

Table de matières

Introduction	1
Présentation de l'institut d'accueil : L'INRA-CRRA Meknès	2

1ère partie : Revue bibliographique

I. Généralités sur l'olivier	4
I.1 Description botanique	4
I.2 Exigences climatiques.....	6
I.3 Cycle végétatif.....	7
II. L'olivier au Maroc	8
III. Alimentation hydrique chez l'olivier	10
III.1 Intérêt de l'irrigation	10
III.2 Besoin en eau de l'olivier	11
III.3 Effet de l'irrigation sur la croissance	11
III.4 Effet de l'irrigation sur la fructification.....	12
III.5 Effet de l'irrigation sur les paramètres de production	12
III.6 Irrigation déficitaire.....	13
IV. Alimentation minérale chez l'olivier	13

2ème partie : Matériel et méthodes

I. Matériel végétal et conditions de culture.....	18
I.1 Analyses du sol effectuées	18
II. Dispositif expérimental	22
III. Paramètres mesurés	23
III.1 Accroissement du tronc.....	24
III.2 Surface foliaire.....	24
III.3 Concentration des pigments chlorophylliens foliaires	25
III.4 Teneur des fruits noués en acides et sucres solubles	26
III.4.1 Sucres solubles totaux.....	26
III.4.2 Acides aminés totaux	26

3ème partie : Résultats et discussion

I. Résultats des paramètres physico-chimiques du sol.....	27
II. Effet de doses croissantes d'azote sur le démarrage du jeune	
olivier en pot.....	27
II.1 Effet sur la surface foliaire	27
II.2 Effet de la concentration des pigments chlorophylliens	28
II.3 Effet sur le calibre du fruit et sa composition biochimique	29
III. Compensation de l'effet dépressif de l'irrigation déficitaire par	
la fertilisation azotée	31
III.1 Effet compensateur pour la teneur en chlorophylle	31
III.2 Effet compensateur pour le poids du fruit	32
III.3 Effet compensateur pour la teneur du fruit en sucres solubles	33
III.4 Effet compensateur pour la teneur du fruit en acides aminés.....	34
Conclusion	35
Recommandations	36

Abréviations

Ch	: Chlorophylle
DO	: Densité optique
DPA	: Directions Provinciales d'Agriculture
ETP	: Evapotranspiration
FAO	: Organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture
HCC	: Humidité à la capacité au champ
Kc	: Coefficient cultural
MAPM	: Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime
MO	: Matière organique
N	: Azote
Ph	: Potential of hydrogen
P2O5	: Phosphore
V _{titré}	: Volume titré
U.R	: Unité de recherche
TEP	: Tonne d'équivalent pétrole

Liste des tableaux

Tableau 1 : Déroulement des stades phénologiques chez l'olivier.....	7
Tableau 2 : Différentes doses d'azote apportées.....	23
Tableau 3 : Résultats des paramètres physico-chimiques du sol utilisé.....	27

Liste des figures

Figure 1 : Courbe de la demande azotée chez l'olivier	17
Figure 2 : Schéma du dispositif expérimental testés.....	23
Figure 3 : Surface foliaire chez l'olivier en fonction de doses croissantes d'azote sous les conditions d'irrigation complète.....	28
Figure 4 : Effet des doses croissantes d'azote sur la concentration en chlorophylle totale, chlorophylle (a) et chlorophylle (b) sous les conditions d'irrigation complète.....	29
Figure 5 : Effet des doses croissantes d'azote sur le poids du fruit à la nouaison sous les conditions d'irrigation complète.....	30
Figure 6 : Doses croissantes d'azote sur la teneur du fruit noué en sucres solubles et acides aminés totaux sous les conditions d'irrigation complète.....	31
Figure 7 : Teneur en chlorophylle influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote.....	32
Figure 8 : Poids du fruit à la nouaison influencé par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote.....	33
Figure 9 : Teneur du fruit en sucres solubles influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote.....	33
Figure 10 : Teneur du fruit en acides aminés influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote.....	34

Liste des images

Image 1 : Pied à coulisse digital.....	24
Image 2 : Type de planimètre utilisé pour la mesure de la surface foliaire.....	25

