immobilisation de l'azote (Mary *et al.*, 1996). Dans les sols pauvres en cet élément et riches en carbone (C), les microorganismes immobilisent l'azote et l'incorporent dans leurs structures. Les sols qui contiennent une matière organique avec une relation C/N > 10 favorisent l'immobilisation par contre une relation C/N < 8 provoque la libération d'azote (Kuzyakov *et al.*, 2000).

Les caractéristiques morphologiques et physiques des tissus végétaux dans les résidus ont un effet sur l'activité microbiologique, les tiges et les feuilles avec une concentration élevée d'azote et des polyphénols (> 1.1% de la matière sèche) et faible contenu de lignine favorisent la minéralisation nette de N par contre les racines où la présence du complexe de subérine et lignine représentent une faible minéralisation (Abiven *et al.*, 2005).

2.4.4.1.1.1.2. La température et le taux d'humidité du sol

La température élevée favorise la décomposition des résidus organiques, ce qui augmente la minéralisation d'azote organique. La relation C/N de la biomasse microbienne augmente en conditions de faible humidité du sol, ce qui diminue la minéralisation nette (Zaman et Chang, 2004). Les effets de la température et l'humidité sont plus élevés sur la couche superficielle des sols. Les taux d'humidité proche de la capacité au champ et les températures au sein de l'intervalle optimal pour la décomposition de la matière organique (35 à 40°C) favorisent la minéralisation d'azote organique (Rey *et al.*, 2005).

2.4.4.1.1.1.3. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol

Le degré de décomposition, la libération des anions et cations et l'immobilisation d'azote par les microbes influent sur le pH du sol. Un pH réduit diminue l'activité microbienne et en conséquence la décomposition de la matière organique. Les résidus qui contiennent un taux d'azote organique élevé (protéines et

acides aminés) qui peuvent se minéraliser en ammonium et/ou nitrate, dont l'ammonification donne lieu à des ions hydroxydes qui augmentent le pH du sol, par contre la nitrification produit des protons qui augmentent l'acidité du sol (Paul *et al.*, 2001).

Les propriétés physiques des sols (la structure et la stabilité des agrégats) ont un rôle important dans le processus de la minéralisation. Les sols sableux (grand nombre des macropores) permettent une majeure aération du sol qui favorisent l'activité des microorganismes et en conséquence la décomposition des résidus, par contre les sols argileux et limoneux moins aérés rendent la décomposition de la matière organique plus lente en limitant l'accès des microorganismes aux substrats (Bottner *et al.*, 2006).

2.4.4.4.1.2. Application des fertilisants

Dans la majorité des systèmes naturels, l'azote du sol disponible pour les plantes est un facteur limitant pour la production agricole, ce qui conduit à l'utilisation des fertilisants azotés pour améliorer la fertilité des sols pauvres en cet élément nutritif. La consommation mondiale des fertilisants azotés non organiques a varié de 80 à plus de 90 millions de tonnes (FAOSTAT, 2015) (Figure 8).

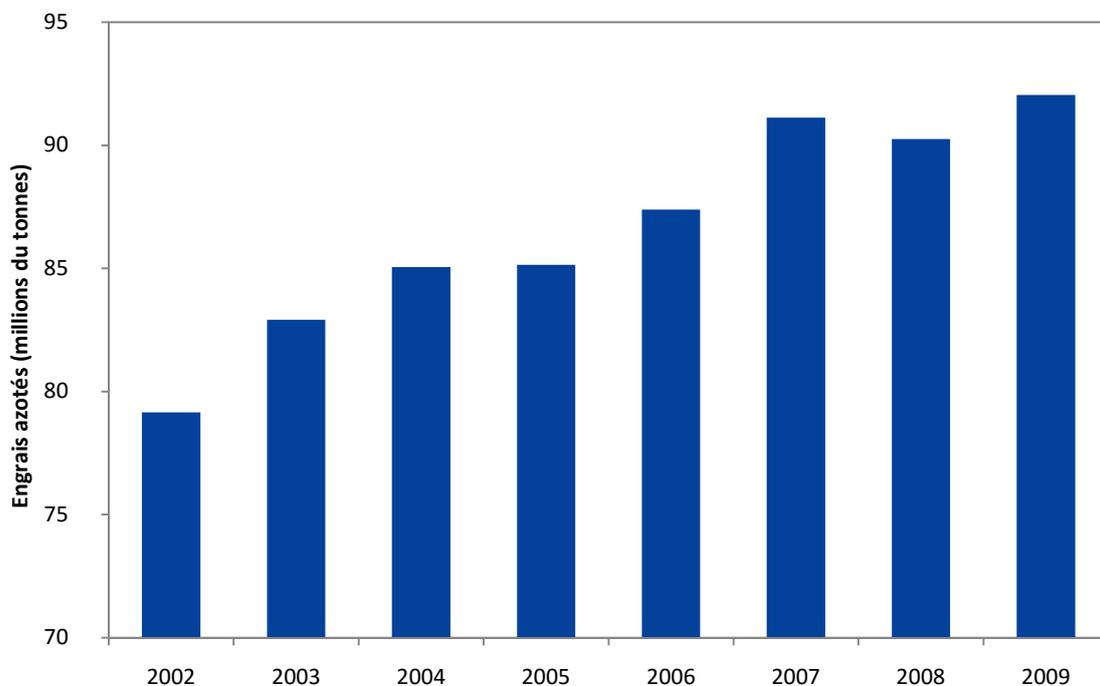


Figure 8. L'évolution de la consommation mondiale des engrais azotés (2002-2009). (FAOSTAT, 2015).

2.4.4.4.1.3. Les apports d'eau de pluie et de l'irrigation

L'azote est une constituante commune des eaux de pluies, généralement en forme de NH_4^+ ou NO_3^- , les quantités d'azote apportées par pluies varient selon la station et le lieu, en général la quantité d'azote incorporée aux sols chaque année sont réduites et non significatives pour les cultures (Stevenson *et al.*, 1982). Rodà et al. (2002) a signalé que le dépôt de l'azote total issu des eaux des pluies compris entre 15 et 22 $\text{kg ha}^{-1} \text{an}^{-1}$ sur les forêts méditerranéennes de Barcelone (nord de l'Espagne), sans changement significative durant une période de 16 ans. L'ampleur de la contribution de l'eau d'irrigation dépend de la concentration de cette dernière en azote des nitrates ($\text{NO}_3\text{-N}$) qui varie selon l'origine de l'eau d'irrigation (lac, étang, puits ...etc.) d'une part, d'autre part de la quantité d'eau appliquée durant la campagne.

2.4.4.4.2. Les sorties d'azote du sol

2.4.4.4.2.1. Lixiviation des nitrates

Les pertes des nitrates (NO_3^-) par lixiviation sont considérées comme les plus importantes sorties d'azote du sol (Barker et Mills, 1980). La lixiviation s'entend du mouvement vers le bas de l'azote des nitrates causé par un excès d'eau. L'importance des pertes d'azote des nitrates et la profondeur de déplacement varient selon la texture de sol, la teneur en eau initiale du sol, la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et la durée de l'épisode de pluie, la concentration et la forme d'azote soluble et le couvert végétal (Alison, 1966). La lixiviation se produit surtout au début du printemps et à l'automne après les récoltes. Ce phénomène est rare pendant les périodes de croissance rapide des cultures. Stanford et al. (1969) ont estimé que plus de 2 millions tonnes d'azote sont perdues chaque année des sols cultivés.

Le système de production peut influe sur les pertes de N par lixiviation. La dure et la dose d'irrigation (Stewart *et al.*, 2006) et le type de fertilisant (Zhou *et al.*, 2006) sont des paramètres principaux pour minimiser les pertes des nitrates par filtration. Le lessivage du nitrate est plus important aux systèmes des cultures intensives où les apports de cet élément sont généralement supérieurs aux besoins de la culture en produisant habituellement un excès d'azote (Ju *et al.*, 2006).

2.4.4.4.2.2. Dénitrification

La dénitrification est le processus biologique principale par lequel le N fixé au sol retourne à l'atmosphère. Les estimations des pertes de cet élément du sol par dénitrification varie de 0 à 70% du N appliqué comme des fertilisant (Firestone *et al.*, 1982). La dénitrification est le processus de réduction des formes oxydées d'azote (NO_3^- , NO_2^-) à des composés azotés gazeux (N_2O et N_2), la concentration des nitrites et des nitrates au sol et le manque d'oxygène sont les facteurs principaux qui influent la dénitrification (Germon et Couton, 1999), (Henault *et al.*, 1998).

2.4.4.4.2.3. L'azote exporté par les différentes pratiques culturales (taille des arbres et récollecion des fruits)

La quantité d'azote exporté par ces deux paramètres est importante et varié en fonction de l'intensité de l'opération de la taille, le rendement des olives obtenue et le système de la culture appliqué, en oliveraie intensive, Fernández-Escobar *et al.* (2012) ont trouvé que l'azote exporté par la taille et la récollecion varie entre 30 et 40 kg ha⁻¹ an⁻¹ et entre 2 et 3 g kg⁻¹ des fruits frais respectivement.

HYPOTHESES ET OBJECTIFS.

3. HYPOTHESES ET OBJECTIFS

Vue la situation actuelle de l'irrigation et la fertilisation de l'oliveraie super-intensive, notre travail a été mené en basant sur les hypothèses suivantes :

L'application des réductions de la quantité d'eau d'irrigation conduit à économiser des quantités importantes de ce bien qui est de plus en plus réduit sans effet préjudiciables sur les performances productives et qualitatives .

L'application des éléments nutritifs tels que l'azote (N) et le potassium (K) via fertigation peut améliorer la production et la qualité de l'huile.

Le niveau optimal d'azote dans la feuille peut être affecté par le système de plantation adapté tel que le super-intensif de l'olivier.

L'orientation de la haie de l'oliveraie super-intensive est primordiale au moment de la plantation.

Pour approuver ces hypothèses on a établi un objectif principal qui consiste à élaborer une stratégie d'irrigation et de fertilisation qui permet d'économiser de l'eau en améliorant les performances productives et qualitative de l'olivier sous des conditions super-intensive. Pour concrétiser cet objectif on a proposé les objectifs particuliers suivants:

Déterminer la réponse de l'olivier super-intensif aux deux différentes stratégies d'irrigation (l'irrigation déficitaire contrôlée et l'irrigation complète en appliquant les besoins hydriques de la plante) et à l'application des différentes doses des deux éléments nutritifs principaux (l'azote et le potassium) et aux interactions entre eux.

Etudier l'importance de l'orientation de plantation de l'oliveraie super-intensive et son influence sur les paramètres végétatifs et productifs.

Calculer le bilan d'azote dans une oliveraie super-intensive en déterminant les entrées et les sorties de cet élément au système sol-plante et étudier le comportement de l'olivier par rapport aux conditions du sol particulièrement à la disponibilité de l'azote.

Déterminer le niveau optimal de la concentration d'azote dans la feuille de l'olivier pour optimiser la production et la qualité de l'huile d'une oliveraie sous des conditions du super-intensif irrigué.

MATERIEL ET METHODES.

4. MATERIEL ET METHODES

4.1. Caractéristiques générales de la parcelle expérimentale

4.1.1. Localisation de la parcelle expérimentale

La parcelle où l'étude a été menée est située à Torres de Segre en province de Lleida en Nord- Est de l'Espagne. Appartient à la communauté des irrigants « Carrassumada » et est situé dans l'Appellation d'Origine Protégée (AOP) « Les Garrigues », avec une dotation de l'eau d'irrigation suffisante et la possibilité de fertigation. Les coordonnées géographiques DMS (degrés minutes secondes) sont 41° 31 '24 .44 " N de latitude et 0° 33 '55.59" E de longitude.

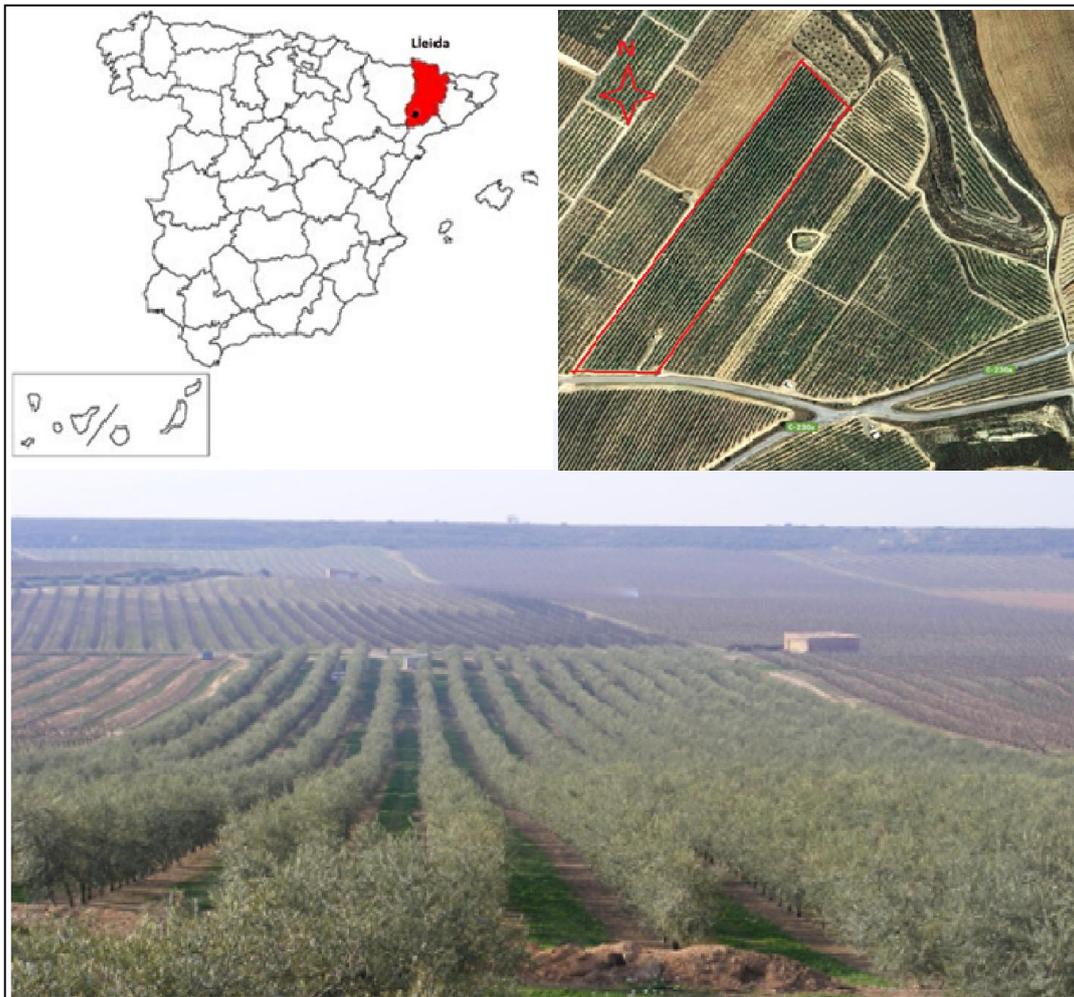


Figure 9. Localisation de la parcelle expérimentale

4.1.2. Caractéristiques du sol

Les sols sont classés dans l'intervalle (peu profonds à profonds en descendant vers le fond de la vallée). Ils sont des sols bien drainés de texture loam-limoneuse. La capacité de rétention en eau du sol augmente à mesure qu'on descend au fond de la vallée, avec l'augmentation de la profondeur du sol. C'est un sol calcaire avec un pH=8,2, légèrement salin (RAS = 0,81), le taux de la matière organique est de 1,5 %, avec une densité apparente de 1,3 Mg/m³, une conductivité électrique (CE 1: 5) de 1,4 dS m⁻¹ (en raison de la présence du gypse). Les niveaux du Phosphore (P), du Calcium (Ca) et du magnésium (Mg) sont très élevés par contre le Potassium (K) présente une valeur moyenne avec une valeur normale du nitrate (NO₃⁻). Le sol est apte pour la culture de l'olivier malgré sa texture limoneuse qui peut poser quelques problèmes de perméabilité et d'aération. (Tableau 4).

Tableau. 4: Résultats d'analyse du sol de la parcelle expérimentale.

Caractéristiques	Unité	Valeur
pH (ext. 1: 2,5 H ₂ O)	-	8,16
Cond. Electrique 25°C	dS m ⁻¹	0,81
Matière organique	%	1,5
Azote nitrique (N-NO ₃)	mg kg ⁻¹	15,51
Phosphore (P)	mg kg ⁻¹	41,33
Potassium (K)	mg kg ⁻¹	165,28
Magnésium (Mg)	mg kg ⁻¹	361,04
Calcium (Ca)	mg kg ⁻¹	7899
Sodium (Na)	mg kg ⁻¹	144,6
Sable total (0,05<D<2 mm)	%	27,3
Limon grossier (0,02<D<0,05 mm)	%	14
Limon fin (0,002<D<0,02 mm)	%	35,4
Argile (D<0,002 mm)	%	23,3
Texture (USDA)	Loam limoneuse	

4.1.3. Caractéristiques climatiques

La région de Segrià est caractérisée par un climat méditerranéen continental sec. La pluviométrie moyenne annuelle est de 324 mm, irrégulièrement répartis. L'évapotranspiration de référence (ET_o) (Penman-Monteith) moyenne annuelle est de 1101 mm, avec une période estivale très sèche due à l'absence des pluies et aux températures très élevées. Les précipitations maximales ont lieu au printemps pour la zone nord de la région, en contrepartie au centre et au sud, ce pic se produit en automne. Cette région est caractérisée par une amplitude thermique élevée du faite que la température est très élevée en été par contre en hiver on enregistre des valeurs très basses. La période hors-gelé est entre les mois de Mai et Octobre (inclus). Il est important de mentionner la présence du brouillard, caractéristique de cette zone durant les mois d'Octobre, Novembre, Décembre et Janvier.

4.2. Caractéristiques de la plantation

4.2.1. Caractéristiques générales

La parcelle expérimentale présente une superficie de 3,1 ha dont 1 ha est utilisée pour l'essai, avec une pente de 6,9%. La plantation est réalisée pendant l'été du 2004 avec une densité de plantation de 1010 arbre ha⁻¹ (4,5 X 2,2 m) et une orientation de plantation NE-SO.

4.2.2. Matériel végétal

L'étude a été réalisée sur l'olivier (*Olea europaea* L.) en plein production de la variété Arbequina qui est la variété espagnole la plus importante dans le nord-est de l'Espagne. On croit que son nom provient de la zone catalane de « Arbeca » dans la province de Lleida, où il est supposé le début de sa culture vers le XVI^{ème} siècle. Elle est connue aussi par les synonymes de « Arbequí » ou « Arbequín » (Rius et Lacarte, 2010). Se caractérise par sa résistance au froid et sa susceptibilité à la chlorose ferrique dans les sols calcaires. Elle est très appréciée pour la précoce entrée en production avec une productivité très élevée et bon rendement d'huile. Sa qualité d'huile est excellente malgré présente une faible stabilité. Sa vigueur réduite permet de l'utiliser dans les plantations intensives et super-intensives (Barranco, 2008). Elle est considérée comme une variété auto fertile et possède une capacité d'enracinement très élevée.



Figure 10. Arbre et fruits de la variété Arbequina en système super- intensif

4.3. Le dispositif expérimental

Le dispositif expérimental appliqué est blocs aléatoires avec quatre répétitions, dont l'unité expérimentale se compose de 18 arbres distribués en 3 lignes, adjacentes, 6 arbres par chaque ligne, Les différents contrôles ont été effectués sur les quatre arbres centraux, entourés par des arbres de bordure qui séparent entre les parcelles élémentaire, (Figure 12). Quatre facteurs ont été étudiés sur ce dispositif : l'irrigation, la fertilisation azotée, la fertilisation potassique, et l'orientation de plantation.

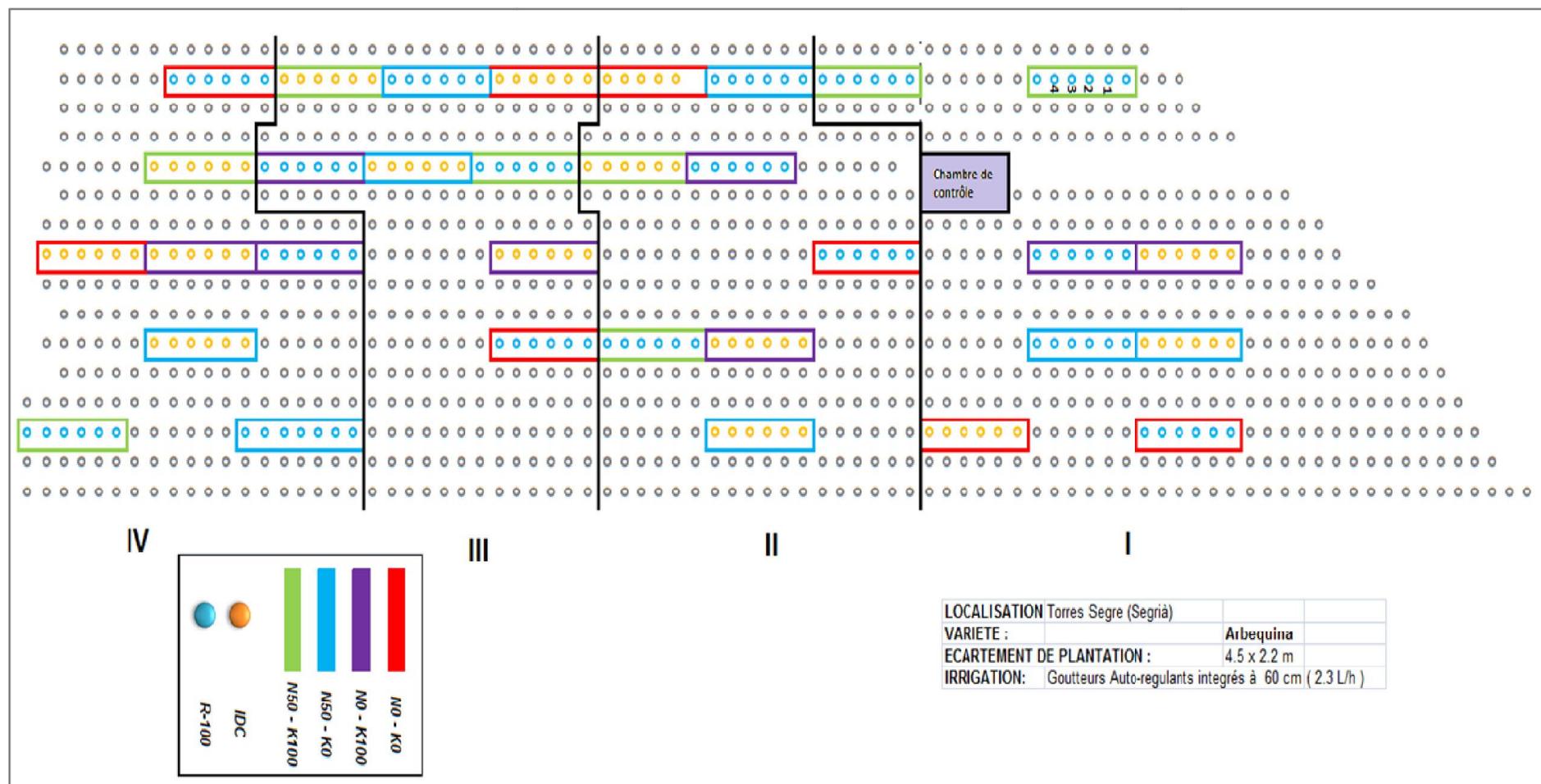


Figure 11. Le dispositif expérimental et la distribution des traitements.

4.4. Définition des traitements

4.4.1. Les stratégies d'irrigation

a). Contrôle (*R-100*) : application de l'ETc journalière par système d'irrigation goutte à goutte 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). La valeur du coefficient de la culture (Kc) utilisé était de 0.7 selon Girona et al. (2002).

b). Irrigation déficitaire contrôlée (*IDC*) : application du 100% des besoins hydriques de la plante, avec une réduction du 75% à partir du début du mois de Juillet jusqu'à 10 Septembre (les moments où l'olivier est moins sensible au déficit hydrique) (Orgaz *et al.*, 2005). Puis l'application de nouveau 100% des besoins de la plante jusqu'à la fin d'Octobre

4.4.2. Les doses de fertilisants appliquées

a). Azote (N)

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 50 kg ha⁻¹an⁻¹ d'azote avec une solution azoté N32 (16% Urea, 8% Ammonium et 8% Nitrique) par fertigation.

b). Potassium (K)

K-0 : sans application du K (donnera des informations sur la capacité de réserve de l'arbre et surtout les apports de la minéralisation de la matière organique du sol).

K-100 : application de 100 kg ha⁻¹ du potassium par fertigation.

La liaison entre les deux sources de variation (deux stratégies d'irrigation avec les deux dose de chaque type des fertilisants), donne lieu à 8 combinaisons, et avec 4 répétitions de chaque combinaison, on obtient 32 parcelles élémentaires. (Figure 11).

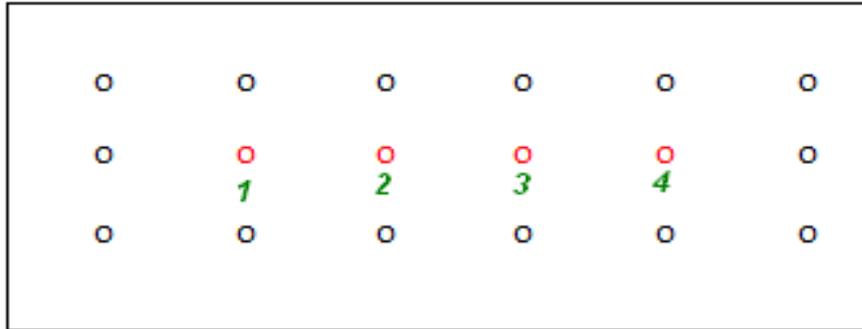


Figure 12. La parcelle élémentaire.

4.4.3. L'orientation de plantation

L'orientation de plantation l'oliveraie est *SO-NE*, (Figure 9) par conséquent la haie présente deux faces : une face *S-E* mieux exposée aux rayons solaires et autre face *N-O* qui est mal ensoleillée. En plus de l'étude de l'effet des stratégies d'irrigation, le type et la doses des deux éléments fertilisants (N et K), on a étudié l'effet d'orientation de la haie en comparant entre ses deux faces (Figure 13).

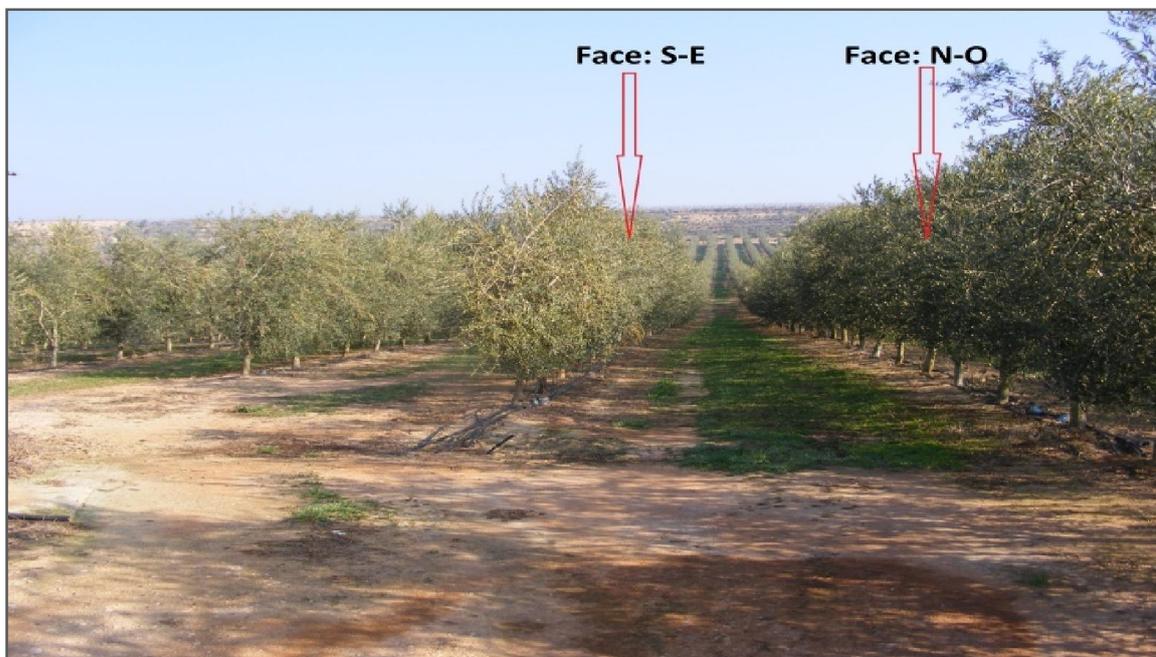


Figure 13. Les deux faces de la haie selon l'orientation de la plantation de l'oliveraie.

4.5. Application du système d'irrigation

La planification de l'essai a exigé l'installation d'un nouveau système d'arrosage contrôlé par un programmeur différent de celui du reste de la parcelle en introduisant des niveaux tuyaux tertiaires et secondaires qui connectent les dépôts des fertilisants et la prise d'eau avec les différentes parcelles élémentaire. Selon les traitements appliqués l'essai se compose des secteurs d'irrigation différents avec la possibilité de doser en même temps les fertilisants et l'eau d'irrigation pour chaque secteur (Figure14).

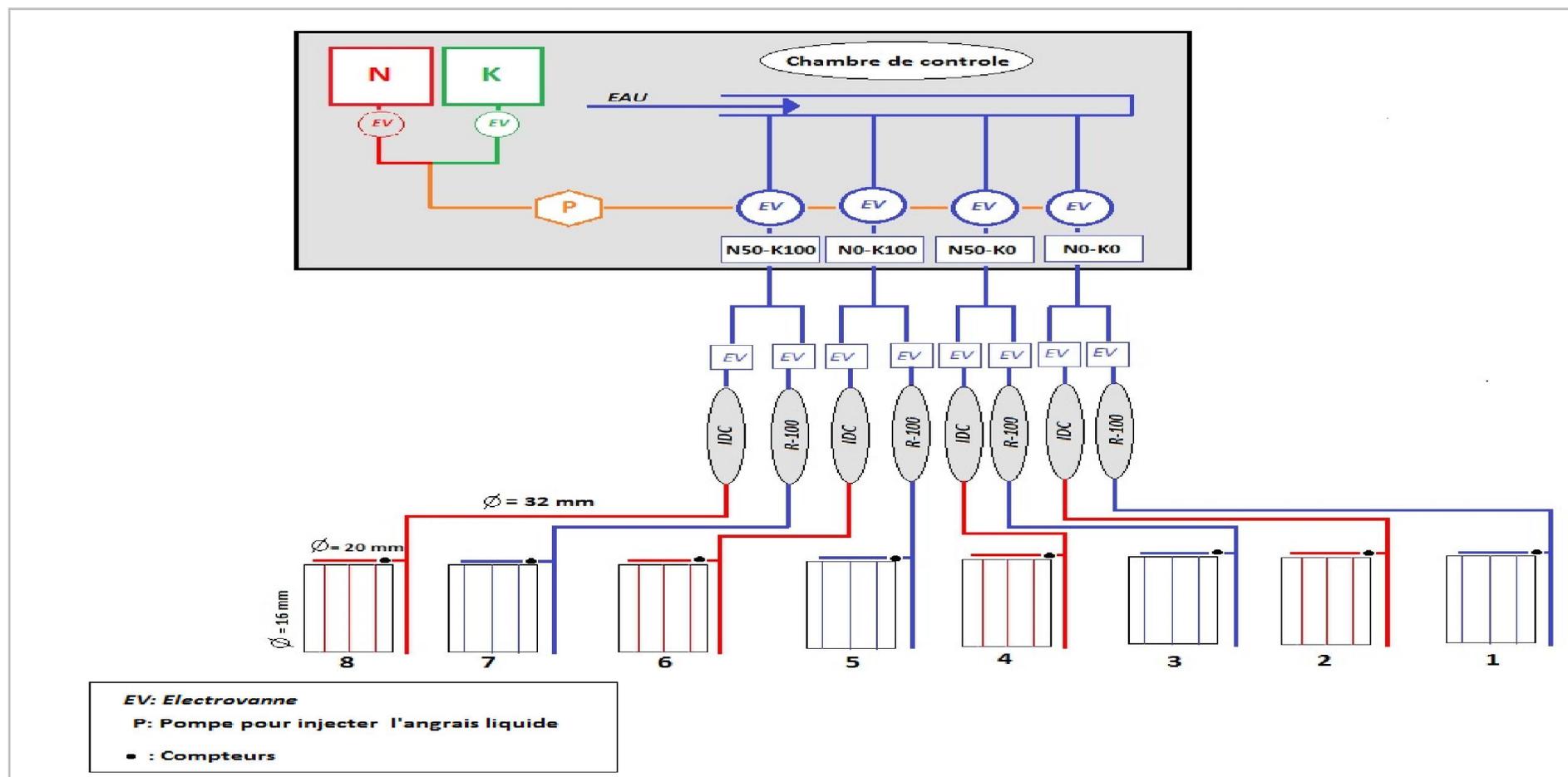


Figure 14. Le système d'irrigation de la parcelle expérimentale.

4.6. Les contrôles réalisés

4.6.1. Floraison et Nouaison

Pour évaluer la floraison on a fait le comptage des boutons floraux (Figure 15) avant son épanouissement pour faciliter l'opération. Sur 3 arbres de chaque parcelle élémentaire, 2 pousses de l'année antérieure par arbre sur les deux faces de la haie ont été choisis au hasard. On a conservé les mêmes pousses pour compter le nombre des fruits finales pour chaque pousse qui nous permet de calculer en suite le taux de nouaison.

$$\text{Taux de nouaison (\%)} = (\text{nombre des fruits}/\text{nombre des fleurs}) * 100.$$



Figure 15. Le stade de comptage des fleurs et des fruits après la nouaison.

4.6.2. La croissance végétative

4.6.2.1. La longueur des pousses

Les mesures de ce paramètre ont été réalisées sur deux pousses de l'année par chaque arbre contrôle de la parcelle élémentaire sur les deux faces de la haie par l'utilisation d'un mètre au début et à la fin de chaque campagne. Avec un total de 8 pousses par parcelle élémentaire.

4.6.2.2. Le volume de la frondaison de l'arbre et le poids des résidus de la taille

Les calculs du volume de la frondaison ont été réalisés avant et après l'opération de la taille chaque année par la mesure des dimensions de la haie des deux arbres centraux de chaque parcelle élémentaire, la hauteur totale (H), la largeur (a) et la hauteur du tronc (h) (Figure 16). Le volume de la frondaison de l'arbre a été calculé selon la formule suivante :

$$V (m^3/arbre) = 4,4 * a * (H - h) / 2$$



Figure 16. La mesure des dimensions de la haie.

Les résidus issus de l'opération de la taille de chaque parcelle élémentaire ont été ramassés et pesés pour déterminer le poids frais de ces derniers par chaque parcelle élémentaire à l'aide d'une balance.

4.6.3. Analyse foliaire

Des échantillons des feuilles (environ 50 feuilles) ont été pris par chaque parcelle élémentaire. Puis ont été mis dans un étuve à 65 °C jusqu'à un poids sec constant. Sur ces échantillons la concentration d'azote a été mesurée par la méthode de Kjeldahl et les autres éléments nutritifs ont été analysés par la méthode *ICP* (Inductively coupled plasma optical emission spectrometry) (Agilent 7700X, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) dans un laboratoire externe.

4.6.4. Matière fraîche et sèche des fruits

Des échantillons de 16 fruits par parcelle élémentaire dont 8 fruits de la face N-O et 8 de la face S-E ont été pris chaque 15 jour à partir du 13 Octobre 2011 et le 20 Septembre 2012 jusqu'à la récolte. Les fruits ont été conservés dans des petits sacs de plastique avec fermeture hermétique et posés dans une glacière jusqu'au laboratoire. Après avoir pesé on les a mis dans un étuve à 65 °C jusqu'à un poids sec constant. Le taux de la matière sèche de chaque échantillon a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{TMS} = \text{PS} \times 100 / \text{PF}$$

4.6.5. Estimation de la production par faces de la haie

La production des fruits par chaque face de la haie a été estimée à partir du nombre finale des fruits par mètre linéaire de végétation après la nouaison pour les deux faces de la haie dont on a pu élaborer une proportion entre ces deux faces concernant le nombre des fruits, en connaissant la production finale des fruits par arbre, permet d'estimer la production finale des fruits par faces de la haie. Cette hypothèse du calcul a été soutenue par les mesures de la croissance végétative exprimée par la longueur des pousses pour les deux faces de la haie.

4.6.6. La récolte

La récolte a été réalisée le 25, 28, 30 et 21 Novembre pour 2010, 2011, 2012 et 2013 respectivement avec une machine récolteuse de l'olivier automotrice de la marque GREGOIRE (Figure 17). Les fruits récoltés de chaque parcelle élémentaire ont été pesés pour savoir la production finale.



Figure 17. La récolte mécanique de la parcelle expérimentale.

4.6.7. La qualité de l'huile

Des échantillons de 3 kg par chaque parcelle élémentaire ont été pris manuellement un jour avant la récolte mécanique chaque année. Ils ont été conservés dans un réfrigérateur jusqu'à l'extraction de l'huile. L'extraction d'huile a été effectuée à froid par l'utilisation d'un équipement Abencor (MC2, Ingénierie et Systèmes, Séville, Espagne) (Figure 18). Des échantillons d'huile ont été mis en bouteilles en verre opaque et conservées à 4 °C jusqu'à l'analyse.



Figure 18 . L'extraction de l'huile à l'aide d'un équipement Abencor.

Des analyses physico-chimiques (acides gras libres, l'indice de peroxyde, des caractéristiques d'absorption UV à 232 et 270 nm et la stabilité de l'huile) ont été effectués selon les méthodes officielles (UE 2568 / 91). Les résultats sont exprimés en pourcentage d'acide oléique (%) pour les acides gras libres, le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif contenu dans 1 kilogramme d'huile (mEq kg^{-1}) pour l'indice de peroxyde et le coefficient d'extinction spécifique à 232 et 270 nm. La stabilité a été exprimée comme le temps d'induction d'oxydation mesuré avec un appareil Rancimat-679 (Methrom Co, Bâle, Suisse) en utilisant 2,5 g de l'échantillon chauffé à 120 °C avec un débit d'air de 20 l h⁻¹. La teneur en polyphénols totaux a été déterminé par la méthode de Folin-Ciocalteu et exprimée en (ppm) ou mg d'acide caféique par un litre d'huile.

4.6.8. La teneur en matières grasses des fruits

Au moment de la recollection, des échantillons de 50 fruits ont été pris au hasard de chaque parcelle élémentaire et après avoir été séchés, les échantillons ont été passés à la résonance magnétique nucléaire (RMN) (Del Río et Romero,1999) pour déterminer le pourcentage d'huile par rapport au poids sec de chaque échantillon.

4.6.9. Indice de l'alternance annuelle

L'indice de l'alternance annuel (IA) pour le rendement en huile a été déterminé pour chaque parcelle i et l'année j en utilisant la méthode proposée par Pearce et Dobersek-Urbanc (1967) (eq 1). Si l'IA tend vers le 0 cela signifie qu'il n'y a pas des conditions d'alternance de production et quand l'IA est proche de la valeur 100 indique qu'il existe une alternance de production. En outre, l'IA a été utilisée pour la classification productive de chaque parcelle comme année *ON* ou *OFF* quand la variation interannuelles de l'IA est de plus de 20%.

$$IA = \left[\frac{|Y_{ij+1} - Y_{ij}|}{Y_{ij+1} + Y_{ij}} \right] / [n - 1] \text{ (eq 1)}$$

4.6.10. Le bilan d'azote

D'après Fernández-Escobar et al. (2012) 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.

4.6.10.1. Azote inorganique initial et final dans le sol

Pour estimer la quantité du $N\text{-NO}_3^-$ dans le sol, des échantillons du sol ont été obtenus pour chaque parcelle élémentaire à une profondeur de 0 à 40 cm au début et à la fin de chaque campagne. On a tenu compte que la surface mouillée par irrigation avec des gouteurs de débit de $2,3 \text{ L h}^{-1}$ pendant 6 heures représente 30 % de la surface totale (Gispert, 2008).

Le bilan d'azote a été calculée 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 à 2009 (année de début de l'essai) et s'assurer que seulement il provient en plupart de la matière organique et des facteurs

contrôlés dans cet essai ; cependant seulement quelques composantes du bilan ont été calculées pour 2010.

4.6.10.2. Les entrées d'azote au système

4.6.10.2.1. 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 quantité d'azote en sachant la quantité d'eau appliquée chaque campagne d'irrigation à l'aide des compteurs installés dans chaque parcelle élémentaire.

4.6.10.2.2. Azote apporté par la minéralisation de la matière organique

Une équation établie par Ancelino et al. (2007) 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 :

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

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 (Henin et Depuis, 1945) cité par (Sofó *et al.*, 2005) selon la formule suivante :

$$\mathbf{K_2 = (1200 * f_0) / [(200 + c) * (200 + 0,3 * s)]}.$$

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 annuelle moyenne (°C).

Masse de terre (t 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 (Rovira *et al.*, 2007) .

4.6.10.3. Les sorties d'azote du system

4.6.10.3.1. Azote perdue 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 pour drainage ou lixiviation a été calculée en appliquant le bilan hydrique dans le sol chaque semaine suivant la méthode décrite par Orgaz et Fereres, (2001) pour l'arbre de l'olivier dans la vallée du Guadalquivir en prenant en compte la précipitation efficace 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 (Caruso *et al.*, 2013), et 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 supérieure 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 (PF), on considère que la quantité qui peut contenir le sol est le PF.

Les calculs pour déterminer la quantité d'azote perdue par lixiviation ont été commencés le 1 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 model proposée par Saxton et Rawls (model Soil Water Characteristics) (Saxton et Rawls, 2006). Les pertes d'azote par lixiviation ont été estimées en utilisant la formule suivante (Fernandez-Escobar *et al.*, 2012):

$$N_{Lix} = \sum \frac{C_{(N-NO_3^-)}}{CC} * A_{Lix} * d_w * 10^{-6}$$

Dont :

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

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

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

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

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

4.6.10.3.2. 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.

4.6.10.3.3. Azote retiré par la recollection

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°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.

4.6.10.3.4. Azote perdu par dénitrification

Pour mesurer la quantité d'azote perdue par dénitrification, des échantillons du sol en 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 (Maris *et al.*, 2015).

4.7. Analyses statistiques

Les analyses statistiques de résultats obtenues ont été réalisées à travers le programme statistique JMP® la version 12 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) en utilisant l'analyse de variance (ANOVA) et l'analyse de la variance multivariée (MANOVA). Pour la séparation de moyens on a utilisé le test de TUKEY HSD, probabilité de $P \leq 0,05$, et le test t-Student, probabilité de $P \leq 0,05$. La signification de

MANOVA a été déterminée en utilisant le test F et Le test de la plus grande racine de Roy. ($P < 0,05$)

En outre, un modèle de régression non linéaire a été utilisé (éq 2) pour relier entre la production de l'huile (exprimé comme le rendement relatif de l'huile par rapport au rendement maximal) et la concentration d'azote dans la feuille.

$$OY = \beta_0 + \beta_1 (Nleaf - C) + \beta_2 Nleaf \quad (\text{éq 2}).$$

La segmentation du modèle de la variation du rendement d'huile en fonction de la concentration d'azote dans la feuille a été effectuée par la moyenne de "+fonction" (eq 3), en adaptant la méthodologie proposée par Toms et Lesperance (2003) et Shuai et al. (2003) pour la détermination du point de déviation (paramètre C).

$$Oil Yield = \beta_0 + \beta_1 * If \left[\begin{array}{l} Nleaf \leq C \rightarrow Nleaf - C \\ else \rightarrow 0 \end{array} \right] + \beta_2 Nleaf \quad (\text{éq 3})$$

Dont β_0 , β_1 , β_2 et C sont les paramètres du modèle. Les plus importants pour la modélisation de la réponse d'azote était le β_1 ou la pente de réponse du rendement sous conditions de non-saturation des concentrations d'azote dans la feuille (Nleaf), C c'est le point de déviation à partir de ce dernier on a pas constaté une réponse du rendement de huile en augmentant la dose d'azote dans la feuille, et β_2 qui est le rendement potentiel d'huile sous les conditions expérimentales.

Suite à l'analyse, à partir des résultats du modèle, les paramètres β_0 et C ont été retenus pour déterminer les quadrants de réponse selon la méthodologie d'ajustement des quadrants de Cate-Nelson en minimisant la somme des carrés résiduels (Cate et Nelson, 1965).

RESULTATS.

5. RESULTATS

5.1. Effets de trois facteurs (irrigation, fertilisation, orientation de plantation) sur quelques paramètres végétatifs et productifs de l'olivier super intensif.

5.1.1. Floraison

L'orientation de plantation de la parcelle expérimentale avait un effet sur le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation, dont la face ensoleillée (S-E) a présenté un nombre de fleurs plus élevé que la face moins ensoleillée (N-O), pour les deux années de l'étude, comme il est présenté dans la figure 19. Résultats confirmés par l'analyse de la variance qui a donné une différence significative entre les deux faces de la haie pour 2011 et 2012.

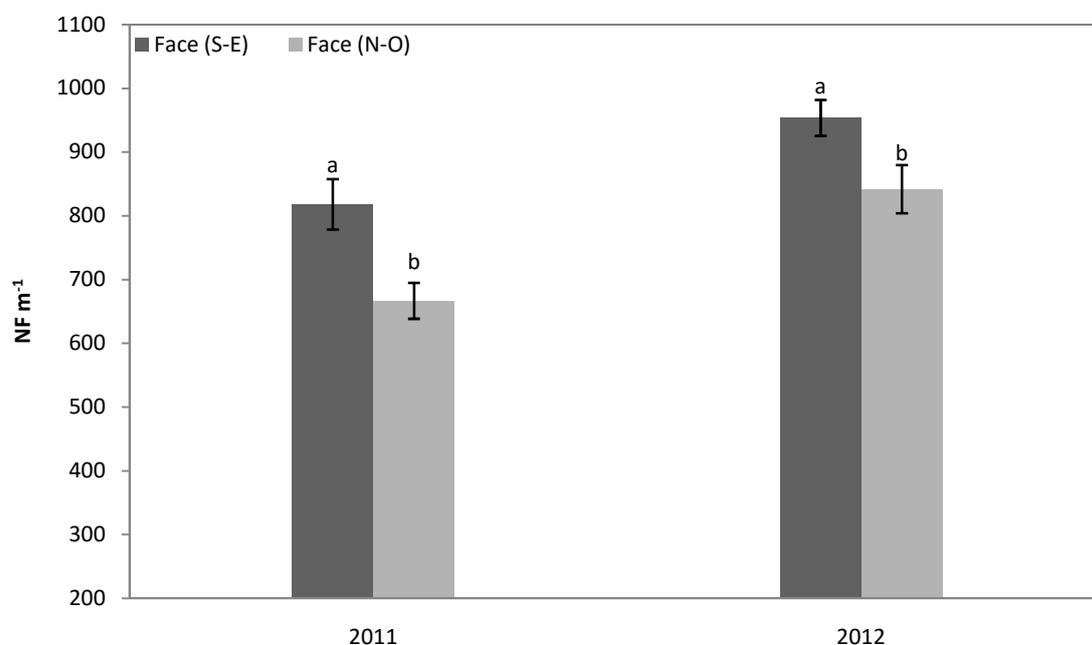


Figure 19. Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de l'orientation de la plantation de la haie. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Cependant les doses des deux types des fertilisants n'ont pas eu un effet clair sur ce paramètre pour les deux campagnes de l'expérience dont l'analyse de variance n'était pas significative pour ce facteur (Figure 20).

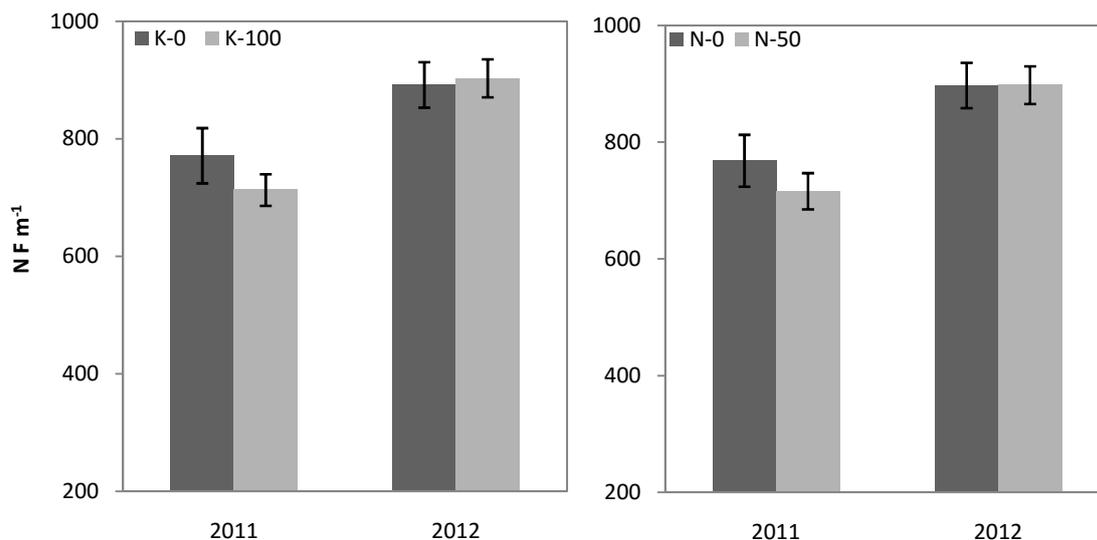


Figure 20. Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de la dose des deux types de fertilisants. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Les stratégies d'irrigation (irrigation à 100 % des besoins hydrique de la plante ou l'irrigation déficitaire) n'ont pas donné une différence significative sur le nombre de fleurs par mètre linéaire de la végétation, cependant l'IDC a donné des valeurs supérieures que celles de R-100 pour les deux années (Figure 21).

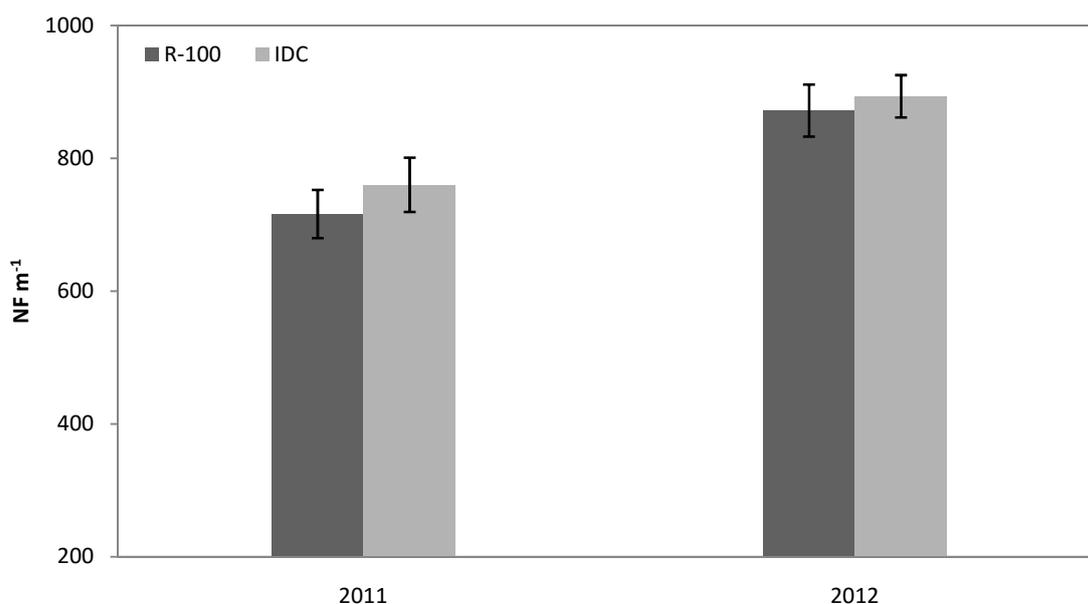


Figure 21. Le nombre de fleurs par mètre linéaire de végétation en fonction de la stratégie d'irrigation. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.1.2. La nouaison

En général ce paramètre n'a pas été affecté par les deux types stratégies d'irrigation appliquées durant les deux années d'étude, ainsi que la fertilisation azotée. Cependant avec l'application du potassium (K-100) pendant l'année 2011 qui est une année de forte charge (ON), on a obtenu un taux de nouaison plus élevé (10%) par rapport aux traitements sans appliquer cet élément (8,6%) qui a été statistiquement une différence significative (Figure 22).

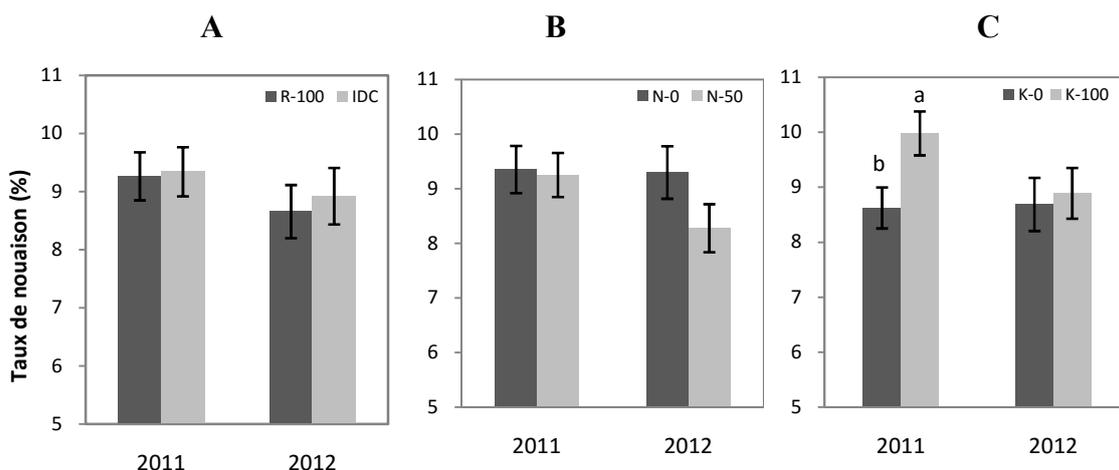


Figure 22. Le taux de nouaison en fonction de la stratégie d'irrigation et les dose des deux types des fertilisants. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

L'orientation de la plantation de la haie (Figure 23) n'a pas eu un effet clair sur la nouaison malgré en 2012 qui est une année de faible charge (OFF), le taux de nouaison était plus élevé en face ensoleillée (9,1%) par rapport à l'autre face moins ensoleillée (8,5 %) sans avoir une différence significative, tandis que pour l'année 2011(année ON) ce paramètre n'a pas été influé par l'orientation de plantation de la haie.