Résumé

Le présent travail a consisté en l'évaluation de certains effets de l'irrigation déficitaire et la fertilisation azotée ainsi que leur interaction chez le jeune olivier en conditions de pot. Il s'agit d'une activité de recherche qui s'inscrit dans le programme de l'INRA de Meknès portant sur l'économie d'eau en agriculture et l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation déficitaire chez les arbres fruitiers. Ainsi, sur un total de 36 jeunes plants d'olivier, deux régimes d'irrigation déficitaire (50 et 70% HCC) ont été comparés au régime d'irrigation à la demande (100% HCC). Pour chaque régime hydrique, quatre doses d'azote ont été testées : 75, 100, 125, 150 g/pot choisies en se basant sur les recommandations de fumure à partir d'analyses du sol. Les résultats obtenus ont montré globalement que les apports d'azote affectent significativement, parmi les paramètres mesurés, la teneur des feuilles en chlorophylle, le poids du fruit et ses teneurs en sucres solubles et acides aminés. Toutefois, les changements liés aux suppléments d'azote n'ont pas pu compenser les effets dépressifs de l'irrigation déficitaire. En conclusion, les résultats préliminaires de ce travail laissent présager que l'augmentation des apports d'azote ne constitue pas une technique prometteuse pour améliorer l'efficacité de l'irrigation déficitaire chez le jeune olivier. Notons que les résultats qui restent à acquérir à la fin du cycle de croissance des plants, pourraient bien prouver le contraire.

Introduction générale

L'olivier constitue l'un des piliers de l'agriculture marocaine avec une superficie en extension continue avec 1.13 millions ha jusqu'à fin 2015, dont 40 % en irrigué et 60 % en zones pluviales [9]. L'importance accordée à cette culture dans la politique agricole nationale découle de son importance socio-économique et de ses capacités d'adaptation à différents contraintes environnementales, en l'occurrence la sécheresse [14]. Le Ministère de l'Agriculture a mis en place une stratégie visant la modernisation du secteur et l'extension des superficies pour atteindre 1.2 million d'hectares à l'horizon 2020 [11]. Cependant, en dépit de cette perspective, la productivité reste très modeste en raison de diverses contraintes dont la réduction des disponibilités en eau, qui constitue un défi majeur [8]. Le secteur oléicole est ainsi appelé à gérer ces ressources en eau de manière rationnelle.

La réduction notable des ressources en eau, en raison de la concurrence avec les autres secteurs, comme l'industrie et l'eau potable, ont fait de l'économie de l'eau une préoccupation stratégique de l'Etat. Cependant, l'aboutissement de toute stratégie dans ce sens nécessite la connaissance des besoins en eau des cultures sous les conditions locales et le développement de techniques d'irrigation plus économes et plus efficaces au niveau de la parcelle. Ces techniques sont particulièrement impératives pour les cultures stratégiques dont l'olivier, notamment dans les régions où les épisodes de sécheresse sont fréquentes [2].

Actuellement, l'irrigation déficitaire est impérative dans la quasi-totalité des régions agricoles du Maroc. L'adoption de restrictions hydriques raisonnées aidera énormément pour une gestion efficace des eaux disponibles. Toutefois, les niveaux de l'irrigation déficitaire au-delà desquels les rendements et la croissance diminuent considérablement sont souvent importantes, même au seuil de 50% de l'évapotranspiration, et ne peuvent pas être assurés dans plusieurs régions du pays, notamment pour les espèces moins efficaces en eau telle l'olivier. Ainsi, il est important d'associer d'autres techniques à l'irrigation déficitaire contrôlée pour pousser l'efficacité de celle-ci à des niveaux plus économes en eau [17]. Dans le présent travail, il est expérimenté la possibilité d'améliorer l'efficacité de l'irrigation déficitaire par raisonnement de la fertilisation azotée. Le choix de cette stratégie s'est basé sur le fait que ces deux facteurs ont des effets opposés, faisant ainsi supposer que l'azote peut compenser les réductions causées par le stress hydrique. L'adoption de telle technique suppose une connaissance précise des effets du stress hydrique et des apports d'azote aux différents stades phénologiques de la culture sous les conditions climatiques et édaphiques locales ainsi que les mécanismes physiologiques des interactions possibles. C'est dans ce contexte où s'est inscrit ce travail de recherche qui vise contribuer à l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation déficitaire du jeune olivier.