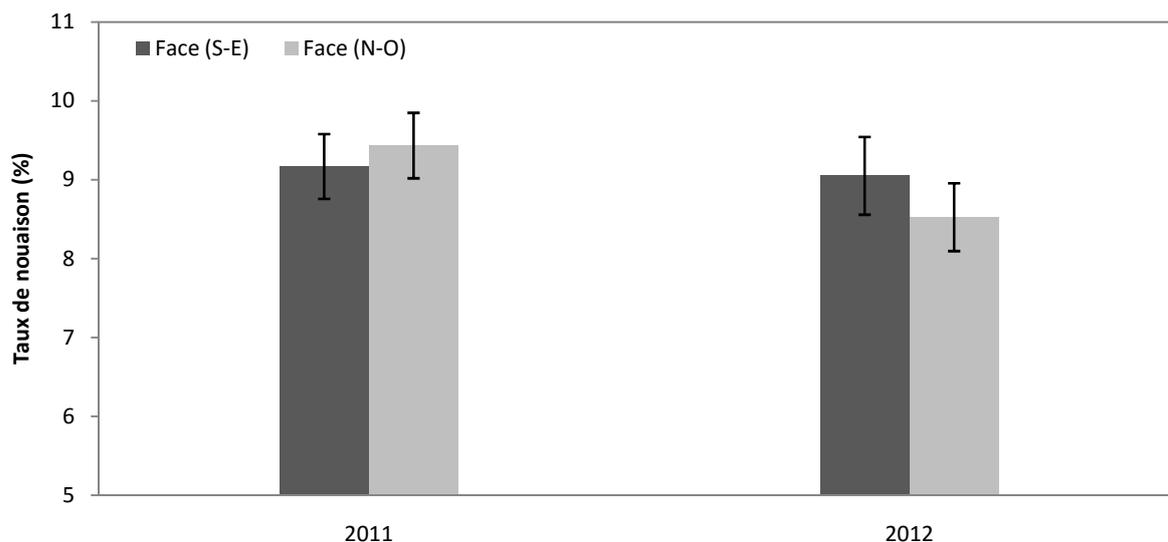


Figure 23 . Le taux de nouaison en fonction de l'orientation de la plantation. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Comme il est indiqué sur le tableau 5, le facteur année a influé sur le nombre des fleurs par mètre linéaire, dont l'année 2012 a présenté des valeurs plus élevées par rapport à celles obtenues en 2011 qui est une année OFF théoriquement caractérisée par une croissance végétative plus faible que 2012 qui est une année OFF ou de faible charge des fruits et de croissance végétative plus élevée, ce qui confirme les résultats obtenus pour le volume de frondaison de l'arbre.

Tableau. 5: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le nombre des fleurs par mètre linéaire de végétation et le taux de nouaison durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.

	Fleurs m ⁻¹	Taux de nouaison
<i>Irrigation</i>	0,7041	0,7038
<i>N</i>	0,4691	0,2241
<i>K</i>	0,5099	0,0939
<i>Face</i>	0,0004*	0,7720
<i>Irrigation x N</i>	0,2402	0,7998
<i>Irrigation x K</i>	0,7936	0,8563
<i>Irrigation x Face</i>	0,2346	0,4424
<i>N x K</i>	0,6993	0,9639
<i>N x Face</i>	0,2234	0,3860
<i>K x Face</i>	0,7897	0,6124
<i>Année</i>	<0,0001*	0,2676
<i>Année x Irrigation</i>	0,5345	0,8563
<i>Année x N</i>	0,4601	0,3254
<i>Année x K</i>	0,3310	0,2174
<i>Année x Face</i>	0,5818	0,4060

* désigne effet significative ou interaction selon le test F.

5.1.3. La croissance végétative

La croissance végétative a été exprimée par le volume de la frondaison de l'arbre (Tableau 6) qui a été affecté par la quantité d'eau appliquée sur chaque stratégie d'irrigation, dont les arbres du traitement R-100 ont présenté des volumes de frondaison plus élevés que ceux de l'irrigation déficitaire, avec une différence significative statistiquement, l'application des deux éléments nutritifs a influé positivement sur le volume de la frondaison mais sans arriver à une différence significative entre les deux niveaux de ces deux éléments.

Tableau. 6: Le volume de la frondaison de l'arbre (m³) pour les deux années de l'expérience.

Traitement	2011	2012
<i>Irrigation</i>		
R-100	9,1 a B	10,1 a A
IDC	7,2 b B	8,1 b A
<i>Azote</i>		
0	7,8B	8,9 A
50	8,4B	9,3 A
<i>Potassium</i>		
0	7,8B	8,9 A
100	8,4B	9,2 A

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t-Student.

Lettres majuscules A et B indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les années de l'étude. Selon le test t-Student.

Comment il est mentionné sur le tableau 7, il y a une différence significative entre les deux années de l'étude pour ce paramètre végétative, dont l'année 2012 qui est une année OFF de faible production a présenté des volumes de frondaison supérieurs à ceux obtenus durant l'année 2011 qui est une année ON de fortes productions.

Tableau. 7: Facteurs de signification sur ANOVA pour le volume de frondaison de l'arbre durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.

	Volume de frondaison
<i>Irrigation</i>	<0,0001*
<i>N</i>	0,0797
<i>K</i>	0,155
<i>Irrigation x N</i>	0,0921
<i>Irrigation x K</i>	0,786
<i>N x K</i>	0,0476*
<i>Année</i>	0,0007*
<i>Année x Irrigation</i>	0,5928
<i>Année x N</i>	0,786
<i>Année x K</i>	0,6547

* désigne effet significative ou interaction selon le test F.

D'autre part il existe une interaction entre les deux type de fertilisant N et K qui ont présenté un effet synergique sur le volume de frondaison, dont les traitements conduits sans application des deux éléments (N0-K0) ou avec l'application de ces deux éléments séparément (N0-K100 ou N50-K0) ont donné des volumes de frondaison pareilles et plus faible que ceux obtenue par l'application des deux éléments nutritifs en même temps (N50-K100) dont on a enregistré une augmentation significative du volume de frondaison de l'arbre (Figure 24).

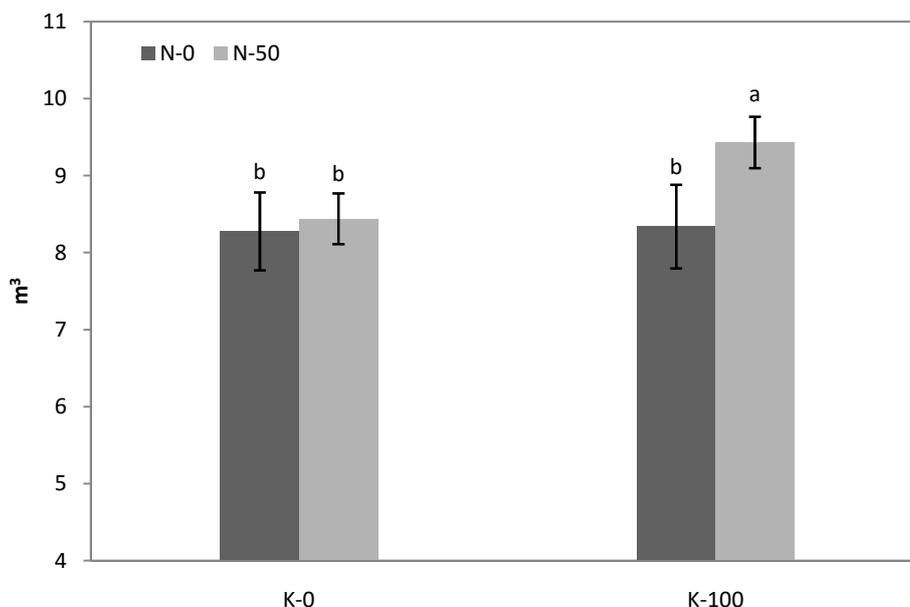


Figure 24. L'effet de l'interaction entre le N et le K sur le volume de frondaison de l'arbre de l'olivier. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test Tukey HSD. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.1.4. Paramètres productifs

5.1.4.1. Taux de la matière sèche des fruits

L'orientation de plantation de la haie a eu une influence sur le taux de la matière sèche des fruits, dont la face la plus exposée au soleil (SE) a donné des valeurs plus élevées que l'autre face moins ensoleillée pour les deux campagnes de l'étude, l'analyse de variance a confirmé ce résultat en montrant des différences significatives (Figure 25).

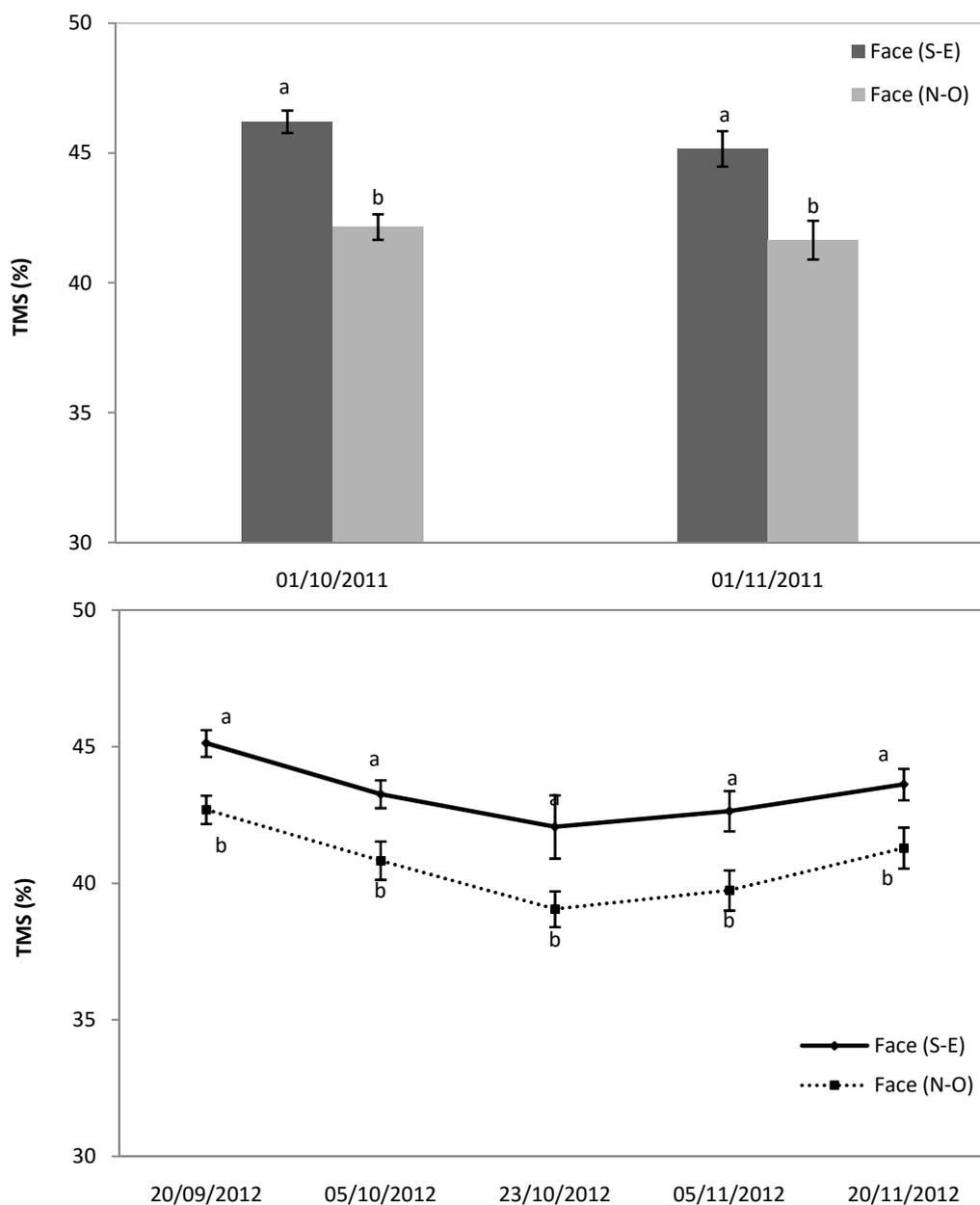


Figure 25. Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de l'orientation de plantation de la haie. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne

Ce paramètre a été influé par la stratégie d'irrigation appliquée, comme il est présenté sur les graphiques suivantes, les traitements de l'irrigation déficitaire (IDC) ont donné des valeurs du taux de la matière sèche des fruits plus élevés que les

traitements avec irrigation complète (100 % des besoins de la plante), cette différence significative a été observée pour les deux années de l'étude (Figure 26).

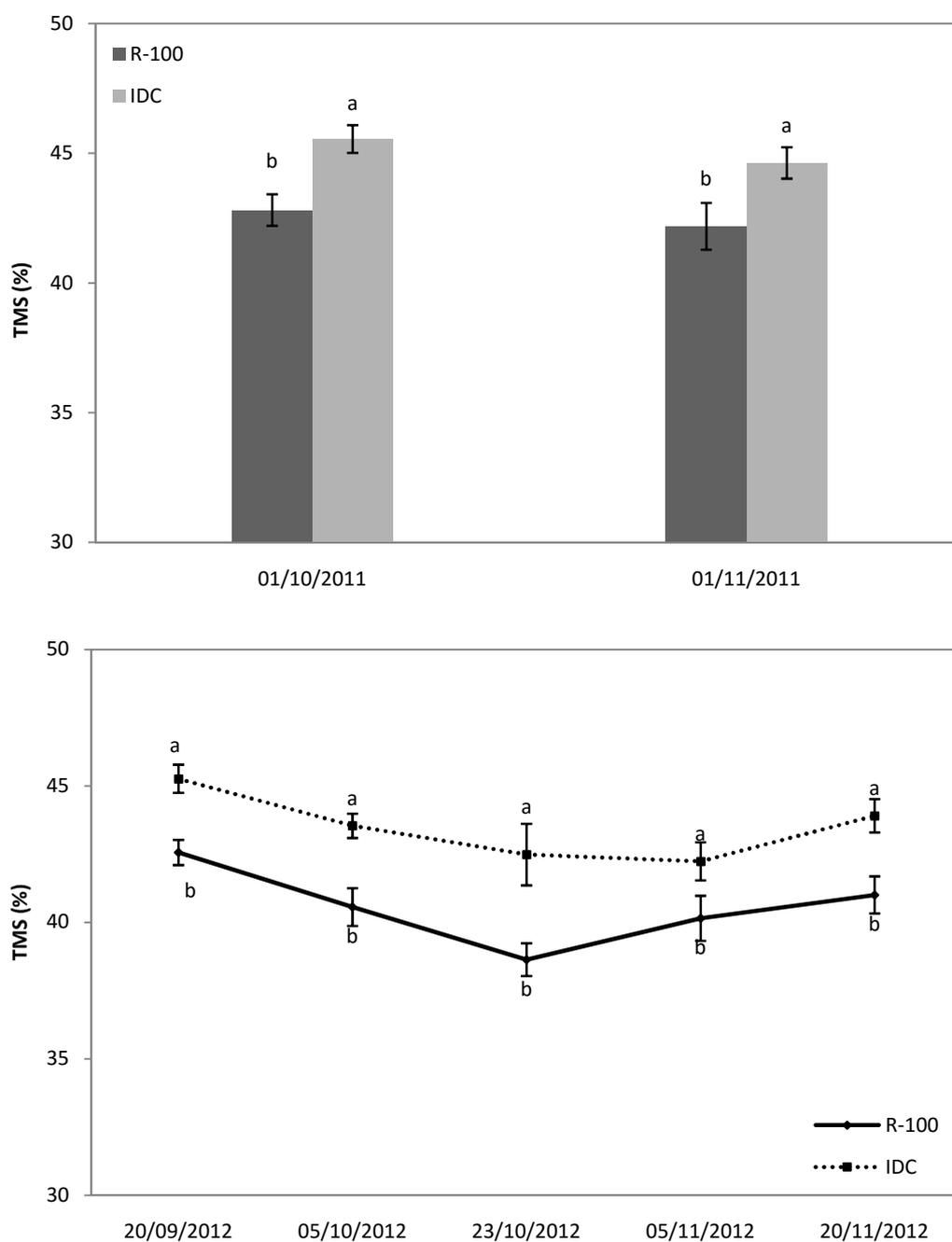


Figure 26. Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la stratégie d'irrigation appliquée. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Pour l'année 2011 qui était de forte charge des fruits (ON), les doses des deux types de fertilisants azoté (N) et potassique (K) n'ont pas eu un effet significatif sur le taux de la matière sèche des fruits (Figure 27).

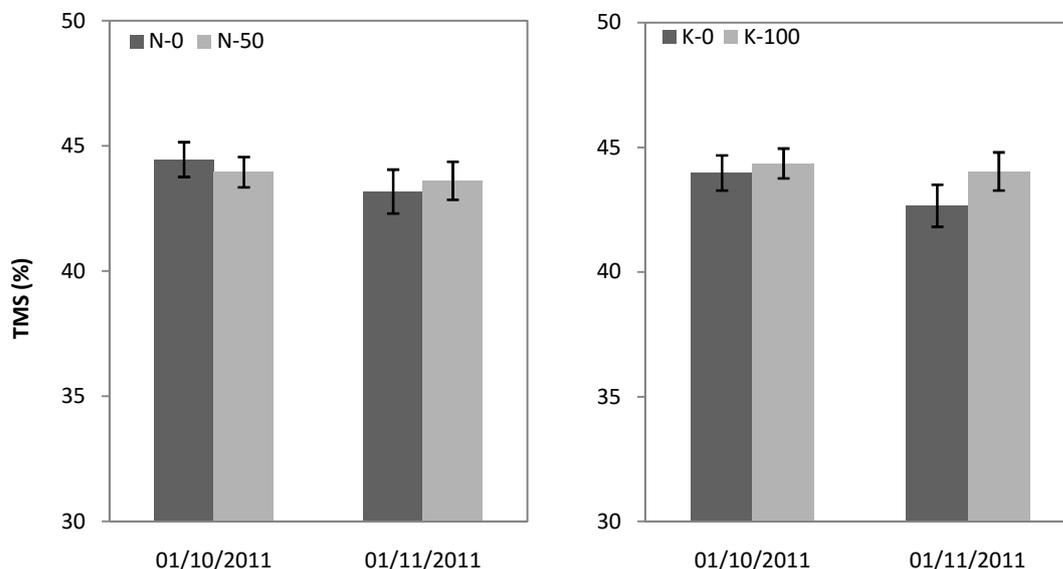


Figure 27. Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la dose des deux types des fertilisants appliqués. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Par contre l'année 2012 de faible charge des fruits (OFF), l'application des deux types des fertilisants (Azote, Potassium) a eu un effet négatif sur le taux de la matière sèche des fruits, dont les traitements avec ces deux élément nutritifs (N-50) et (K-100) ont présenté des valeurs plus basses que les traitements sans appliquer ces deux éléments (N-0) et (K-0). Avec une différence statistiquement significative (Figure 28).

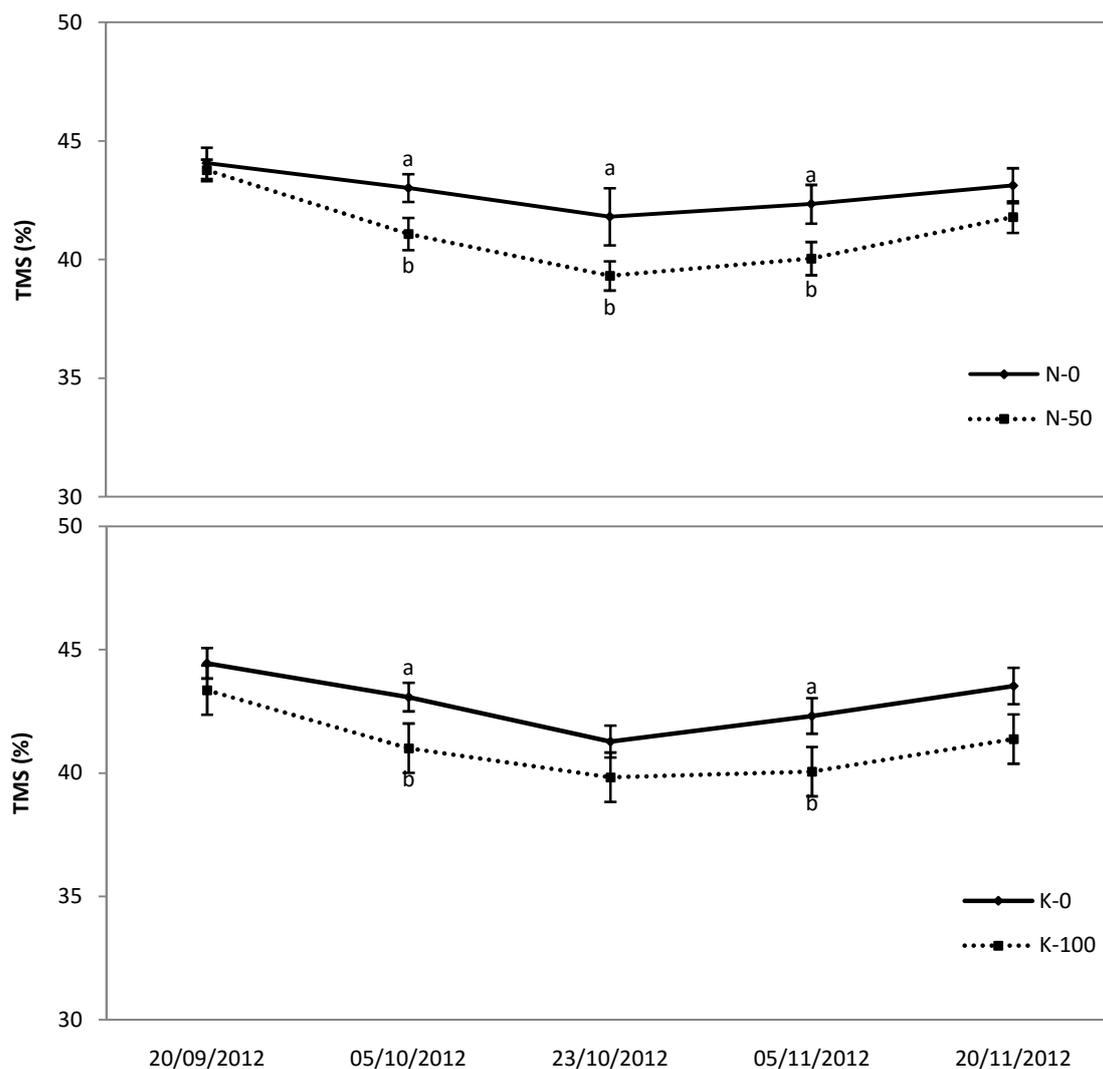


Figure 28. Le taux de la matière sèche des fruits en fonction de la dose des deux types des fertilisants appliqués. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Le tableau 8 montre qu'il existe une interaction entre le potassium et l'azote sur le taux de la matière sèche des fruits en 2011(année ON), dont le potassium a augmenté significativement le taux de la matière sèche lorsqu'il a été appliqué avec l'azote (N50-K100) (Figure 29).

Tableau. 8: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le taux de la matière sèche des fruits durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.

	13/10/2011	02/11/2011	20/09/2012	05/10/12	23/10/2012	05/11/2012	20/11/2012
Irrigation	<0,0001*	0,0060*	<0,0001*	0,0051*	0,0018*	0,0316*	0,0016*
N	0,0522	0,9592	0,5868	0,0377*	0,0356*	0,0193*	0,1257
K	0,6247	0,3439	0,0536	0,0297*	0,2108	0,0209*	0,0158*
Face	<0,0001*	0,0003*	<0,0001*	0,0151*	0,0122*	0,0038*	0,0096*
Irrig x N	0,6933	0,1292	0,2764	0,3980	0,0963	0,3785	0,2855
Irrig x K	0,7636	0,0863	0,7743	0,2629	0,3775	0,9752	0,8343
IrrigxFace	0,5792	0,9258	0,2492	0,5188	0,4829	0,2857	0,6635
N x K	0,0068*	0,0229*	0,9550	0,4360	0,6155	0,6935	0,5763
N x Face	0,7434	0,7073	0,1431	0,3680	0,5675	0,4175	0,9060
K x Face	0,6357	0,9444	0,0819	0,3882	0,3728	0,5771	0,6979

* désigne l'effet significative ou interaction selon le test F.

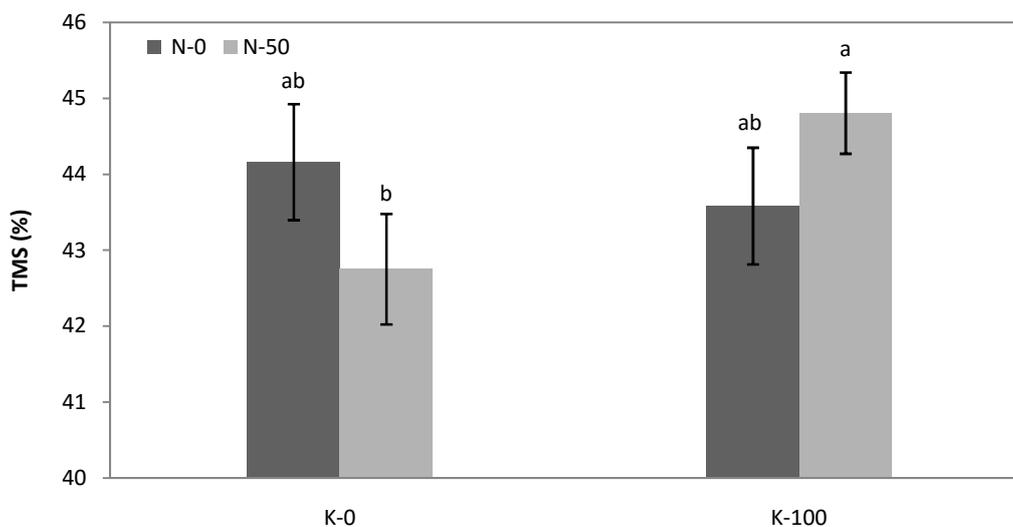


Figure 29. L'effet de l'interaction N*K sur le taux de la matière sèche des fruits. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test Tukey HSD à (P< 0.05). Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.1.4.2. La production des olives

Selon la stratégie d'irrigation appliquée, l'irrigation à 100 % des besoins hydriques (R-100) a donné une production supérieure à celles de l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) pour les deux années de l'étude, en comparant entre les deux années, la production en 2011 a présenté le double de la production de 2012 qui était une année de faible production (OFF). Les mêmes résultats ont été obtenus pour le nombre des fruits par arbre.

La production des olives comme le nombre des fruits par arbre ont été affectés positivement par l'application d'azote dont les valeurs de ces deux paramètres sont supérieures par rapport aux traitements sans application de cet élément avec une différence statistiquement significative.

Comme il est présenté sur le tableau suivante, en 2011 (année ON) l'application du potassium n'a pas eu un effet significatif sur la production et le nombre des fruits par arbre, tandis qu'en 2012 (année OFF), les traitements avec potassium ont donné une production plus élevée par rapport aux traitements sans appliqué cet élément, avec une différence significative (Tableau 9).

Tableau. 9: Le nombre des olive par arbre et la productions des olives (kg ha^{-1}) en fonction des différents traitements d'irrigation, d'azote et du potassium appliqués.

Traitement	Fr Arb ⁻¹ 2011	Fr Arb ⁻¹ 2012	kg ha ⁻¹ (2011)	kg ha ⁻¹ (2012)
Irrigation				
R-100	8407aA	3193aB	11599aA	6300aB
IDC	7451aA	2863aB	10407aA	5694aB
Azote				
0	7202bA	2600bB	10429bA	5300aB
50	8655aA	3456aB	11577aA	6694aB
Potassium				
0	7875aA	2514bB	10896aA	5150bB
100	7982aA	3542aB	11110aA	6844aB

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative ($P < 0,05$) entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t-Student.

Lettres majuscules A et B indiquent la différence statistique significative ($P < 0,05$) entre les deux années de l'étude. Selon le test t-Student.

Le facteur année a influé sur le rendement final des fruits dont la première année 2011 a donné des productions plus élevées que celles obtenues en 2012 avec une différence significative entre les deux années (tableau 10).

Tableau. 10: Les facteurs de signification sur ANOVA pour le nombre des fruits par arbre et le rendement final des fruit par hectare durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.