PRESENTATION DE L'INSTITUTION D'ACCEUIL : L'INRA-CRRA Meknès

1. Présentation de l'INRA [15]

L'institut National de la Recherche Agronomique "INRA" a pour mission d'entreprendre les recherches pour le développement agricole. C'est un établissement public dont les origines remontent à 1914 avec la création des premiers services de recherche agricole officiel. L'INRA, opère à travers dix centres régionaux de la recherche agronomique et 23 domaines expérimentaux répartis sur le territoire national et couvrant les divers agro systèmes du pays.

Les projets de recherche de l'INRA sont définis avec la participation des partenaires, des clients et des prescripteurs régionaux. Ils sont menés au sein de trente unités de recherche hébergés par les Centres Régionaux. Ils sont encadrés à l'échelle centrale par dix départements scientifiques à vocation disciplinaire.

Pour accomplir sa mission et être au diapason de l'actualité scientifique, l'INRA entretient des relations de partenariats avec des organisations nationales et internationales, les structures de développement, le secteur privé et les Organisations Non Gouvernementales.

2. Présentation de CRRA-Meknès [15]

Le CRRA Meknès est une institution à profond ancrage historique, qui développe une stratégie de recherche actualisée pour la production de technologies, connaissances et méthodes qui répondent aux besoins de sa zone d'action qui couvre les neuf Directions Provinciales d'Agriculture (DPA) de Boulemane, El Hajeb, Fès, Ifrane, Khénifra, Meknès, Taounate, Taza et Sefrou. Elle possède trois domaines expérimentaux : Ain Taoujdate, Douyetet, Annaceur. Les ressources humaines présentes au centre sont :

- 32 chercheurs et chercheuses, spécialisées dans différentes branches des sciences agronomiques et humaines ;
- 20 techniciens de recherche ;
- Un informaticien ;
- Un administrateur ;
- 51 agents de support

Réparties dans 4 unités de recherche (U.R) dont :

- U.R Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-génétiques (URAPCRG)
- U.R Agronomie et Physiologie Végétale (URAPV)
- U.R Gestion Durable des Ressources Naturelles, d'Economie et de Sociologie Rurales (URGDRNESR)
- U.R Protection des plantes (URPP)

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur l'olivier

I.1 Description botanique

L'olivier fait partie de la famille des oléacées. Ci-après, sa classification botanique [17]:

Règne :	Plantae
Sous-règne :	Tracheobionta
Division :	Magnoliophyta
Classe :	Magnoliopsida
Sous-classe :	Asteridae
Ordre :	Scrophulariales
Famille :	Oleaceae
Genre :	Olea

- **Aspect général**

Très rameux, au tronc noueux, au bois dur et dense, à l'écorce brune crevassée, il peut atteindre quinze à vingt mètres de hauteur, et vivre plusieurs siècles.

Cependant, sous l'action d'animaux de pâture, ou dans des zones extrêmement ventée, ou exposées aux embruns, il conserve une forme buissonnante, de défense, et maintient la forme d'une boule compacte et impénétrable, lui donnant l'aspect d'un buisson épineux. Dans la plupart des modes de culture, les oliviers sont maintenus à une hauteur de trois à sept mètres afin de faciliter leur entretien et la récolte des fruits [19].

- **Feuilles**

Les feuilles sont opposées, ovales allongées, portées par un court pétiole, coriaces, entières, enroulées sur les bords, d'un vert foncé luisant sur la face supérieure et d'un vert clair argenté avec une nervure médiane saillante sur la face inférieure. Le feuillage est persistant, donc toujours vert, mais cela ne veut pas dire que ses feuilles sont immortelles. Elles vivent en moyennes trois ans puis jaunissent et tombent, principalement en été. En cas de sécheresse, les feuilles sont capables de perdre jusqu'à 60% de leur eau, de réduire fortement la photosynthèse et de fermer les stomates permettant les échanges gazeux pour réduire



les pertes en eau par évapotranspiration, permettant ainsi la survie de l'arbre au détriment de la production fructi-florale [19].