	Fruits Arbre	kg fruits ha ⁻¹
<i>Irrigation</i>	0,1052	0,0504
<i>N</i>	0,0047*	0,0064*
<i>K</i>	0,1516	0,0370*
<i>Irrigation x N</i>	0,6836	0,2532
<i>Irrigation x K</i>	0,1842	0,4398
<i>N x K</i>	0,8599	0,7933
<i>Année</i>	<0,0001*	<0,0001*
<i>Année x Irrigation</i>	0,4254	0,5139
<i>Année x N</i>	0,4480	0,7748
<i>Année x K</i>	0,2430	0,1021

* désigne l'effet significative ou interaction selon le test F.

5.1.4.3. La production d'huile

Le taux d'huile sur matière sèche du fruit (%) a été influé par le régime d'irrigation appliqué, dont les traitements moins irrigués (IDC) ont présenté un pourcentage d'huile sur matière sèche plus élevé que celui des traitements irrigués avec 100% des besoins hydriques de la plante (R-100) pour les deux années de l'étude, bien que la différence a été significative seulement pour l'année 2012. L'application d'azote a eu un effet négatif sur l'accumulation d'huile dans le fruit, dont les traitements sans application de cet élément (N-0) ont donné des valeurs plus élevés que les traitements (N-50), pour les deux années d'étude avec une différence statistiquement significative, tandis que le potassium n'a pas eu un effet sur ce paramètre (Tableau 11).

La stratégie d'irrigation appliqué a eu un effet positif sur la production final d'huile par hectare dont le R- 100 a présenté des productions supérieurs à ceux de l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) cependant la différence n'était pas significative.

Ce paramètre a eu une réponse positive pour les deux types de fertilisant appliqués l'azote comme le potassium dont l'application de ces deux éléments nutritifs augmente la production final d'huile comme le montre le tableau 11.

Tableau. 11: Le rendement de l'huiles sur matiere seche de fruits (%) et la production finale (kg ha⁻¹) en fonction des differents traitements d'irrigation, d'azote et du potassium apliqués.

Traitement	Rdt (% sur MS)		kg ha ⁻¹ (2011)	kg ha ⁻¹ 2012
	2011	2012		
Irrigation				
R-100	48,6aA	49,3bA	2819,6aA	1360,3aB
IDC	50,1aA	50,9aA	2640,7aA	1335,9aB
Azote				
0	50,4aA	50,9aA	2606,5aA	1200,1aB
50	48,3bA	49,4bA	2853,9aA	1496,08aB
Potassium				
0	49,4aA	50,9aA	2727,6aA	1178,8bB
100	49,3aA	49,4bA	2732,7aA	1517,4aB

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t-Student.

Lettres majuscules A et B indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les deux années de l'étude. Selon le test t-Student.

Le tableau 12 regroupe les facteurs de signification du pourcentage de l'huile sur matière sèche des fruits et le rendement final de l'huile par hectare, dont le facteur année a eu un effet claire sur ce dernier paramètre dont l'année 2011 a présenté des rendements plus élevés que 2012 cependant le pourcentage de l'huile sur la matière sèche des fruit n'a pas été influencé par ce facteur.

Tableau. 12: Les facteurs de signification sur ANOVA pour pourcentage de l'huile sur matière sèche des fruits et le rendement final de l'huile par hectare durant les deux années de l'expérience, 2011 et 2012.

	Rdt (% sur MS)	kg d'huile ha ⁻¹
<i>Irrigation</i>	0,0041*	0,4214
<i>N</i>	0,0012*	0,0351*
<i>K</i>	0,1147	0,1765
<i>Irrigation x N</i>	0,6667	0,4560
<i>Irrigation x K</i>	0,8235	0,1670
<i>N x K</i>	0,3542	0,5794
<i>Année</i>	0,1308	<0,0001*
<i>Année x Irrigation</i>	0,9600	0,5404
<i>Année x N</i>	0,5506	0,8472
<i>Année x K</i>	0,1904	0,1895

* désigne l'effet significative ou interaction selon le test F.

L'orientation de plantation de la haie a influé significativement sur tout les composants du rendement, dont la face expose au soleil (S-E) a donné des valeurs plus élevés que l'autre face moins ensoleillée (N-O) pour les deux années de l'expérience, résultats confirmés par les analyses statistiques qui montrent des différences significatives, comme il est présenté dans le tableau 13.

Tableau 13: Les paramètres de production en fonction des deux faces de la haie.

Face	Fruits (kg arbre ⁻¹)		Fruits arbre ⁻¹		Rdt (% sur MF)		Rdt (% sur MS)		Huile (kg ha ⁻¹)	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
<i>S-E</i>	5,8a	3,3a	3709,7a	1619,4a	25,3a	22,7a	51,2a	51,6a	1478,0a	754,1a
<i>N-O</i>	5,1b	2,8a	3853,6a	1400,9a	23,3a	21,1b	47,1b	48,0b	1187,7b	589,5b
<i>Prob<F</i>	0,0124*	0,1145	0,6164	0,2149	0,0507	0,0136*	<0,0001*	<0,0001*	0,0011*	0,0360*

* désigne l'effet significative ou interaction selon le test F.

Lettres minuscules **a** et **b** indiquent la différence statistique significative ($P<0,05$) entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t-Student.

5.1.4.4. Efficience de l'irrigation (la production d'huile par rapport à la quantité d'eau appliquée)

La production d'huile par un mètre cube d'eau appliqué par l'irrigation était plus élevée aux traitements de l'irrigation déficitaire contrôlé (IDC) que l'autre stratégie de l'irrigation à 100% des besoins de la plante, avec une différence statistiquement significative (Figure 30).

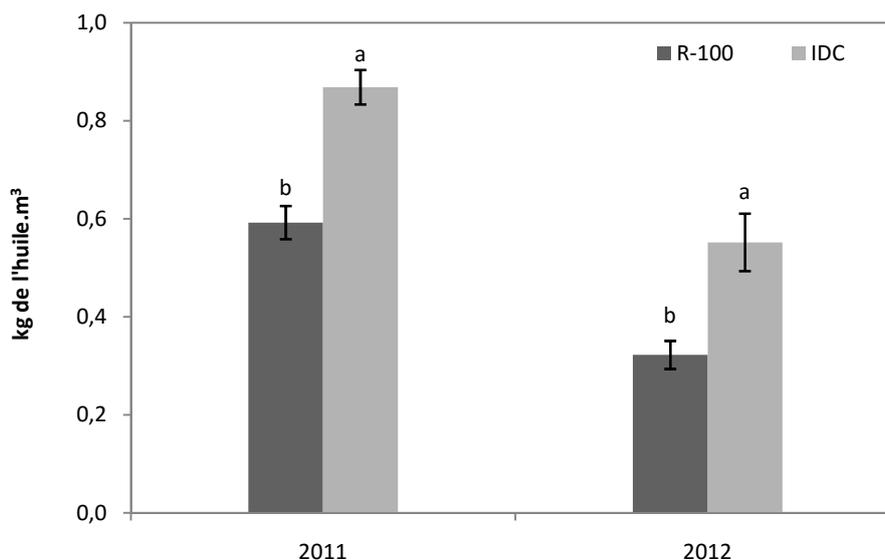


Figure 30. L'efficience d'irrigation en fonction des deux types de stratégies appliqués.

Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.1.4.5. Efficience de production de la frondaison de l'arbre

Ce paramètre a été calculé en divisant la production des olives par arbre en (kg) sur le volume de la frondaison de cet arbre en (m^3), qui a été influé par la stratégie d'irrigation appliquée, dont l'irrigation déficitaire contrôlée (IDC) a présenté des valeurs supérieures par rapports à l'irrigation avec 100 % des besoins de l'arbre (R-100) pour les deux années de l'expérience, cependant cette supériorité n'était significative qu'en 2011 (année ON) (Figure 31).

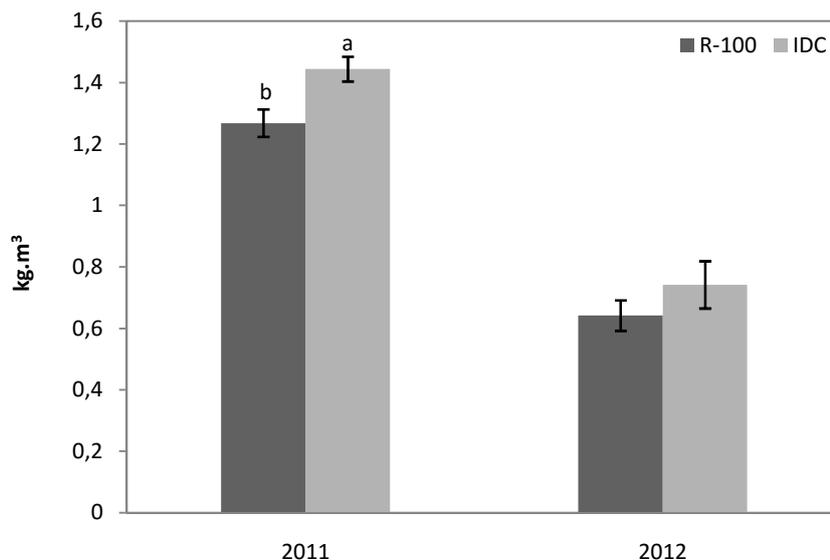


Figure 31. Efficacité de production de la frondaison de l’arbre en fonction de la stratégie d’irrigation appliquée. Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l’erreur standard de la moyenne.

Les deux types des éléments appliqués le N comme le K n’ont pas eu un effet significatif sur ce paramètre durant les deux années de l’étude (Figure 32). Le facteur année a eu un effet significatif sur ce paramètre dû à la différence de la production entre les deux années de l’expérience, dont en 2011 on a trouvé une efficacité de production de la frondaison plus élevée que l’année 2012 qui était une année de faible production.

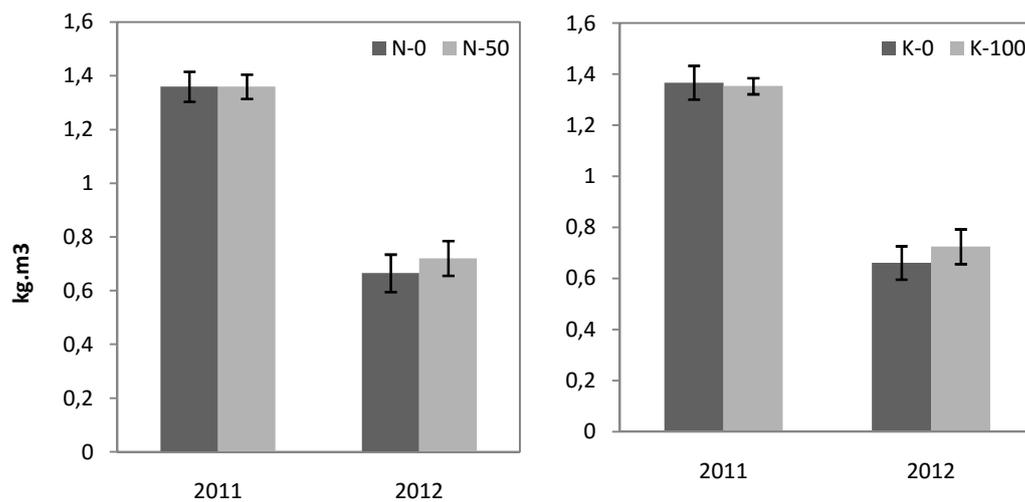


Figure 32. Efficacité de production de la frondaison de l'arbre en fonction des deux éléments nutritifs appliqués (N et K). Les lettres minuscules différentes indiquent la différence significative entre les traitements, selon le test t-Student. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.2. Contribution à l'étude du bilan d'Azote en olivier super intensif

5.2.1. 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- NO₃⁻) plus élevé par rapport aux traitements sans application de cet élément (tableau 14).

Tableau. 14: 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	Δ N (ppm)		Δ N (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 de 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'olivieraie qui est positif pour les trois années d'étude dans le cas du N-50 et il reste presque constant dans le N-0 (Figure 33).

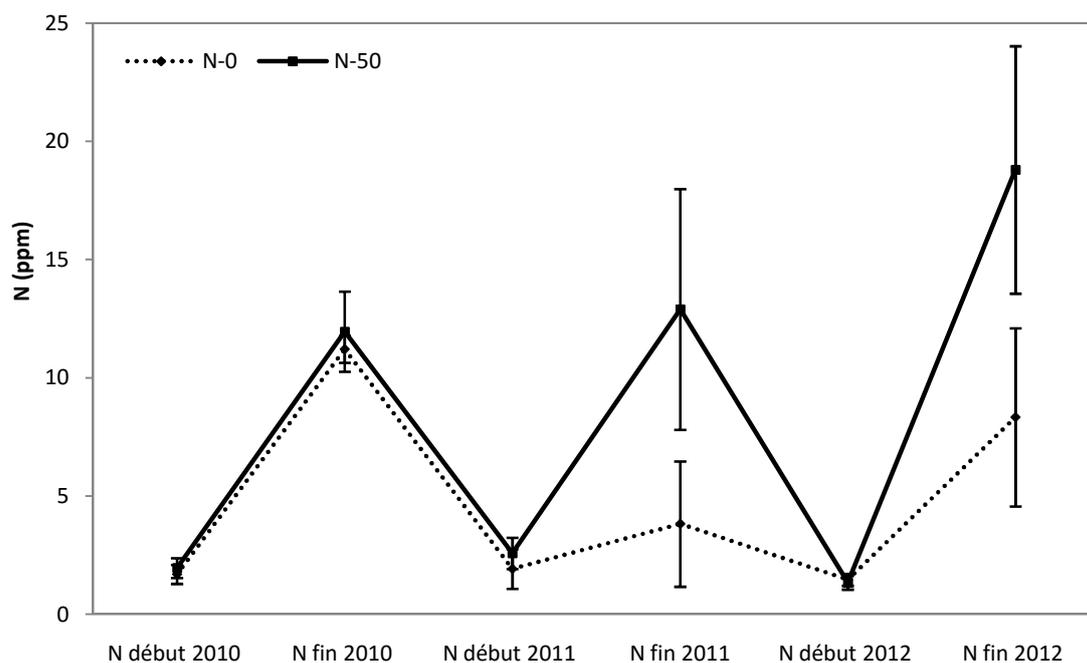


Figure 33. L'évolution de la teneur en azote inorganique (N-NO₃⁻) du sol durant les trois années d'étude. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.2.2. Les entrées d'azote

5.2.2.1. L'azote appliqué par fertilisation

Les quantités de l'azote appliqué pour les traitements (N-50) étaient de 53, 55 et 55 kg ha⁻¹ respectivement pour 2010, 2011 et 2012 (Tableau 15).

Tableau. 15: La répartition des quantités d'azote inorganique (kg ha⁻¹) appliqué par fertigation pour les trois années d'étude.

Mois	2010	2011	2012
Avril	21	-	-
Mai	21	22	8
Juin	-	17	24
Juillet	-	-	14
Aout	-	-	-
Septembre	11	16	9
Octobre	-	-	-
Total	53	55	55

5.2.2.2. Apports par eaux d'irrigation

La quantité moyenne d'azote apporté 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 appliqué, (Tableau 16).

Tableau. 16: la quantité d'azote inorganique (N-NO₃⁻) apportée par les eaux d'irrigation au sol au cours des trois années d'étude.

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

5.2.2.3. Apports par eaux de pluie

La quantité d'azote apporté par eaux de pluie varie entre 5 et 9 kg ha⁻¹an⁻¹ durant les trois années de l'étude (Tableau 17). Ces valeurs sont similaires aux valeurs obtenues par Roda et al, (2007), qui a trouvé que l'azote total issu des eaux de pluie varie entre 6 et 10 kg ha⁻¹an⁻¹ sur des forets méditerranéens de la zone de Barcelone (nord-est de l'Espagne) sans changements significatifs durant une période de 16 années.

Tableau 17: 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

5.2.2.4. 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 pareil à la quantité d'azote provenant de la minéralisation de cette matière organique, dont les valeurs sont 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 18).

Tableau. 18: 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

5.2.3. Les sorties d'azote

5.2.3.1. Pertes par lixiviation

Comme il est indiqué sur la figure 34, les apports d'eau représentés par la précipitation efficace 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).

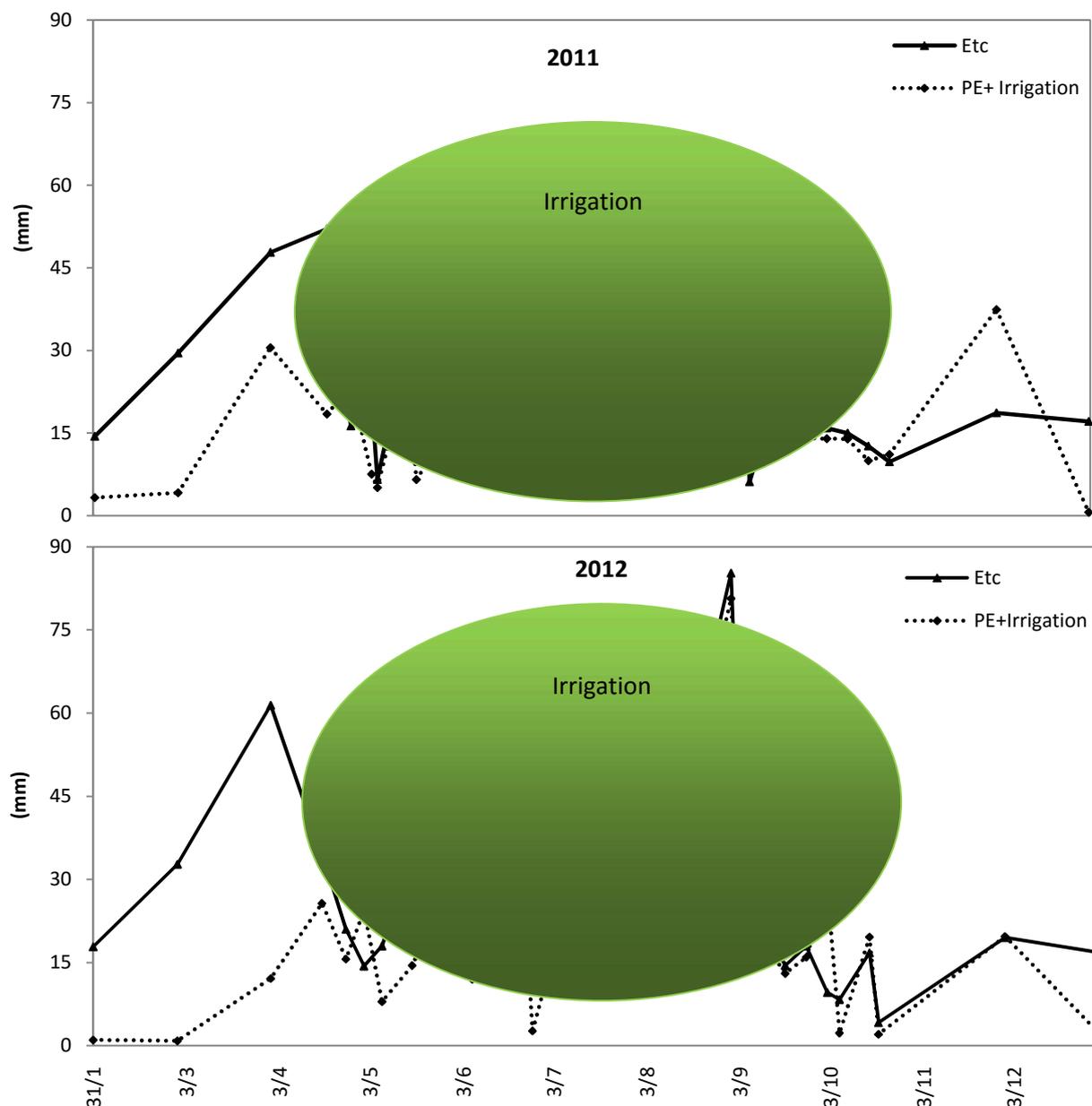


Figure 34. Evolution de la (précipitation+irrigation) et l'évapotranspiration de l'olivier durant les deux années de l'étude.

L'humidité du sol (HS) durant les périodes d'irrigation (exprimée en mm) était toujours inférieure à la capacité au champ (CC) (Figure 35), 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 (Vallejo *et al.*, 2005).

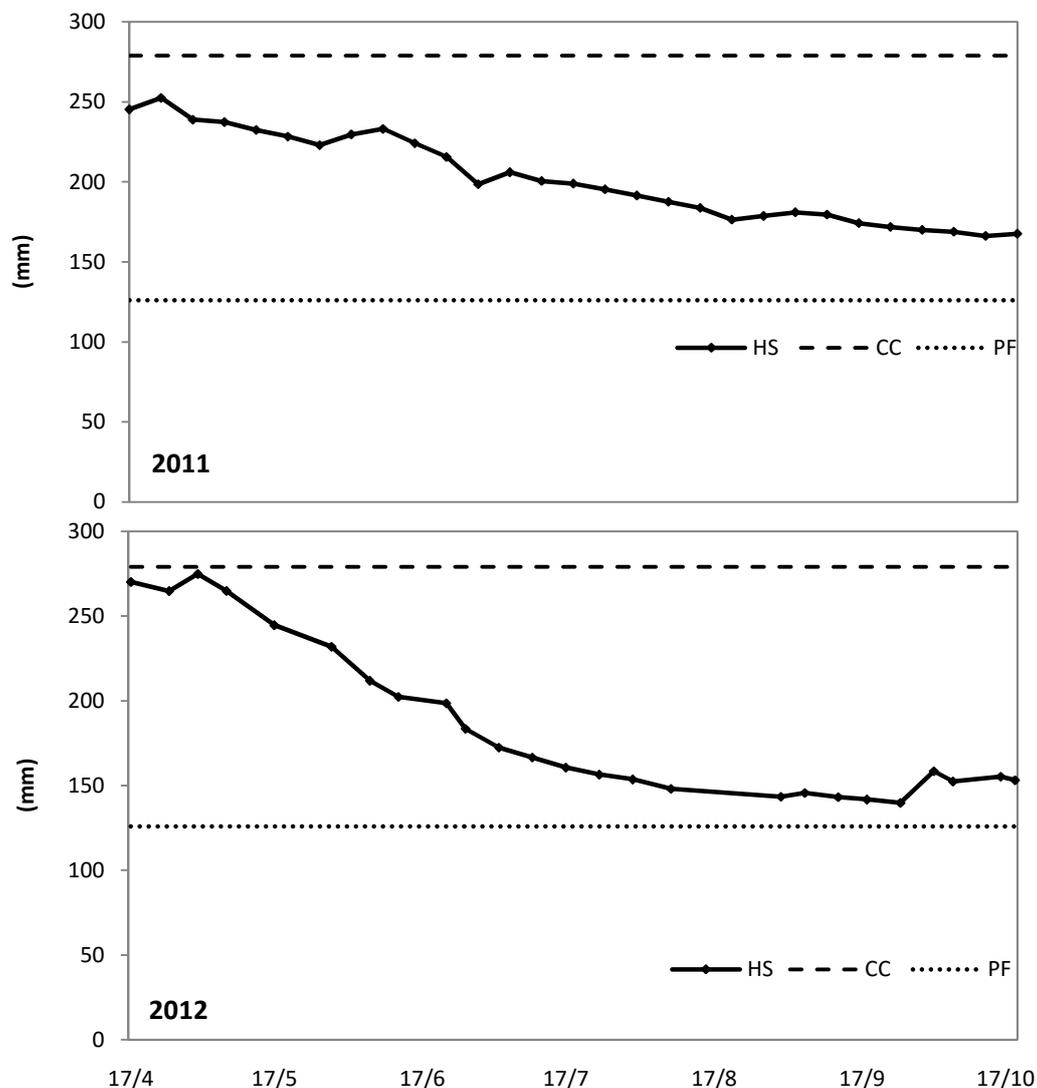


Figure 35. Evolution de l'humidité du sol durant les périodes d'irrigation.

5.2.3.2. Azote extrait par la récolte des olives et le bois de la taille

La quantité d'azote exporté avec les olives récoltées était plus importante sur 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 19). Cependant, il y a une différence entre les années due à l'alternance de productions 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 extraits 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.

Tableau. 19: L'azote exporté par la recollection des olives et l'opération de la taille des arbres (kg ha⁻¹).

Traitement	La recollection des olives			La taille		
	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
<i>Prob<F</i>				<i>0,0002*</i>	<i>0,0076*</i>	<i>0,0065*</i>

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les traitements. Selon le test t-Student.

5.2.3.3. 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 a⁻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 20).

Tableau. 20: La quantité d'azote perdue par le processus de dénitrification (kg ha⁻¹).

Traitement	2011	2012
N-0	0,87b	0,37 a
N-50	1,77a	0,68 a
<i>Prob<F</i>	<i>0,0391*</i>	

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative (P<0,05) entre les traitements. Selon le test t-Student

5.2.4. Le bilan d'azote

Le tableau 21 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 positive 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 ya 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.

Tableau. 21: Le bilan d'azote dans les deux dernières années (2011, 2012) en (kg ha⁻¹).

Traitement	$\Delta N_{\text{inorganique}}$	Intrants					Extrants			N_{bilan}
		$N_{\text{fertilisation}}$	N_{pluie}	$N_{\text{irrigation}}$	$N_{\text{minéralisation}}$	$N_{\text{lixiviation}}$	N_{taille}	N_{fruit}	$N_{\text{dénitrification}}$	
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.

$N_{\text{fertilisation}}$: Azote appliqué par fertilisation.

N_{pluie} : Azote apporté par pluies.

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

$N_{\text{minéralisation}}$: Azote provenant de la minéralisation de la matière organique.

$N_{\text{lixiviation}}$: azote perdu par lessivage.

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

N_{fruit} : Azote exporté les olives récoltées.

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

N_{bilan} : (intrants – extrants) - $\Delta N_{\text{inorganique}}$.

5.3. Une réévaluation des seuils d'azote dans les feuilles de l'olivier conduit en système super-intensif pour améliorer le rendement et la qualité de l'huile.

5.3.1. Les conditions météorologiques et l'irrigation

La pluviométrie moyenne durant la période entre Avril et Octobre était de 192 mm sur les quatre années d'études. Le cumul de l'évapotranspiration de référence (ET_o) était de 912 mm. L'irrigation annuelle était en moyenne de 412 mm pour le traitement de R-100 et 246 mm pour le traitement IDC (Tableau 22). Les données présentées dans le tableau 22 sont la moyenne mensuelle et l'intervalle de la variation pour chaque mois qui présentent des conditions similaires entre les années. Le coefficient réel de la culture K_c pour toute la saison a été calculée en fonction de la relation ET_o / (irrigation + pluie efficace). Le K_c pour R-100 a oscillé entre 0,47 et 0,54 et entre 0,31 et 0,36 pour IDC.

Tableau. 22: La moyenne et l'intervalle de variation du ET_o et pluviométrie mensuelle, l'irrigation et le K_c réel pour les traitements R-100 et IDC.

	ET _o (mm)		Pluviométrie (mm)		R-100 (mm)		IDC (mm)	
	Moyenne	Variation	Moyenne	Variation	Moyenne	Variation	Moyenne	Variation
Avril	100,3	95-110	31,3	15-52	20	11-37	16,7	7-35
Mai	145,0	137-151	34,3	13-45	59,3	43-77	48,7	34-64
Juin	160,3	151-173	30,7	6-70	71	61-83	64,3	51-80
Juillet	174,7	170-183	9,7	2-21	82,7	70-90	30	24-33
Aout	162,0	154-166	9,3	0-24	97	77-111	24,3	18-29
Septembre	105,7	101-114	29,7	6-45	65,7	63-69	45,7	35-54
Octobre	64,3	54-73	46,7	11-92	16,3	3-34	16,7	4-34
Total	912,3		191,7		412		246,4	
K_c					0,52	0,47-0,54	0,34	0,31-0,36

5.3.2. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur la concentration d'azote dans la feuille

L'application d'azote a considérablement augmenté le contenu de la feuille en N. (Tableau 24). Les traitements N-0 ont présenté une baisse continue du niveau d'azote aux feuilles à travers les quatre années de l'expérience avec des valeurs de 9,8 % et 11,5 % pour R-100 et IDC respectivement. Par contre les traitements N-50 ont présenté une augmentation du contenu du N aux feuilles de 7,8% et 5 % pour R-100 et IDC successivement. L'effet des deux interactions (Année * N) et (Année * K) (Tableau 31) indique que le contenu d'azote diminue et varie entre années aux traitements conduites sans application des deux éléments nutritifs N et K. (Figure 36).

La teneur des feuilles en azote étaient dans l'intervalle adéquate par rapport aux normes d'interprétation du contenu d'azote au feuilles, (Tableau 23).

Tableau. 23: La concentration du N dans la feuille en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (%) (Moyenne).

	2010	2011	2012	2013
Irrigation				
R-100	1,99	1,95	2,01	2,01
IDC	1,97	2,00	2,00	1,91
N				
0	1,93	1,84	1,83	1,75
50	2,03	2,12	2,18	2,16
K				
0	1,92	1,94	1,9	1,94
100	2,04	2,01	2,11	1,97

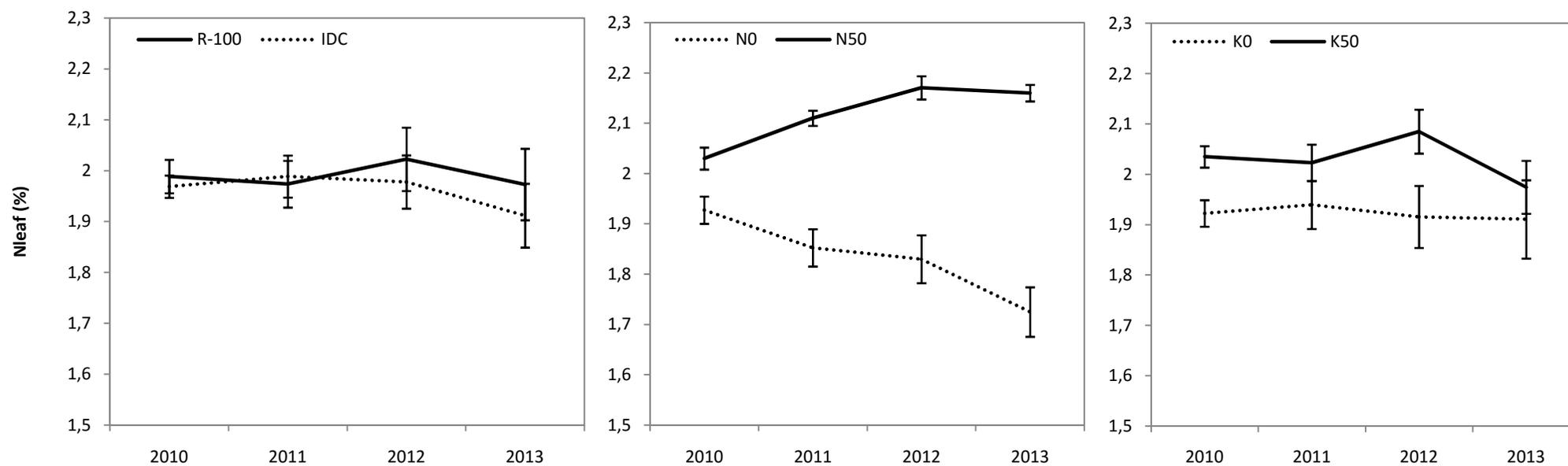


Figure 36. L'évolution de la concentration d'azote dans la feuille durant les quatre années de l'étude pour les traitements appliqués, l'azote est en diminution continue dans les traitements N-0 et K-0. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Cependant, selon l'analyse multivariée (Tableau 31), indique qu'il existe une interaction entre le N et le K pour la concentration d'azote dans la feuille dont l'application du potassium a contribué au maintien du contenu d'azote aux feuilles sur les traitements conduits sans application du N (N-0) (Figure 37).

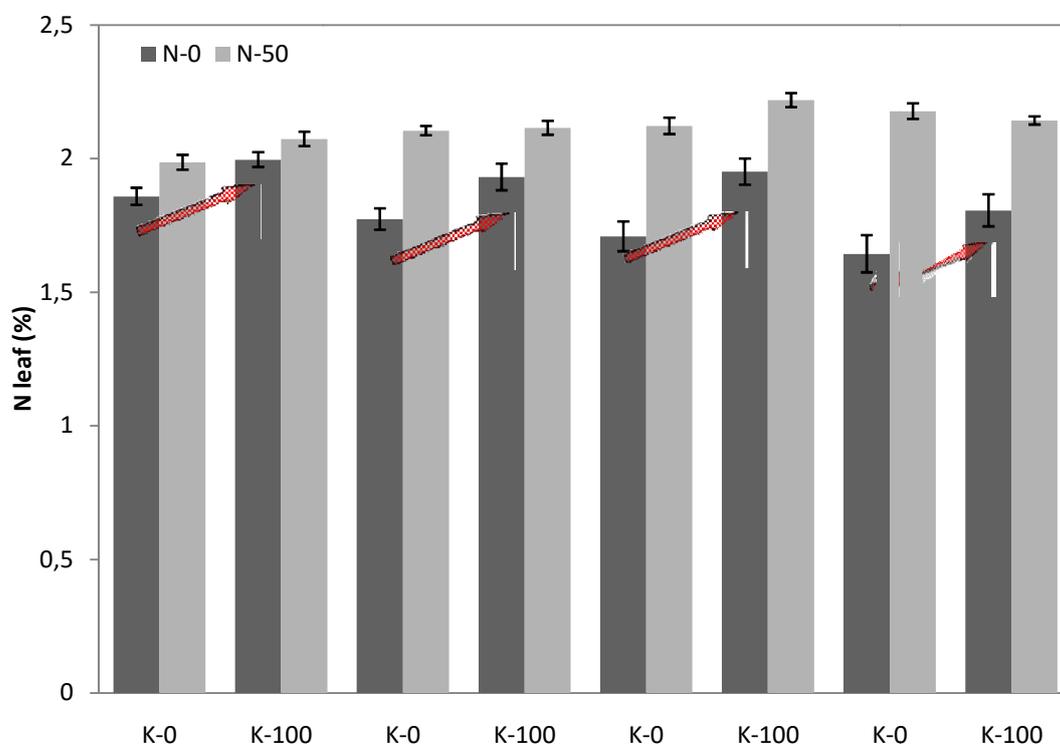


Figure 37. Histogramme de l'interaction N*K. Nleaf diminue progressivement en K-0 vs K-100. En N-0 Nleaf dépend à la dose du K appliqué. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Tableau. 24: L'effet de l'irrigation et fertilisation azoté et potassique sur la concentration d'azote dans les feuilles (%). (Moyenne \pm l'erreur standard).

Irrigation	N	K	2010	2011	2012	2013
R-100						
	0	0	1,83 \pm 0,05	1,72 \pm 0,05	1,67 \pm 0,08	1,59 \pm 0,09
	0	100	2,04 \pm 0,04	1,98 \pm 0,09	2,03 \pm 0,05	1,9 \pm 0,06
	50	0	1,96 \pm 0,02	2,13 \pm 0,01	2,16 \pm 0,06	2,23 \pm 0,01
	50	100	2,12 \pm 0,04	2,07 \pm 0,03	2,24 \pm 0,03	2,17 \pm 0,02
IDC						
	0	0	1,89 \pm 0,04	1,83 \pm 0,06	1,75 \pm 0,08	1,7 \pm 0,11
	0	100	1,95 \pm 0,02	1,88 \pm 0,05	1,87 \pm 0,07	1,71 \pm 0,09
	50	0	2,01 \pm 0,05	2,09 \pm 0,03	2,09 \pm 0,02	2,12 \pm 0,04
	50	100	2,03 \pm 0,02	2,17 \pm 0,02	2,2 \pm 0,04	2,12 \pm 0,01

Une autre interaction entre l'irrigation et le K (Tableau 31) a influé sur ce paramètre dont les traitements conduits en conditions idéales R-100 et K-100 ont présenté des concentrations du N dans les feuilles plus élevées durant les quatre années de l'expérience. Cet effet a été plus claire sur les années OFF dont l'exportation du potassium par la récolte des olives est plus faible que les années ON (Figure 38).

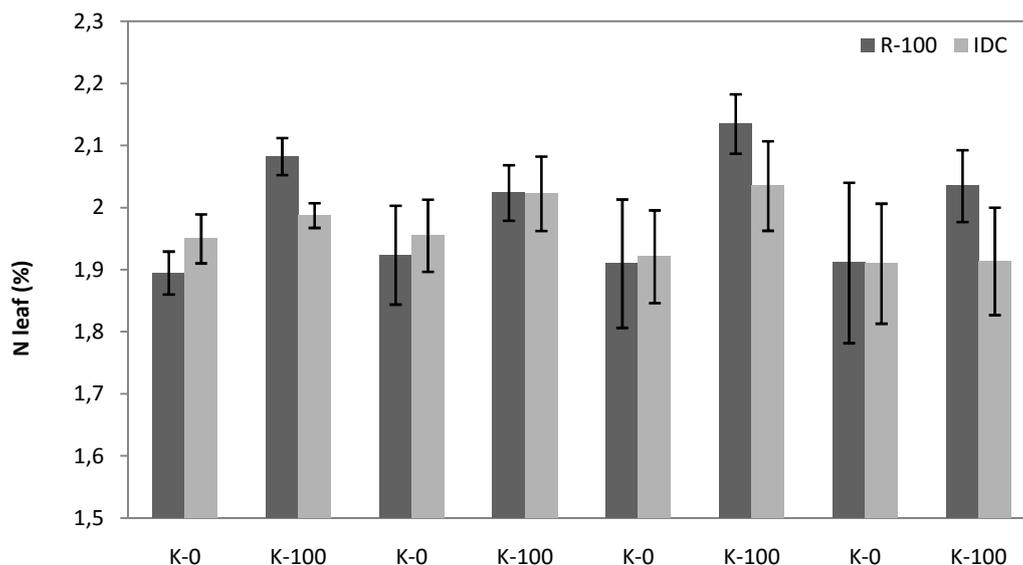


Figure 38. Histogramme de l'interaction Irrigation*K. Nleaf augmente sur les traitements R-100 et K-100. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.3.3. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur le rendement de l'huile.

La production de l'huile n'a pas été affectée par la stratégie d'irrigation appliquée dont on n'a pas enregistré des différences significatives entre les deux traitements durant les quatre années de l'expérience. Malgré que le traitement R-100 ait présenté une supériorité légère. L'application d'azote a augmenté les performances productives ainsi que l'effet accumulatif du potassium a influé positivement sur ce paramètre. (Figure 39), (Tableau 25).

Tableau. 25: Effet d'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur le rendement d'huile (kg ha⁻¹) (Moyen ± l'erreur standard).

Irrigation	N	K	2010	2011	2012	2013
R-100						
	0	0	1310,7±122,5	2675,9±301,7	931,6±161,4	1972,7±520,3
	0	100	834,9±236	2756,1±238,7	1641,4±198,8	1882,8±223,9
	50	0	1078,3±175,2	2605,7±489	1451,4±73,5	2098,2±331
	50	100	1770,1±213,4	3240,8±147,1	1417±332,1	2282,6±279,7
IDC						
	0	0	818,1±203,7	2628±165,2	894,4±172,8	2220±220,5
	0	100	809,5±106,8	2366±207,2	1333,5±168,8	1874,2±205,9
	50	0	1172,1±345,8	3000,9±191,2	1438±326	2291,6±252
	50	100	1528,4±334	2568,1±193,9	1678±324,8	1964,4±180,3

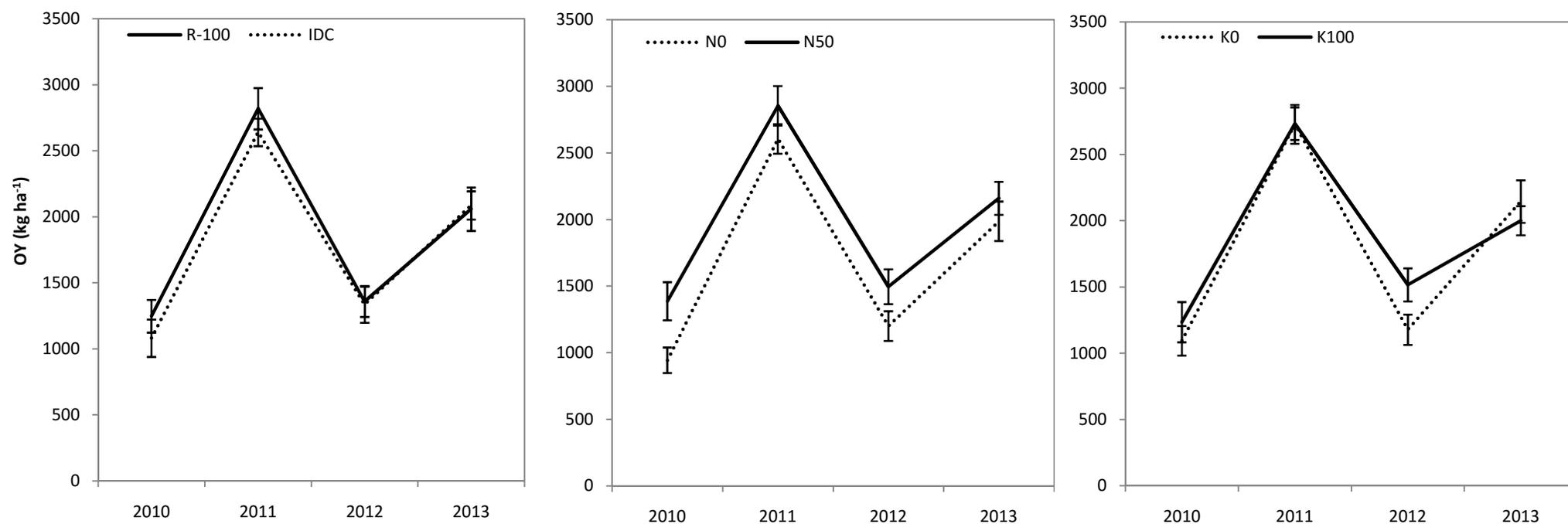


Figure 39. L'évolution de la production de l'huile durant les quatre années de l'expérience en fonction des différents traitements appliqués. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

L'interaction triple Année*N*K (Tableau 31) sur la production de l'huile montre que l'application du potassium augmente ce paramètre sur les traitements conduits sans application d'azote durant les années classés OFF (Figure 40).

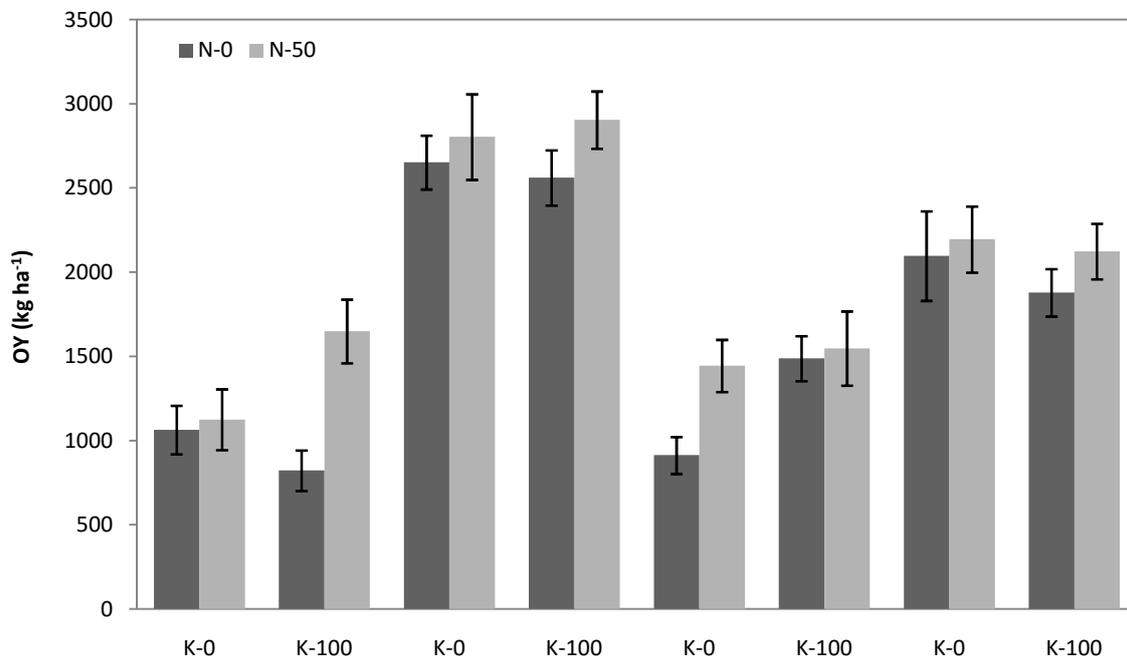


Figure 40. Effet de l'interaction Année*N*K sur la production finale d'huile, le rendement d'huile augmente significativement avec l'application du K sur les traitements N-0 et pour les années OFF. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

L'ensemble des résultats suggèrent que l'azote issu de la minéralisation de la matière organique du sol est insuffisant pour obtenir des rendements élevés sur des parcelles non fertilisées N-0 (Tableau 26).

Tableau. 26: Le rendement de l'huile (kg ha^{-1}) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).

	2010	2011	2012	2013
Irrigation				
R-100	1231,7a	2819,6a	1360,3a	2113,3a
IDC	1082,0a	2640,8a	1336,0a	2087,6a
N				
0	943,3	2606,5	1200,2	2036,9
50	1379,7	2853,9	1496,1	2159,2
K				
0	1067,8	2727,6	1178,8	2205,7
100	1235,7	2732,8	1517,4	2001,0

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t- Student à ($P < 0,05$).

5.3.4. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur la croissance végétative

La croissance végétative, mesurée comme la différence entre le volume de frondaison avant et après la taille montre une relation étroite avec le poids des résidus de la taille (PW) ($R^2 = 0,87$). La croissance annuelle des arbres, estimée par PW, a été affectée par l'irrigation déficitaire dont cette dernière a présenté des valeurs plus basses par rapport à l'irrigation complète (R-100) (Tableau 27).

Tableau. 27: Le poids des résidus de la taille (kg arbre⁻¹) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).

	2010	2011	2012	2013
Irrigation				
R-100	9,4a	5,8a	8,6a	7,8a
IDC	7,0b	3,6b	6,3b	5,5b
N				
0	7,4	4,4	6,8	5,5
50	8,9	5,1	8,1	7,7
K				
0	8,0a	4,8a	7,2a	6,8a
100	8,4a	4,7a	7,7a	6,5a

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t- Student à (P<0,05).

Une interaction Année*N (Tableau 31) indique une diminution significative au fil des quatre années de l'étude pour les traitements N-0, avec une réponse différente de la croissance végétative entre les traitements N-0 et N-50. (Figure 41), (Tableau 28).

Tableau. 28: L'effet d'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur la croissance végétative exprimée par le poids des résidus de la taille (kg arbre⁻¹) (Moyen ± l'erreur standard).

Irrigation	N	K	2010	2011	2012	2013
R-100						
	0	0	7,1±1,56	5,42±1,71	7,43±1,77	6,92±1,14
	0	100	9,85±0,36	5,99±0,79	7,82±1,04	7,33±1,19
	50	0	8,88±0,34	5,98±1,29	9,31±1,8	8,93±1,4
	50	100	9,93±0,74	6,5±0,57	8,99±0,93	7,83±0,55
IDC						
	0	0	5,65±0,98	3,24±0,36	4,16±0,92	4,07±0,55
	0	100	6,08±0,28	3,04±0,22	6,66±0,84	4,06±0,38
	50	0	7,53±1,22	4,55±0,37	7,91±1,31	7,37±0,38
	50	100	7,63±1,4	4,03±0,89	5,88±0,82	6,63±0,75

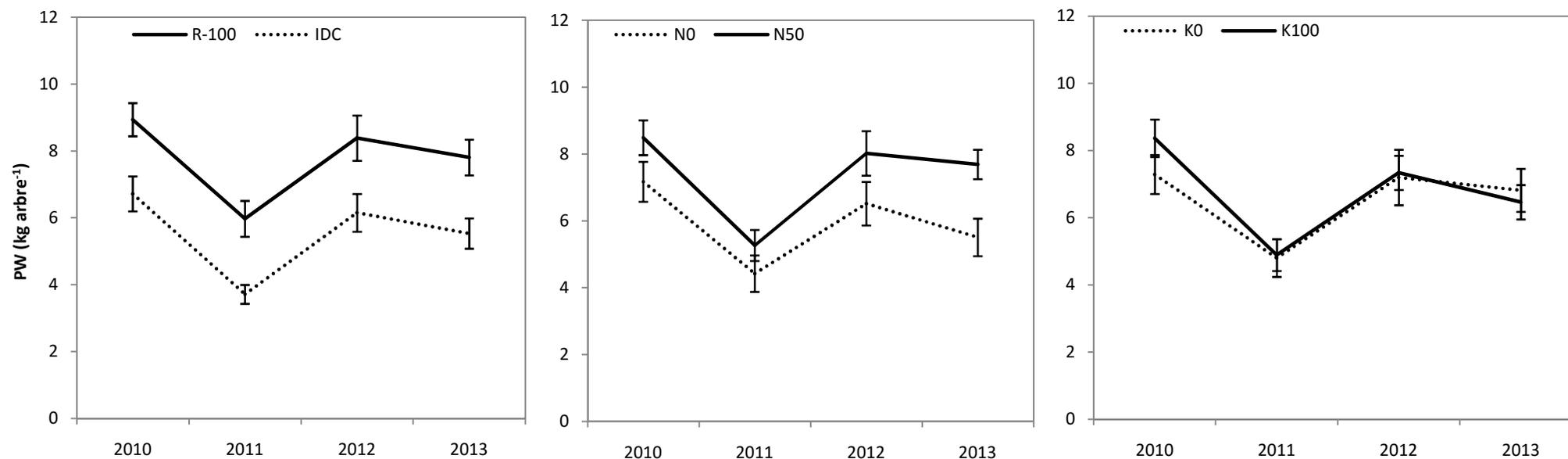


Figure 41. L'évolution de la croissance végétative durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.3.5. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur l'indice d'alternance (IA)

L'indice de l'alternance (IA) a été apparemment lié à l'effet de l'année, dont une baisse progressive de ce dernier a été enregistrée au cours des quatre années pour les trois facteurs étudiés (Figure 43). Une interaction triple Année*N*K (Tableau 31) a influé sur la réponse de ce paramètre, dont l'application d'azote et du potassium a contribué à la diminution de l'IA durant le période de l'expérience (Figure 42). Ce paramètre reste indifférent aux traitements d'irrigation appliqués dont on pas enregistré des différences significatives entre les deux stratégies appliquées.

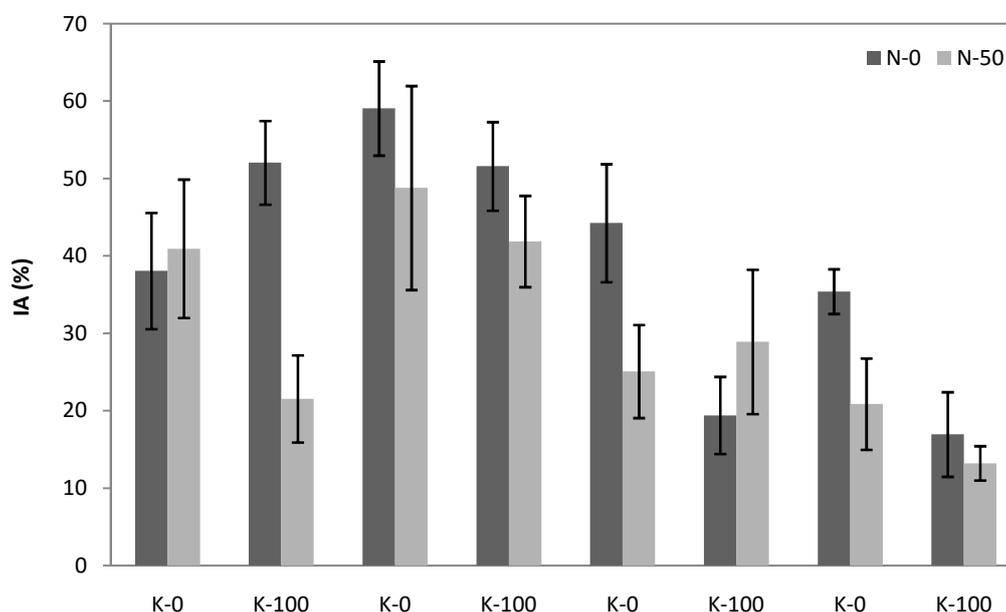


Figure 42. Effet de l'interaction Année*N*K sur l'indice d'alternance de la production, IA diminue par l'application des deux éléments nutritifs N et K. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Le tableau 29 regroupe les valeurs de l'indice d'alternance annuelle pour les différents traitements appliqués durant les quatre années de l'étude.

Tableau. 29: l'effet de l'irrigation et de la nutrition azotée et potassique sur l'indice d'alternance de la production IA (%) (Moyen \pm l'erreur standard).

Irrigation	N	K	2010	2011	2012	2013
R-100						
	0	0	24 \pm 7	57 \pm 9	44 \pm 11	37 \pm 2
	0	100	55 \pm 1	55 \pm 6	22 \pm 7	13 \pm 4
	50	0	38 \pm 14	42 \pm 21	21 \pm 6	26 \pm 9
	50	100	19 \pm 6	50 \pm 9	36 \pm 16	14 \pm 3
IDC						
	0	0	52 \pm 10	61 \pm 9	44 \pm 12	34 \pm 5
	0	100	50 \pm 6	48 \pm 10	17 \pm 8	21 \pm 10
	50	0	44 \pm 14	56 \pm 18	30 \pm 11	16 \pm 8
	50	100	24 \pm 10	34 \pm 7	22 \pm 11	12 \pm 3

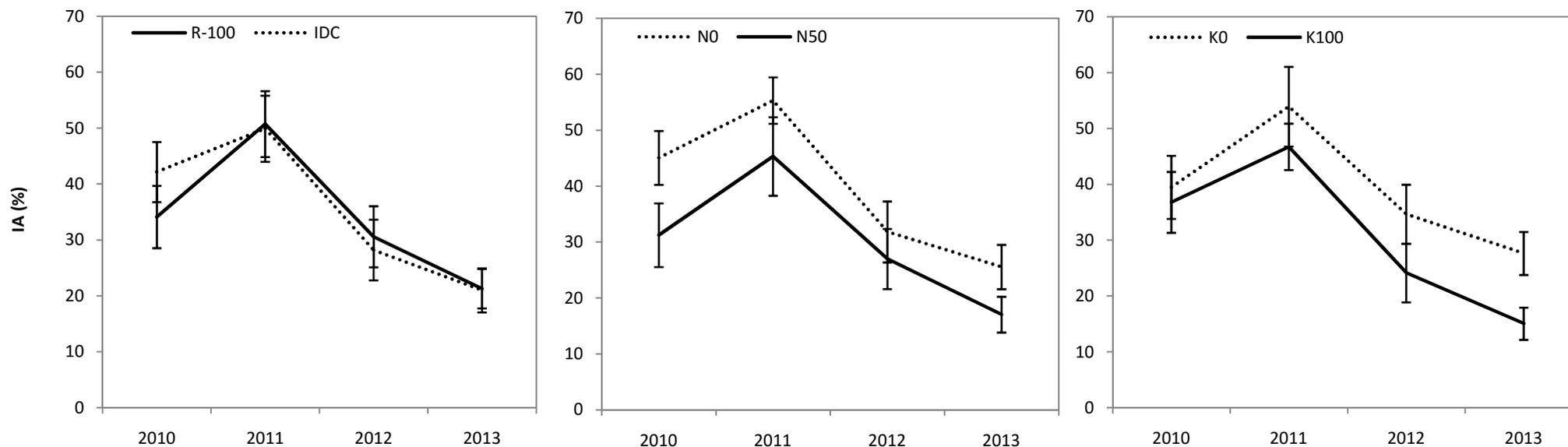


Figure 43. L'évolution de l'indice d'alternance de la production durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

5.3.6. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur l'indice de récolte (HI)

L'indice de récolte a varié entre années et a été significativement affectée par l'irrigation, étant plus élevé dans les traitements IDC qu'en traitements R-100, principalement liée à la réduction de la croissance végétative promu par l'irrigation déficitaire. Le potassium n'a pas affecté ce paramètre. Il existe une interaction Année*N (Tableau 31) dont l'azote a agi négativement sur ce paramètre durant les années classées OFF. Cela est dû à la croissance végétative qui a été favorisés par l'application de cet élément. (Figure 44) (Tableau 30)

Tableau 30: L'indice de la récolte (%) exprimé par (OY/PW) en fonction de la stratégie d'irrigation et la dose des deux types des éléments nutritifs appliqués (N et K) durant les quatre années de l'étude (Moyenne).