C'est grâce à sa feuille que l'olivier peut survivre en milieu aride. Quand il pleut, les cellules foliaires s'allongent pour emmagasiner l'eau. Et, en cas de sécheresse, les feuilles se rétractent et bloquent l'activité de photosynthèse au détriment des fruits [19].

- **Fleurs**

Les fleurs sont blanches avec un calice, deux étamines, une corolle à quatre pétales ovales, et un ovaire de forme arrondie qui porte un style assez épais et terminé par un stigmate.

Cet ovaire contient deux ovules. Les fleurs sont regroupées en petites grappes de dix à vingt, poussant à l'aisselle des feuilles au début du printemps sur les rameaux âgés. La plupart des oliviers sont auto-fertiles, c'est-à-dire que leur propre pollen peut féconder leurs propres ovaires. La fécondation se fait principalement par l'action du vent et la période de fertilité ne dure qu'une petite semaine par année. S'il ne pleut pas trop durant cette période, 5 à 10% des fleurs produiront des fruits pour une bonne production [19].

- **Fruits**

Le fruit, l'olive est une drupe, dont la peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau (la pruine), avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse stockée durant la lipogenèse, de la fin août jusqu'à la véraison [19].

D'abord vert, il devient noir à maturité complète. Le noyau très dur, osseux, est formé d'une enveloppe (endocarpe) qui se sclérifie l'été à partir de la fin juillet, et contient une amande avec deux ovaires dont l'un est généralement stérile et non-fonctionnel : cette graine (rarement deux) produit un embryon, qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables [19].

- **Racines**

Lors de la germination du noyau, le jeune plant développe une racine pivotante. Puis en croissant, l'olivier développe un système racinaire essentiellement peu profond 60 à 100 cm à développement latéral, dont les racines principales débordent peu l'aplomb du feuillage, alors que les racines secondaires et les radicelles peuvent explorer une surface de sol considérable.

Le chevelu racinaire se limite en général au premier mètre de sol et est particulièrement développée dans les zones plus humides. Au-delà du premier mètre poussent les racines permettant l'alimentation de l'arbre en cas de sécheresse. Seules les racelles émises au cours de l'année permettent l'absorption de l'eau. Les racines de l'olivier sont capables d'extraire de l'eau en exerçant une importante force de succion permettant de prospérer là où d'autres se flétriraient. Pour limiter la concurrence hydrique entre les oliviers, l'espacement entre les arbres doit tenir compte des ressources en eau : la plantation sera plus rapprochée dans les oliveraies irriguées et plus espacée dans les vergers en cultures pluviales soumis à la sécheresse [19].

I.2 Exigences climatiques

Arbre méditerranéen par excellence, l'olivier exige un climat doux, lumineux, et supporte tout à fait bien la sécheresse. Il craint plutôt le trop d'eau et donc les excès d'arrosage (apport de trente à quarante litres d'eau, une à deux fois en juillet et août, et seulement la première année après la plantation). Avec six-cents millimètres de pluie bien répartis sur l'année, l'olivier se développe et produit normalement. Entre 450 et 600 mm/an, la production est possible, à condition que le sol ait des capacités de rétention en eau suffisantes, ou que la densité de la plantation soit plus faible. Dans le sud de la Tunisie, où la pluviométrie peut être inférieure à 100 mm par an, la plupart des plantations comportent moins de vingt arbres par hectare. Avec une pluviométrie inférieure à 200 mm/an, l'oléiculture risque d'être économiquement non-rentable. Comme l'olivier ne peut pas résister à une température inférieure à -15°C, cet isotherme délimite sa zone de culture en latitude (en général 25°-45°) et en altitude. L'olivier résiste jusqu'à -10 à -12°C en repos végétatif hivernal, mais à 0 à -1°C, les dégâts peuvent être très importants pour la floraison. Néanmoins, un hiver marqué lui est nécessaire pour induire la production de fleurs et donc d'olives [19].

L'olivier est un arbre rustique, indifférent à la nature du sol mais exigeant en lumière ; il craint l'humidité, mais supporte par contre des sécheresses exceptionnelles et ne souffre que peu de l'action des vents violents. Cependant, à 35-38°C, la croissance végétative s'arrête et à 40°C et plus, des brûlures endommagent l'appareil foliacé, pouvant provoquer la chute des fruits, surtout si l'irrigation est insuffisante. Les vents chauds au cours de la floraison, les brouillards, les fortes hygrométries, la grêle et les gelées printanières sont autant de facteurs défavorables à la floraison et à la fructification [19].

I.3 Cycle végétatif :

L'olivier ne produit naturellement qu'une année sur deux en l'absence de taille et la production s'installe lentement, progressivement, mais durablement : entre 1 et 7 ans, c'est la période d'installation improductive dont la durée peut doubler en cas de sécheresse ; jusqu'à 35 ans, l'arbre se développe et connaît une augmentation progressive de la production, entre 35 et 150 ans, il vieillit et ses rendements deviennent aléatoires. Au cours de l'année, le cycle de croissance de l'olivier se déroule en différents stades phénologiques (Tableau 1) [19].

Tableau 1 : Déroulement des stades phénologiques chez l'olivier

Phases végétatives	Début	Durée	Manifestations
Repos végétatif	Décembre-Janvier	1-3 mois	Activité germinative arrêtée ou ralentie
Induction florale	Février	.	Les fruits se développeront sur le bois poussé l'année précédente (> taille).
Reprise de la végétation	fin Février	20-25 jours	Émission d'une nouvelle végétation de couleur claire
Apparition de boutons floraux	mi-Mars	18-23 jours	Inflorescences de couleur verte, blanchâtres à maturité
Floraison	de début Mai au 10 Juin	7 jours	Fleurs ouvertes et bien apparentes, pollinisation et fécondation
Fructification	fin Mai-Juin	.	Chute des pétales, hécatombe précoce des fleurs et des fruits
Développement des fruits	seconde moitié de Juin	3-4 semaines	Fruits petits mais bien apparents
Durcissement du noyau	Juillet	7-25 jours	Fin de la formation des fruits devenant résistants à la coupe et à la section.
Croissance des fruits	Août	1,5-2 mois	Augmentation considérable de la taille des fruits et apparition des lenticelles.
Début de maturation	de mi-October à Décembre	.	Au moins la moitié de la surface du fruit vire du vert au rouge violacé

Source de données du tableau ci-dessous : [19]

II. L'olivier au Maroc

- **Culture**

Les premières traces de l'olivier (*Olea europea*) ont été retrouvées en Asie mineure. Au Maroc, il fut introduit par les phéniciens (Janick, 2005). De par ses produits et leurs utilisations séculaires ainsi que ses fonctions multiples de lutte contre l'érosion, de valorisation des terres agricoles et de fixation des populations dans les zones de montagne, l'olivier constitue la principale spéculation fruitière cultivée au Maroc [17].

Il fait l'objet maintenant d'un plan de valorisation très ambitieux pour non seulement garder le Royaume à son niveau actuel (2e producteur mondial pour l'olive de conserve et 6e pour l'huile d'olive) mais pour conquérir de nouveaux marchés au niveau mondial et profiter ainsi de l'engouement que connaît cette huile reconnue pour ses bienfaits [7].

Le plan national « Maroc Vert » permet ainsi, grâce à des subventions conséquentes, non seulement de renouveler les vergers existant avec la variété traditionnelle picholine du Maroc, mais également la plantation de nouvelles variétés en super-intensif dans le but d'industrialiser au maximum de nouveaux vergers.

L'olive ne sera plus dans l'avenir que représentée par son huile et ses formes comestibles, mais les résidus de son extraction seront valorisés soit sous forme de combustible élaboré pour le grignon, soit sous forme d'une base de chimie verte pour les sous-produits du raffinage. D'autres applications sont actuellement à l'étude, car le Maroc a compris, comme tous les autres grands pays producteurs, que l'olive était un nouveau gisement de richesses [7].

Un olivier produit de quinze à cinquante kilos d'olives par récolte selon la densité de la plantation, le mode de conduite agronomique, notamment l'irrigation, le cultivar, et l'âge de l'arbre. Certains oliviers très âgés et très grands, soumis à l'alternance (production une année sur deux) par report de taille annuelle, peuvent produire occasionnellement des quantités bien supérieures, atteignant parfois 300 à 400 kg [19].