	2010	2011	2012	2013
Irrigation				
R-100	13,5b	57,5b	17,3b	29,0b
IDC	16,3a	75,1a	24,4a	41,4a
N				
0	14,4	70,3	20,1	42,7
50	15,3	62,2	21,7	28,6
K				
0	14,9a	67,2a	19,5a	37,2a
100	14,9a	65,3a	22,3a	33,8a

Lettres minuscules a et b indiquent la différence statistique significative entre les traitements des différents facteurs étudiés. Selon le test t-Student à (P<0,05).

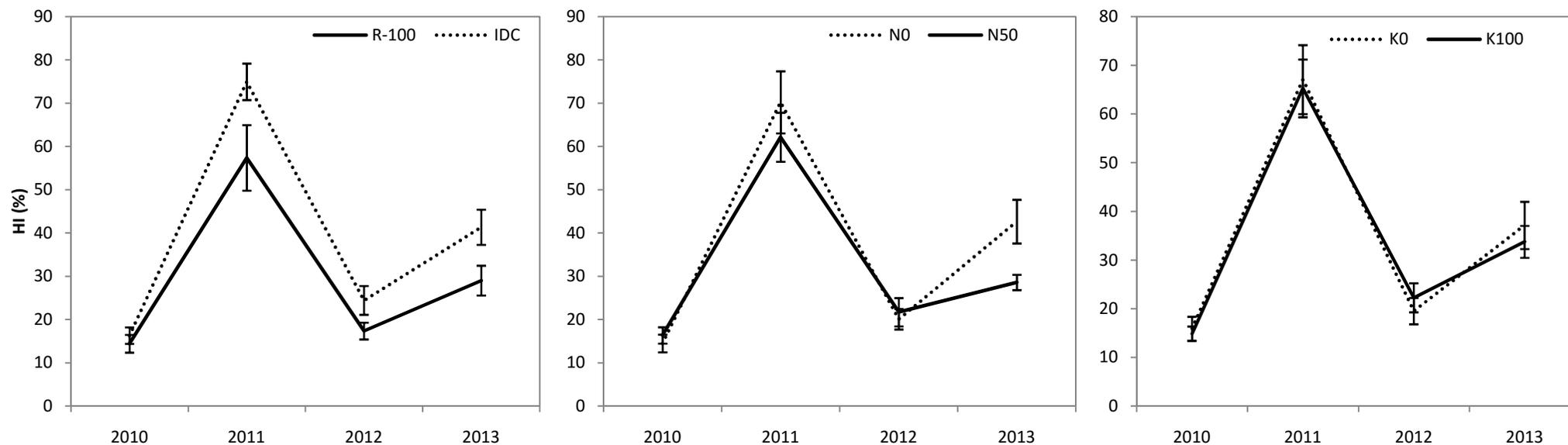


Figure 44. L'évolution de l'indice de la récolte durant le période de l'expérience en fonction des facteurs étudiés. Les barres verticales représentent l'erreur standard de la moyenne.

Le tableau 31 regroupe les degrés de signification de l'effet de l'irrigation, la nutrition azotée et potassique et l'année et leurs interaction sur les paramètres productive et végétative étudiés (OY, Nleaf, PW, HI, et IA).

Tableau 31: Facteurs de signification sur MANOVA modèle mixte de mesures répétées (année a été utilisé comme facteur répété) pour le rendement de l'huile (OY), le poids des résidus de la taille (PW), l'indice de récolte (HI), l'indice d'alternance (IA) et la concentration d'azote dans les feuilles (Nleaf) pour l'année, Irrigation, l'azote, potassium et les interactions entre eux.

	OY	PW	HI	IA	Nleaf
Irrigation	0,4800	0,0002 ^a	0,0035 ^a	0,8574	0,4939
N	0,0164 ^a	0,0431 ^a	0,2936	0,0265 ^a	<0,0001 ^a
K	0,4334	0,5547	0,8495	0,0197 ^a	0,0013 ^a
N*K	0,4600	0,3354	0,1323	0,9900	0,0310 ^a
Irrigation * N	0,6656	0,4012	0,1672	0,5343	0,6181
Irrigation * K	0,2531	0,9563	0,8145	0,1782	0,0078 ^a
Bloque	0,8438	0,1762	0,2346	0,3812	0,124
Année	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	<0,0001 ^b	0,0011 ^b
Année * Irrigation	0,5233	0,4236	0,0954	0,3294	0,1944
Année * N	0,6476	0,0018 ^b	0,0093 ^b	0,916	0,0015 ^b
Année * K	0,4979	0,2425	0,6601	0,8475	0,0244 ^b
Année * N * K	0,0400 ^b	0,1956	0,8970	0,0139 ^b	0,5721
Année * Irrigation * N	0,8435	0,7045	0,2903	0,9734	0,1157
Année * Irrigation * K	0,4780	0,8006	0,9459	0,2567	0,4721
Année * Irrigation * N * K	0,9123	0,8763	0,8635	0,0812	0,6781

^a Désigne l'effet significatif selon le test-F à $p < 0,005$.

^b Désigne la signification de l'interaction avec Année selon Le test de la plus grande racine de Roy. ($P < 0,05$).

5.3.7. La relation entre la teneur en azote des feuilles et le rendement relatif d'huile

La relation entre la teneur en azote des feuilles et le rendement relatif d'huile (OY relative) semble diffuser sur tous les résultats (Figure 45 A). Cependant, la classification des parcelles comme ON-OFF selon l'équation (1) permet d'observer une relation raisonnable entre OY et de l'azote de la feuille. Sous l'hypothèse de que le rendement d'huile pour l'état OFF est due à des limitations imposées par d'autres causes que les facteurs contrôlés (l'irrigation et la nutrition), telles que les conditions physiologiques qui affectent l'induction florale et la nouaison (Lavee, 2007), il semble raisonnable de se concentrer sur l'idée que la réponse de rendement aux fertilisants et à l'irrigation a été produite principalement lorsque les arbres sont en état ON. Dans le modèle de régression segmentée pour le rendement en état ON (indépendamment de l'année) présente clairement une réponse positive de rendement aux concentrations d'azote des feuilles jusqu'à près de 2% (Figure 45 B).

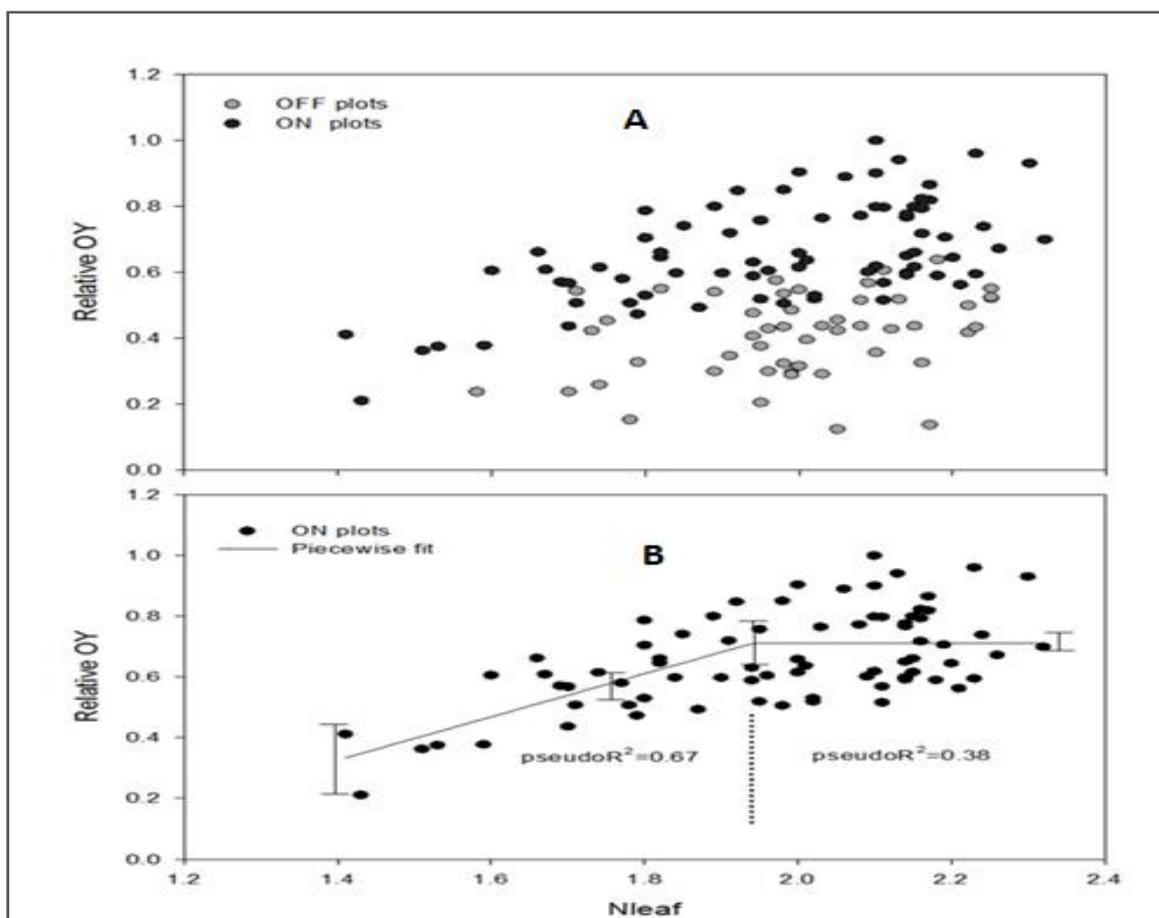


Figure 45. (A) Le rendement relatif de l'huile des parcelles en fonction de la concentration en azote des feuilles pour ON et OFF. Parcelles classées selon les critères de Pearce (1967). **(B)** La régression entre la concentration de la feuille d'azote et le rendement d'huile pour les parcelles ON. Paramètres : $b_0 = 0,71$, $b_1 = 0,71$, $b_2 = 0$, $C = 1,94$. Std.Err: $b_0 = 0,01809$, $b_1 = 0,15609$, $b_2 = 0$, $C = 0,0590$. CL: $b_0 = [0,67-0,81]$, $b_1 = [0,52-1,16]$; $C = [1,80- 2,13]$.

5.3.8. Effet de l'irrigation et de la nutrition sur la qualité de l'huile

La qualité de l'huile a été affectée par les deux facteurs contrôlés l'irrigation comme la fertilisation. L'irrigation a affecté négativement le taux des polyphénols, dont les valeurs les plus élevées ont été enregistrés sur les traitements d'IDC et quand la parcelle est en état ON (Tableau 32). Le même effet a été enregistré pour l'azote et le potassium dont l'application de ces deux éléments nutritifs a diminué le taux des polyphénols et la stabilité de l'huile obtenue.

Tableau. 32: Résultats de la qualité d’huile en fonctions de l’état de l’année (ON-OFF): acidité totale (mg kg⁻¹); indice de peroxydes (mEq O₂ Kg⁻¹); K232 et K270; la stabilité oxydative (heures) et Polyphenols totaux (mg kg⁻¹). Résultats présentés par traitements (moyenne ± déviation std). Lettres majuscules désignent une différence significative entre colonne (ON-OFF) et les lettres minuscules désignent une différence significative entre les différents niveaux des traitements appliqués selon le test : test F p<0,005.

	Irrigation	OFF	ON	Potassium	OFF	ON	Azote	OFF	ON
Acidité	R-100	0,18±0,08	0,13±0,05	K-0	0,1±0,06	0,16±0,09	N-0	0,11±0,01	0,14±0,07
	IDC	0,24±0,05 A	0,14±0,07 B	K-100	0,22±0,06 A	0,13±0,05 B	N-50	0,23±0,05 A	0,13±0,05 B
Peroxydes	R-100	8,17±1,72	7,31±1,5	K-0	6±1,12	6,4±1,34	N-0	7±1,41	6,5±1,35
	IDC	8±1,87	7,25±1,93	K-100	8,3±1,64	7,5±1,74	N-50	8,33±1,73	7,8±1,75
K232	R-100	1,82±0,13	1,76±0,14	K-0	1,81±0,09	1,77±0,09	N-0	1,91±0,14	1,79±0,08
	IDC	1,76±0,27	1,74±0,15	K-100	1,79±0,21	1,75±0,15	N-50	1,77±0,21	1,73±0,17
K270	R-100	0,09±0,01	0,1±0,02	K-0	0,09±0,01	0,09±0,01	N-0	0,09±0,01	0,09±0,01
	IDC	0,08±0,01	0,09±0,01	K-100	0,08±0,01	0,09±0,02	N-50	0,08±0,01	0,1±0,02
Stabilité	R-100	8,0±3,3	9,71±3,27	K-0	14,3±2,4 a	13,64±2,22 a	N-0	10,95±4,74	13,15±2,61 a
	IDC	6,8±1,46	10,26±3,83	K-100	6,79±1,31 b	9,05±3,18 b	N-50	6,7±1,35	7,76±2,10 b
Polyphenols	R-100	168,0±97,77	197,5±89,61 b	K-0	311±61,2 a	320,8±58,37 a	N-0	228,5±116,67 a	285,9±76,11 a
	IDC	168,6±10,41	258,56±11,61 a	K-100	144,5±32,03 b	191,92±38,22 b	N-50	144,2±35,8 b	149,71±69,91 b

Une relation linéaire négative a été établie entre la concentration d'azote aux feuilles et la concentration de polyphénols d'une part et la stabilité de l'huile d'autre part, par contre des apports modérés de cet élément augmentent ces deux caractéristiques (Figure 46). De même, lorsqu'une quantité élevée du potassium a été appliquée, le taux des polyphénols et la stabilité de l'huile diminuent d'une manière remarquable.

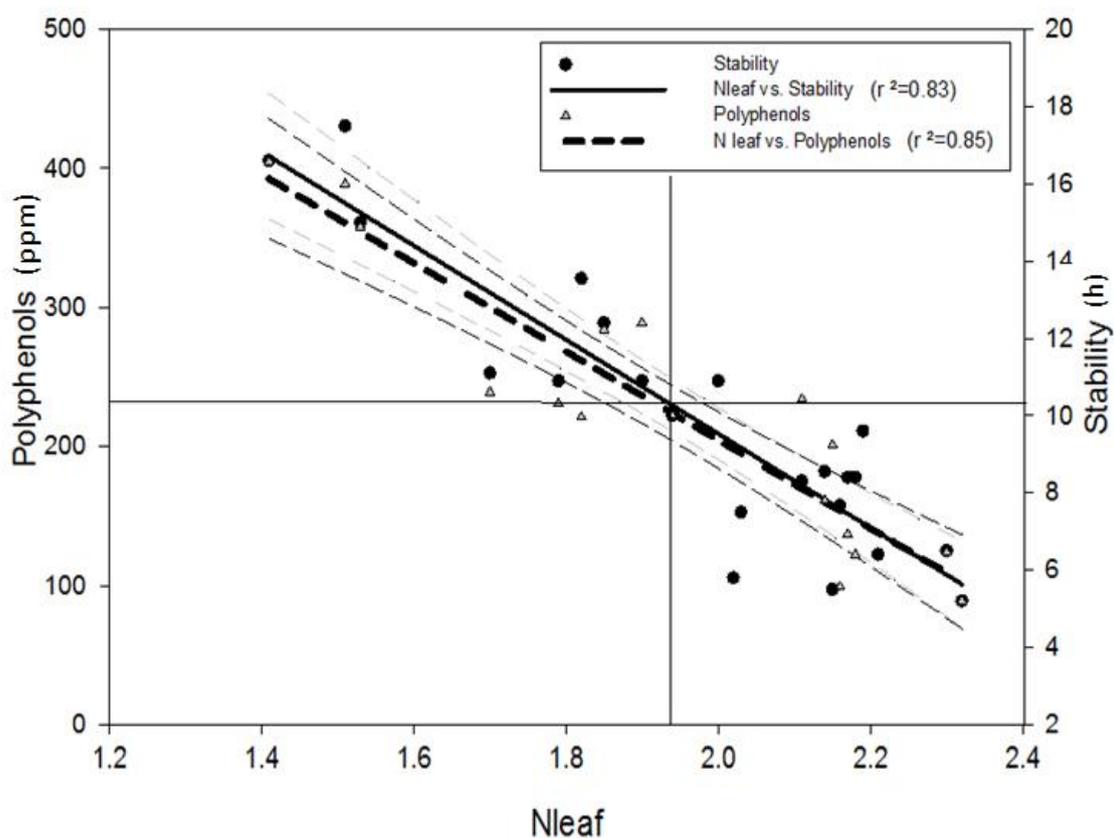


Figure 46. La variation des polyphénols totaux et de la stabilité oxydative de l'huile en fonction de la concentration d'azote dans la feuille. Ces deux paramètres de qualité d'huile diminuent significativement avec l'augmentation de la concentration du N dans la feuille.

DISCUSSIONS.

6. DISCUSSIONS

6.1. Effets de trois facteurs (irrigation, fertilisation, orientation de plantation) sur quelques paramètres végétatifs et productifs de l'olivier super-intensif.

En floraison, la quantité de la lumière interceptée a eu un effet sur le nombre des fleurs par mètre linéaire dont la face ensoleillée (S-E) a donné des valeurs plus élevées que la face (N-O), cela est dû à l'activité photosynthétique. Proietti (2000) a trouvé que la réduction de l'activité photosynthétique diminue l'accumulation des saccharides dans la feuille de l'olivier et par conséquence affecte l'initiation florale.

Les doses des deux types des fertilisants, l'azote comme le potassium n'ont pas agi sur ce paramètre, dont on n'a pas constaté une différence significative entre les traitements avec ou sans application des fertilisants, cela peut être dû aux niveaux de ces éléments dans la feuilles qui sont plus élevés par rapport au seuil critique pour les deux années d'étude (Tableau 33). Résultats confirmés par Erel et al. (2013b) qui a trouvé que seulement une déficience sévère de ces deux éléments qui peut affecter la floraison. Ainsi Fernández-Escobar et al, (2008) qui n'a pas trouvé des différences entre les niveaux de concentration de l'azote dans les feuilles pour les différents paramètres de floraison.

Tableau. 33: Les niveaux d'azote et du potassium dans la feuille.

	2011		2012		Niveaux critiques	
	<i>N-0</i>	<i>N-50</i>	<i>N-0</i>	<i>N-50</i>	<i>Insuffisant</i>	<i>adéquat</i>
(%) N	1,84	2,12	1,83	2,18	1,4	1,5 – 2,0
(%) K	1,30	1,28	1,34	1,36	0,4	> 0,8

La stratégie d'irrigation n'a pas influé sur la floraison en raison qu'au moment de floraison au mois de Mai le déficit hydrique n'a pas été encore appliqué et les traitements des deux stratégies recevaient 100% des besoins hydriques de la plante. En plus l'effet d'irrigation de l'année antérieure est négligeable car le taux d'humidité au sol au moment de début d'irrigation était très faible et pareils dans les deux stratégies appliquées.

En générale les trois facteurs étudiés (irrigation, fertilisants, et orientation de plantation de la haie) n'ont pas affecté clairement les nouaisons des arbres, cela est dû aux caractéristique spécifiques de la variété Arbequina qui a un taux de nouaison élevé indépendamment aux facteurs extrinsèques. Le facteur année a agi sur ce paramètre dont en première année de l'expérience 2011 (ON) le taux de nouaison était plus élevé par rapport à la deuxième année (OFF) cela est dû au comportement de la production alternatif de l'olivier.

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 a altéré le développement de l'arbre et diminué le volume de la frondaison (Rufat *et al.*, 2014). Ce paramètre a été aussi affecté positivement par l'interaction N*K, dont les deux éléments nutritifs ont eu un effet synergétique sur le volume de la frondaison. L'application de l'azote change la morphologie de la plante en particulière la relation racines-canopée à faveur de la deuxième (Marschner, 1995).

L'efficience 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 R-100 mais sans arriver à un point critique qui préjudice la production d'une part, d'autre part la production finale des fruits entre les deux stratégies appliquées n'a pas présenté des différences significatives.

Le poids sec, le poids frais et le taux de la matière sèche des fruits ont été influés par l'orientation de plantation, dont la face (S-E) de la haie a présenté des valeur plus élevés que la face (N-O) où les apports des substances élaborées à partir des feuilles ont diminué en provoquant la diminution du volume des fruits matures et de sa teneur grasse (Navarro et Parra, 2008) d'un coté, d'autre coté l'ombrage augmente la compétition entre les fruits pour l'assimilation des éléments nutritifs ce qui réduit le développement des fruits et l'accumulation d'huile (Tombesi *et al.*, 1999).

La quantité d'eau appliqué dans les deux stratégies d'irrigation et l'application des deux types de fertilisants ont agi négativement sur le taux de la matière sèche des fruits, dont les traitements plus irrigués et avec l'application des deux fertilisant azotés et potassique ont donné des valeurs plus basses que les traitements de l'irrigation déficitaire contrôlée et sans fertilisants, où on a obtenu des fruits avec un volume réduit

mais un taux de matière sèche élevé au contraire des traitements de (R-100), (N-50), (K-100) qui ont donné des fruit de volume important mais avec une accumulation d'eau élevé, cela qui réduit le taux de la matière sèche des fruits.

L'accumulation de l'huile dans les fruits est un processus fondamental pour la production finale d'huile, dans cette étude l'application des restrictions d'eau d'irrigation durant les moments jugés non critique (durcissement du noyau) a contribué à l'augmentation du pourcentage de l'huile sur matière sèche des fruits obtenus, contrairement aux traitements qui ont été irrigués avec des quantités fixes d'eau durant toute la campagne d'irrigation (100% des besoins hydriques), où le pourcentage d'huile sur matière sèche était inférieur, bien que la production final de l'huile était supérieure par rapport aux traitements d'irrigation déficitaire qui est dû au nombre et au volume des fruits, résultats pareils ont été trouvés par Alegre et al. (2001), sur un travail qui a été réalisé sur la variété Arlequina où il a trouvé que la teneur en huile sur matière sèche a augmenté 10 % avec l'application du stress hydrique (irrigation avec seulement 75 % des besoins hydriques) par rapport à l'irrigation avec 100% des besoins hydriques. Ainsi que Rosecrance et al. (2015) ont trouvé qu'un déficit hydrique modérée peut augmenter le pourcentage d'huile aux fruits. En outre, le pourcentage d'huile augmente généralement avec un stress hydrique modéré (Girona et al., 2002 ; Iniesta et al., 2009 ; Lavee et al., 2007 ; Moriana et al., 2003 ; Grijalva-Contreras et al., 2013). Aucune étude a pu fournir des informations sur le mécanisme physiologique qui permet l'augmentation du rendement d'huile en appliquant des quantités restreins d'eau, le stress hydrique peut directement augmenter le pourcentage d'huile en activant des gènes responsable de l'augmentation de la production d'huile. Pour prouver l'implication directe du stress hydrique modéré sur ce phénomène, plus des études génétiques et physiologiques sont nécessaires pour déterminer le mécanisme responsable de ce processus (Rosecrance et al., 2015).

L'accumulation de l'huile dans les fruits a été affectée aussi par la dose d'azote appliquée dont les traitements conduits avec application de cet élément présentent une teneur d'huile plus basse que les traitements N-0, des résultats similaires au ceux de García Novelo, (2006), ainsi Shear et Faust, (1980) qui ont trouvé la même relation. Une possible explication de ce phénomène a été exposée par Marchner (1995), qui a proposé un modèle dans lequel il a expliqué qu'une situation d'excès d'azote peut provoquer une modification de la composition de la plante en augmentant la demande

des photosynthétats pour l'assimilation de l'azote existant en excès, au détriment de la synthèse des carbohydrates à la fois structurales ou non structurales ainsi comme les lipides et les graisses. Contrairement au taux d'huile sur matière sèche, l'application d'azote a augmenté la production finale d'huile en augmentant la production des fruits par arbre et le volume de ces derniers.

L'orientation de la plantation de la haie a eu un effet sur le processus de lipogenèse dont la face plus exposée aux radiations solaires (S-E) présente un pourcentage d'huile aux fruits plus élevé que la face inverse (N-O) qui présente des valeurs plus basses, due au manque des activités photosynthétiques surtout au moment d'accumulation d'huile aux fruit dont les radications solaires diminuent en raison de la tendance saisonnière et l'augmentation de la nébulosité (Pastor *et al.*, 2007) résultats soutenues par Cherbiy-Hoffmann *et al.* (2013) qui ont trouvé que le poids sec et la concentration d'huile dans les fruits augmente avec l'augmentation des rayonnements photosynthétiques actives (PAR) interceptée jusqu'au 40% de ce deniers et jusqu'au 60% pour Gommes del Campo et Connor (2011). La production finale de l'huile dépend du nombre des fruits récolté. Ce dernier a été affecté positivement par l'orientation de la plantation de la haie pour raison de l'intensité de floraison de la face ensoleillée suivie par un taux de nouaison plus élevé que la face moins ensoleillée, autrement dit l'orientation de plantation a un effet indirect sur la production final d'huile.

6.2. Contribution à l'étude du bilan d'Azote en olivier super-intensif

6.2.1. Azote inorganique initial et final dans le sol

L'azote nitrique (N-NO₃) était plus élevé dans les traitements fertilisés (N-50) par rapport aux traitements non fertilisés (N-0). La différence entre le début et la fin de chaque campagne varie entre les années d'études mais 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 la balance de cet élément dans notre oliveraie qui est positive pour les trois années d'étude résultats similaire à ceux du Fernández-Escobar et al. (2012).

6.2.2. Les entrées et les sorties d'azote

La quantité d'azote apporté par eaux de pluie varie entre 5 et 9 kg ha⁻¹an⁻¹ durant les trois années de l'étude, ces valeurs sont similaires aux valeurs obtenues par Ròda et al. (2002), 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 années.

L'azote provenant de la minéralisation de la matière organique représente des valeurs similaires entre les deux traitements en question cela est dû probablement aux conditions pédoclimatiques telles que la température et l'humidité du sol, les facteurs les plus influant sur la minéralisation de la matière organique, qui sont les mêmes pour les deux traitements sachant qu'on a appliqué 100 % des besoins de la plante pour les deux traitements N-0 et N-50.

L'azote exporté par l'opération de la taille a présenté une différence significative entre les traitements N-50 et ceux de N-0 durant les trois années de l'étude dont l'application de l'azote favorise la croissance végétative et comme ce système de culture est limité par un volume de frondaison déterminé en adaptant les dimensions de la haie en fonction de la machine récolteuse, la quantité des résidus issus de l'opération de la taille étaient plus élevés pour ce traitement (N-50), avec une concentration de N dans ces derniers plus élevée par conséquent l'exportation de cet élément était importante (Rufat *et al.*, 2014).

L'azote exporté par la récolte des olives n'a pas présenté une différence significative entre les deux traitements appliqués, probablement à cause du manque de signification en rendement obtenu dans cette expérience en réponse à la fertilisation azotée. Cependant les traitements N-50 ont donné des valeurs plus élevées dues à la concentration de cet élément dans les fruits obtenus.