- **Superficie et localisation**

Actuellement, l'olivier couvre une superficie d'environ 1.13 millions ha, soit près de 55% du verger arboricole national (MAPM, 2015). Son importance se justifie par la qualité et les effets bénéfiques de ses produits sur la santé des populations méditerranéennes pendant des siècles.

Bien que l'olivier intéresse tout le territoire national, la répartition géographique de ce patrimoine fait ressortir trois grandes zones oléicoles bien distinctes [17]:

- Le Nord (Nador, Tetouan, Chefchaouen, Taounate, Ouazzane) avec une superficie de 210 000 ha soit 28%
- Le centre (Taza, Fès, Meknès, Khémisset, Khénifra) avec une superficie de 190 000 ha soit 26%
- Le Sud (Haouz, Tadla, Safi, Essaouira) avec une superficie de 210 000 ha soit 28%, ainsi que d'autres (Oriental, Montagnes et sud) avec une superficie de 130 000 ha soit 18% .

- **Profil variétal et densités**

L'oléiculture nationale est constituée essentiellement de la variété population « Picholine Marocaine » qui représente plus de 90% des plantations. Le reste, soit 10%, est constitué de plusieurs variétés [13].

La variété population « picholine marocaine » est caractérisée par :

- sa forte adaptation aux conditions pédoclimatiques marocaines,
- sa double finalité olive de table et huile,
- sa qualité d'huile,

Néanmoins, elle présente certains inconvénients :

- une forte sensibilité à certaines maladies,
- un fort indice d'alternance, accentué par des pratiques inadéquates,
- une faible teneur en huile, accentuée par un matériel de trituration vétuste.

Les densités les plus répandues se situent entre 80 et 100plants/ha, certains vergers modernes ont utilisé des densités plus importantes allant jusqu'à 400 plants/ha [13].

- **Pépinières et production de plants**

Une soixantaine de pépinières produisent les plants d'olivier dont 23 sont agréés. Ces dernières ont une capacité annuelle de 8.6 millions de plants. En 2004-2005, 5.7 millions de plants ont été certifiés [13].

III. Alimentation hydrique chez l'olivier

L'olivier résiste à la chaleur et à la sécheresse, de par sa constitution robuste et certaines adaptations physiologiques qui lui sont propres. Cependant, si on lui apporte de l'eau à certains moments clés, il pourra mieux produire [3].

- La 1ère période critique est le printemps : l'olivier commence à préparer ses fleurs et les futurs fruits. Pour une meilleure pollinisation et fécondation, la fleur doit être bien irriguée et turgescente. Cependant, il ne suffit pas d'arroser les arbres juste au moment de la floraison : cela se prépare bien avant et dès le mois d'avril si mars a été sec. Il faut continuer pendant la floraison et pendant la formation des petits fruits [3].
- La 2ème période à irriguer est le fruit, et plus particulièrement la formation du fruit. Quant il est encore tout petit, les cellules se divisent dans le fruit et ont besoin d'une bonne hydratation pour se multiplier correctement. Quand cette phase est finie (vers début juillet), l'olive aura son nombre de cellules définitives; le grossissement du fruit viendra uniquement du grossissement de ces cellules [3].
- La 3ème période est variable selon la destination des fruits : en été pour les olives de table vertes, à partir de fin août pour les olives à huile et les olives noires de table. Si septembre est sec, il faut continuer l'irrigation pour une bonne lipogénèse [3].

III.1 Intérêt de l'irrigation [1]

L'irrigation permet de :

- Se mettre à l'abri du risque de sécheresse compromettant une récolte qui s'annoncerait excellente.
- Lutter contre l'alternance, en permettant aux oliviers de produire à la fois des fruits et le bois qui portera les fruits de l'année suivante.
- Augmenter la production en quantité et en qualité. Particulièrement en permettant à l'arbre de produire un maximum de fleurs parfaites et d'assurer leur nouaison.
- Mettre à disposition de l'olivier, directement au niveau de ses racines, l'engrais qu'on aura mélangé à l'eau d'arrosage et ce, en le dosant de manière très précise.
- Accélérer la croissance des jeunes plants d'oliviers.

III.2 Besoin en eau de l'olivier

La transpiration est régie par la demande climatique (FAO, 1987). Pour fonctionner convenablement, l'arbre doit absorber autant d'eau qu'il en perd. La sortie de l'eau se fait au niveau des feuilles à travers leurs stomates. C'est grâce à ce processus que se fait la montée de la sève brute et l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs par les racines. Par l'irrigation, on intervient pour compenser ces pertes d'eau lorsque les réserves naturelles du sol ne sont plus suffisantes pour alimenter correctement la culture [4].

Dans le cas de l'olivier, qui est considéré comme l'arbre fruitier xérophyte par excellence, le besoin en eau varie sensiblement en fonction de son stade phénologique. En particulier, pendant la période allant de la floraison à la nouaison, ou il faut éviter le stress hydrique pour ne pas compromettre la production. Un bon apport d'eau est également fondamental au cours de la phase initiale de développement du fruit pour favoriser les processus de division, distension et différenciation cellulaire. Ensuite, pendant la phase de formation de l'huile, la disponibilité de la bonne quantité d'eau dans le sol permet un grossissement constant du fruit, ainsi qu'une formation équilibrée de composants chimiques, tels que les phénols et les polyphénols, qui jouent un rôle important dans les caractéristiques qualitatives et organoleptiques finales de l'huile. Cependant, pour obtenir une bonne efficacité d'utilisation de cette eau, il est nécessaire de connaître ses besoins réels en rapport avec son développement. Pour cela, déterminer ces besoins, revient à estimer l'évapotranspiration, notée ET_c , qui est définie pour un stade de développement donné et pour des conditions optimales de culture (bonne alimentation hydrique et minérale, pas de maladies, pas de mauvaises herbes) en vue d'une production maximale. Cette dernière est calculée en fonction de l'évapotranspiration de référence, notée ET_P (mm), d'un coefficient cultural K_c qui dépend de l'espèce et de son stade de développement et en rapport avec le taux de couverture du sol par la végétation qui est exprimé par le coefficient K_r [4].

III.3 Effet de l'irrigation sur la croissance

La réponse de l'olivier à l'irrigation est variable selon le stade phénologique et la dose appliquée. Une bonne alimentation en eau pendant la période de croissance printanière favorise l'élongation des rameaux, augmente le nombre d'inflorescences par pousse et améliore le taux de nouaison.

Le poids des olives ainsi que le rapport pulpe/noyau augmentent respectivement dans des proportions de 30 à 60% et 5 à 15% lorsque l'eau est apportée avant le stade de durcissement des noyaux et au cours des périodes de grossissement des fruits [4].

L'irrigation raisonnée permet d'augmenter :

- La longueur des pousses de 10 à 30% en moyenne [4].
- L'activité des racines à travers une meilleure nutrition hydrique et minérale de l'arbre [4].

Dans les plantations irriguées, une vague de croissance estivale est observée après le stade de durcissement des noyaux des olives. Elle produit en moyenne 30% de la croissance annuelle des pousses [4].

III.4 Effet de l'irrigation sur la fructification

L'irrigation raisonnée permet d'augmenter :

- Le taux de nouaison qui peut atteindre 15% Le nombre de sites potentiels de fructification [4].
- Le calibre des olives et leur nombre de 15 à 40% [4].

L'irrigation assure également un meilleur contrôle de la chute des fruits avec une réduction significative de l'écart de calibre. Elle modifie favorablement la date de maturation des olives [4].

III.5 Effet de l'irrigation sur les paramètres de production

L'irrigation raisonnée améliore le rendement en olives et en huile de 20 à 30%. L'apport de l'eau pendant les phases appropriées de croissance des fruits et de l'arbre permet de mieux contrôler l'alternance de production et assure une meilleure reprise des boutures après leur plantation [4].

L'efficacité de l'utilisation de l'eau est au moins doublée par rapport au mode pluvial [4]. Compte tenu de ces atouts, il est aujourd'hui de mise pour des raisons de rendement essentiellement, de pratiquer l'irrigation, mais de manière rationnelle pour maintenir la demande en eau à un niveau compatible avec les quantités disponibles et assurer l'équilibre entre la production et le développement végétatif [4].