La quantité d'azote perdu par dénitrification est insignifiante par rapport aux autres sorties 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 cela est due probablement à la présence des quantités importantes du nitrate au sol pour les N-50 (Germon et Couton, 1999) (Vallejo *et al.*, 2005).

6.2.3. Le bilan d'azote

Pour le traitement N-0, N_{bilan} est varié entre -9 et -5 kg ha⁻¹an⁻¹ et entre -7 et -0,08 kg ha⁻¹an⁻¹ pour le traitement N-50 (Tableau 21). 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 (Fernández-Escobar *et al.*, 2012), 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 (Celano *et al.*, 2002).

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 (Rapoport, 2008)

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 (Whipps, 1990). 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 (Nguyen, 2003), et la décomposition des tissus et cellules des racines peut aussi contribuer à la rhizo-déposition (Wichern *et al.*, 2008). Pour l'instant, il n'existe pas des travaux sur la

rhizo-déposition de l'olivier, mais quelques auteurs (Scandellari *et al.*, 2007) 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 Scandellari *et al.*, (2010) 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.

6.3. Une réévaluation des seuils d'azote dans les feuilles de l'olivier conduit en système super-intensif pour améliorer le rendement et la qualité de l'huile.

L'irrigation déficitaire appliquée à partir de Juillet jusqu'au début de Septembre était une méthode efficace pour économiser de l'eau (jusqu'à 40% de la quantité appliquée en R-100). La programmation de l'irrigation a été considérablement modifiée en fonction des résultats de la teneur en eau dans le sol et le suivi de l'état hydrique de la plante, étant conforme au Kc plus récemment proposé comme optimale pour promouvoir le rendement et la qualité de l'huile (Berenguer *et al.*, 2006) (Grattan *et al.*, 2006) (Ben-Gal *et al.*, 2010) (Puppo *et al.*, 2014).

La réduction de l'irrigation imposée par l'IDC n'a pas affecté significativement le rendement en huile, bien qu'elle affecte significativement la croissance végétative, ce qui suggère comme possible explication, un changement sensible sur les caractéristiques de la canopée d'arbre sans causer des effets négatives sur la production. Dans cette expérimentation, en dépit de la concentration élevée d'azote aux feuilles, le rendement de l'huile était dépendant de la teneur des feuilles en azote, indiquant l'effets d'azote même au-delà des seuils jusqu'à présent établis (Molina-Soria et Fernandez-Escobar, 2010) (Fernandez -Escobar *et al.*, 2009).

Il est aussi remarquable la présence d'une interaction N*K qui indique clairement le rôle de potassium sur la concentration d'azote dans les feuilles (Figure 37). En même temps, une interaction triple Année*N*K a été mise en évidence, exprimée dans les parcelles N0-K100; dans ce cas, les arbres ont montré une concentration d'azote aux feuilles plus élevée que celle conduits sans application du potassium d'une manière significative sur les années du faible rendement (Année OFF), ce qui indique que la teneur en azote des feuilles diminue aux conditions de disponibilité limitée du potassium après des années avec un rendement élevé. L'interaction N*K a été expliqué de plusieurs façons, comme la limitation de l'absorption du K par les différentes formes du N dans le sol (NO_3^- et NH_4^+) ou la stimulation de la synthèse des protéines lorsque K est disponible (Hagin *et al.*, 1990). Ce cas reste une question intéressante pour la gestion de la fertilisation azotée des cultures, en particulier les arbres fruitiers avec alternance de la production. Essentiellement, les différences entre années (liées à la charge de fruits) de l'absorption du K et N et leur contenu dans les tissus végétaux a été associée à des changements source-puits dans différentes conditions de fructification

interannuelle de pistachier (Rosecrance *et al.*, 1996) ou d'olivier (Erel *et al.*, 2008) (Bustan *et al.*, 2013) (Rufat *et al.*, 2014). Dans des conditions à haut rendement, le potassium disponible est absorbé principalement par les fruits, en représentant jusqu'à 2/3 de l'absorption totale de la plante (El-Fouly et Osman, 2014) (Fernández-Escobar *et al.*, 2015).

Dans cette expérience l'alternance de la production des arbres a été considérablement réduite par l'application d'azote et du potassium (Figure 42), même lorsque les niveau d'azote aux feuilles était élevé, ce qui indique un effet bénéfique sur le rendement et la limitation de l'alternance de production comme il a été indiqué par (Turktas *et al.*, 2013). Cependant, cette question reste controversé dans la littérature, puisque plusieurs études indiquent que l'intensification des cultures réduit l'alternance de la fructification (Connor et Fereres, 2004) (Moriani *et al.*, 2003); (Therios, 2009), tandis que d'autres auteurs concluent l'effet inverse (Ben-Gal *et al.*, 2010). En résumé, les résultats suggèrent que la nutrition potassique de l'olivier n'a pas eu la considération nécessaire, malgré ses effets négatifs sur la production de l'olivier (Dikmelik *et al.*, 1999) (Erel *et al.*, 2008) (Elloumi *et al.*, 2009) (Fernández -Escobar *et al.*, 2009) (Tubeileh *et al.*, 2014).

La qualité de l'huile d'olive a été affecté à la fois par l'irrigation et fertilisation. Comme il est mentionné précédemment, les changements de la stabilité et du contenu des polyphénols sont étroitement liés à la concentration d'azote dans la feuille, en diminuant de façon linéaire avec l'augmentation de la concentration de N dans la feuille. Le seuil de réponse d'azote calculé en utilisant une méthodologie proposée par Cate-Nelson basée sur un point de déviation correspondant à une réponse productive est autour de 1,95% ; en fonction de cette valeur, la stabilité et les polyphénols atteindre des valeurs supérieures à 10 h et 220 ppm, respectivement, qui ne devaient pas, en principe, une limitation sérieuse de la qualité d'huile. Tous les résultats obtenus concernant la qualité d'huile sont en accord avec ceux trouvés par d'autre auteurs (Berenguer *et al.*, 2006), (Servili *et al.*, 2007), (Erel *et al.*, 2013a), (Morales-sillero *et al.*, 2007) et (Fernandes-Silva *et al.*, 2013).

Toutefois, des divergences ont été présentées en considérant que la plupart de ces expériences ne prennent pas en compte l'effet de la charge de l'arbre en fruits, classé comme état ON-OFF au niveau de la parcelle (au sens défini par Pierce), qui conduit à

expliquer les différences des rendements annuels comme «effet de l'année », ce qui rend impossible de discuter raisonnablement les effets promus par l'irrigation et de la nutrition. En outre, les différences de qualité sont atteintes dans des situations extrêmes, par exemple, sous des limitations sévères d'eau on trouve des différences importantes, bien que cela ne signifie pas que l'huile obtenue est de haute qualité (Berenguer *et al.*, 2006) (Fernandes-Silva *et al.*, 2013). Un argument similaire peut être utilisé pour la nutrition minérale, l'application de l'azote et du potassium apparaît comme positive dans le sens de l'augmentation de la production de l'huile, en reconnaissant que la stabilité et le taux des polyphénols diminuent avec l'augmentation de la concentration de l'azote dans les feuilles ou les fruits, bien que cela a été démontré sous des conditions de très de fortes doses de ce nutriment, loin de considérer comme normale (Morales-Sillero *et al.*, 2007) et même avec un excès d'irrigation (Erel *et al.*, 2013a, 2013b).

En se concentrant sur l'irrigation et la gestion de la nutrition adaptée aux pratiques d'irrigation déficitaire qui implique une réduction raisonnable (environ 40%) et à l'application d'azote qui correspond aux besoins de la plante, les résultats montrent un haut degré de compatibilité avec les tendances observées dans la plupart des études sur ce sujet, mais, en même temps, ils suggèrent une adaptation pour englober les effets de la charge de l'arbre en fruits . En ce sens, la réponse différentielle entre état ON et OFF peut expliquer l'effet «année» et les changements source-puits.

En ce sens, on a supposé, une relation étroite entre le rendement et la qualité d'huile (Iniesta *et al.*, 2009) et le rayonnement photosynthétique active (PAR) au printemps (Pierantozzi *et al.*, 2013). Cependant, cette réponse peut être médiatisé par les caractéristiques d'éclairage de la haie (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2013) (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2015). En admettant que les systèmes de cultures intensives sont conduits en uniforme avec des dimensions régulières de la haie imposées par le système de la récolte mécanique, la croissance végétative et son arrangement spatial joue un rôle primordial dans l'éclairage de la canopée et la réponse du rendement à l'application de l'azote et à l'irrigation (Figure 47). En conséquence, la distribution de fruits, le rendement et les performances de qualité de l'huile sont directement liés aux caractéristiques de la canopée, comme il est noté dans ces des dernières années par (Cherbiy-Hoffmann *et al.*, 2012) et (Castillo-Ruiz *et al.*, 2015).

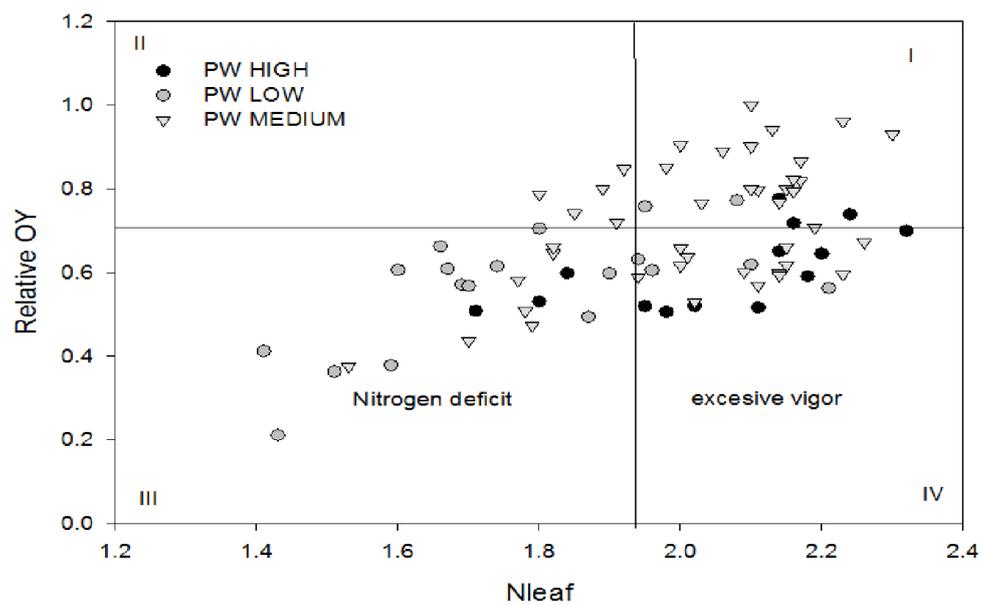


Figure 47. Le rendement relatif en fonction de la concentration du N dans la feuille des parcelles ON classifiées en fonction de la vigueur végétative (poids des résidus de la taille PW : Faible (1^{er} quartile : <4,5 kg), Moyenne (2^{em} et 3^{em} quartiles: 4,5-8,5 kg) et élevée le dernier quartile : >8,5kg).

CONCLUSIONS.

7. CONCLUSIONS

L'application de la stratégie de l'irrigation déficitaire a contribué à la réduction des quantités d'eau d'irrigation en économisant environ 40%, sans effets néfastes sur les performances de la production ni sur les paramètres de la reproduction, tels que la nouaison et la floraison de l'olivier.

Concernant la croissance végétative, l'application de l'IDC a réduit ce paramètre mais avec des conséquences positives en réduisant la densité de la végétation sans arriver à un point critique ce qui permet d'augmenter l'illumination ou l'éclairage de la frondaison de l'arbre en favorisant les activités photosynthétiques, par conséquent une efficacité de production de la frondaison plus élevée.

L'orientation de la plantation de la haie a influé significativement sur tous les paramètres étudiés dont la face qui a reçu des quantités des rayonnements solaires incidents élevés a présenté des résultats plus positifs que l'autre face qui reste une bonne partie de la journée à l'ombrage.

Par conséquent une orientation de plantation optimale est indispensable au moment de la plantation d'une oliveraie super-intensive qui doit assurer une exploitation maximale et avec une répartition équitable des rayonnements solaires entre les deux faces de la haie durant toute la journée.

L'application du potassium n'a pas eu un effet direct sur les paramètres étudiés. Mais en association avec l'azote a montré quelques effets positifs sur les performances de l'olivier telles que la croissance végétative et le taux de la matière sèche des fruits.

Le potassium a agi aussi comme un agent auxiliaire pour le maintien de la concentration d'azote dans la feuille de l'arbre aux conditions de manque de cet élément.

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 besoins 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.

La concentration d'azote dans les feuilles était élevée dans tous les cas, selon les normes d'interprétation établies. La concentration d'azote dans les feuilles est positivement influencée par l'application d'azote, tandis que le traitement conduit sans application de cet élément a présenté une réduction significative de la concentration de l'élément dans la feuille tout au long de l'expérience.

La qualité de l'huile a été influencée négativement par les facteurs étudiés, l'irrigation comme la fertilisation, dont l'application des deux éléments nutritifs avec une irrigation complète donne lieu à des huiles de faible qualité malgré ces deux facteurs favorisent les performances productives.

En sens agronomique, l'alternance de la production exprimée en général comme une classification des parcelles ON-OFF en fonction de la variation de la performance productive interannuelles. Bien qu'il y ait une base physiologique prédominante sur cette question, cette approche peut affecter la qualité de l'information obtenue contre la qualification du niveau de l'arbre l'effet ON-OFF, qui permet d'obtenir une plus grande sensibilité dans l'analyse des effets sur l'alternance.

Après les résultats obtenus dans ce travail, l'irrigation a un effet indirect sur les performances productives et qualitatives de l'olivier en favorisant la croissance végétative qui augment l'ombrage de la frondaison ce qui diminue ces performances. Alors, possibles études au futur doit concentrer beaucoup plus sur les pratiques culturales telles que l'opération de la taille et les systèmes de plantations (l'orientation de plantation et la densité de plantation). Pour la fertilisation azotée et potassique l'application des autres doses de ces deux éléments est importante pour savoir jusqu'à quel point on peut obtenir des réponses de la production, la qualité et surtout l'alternance de production qui reste le défi principal pour la culture de l'olivier.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

8. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abiven, S., Recous, S., Reyes, V., et Oliver, R. (2005). Mineralization of C and N from root, stem and leaf residues in soil and role of their biochemical quality. *Biology and Fertility of soils* 42: 119-128.

Aguilera, F., Ruiz, L., Fornaciari, M., Romano, B., Galán, C., Oteros, J., Ben Dhiab, A., Msallem, M., et Orlandi, F. (2014). Heat accumulation period in the Mediterranean region: phenological response of the olive in different climate areas (Spain, Italy and Tunisia). *Int. J. Biometeorology*. 58: 867-76.

Alegre, S., Marsal, J., Tovar, M.J., Mata, M., Arbonés, A., et Girona, J. (2001). Regulated deficit irrigation in olive trees (cv Arbequina) for oil production. In: Proceedings of the 4th Int. Simp. On olive growing. Vol. 1 and 2, pp. 259-262.

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.

Allison, F.E. (1966). The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agron* 18: 219-258

Ancelin, O., Duranel, J., Duparque, A., Dersigny, C., et Fleutryl, L. (2007). Sols et matières organiques. Agro-transfert Ressources et Territoires, Chambre d'Agriculture de Picardie. pp. 47.

Arquero, O., Barranco, D., et Benlloch, M. (2006). Potassium starvation increase stomatal conductance in olive trees. *Hortscience* 41: 433-436.

Bacelar, E.A. Santos, D.L. Moutinho-Pereira, J.M. Lopes, J.I. Gonçalves, B.C. Ferreira, T.C. et Correia, C.M. (2007). Physiological behaviour, oxidative damage and antioxidative protection of olive trees grown under different irrigation regimes. *Plant and Soil* 292: 1-12.

Baldoni, L. et Belaj, A. (2009). Olive. In: Vollmann, J. y Rajcan, I. 2009. Handbook of plant breeding oil crops. (Eds.) Springer, USA, 548p, pp. 397-402.

Barker, A.V., et Mills, H.A. (1980). Ammonium and nitrate nutrition of horticultural crops. *Horticultural Reviews* 2: 395-423.

- Barranco, D. (2008).** Modelos productivos en el olivar tradicional, intensivo y super-intensivo. Jornada sobre el futuro del aceite de oliva en Andalucía. Cordoba, España.
- 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.
- Belguerri, H. (2013).** Uso del agua de riego y abonado n-k para optimizar la producción y la calidad del aceite en olivo superintensivo. Thèse du master. Université de Cordoue. Espagne.
- Ben-Gal, a., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Hanoch, E., et Dag, a. (2010).** The influence of bearing cycles on olive oil production response to irrigation. *Irrig Sci* 29: 253-263.
- Benloch, G.M., Arquero, O., Fournier, J.M., Barranco, D., et Benloch, M. (2008).** K⁺ starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure. *Journal of Plant Physiology* 165: 623-630.
- Berenguer, M.J., Vossen, P.M., Grattan, S.R., Connell, J.H., et Polito, V.S. (2006).** Tree irrigation levels for optimum chemical and sensory properties of olive oil. *HortScience* 41: 427-432.
- Beutel, J. Uriu, K. et Lilleland, O. (1983).** Leaf analysis for California deciduous fruits. In Soil and plant tissue testing in California. University of California, Bull. 1879.
- Bottner, P., Pansu, M., Sarmiento, L., Herve, D., Callisaya-Bautista, R., et Metselaar, K. (2006).** Factors controlling decomposition of soil organic matter in fallow systems of the high tropical Andes: A field simulation approach using ¹⁴C- and ¹⁵N-labelled plant material. *Soil Biology and Biochemistry* 38: 2162-2177.
- Bould, C. (1966).** Leaf analysis of deciduous fruits. In: Childers, N.F. (Eds.). Fruit nutrition. Horticultural Publications. New Jersey. USA.
- Bustan, A., Avni, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Riov, J., Erel, R., Zipori, I., et Dag, A. (2013).** Interactions between fruit load and macroelement concentrations in fertigated olive (*Olea europaea* L.) trees under arid saline conditions. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 152: 44-55.

Caruso, G., Rapoport, H. F., et Gucci, R. (2013). Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrig Sci* 31: 37-47.

Castillo-Ruiz, F.J., Jiménez-Jiménez, F., Blanco-Roldán, G.L., Sola-Guirado, R.R., Agüera-Vega, J., et Castro-Garcia, S. (2015). Analysis of fruit and oil quantity and quality distribution in high-density olive trees in order to improve the mechanical harvesting process. *Spanish J. Agric. Res* 13: 1-8.

Cate, R.B., et Nelson, L.A. (1965). A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data North Carolina. Agric Exp Stn International soil Testing Series Bull No 1.

Celano, G., Palese, A.M., et Xiloyannis, C. (2002). La gestione sostenibile del suolonell' albicoccheto. *Frutticoltura* 3: 37-39.

Centeno, A. et Gómez del Campo M. (2011). Response of mature olive trees with adequate leaf nutrient status to additional nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Acta Horticulturae* 888:277-280.

Chapman, H.D. (1966). Diagnostic criteria for plants and soils. Riverside division of Agricultural Science. University of California. 794 p.

Cherbiy-Hoffmann, S.U., Searles, P.S., Hall, A.J., et Rousseaux, M.C. (2012). Influence of light environment on yield determinants and components in large olive hedgerows following mechanical pruning in the subtropics of the Southern Hemisphere. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* 137: 36-42.

Cherbiy-Hoffmann, S.U., Hall, A.J., et Rousseaux, M.C. (2013). Fruit, yield, and vegetative growth responses to photosynthetically active radiation during oil synthesis in olive trees. *Sci. Hortic. (Amsterdam)* 150: 110-116.

Cherbiy-Hoffmann, S.U., Hall, A.J., Searles, P.S., Rousseaux, M.C. (2015). Responses of olive tree yield determinants and components to shading during potentially critical phenological phases. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 184: 70-77.

Cimato, A. Marranci, M. Tattini, M. (1990). The use of foliar fertilization to modify sinks competition and increase yield of olive (*Olea europaea* cv. Frantoio). *Acta Hort* 286: 175-178.

Civantos, L. (2008). La olivicultura en el mundo y en España. In: El cultivo del olivo, 2008, Barranco, D., Fernandez-Escobar, R. y Rallo, L. (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, 864 p, pp. 17-36.

COI. (2015). La production et la consommation mondiale des olives de table et d'huile d'olive. Novembre, 2015.

<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures>

<http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-figures>.

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.

Connor, D.J., Centeno, A., et Gómez del Campo, M. (2009). Yield determination in olive hedgerow orchards. II. Analysis of radiation and fruiting profiles. *Crop & Pasture Science* 60: 1-10.

Connor, D.J., Gómez del Campo, M., Rousseaux, M. C., et Searles, P.S. (2014). Structure, management and productivity of hedgerow olive orchards. *Scientia Horticulturae* 169: 71-93.

Crews, T.E., et Peoples, M.B. (2004). Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 102: 279-297.

D'Andria, R., et Lavini, A. (2007). Irrigation In: Techniques de production en oléiculture. 1^{ère} Ed: COI, 169-210.

Del Río, C., et Romero, A.M. (1999). Whole, unmilled olives can be used to determine their oil content by nuclear magnetic resonance. *Hort technology* 9: 675-680.

Denis, J. F. (1998). L'irrigation. *Nouvel olivier* 3: 16 -19.

Dikmelik, U., Püskülcü, G., Altuğ, M., et İrget, M.E. (1999). The effect of KNO₃ application on the yield and fruit quality of olive, in: Anac, D., Martin-PrÉvel, P. (Eds.),

Improved Crop Quality by Nutrient Management SE - 18, Developments in Plant and Soil Sciences. Springer Netherlands, pp. 77-78.

Eickhout, B., Bouwman, A.F., et Van Zeijts, H. (2006). The role of nitrogen in world food production and environmental sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment.

El-Fouly, M.M., et Osman, I.M.S. (2014). Nutrient Removal from Different Parts of Koroneiki Olive Trees Grown in Sandy Soil as a Base of Fertilizer Recommendation in Egypt. *British Journal of Applied Science & Technology* 4(11): 1718-1728.

Elloumi, O., Ghrab, M., et Ben Mimoun, M., (2009). Responses of olive trees (cv. Chemlali) after five years of experiment to potassium mineral nutrition under rainfed condition. The Proceedings of the International Plant Nutrition Colloquium XVI. University of California. USA.

Erel, R. Ben Gal, A., Swartz, A., Yermiyahu, U., et Dag, A. (2008). Flowering and fruit set of olive trees in response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium. *J. AMER. SOC. HORT. SCI* 133(5): 639-647.

Erel, R., Kerem, Z., Ben-Gal, A., Dag, A., Schwartz, A., Zipori, I., Basheer, L., et Yermiyahu, U. (2013a). Olive (*Olea europaea* L.) tree nitrogen status is a key factor for olive oil quality. *J. Agric. Food Chem.* 61: 11261-11272.

Erel, R., Yermiyahu, U., Van Opstal, J., Ben-Gal, A., Shwartz, A., et Dag, A. (2013b). The importance of olive (*Olea europaea* L.) tree nutritional status on its productivity. *HortScience* 159: 8-18.

FAOSTAT. (2015). La consommation mondiale des fertilisants azotés (2002-2009). http://faostat3.fao.org/browse/R/*/S.

Fernández-Escobar, R., García, T., et Benlloch, M. (1994). Estado nutritivo de las plantaciones de olivar en la provincial de Granada. *ITEA* 90: 39-49.

Fernández-Escobar, R. García-Novelo, J.M. Restrepo, H. Benlloch, M. Uceda, M. Beltran, G. et Aguilera, M.P. (2004). Influencia del abonado nitrogenado y potásico en la calidad de aceite de oliva. 3ra Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva, Madrid (España), Mayo 2004. 168 p: 61-69.

- Fernández-Escobar, R. Beltrán, G. Sánchez-Zamora, M.A. García Novelo, J.M., Aguilera, M.P. et M. Uceda. (2006).** Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience* 41: 215-219.
- Fernández-Escobar, R. Prado, M. Ortiz-Urquiza, A. et Rapoport, H.F. (2006).** Influencia del nitrógeno en la calidad de la flor del olivo. XI Symposium Ibérique sur la nutrition minérale des plantes. Pamplona. Espagne.
- Fernandez-Escobar, R. (2007).** Fertilisation. In : Techniques de production en oléiculture. 1^{ère} Ed: COI, 145-164.
- Fernández-Escobar, R., Ortiz-Urquiza, A., Prado, M., et Rapoport, H.F. (2008).** Nitrogen status influence on olive tree flower quality and ovule longevity. *Environ Exp Bot* 64:113-119.
- Fernández-Escobar, R. (2008).** Fertilización. In El cultivo del olivo, 2008, Barranco. D, Fernandez-Escobar, R. y Rallo, L. Eds. Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, 864 p, pp.299-335.
- Fernández-Escobar, R., Parra, M.A., Navarro, C., et Arquero, O. (2009).** Foliar diagnosis as a guide to olive fertilization. *Spanish J. Agric. Res* 7: 212-223.
- Fernández-Escobar, R. Marin, L. Sánchez-Zamora, M.A. García-Novelo, J.M. Molina-Soria, C. et Parra, M.A. (2009).** 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: 223-232.
- Fernández-Escobar, R., García-Novelo, J.M., Molina-Soria, C., et Parra, M.A. (2012).** An approach to nitrogen balance in olive orchards. *Scientia Horticulturae* 135: 219-226.
- Fernández-Escobar, R., Sánchez-Zamora., Garc, M.A., García-Novelo, J.M., et Molina-Soria, C. (2015).** Nutrient Removal from Olive Trees by Fruit Yield and Pruning. *Hortscience* 50: 474-478.
- Fernández J.E., et Moreno F. (1999).** Water use by olive tree. *Journal of Crop Production. Vol 2:* 101-162.

Fernández, J.E. (2014). Understanding olive adaptation to abiotic stresses as a tool to increase crop performance. *Environ. Exp. Bot* 103: 158-179.

Fernández-Silva, A.A., Ferreira, T.C., Correia, C.M., Malheiro, A.C., et Villalobos, F.J. (2010). Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant soil* 333: 35-47.

Fernandes-Silva, A.A., Gouveia, J.B., Vasconcelos, P., Ferreira, T.C., et Villalobos, F.J. (2013). Effect of different irrigation regimes on the quality attributes of monovarietal virgin olive oil from cv. “Cobrançosa”. *Grasas y aceites* 64: 41-49.

Firestone, M.K. (1982). Biological denitrification. In: Stevenson, F.J. Nitrogen en Agricultural soils. (Eds.) ASA, CSSA, SSSA: Madison, pp: 289-318.

Freeman, M., Uriu, K., et Hartmann. H.T. (2005). Diagnosing and correcting nutrient problems . In: Olive production manual. (2005). Sibbet, G.S et Ferguson, L. Ed: ANR. University of California. Agriculture and Natural Resources. 180 p: 83–92.

García Novelo, J.M. (2006). El balance del nitrógeno en el cultivo del olivo. Thèse Doctorale. Université de Cordoue, Espagne pp : 285.

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

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.

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.

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.

Girona, J., Luna, M., Arbonés, A., Mata, M., Rufat, J., et Marsal, J. (2002). Young olive trees responses (*Olea europea*, cv “Arbequina”) to different water supplies. Water function determination. *Acta Hort* 586: 277-280.

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.

Girona, J. Hidalgo, J., et Pastor, M. (2005). Riego deficitario controlado. 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 p, 141-162.

Gispert, J.R. (2008). Investigación para caracterizar el volumen de suelo húmedo (VSH) en riego localizado. Influencia del VSH en olivo (*Olea europaea* L.), manzano (*Malus domestica* BORKH.) y avellano (*Corylus avellana* L.). Thèse doctorale. Université de Lleida. España, pp. 345.

Goldhamer, D. Dunai, J., et Ferguson, L. (1994). Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Hort* 365: 172-176.

Gómez del Campo, M., Centeno, A., et Connor, D. J. (2009). Yield determination in olive hedgerow orchards. I. Yield and profiles of yield components in north–south and east–west oriented hedgerows. *Crop and Pasture Science* 60(5): 434-442.

Gómez del Campo, M., et Connor, D. J. (2011). Diseño y manejo del olivar en seto: Avances y retos. Congreso de Olivicultura SECH, Sevilla, 1-5.

Gómez del campo, M., et García, J.M. (2012). Canopy fruit location can affect olive oil quality in ‘Arbequina’ hedgerow orchards. *J. Amer. Oil Chemists* 89:123-133.

Grattan, S.R., Berenguer, M.J., Connell, J.H., Polito, V.S., et Vossen, P.M. (2006). Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management* 85: 133-140.

Grijalva-Contreras, R.L., Macías-Duarte, R., Martínez-Díaz, G., Robles-Contreras, F., Valenzuela-Ruiz, M.J., et Nuñez-Ramírez, F. (2013). Effect of

Regulated Deficit Irrigation on Productivity, Quality and Water Use in Olive cv. "Manzanilla". *American Journal of Plant Sciences* 4: 109-113.

Gucci, R., Caruso, G., et Sebastiani, L. (2010). Seasonal Changes in Leaf Nitrogen of Olive Trees Grown Under Different Irrigation Regimes and Crop Level. *J. Plant Nutrition*. 33: 1849-1859.

Hagin, J., Olsen, S.R., et Shaviv, A. (1990). Review of interaction of ammonium - nitrate and potassium nutrition of crops. *J. Plant Nutr.* 13: 1211-1226.

Hargreaves, G.H., et Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl. Eng. In Agris., ASCE*,108(3): 225-230.

Hartman, H.T (1958). Some responses of olive to nitrogen fertilizers. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci* 72: 257-266.

Henault, C., Devis, X., Page, S., Justes, E., et Reau, R. (1998). Nitrous oxide emissions under different soil and land management conditions. *Biol. Fertil. Soils* 26: 199-207.

Hénin, M., et Dupuis, M. (1945). Essai de bilan de la matière organique du sol. *Annals. Agronomiques* 15 (1): 19-29.

Heywood, H.U. (1978). Las plantas con flores. In Magdalena .R .S. Variabilidad de la producción en olivo (*Olea europaea* L.). Relación entre alternancia, floración, vigor y productividad. Thèse doctorale. Université de Cordoue. Espagne, 2001, pp.11.

Hidalgo, J. et Pastor, M. (2005). Los nutrientes y el olivar. 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 p, 479-503.

Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., et Villabolos, F.J. (2009). The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy* 30: 258-265.

Ju, X. T., Kou, C.L., Zhang, F.S., et Christie, P. (2006). Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: comparison among three intensive cropping systems on the North of China Plain. *Environmental pollution* 143: 117-125.

- Kuzyacov, Y., Freidel, J.k. et Stahr, K. (2000).** Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biology and biochemistry* 32: 1485-1498.
- Lavee, S. (2007).** Biennial bearing in olive (*Olea europaea*). *Ann. Ser. Hist. Nat* 17: 101-112.
- Lavee, S., Hanoch, E., Wodner, M., et Abramowitch, H. (2007).** The effect of predetermined deficit irrigation on the performance of cv. Muhasan olives (*Olea europaea* L.) in the eastern coastal plain of Israel. *Scientia Horticulturae* 112: 156-163.
- López, M., Obregón, A., Brox, G., Tiana, J., et Villalba, P. (2015).** La evolución del olivar en seto o superintensivo en Andalucía. *Olint* 27: 8-17.
- Loussert, R., et Brousse, G. (1978).** L'Olivier, techniques agricoles et productions Méditerranéennes, Ed: Maisonneuve et Larousse, Paris. pp 465.
- Mariscal, M.J., Orgaz, F., et Villalobos, J. (2000).** Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea* L.) orchard. *Tree Physiology* 20: 65-72.
- Maris, S.C., Teira-Esmatges, M.R., Arbonés, A., et Rufat, J. (2015).** 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: 966-978 .
- 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.
- Marschner, H. (1995).** Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
- Mary, B., Recous, S., Darwis, D., et Roben, D. (1996).** Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and soil* 181: 71-82.
- Mataix, J., et Barbancho, F.J. (2006).** Olive oil in Mediterranean food. In. Olive oil and health, 2006, Quiles, J.L., Ramirez-Tortorosa, M.C. y Yaqoob, P. (Eds). Ed. CABI International, USA, 381 p, pp. 1-44.

- Mengel, K., et Kirkby, E.A. (2001).** Principal of plant nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 pp.
- Metzidakis, I., Martinez-Vilela, A., Castro Nieto, G., et Basso, B. (2008).** Intensive olive orchards on sloping land: good water and pest management are essential. *J. Environ. Manage* 89: 120-128.
- Michelazzo, C., et Sebastiani, L. (2011).** Leaf Mineral Status as Influenced by Different Irrigation Strategies in Two Italian Olive (*Olea europaea* L.) Cultivars. *Acta Horticulturae* 888: 281–288.
- Molina, C. S. (2008).** Factores que influyen en la respuesta del olivar de secano a la fertilización nitrogenada. Thèse doctorale. Université de Cordoue. Espagne, p: 285.
- Molina-Soria, C., et Fernández-Escobar, R. (2010).** The reliability of the established critical leaf nitrogen concentration in olive orchards. *Acta Horticulturae*, 868: 209-212.
- Mora, F., Tapia, F., Scapim, C.A., et Martins, E.N. (2007).** Vegetative growth and early production of six olive cultivars, in southern Atacama Desert, Chile. *J. Cent. Eur. Agric* 8: 269-276.
- Morales-sillero, A., Jimenez, R., Troncoso, A., Fernandez, J.E., et Beltrán, G. (2007).** Influence of Fertigation in “Manzanilla de Sevilla” Olive Oil Quality. *HORTSCIENCE* 42(5):1157-1162.
- Moriana, A., Orgaz, F., Freres, I., et Pastor, M. (2003).** Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 128: 425-431.
- Naor, A., Schneider, D., Ben-Gal, A., Zipori, I., Dag, A., Kerem, Z., Birger, R., Peres, M., et Gal, Y. (2013).** The effects of crop load and irrigation rate in the oil accumulation stage on oil yield and water relations of “Koroneiki” olives. *Irrig. Sci.* 31: 781-791.
- Navarro, C. et Parra, M.A. (2008).** Plantación, 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.
- Nguyen, C. (2003).** Rhisodepostion of organic C by plants: mechanisms and controls. *Agronomie* 23: 375-396.

Olk, D.C. (2008): Organic form of soil nitrogen. In: Nitrogen in agricultural systems. Schepers, J.S. Raun, W.R. (2008). (Eds.). American Society of Agronomy. pp: 57-100.

Orgaz, F., et Fereres, E. (2001). Riego. In El cultivo del olivo. (2001) Barranco, D., Fernandez-Escobar, R. y Rallo, L. (Eds.), Madrid: Mundi Prensa, pp. 288-360.

Orgaz, F., et Fereres, E. (2008). Riego. In El cultivo del olivo, 2008, (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, pp. 339-361.

Orgaz, F., Villabulos, 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.

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.

Pastor, M., García-Vila, M., Soriano, M.A., Vega, V., et Fereres, V. (2007). Productivity of olive orchards in response to tree density. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82(4): 555-562

Paul, K.I., Black, A.S. et Conyers, M.K. (2001). Influence of fallow, wheat and subterranean clover on pH within an initially mixed surface soil in the field. *Biology and fertility of soils* 33: 41-52.

Pearce, S.C., et Dobersek-Urbanc, S. (1967). The measurements of irregularity in growth and cropping. *J. Hortic. Sci* 42: 295-305.

Pierantozzi, P., Torres, M., Bodoira, R., et Maestri, D. (2013). Water relations, biochemical – physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period. *Agric. Water. Manag* 125: 13-25.

Polymerou-Kamilakis, A. (2006). The culture of the olive tree (Mediterranean world). In : Olive oil chemistry and technology, 2006, Boskou, D. 2^{ème} Ed. Aocs Press, USA, 253 p, pp. 1-12.

Proietti, P. (2000). Effect of fruiting on leaf gas exchange in olive (*Olea europaea* L.). *Photosynthetica* 38: 397-402.

Proietti, P., Nasini, L., et Ilarioni, L. (2012). Photosynthetic behavior of Spanish Arbequina and Italian Maurino olive (*Olea europaea* L.) cultivars under super-intensive grove conditions. *Photosynthetica* 50 (2): 239-246.

Puppo, L., García, C., et Girona, J. (2014). Determination of Young Olive-Tree Water Consumption with Drainage Lysimeters. *Journal of Water Resource and Protection* 6: 841-851.

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.

Rapoport, H.F. (2008). Botánico y morfología. In. El cultivo del olivo, 2008, Barranco, D., Fernández-Escobar, R. et Rallo, L. (Eds.). Junta de Andalucía et Mundi-Prensa, España, 864 p, pp. 37-62.

Restrepo, M., Benlloch, M., et Fernández-Escobar, R. (2002). Influencia del estrés hídrico y del estado nutritivo del olivo en la absorción foliar del potasio. Dirección General de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (Eds.). Jornadas de Investigación y Transferencia de Tecnología al Sector Oleícola, Córdoba (Spain), pp. 307-310.

Rey, A., Petsikos, C., Jarvis, P. G., et Grace, J. (2005). Effect of temperature and moisture on rate of carbon mineralization in a Mediterranean oak forest soil under controlled and field conditions. *European Journal of soil science* 56: 589-599.

Rius, X. et Lacarte, J.M. (2010). La revolución del olivar. El cultivo en seto. (Eds.). Cop. 2010 (Barcelona: Comgrafic), España, 340 p.

Roda, F, Avila, A., et Rodrigo, A, (2002), Nitrogen deposition in Mediterranean forests. *Environ. Pollut* 118: 205-213.

Rosecrance, R.C., Weinbaum, S. a., et Brown, P.H. (1996). Assessment of nitrogen, phosphorus, and potassium uptake capacity and root growth in mature alternate-bearing pistachio (*Pistacia vera*) trees. *Tree Physiol.* 16: 949-956.

Rosecrance, R. C., Krueger, W. H., Millironc, L., Bloesed, J., Garciae, C., et Morie, B. (2015). Moderate regulated deficit irrigation can increase olive oil yields and decrease tree growth in super high density ‘Arbequina’ olive orchards. *Scientia Horticulturae* 190: 75-82.

Rossi, L., Sebastiani, L., Tognetti, R., d’Andria, R., Morelli, G., et Cherubini, P. (2013). Tree-ring wood anatomy and stable isotopes show structural and functional adjustments in olive trees under different water availability. *Plant Soil* 372: 567-579.

Rovira, P., et Vallejo V.R. (2007). Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean conditions: The effects of incubation depth. *Soil. Biol. Biochem* 29: 1509-1520.

Rufat, J., Villar, J.M., Pascual, M., Falguera, V., et Arbones, A. (2014). Productive and vegetative response to different irrigation and fertilization strategies of an Arbequina olive orchard grown under super-intensive conditions. *Agricultural Water Management* 144: 33-41.

Rugini, E et Baldoni, L. (2005). *Olea europaea* Olive. In. Biotechnology in agriculture series, N°29: Biotechnology of fruit nut crops, 2005, Litz, R.E. Ed CABI International, USA, 723 p, pp. 403-405.

Saxton, K. E., et Rawls W. J. (2006). Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *SOIL SCI. SOC. AM. J* 70: 1569-1578.

Scandellari, F., Tonon, G., Thalheimer, M., Ceccon, C., Gioacchini, P., Aber, J.D., et Tagliavini, M. (2007). Assessing nitrogen fluxes from roots to soil associated to rhizodeposition by apple (*Malus domestica*) trees. *Tree* 21: 499-505.

Scandellari, F., Ventura, M., Gioacchini, P., Vittori Antisari, L., et Tagliavini, M. (2010). Seasonal pattern of net nitrogen rhizodeposition from peach (*Prunus persica* L.

Batsch) trees in soils with different textures. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 136: 162-168.

Servili, M., Esposito, S., Lodolini, E., Selvaggini, R., Taticchi, A., Urbani, S., Montedoro, G., Serravalle, M., et 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.

Shear, C.B., et Faust, M., (1980). Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Horticultural Reviews* 2: 142-163.

Shuai, X., Zhou, Z., et Yost, R.S. (2003). Using Segmented Regression Models to Fit Soil Nutrient and Soybean Grain Yield Changes due to Liming. *J. Agric. Biol. Environ. Stat* 8: 240–252.

Sikaoui. (2006). Réflexion sur les densités de plantation de l'olivier. IV salon international de l'olivier « OLEA 2006 » : L'oléiculture : Levier du développement agricole Marrakech, pp : 25-28.

Sofa, A., Nuzzo, V., Maria Palese, A., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowskyj, P., et Dichio, B. (2005). Net CO₂ storage in Mediterranean olive and peach orchards. *Scientia Horticulturae* 107: 17-24.

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.

Stanford, G., England, C.B., et Taylor, A.W. (1969). Fertilizer use and water quality. *USDA/ARS*: 41-168.

Stevenson, F.J. (1982). Origen and distribution of nitrogen in soil. In. Nitrogen in agricultural soils. Stevenson, F.J. (1982). (Eds.). *Agronomy* 22:1-39.

Stewart, L.K., Charlesworth, P.B., Bristow, K.L., et Thorburn, P.J. (2006). Estimating deep drainage and nitrate leaching from the root zone under sugarcane using APSIM-SWIM. *Agricultural Water Management* 81: 318-334.

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.

Therios, I. (2009). Crop production science. In. horticulture 18. Olives. (Eds.). CABI Press. UK. 409 p, pp: 9-10.

Tombesi, A., Boco, M., et Pilli, M. (1999). Influence of light exposure on olive fruit growth and composition. *Acta Hort* 474: 255-259.

Tombesi, A., et Tombesi, S. (2007). Conception et installation de l'olivieraie. In. Techniques de production en oléiculture. 1^{ère} Ed: COI, 17-39.

Toms, J.D., et Lesperance, M.L. (2003). Piecewise regression: a tool for identifying ecological thresholds. *Ecology* 84: 2034–2041.

Tous, J. (2010). Modelos actuales en las plantaciones intensivas de olivo. *Vida Rural* 304: 34-35.

Tous, J., Romero, A., Hermoso, J.F., Msallem, M., et Larbi, A. (2014). Olive orchard design and mechanization: present and future. *Acta Hort* 1057: 231-246.

Trentacoste, E.R., Sadras, O., et Puertas, C.M. (2011). Effects of the source : sink ratio on the phenotypic plasticity of stem water potential in olive (*Olea europaea* L.). *Journal of Experimental Botany*, 62(10): 3535–3543.

Trentacoste, E.R. (2015). Respuesta fisiológica y agronómica del olivar en seto (cv. Arbequina) a la orientación de fila y al ancho de calle: relación entre la producción y la calidad del aceite y la radiación interceptada. Thèse doctorale, université polytechnique de Madrid. Espagne. pp, 217.

Tubeileh, A., Turkelboom, F., Al-ibrahem, A., Thomas, R., et Sultan-tubeileh, K., (2014). Modelling the Effects of Soil Conditions on Olive Productivity in Mediterranean Hilly Areas. *Int. J. Agron*, vol (2014): 1-12.

Turktas, M., Inal, B., Okay, S., Erkilic, E.G., Dundar, E., Hernandez, P., Dorado, G., et Unver, T. (2013). Nutrition metabolism plays an important role in the alternate bearing of the olive tree (*Olea europaea* L.). *Plos One* 8: 1-15.

Vallejo, A., García-Torres, L., Díez, J., Arce, A., et López-Fernández, S. (2005). 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: 313-325.

Veihmeyer, F.J., et Hendrickson, A.H. (1950). Soil moisture in relation to plant growth. *Ann. Rev. Plant physiol* 1: 285-304.

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.). Mundi-Prensa. 606 p, pp. 25-86.

Whipps, J.M. (1990). Carbon economy. In. Lynch J.M. The Rhizosphere. (Eds.). Wiley Interscience. New York., pp: 59-98.

Wichern, F., Eberhardt, E., Mayer, J., Joergensen, R.G., et Müller, T. (2008). Nitrogen rhizodeposition in agricultural crops: methods, estimates and future prospects. *Soil Biol. Biochem* 40: 30-48.

William, H.K. (2005). Carbohydrate and nitrogen assimilation. In Olive production manual. (2005). Sibbett, D. G et Louise. F. (Eds.). ANR. University of California. Agriculture and Natural Resources. pp: 35-47.

Young, J.L., et Aldag, R.W. (1982). Inorganic forms of N in soils. In. Nitrogen in agricultural soils. Stevenson, F.J. (1982). (Eds.). Madison, Wisconsin. pp: 43-62.

Zaman, M. et Chang, S. X. (2004). Substrate type, temperature, and moisture content affect gross and net N mineralization and nitrification rate in agroforestry systems. *Biology and fertility of soils* 39: 269-279.

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.

Zhou, J.B., XI, J.G., CHEN, Z., et LI, S.X. (2006). Leaching and transformation of nitrogen fertilizers in soils after application of N with irrigation: A Soil Column Method. *Pedosphere* 16: 245-252.

9. ANNEXES

Annexe 01: Evolution du taux de la matière sèche des fruits (%) durant les deux années 2011 et 2012 en fonction des facteurs étudiés : Irrigation, fertilisation et orientation de la plantation.

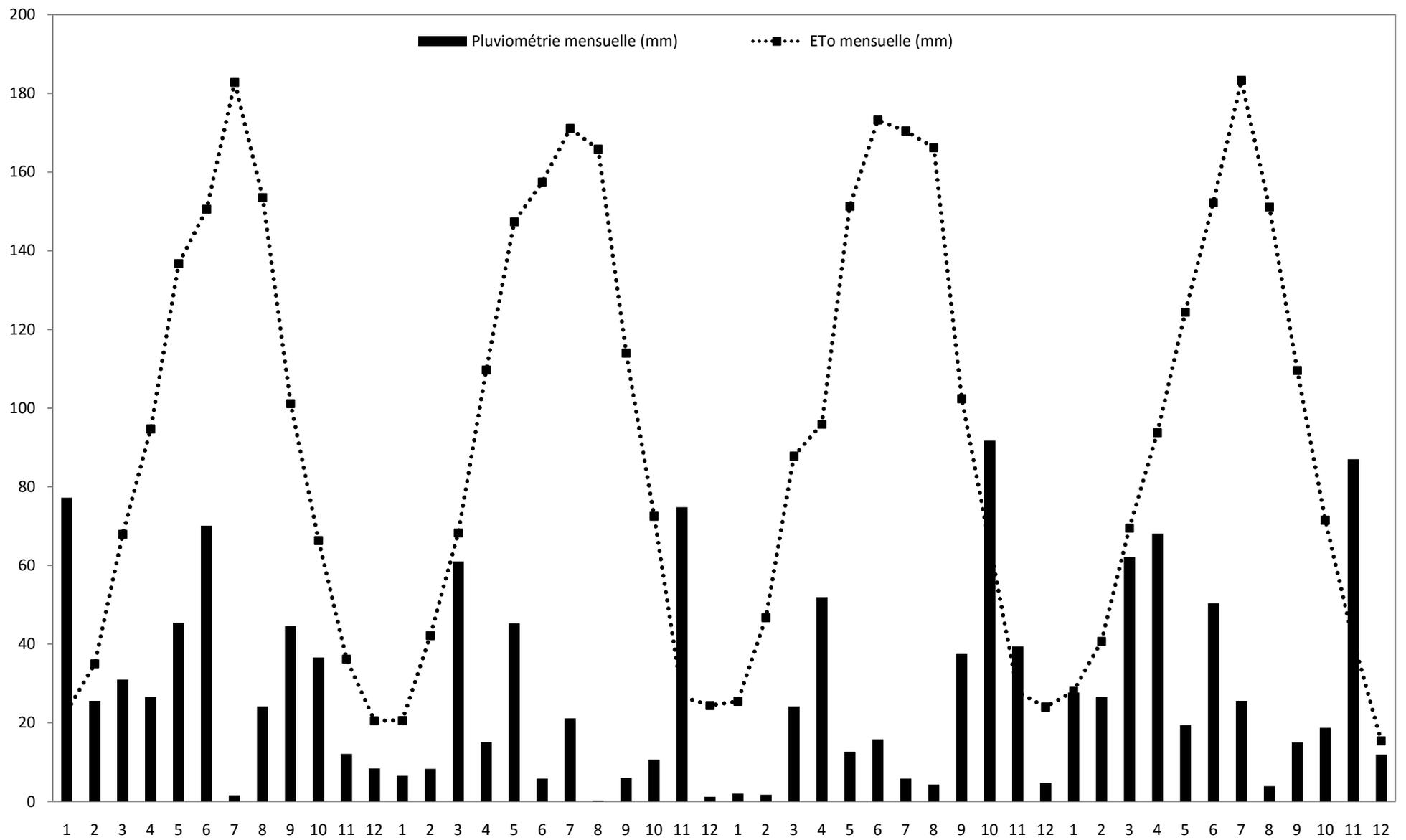
Irrigation	N	K	Face	13/10/2011	02/11/2011	20/09/2012	05/10/2012	23/10/2012	05/11/2012	20/11/2012			
R-100	0	0	S-E	46,2	43,4	45,3	43,6	41,1	43,3	43,7			
			N-O	43,2	41,4	41,8	42,7	40,2	40,6	42			
		100	S-E	45,8	45,7	43,2	42,3	39,6	40,8	42,3			
				N-O	41,4	42,3	40,5	40,4	37,3	37,5	39,6		
			50	0	S-E	44,1	42,2	43,8	41,8	40,2	41,7	42,4	
					N-O	39,5	38	41,8	39,7	38	39,6	39,8	
	IDC	0	0	S-E	49,2	47,9	48,2	46,1	44,8	46,2	47,2		
				N-O	45	44,4	43,1	43,5	42,9	43	44,9		
			100	S-E	47,5	46,5	46,4	44,9	50,1	43,3	45		
					N-O	44	43,4	45,1	43	41	42,7	43,1	
				50	0	S-E	46,6	46,2	47,3	45,1	43	42,8	44,8
						N-O	43,1	42,4	44,2	42,3	40,1	41,3	43,4
100	S-E	47,4	45,6	45,2	42,8	39,7	40,4	42,6					
		N-O	43,5	42,6	42,5	40,7	38,3	38,1	40,3				

Annexe 02: les calculs du bilan hydrique dans le sol durant l'année 2011

Date	Irrigation (mm)	Précipitation Effective (mm)	ETc (mm)	Humidité initiale (mm)	PFP (mm)	CC (mm)	HS (mm)
31/1	0,0	3,3	14,4	126,0	126,0	279,0	114,8
28/2	0,0	4,2	29,5	115,0	126,0	279,0	89,6
31/3	0,0	30,5	47,8	90,0	126,0	279,0	72,7
19/4	18,0	0,4	52,1	279,0	126,0	279,0	245,4
27/4	16,3	7,2	16,3	245,4	126,0	279,0	252,5
4/5	7,5	0,0	21,1	252,5	126,0	279,0	238,9
6/5	5,1	0,0	6,5	238,9	126,0	279,0	237,5
16/5	12,4	14,3	31,7	237,5	126,0	279,0	232,5
19/5	6,5	0,0	10,6	232,5	126,0	279,0	228,4
23/5	10,0	0,0	15,4	228,4	126,0	279,0	223,0
1/6	28,3	8,4	29,9	223,0	126,0	279,0	229,7
6/6	14,6	2,7	13,9	229,7	126,0	279,0	233,1
14/6	17,3	0,2	26,4	233,1	126,0	279,0	224,2
20/6	15,2	0,0	23,8	224,2	126,0	279,0	215,6
29/6	21,7	0,1	38,8	215,6	126,0	279,0	198,5
4/7	16,5	9,0	17,9	198,5	126,0	279,0	206,1
11/7	23,8	0,0	29,3	206,1	126,0	279,0	200,6
18/7	23,2	1,6	26,4	200,6	126,0	279,0	199,0
25/7	23,5	0,0	27,1	199,0	126,0	279,0	195,4
1/8	22,5	0,0	26,3	195,4	126,0	279,0	191,5
10/8	29,9	0,0	33,9	191,5	126,0	279,0	187,6
17/8	21,9	0,1	25,8	187,6	126,0	279,0	183,8
24/8	21,4	0,0	28,8	183,8	126,0	279,0	176,4
6/9	39,7	3,0	40,4	176,4	126,0	279,0	178,7
8/9	8,4	0,0	6,1	178,7	126,0	279,0	181,0
13/9	13,6	0,0	15,1	181,0	126,0	279,0	179,6
20/9	13,3	0,0	18,6	179,6	126,0	279,0	174,2
27/9	14,0	0,0	16,4	174,2	126,0	279,0	171,9
4/10	14,0	0,0	15,9	171,9	126,0	279,0	170,0
11/10	13,9	0,0	15,0	170,0	126,0	279,0	168,9
18/10	10,0	0,0	12,6	168,9	126,0	279,0	166,3
25/10	10,2	0,9	9,8	166,3	126,0	279,0	167,6
30/11	0,0	37,4	18,6	167,6	126,0	279,0	186,4
31/12	0,0	0,6	17,1	186,4	126,0	279,0	169,9

Annexe 03: les calculs du bilan hydrique dans le sol durant l'année 2012.

Date	Irrigation (mm)	Précipitation Effective (mm)	Etc (mm)	Humidité initiale (mm)	PPF (mm)	CC (mm)	HS (mm)
31/1	0,0	1,0	17,8	126,0	126	279	109,2
28/2	0,0	0,9	32,7	126,0	126	279	94,1
31/3	0,0	12,1	61,4	126,0	126	279	76,7
17/4	12,6	13,1	34,6	279,0	126	279	270,1
25/4	15,1	0,6	21,0	270,1	126	279	264,7
1/5	11,3	13,2	14,3	264,7	126	279	274,8
7/5	7,5	0,5	18,0	274,8	126	279	264,8
17/5	13,4	1,1	34,6	264,8	126	279	244,6
29/5	25,3	4,0	42,0	244,6	126	279	231,9
6/6	8,2	3,7	32,0	231,9	126	279	211,8
12/6	13,1	0,0	22,7	211,8	126	279	202,3
22/6	31,4	4,2	39,3	202,3	126	279	198,6
26/6	2,6	0,0	17,7	198,6	126	279	183,5
3/7	16,6	0,0	27,7	183,5	126	279	172,5
10/7	18,2	2,0	26,1	172,5	126	279	166,6
17/7	21,0	0,9	27,8	166,6	126	279	160,6
24/7	24,8	0,0	29,0	160,6	126	279	156,5
31/7	23,9	0,0	26,8	156,5	126	279	153,7
8/8	24,2	1,3	31,0	153,7	126	279	148,0
31/8	79,8	0,9	85,3	148,0	126	279	143,4
5/9	15,8	0,0	13,6	143,4	126	279	145,7
12/9	17,6	0,1	20,1	145,7	126	279	143,2
18/9	13,0	0,0	14,4	143,2	126	279	141,8
25/9	16,0	0,0	17,9	141,8	126	279	139,8
2/10	9,5	18,7	9,6	139,8	126	279	158,5
6/10	2,3	0,0	8,3	158,5	126	279	152,4
16/10	9,9	9,7	16,7	152,4	126	279	155,3
19/10	2,0	0,1	4,2	155,3	126	279	153,2
30/11	0,0	19,7	19,5	153,2	126	279	153,4
31/12	0,0	2,4	16,8	153,4	126	279	138,9



Annexe 4 : L'évolution de la pluviométrie et de l'évapotranspiration de référence durant les années 2010, 2011, 2012 et 2013.

Annexe 5 : La longueur des pousses pour les deux faces de la haie.

	Longueur des pousses (cm)		
	2010	2011	2012
S-E	12,8	22,0	16,3
N-O	10,9	18,9	15,2