III.6 Irrigation déficitaire

L'irrigation de l'olivier est pratiquée dans la plupart des plantations de manière empirique. On assiste alors à deux situations: ou l'eau est insuffisante pour combler le déficit climatique et permettre à la plante de croître et de produire aisément, ou au contraire, les apports sont trop copieux et d'énormes quantités d'eau sont perdues. Cependant, soucieux d'économiser plus d'eau, des recherches ont été réalisées pour étudier la possibilité de réduire les apports d'eau d'irrigation sans affecter significativement la production et ce en utilisant le concept de l'irrigation déficitaire afin de mieux contrôler le développement végétatif des arbres et leur productivité [4].

- **Concept de l'irrigation déficitaire [5]**

- Principe : fournir une quantité d'eau d'irrigation inférieure aux besoins totaux de l'arbre.
- But : Maintenir la production à un niveau acceptable avec une économie de l'eau.

Il existe plusieurs stratégies :

- **Irrigation déficitaire régulée** : consiste à appliquer des quantités d'eaux inférieures aux besoins optimums au cours d'une partie du cycle de l'olivier sans affecter considérablement le niveau de rendement et de croissance.
- **Irrigation déficitaire continue** : consiste à appliquer des quantités d'eaux inférieures aux besoins optimums tout au long du cycle de l'olivier. Le niveau de rendement sous cette stratégie est certainement affecté, mais le but est de rechercher un compromis entre l'économie d'eau et un niveau de production satisfaisant.
- **Irrigation partielle des racines (*Partial Rootzone Drying*)** : consiste à interférer les apports d'eau d'un côté à l'autre des racines. Le manque d'eau temporaire du côté non irrigué produirait des signaux de stress qui semblent stimuler la production de fleurs et de fruits.

IV. Alimentation minérale de l'olivier

Comme toute espèce ligneuse, l'olivier n'échappe pas aux lois générales de la nutrition minérale.

Grace à son système racinaire, l'arbre puise dans le sol les éléments nutritifs nécessaires pour couvrir ses besoins en nutriments et ce pour la formation de sa charpente, la production, le renouvellement des pousses...etc [6].

Ces prélèvements mobilisent chaque année une quantité plus ou moins importante d'éléments majeurs (N, P et K), d'éléments secondaires (Ca, Mg et S) et d'oligoéléments (Fe, Zn, Mn, Cu, Bo, etc...), mais au vu de la longévité de l'arbre, ces exportations présentent une masse considérable d'éléments minéraux, qu'il faut restituer à temps et en quantités adéquates [6].

- **La fertilisation azotée :**

L'[azote](#) joue un rôle primordial dans le [métabolisme](#) des plantes. C'est le constituant numéro un des [protéines](#), composants essentiels de la matière vivante. Il s'agit donc d'un facteur de croissance, mais aussi de qualité [6].

- **Les formes d'azote dans le sol**

Les sols contiennent 2 à 10 tonnes d'azote par hectare, essentiellement sous forme organique située dans la couche labourée comprise entre 0 et 25/30 cm de profondeur [6].

La matière organique du sol, souvent qualifiée d'«humus», est formée de composés carbonés et azotés résultant de la décomposition et des transformations dans le sol des débris organiques d'origine animale ou végétale (résidus de culture, produits résiduaux organiques, exsudats racinaires...). La stabilité de ces composés non vivants, est liée soit à leur nature complexe, soit à leur association avec les particules minérales (argile, calcaire, ions métalliques). La partie vivante, qui ne représente que 5 à 10% de la matière organique totale, regroupe les êtres vivants du sol, organismes très divers (vers de terre, arthropodes, bactéries, etc...) et nombreux. Les bactéries et les champignons, regroupés sous le terme de « biomasse microbienne », constituent la fraction la plus abondante et active, et jouent des rôles essentiels dans les transformations entre formes organiques et minérales de l'azote [6].

Dans le sol, l'azote minéral est présent sous trois formes :

- L'ion ammonium (NH_4^+), l'ion nitrite (NO_2^-) et l'ion nitrate (NO_3^-).

La forme nitrique qui provient de la nitrification de l'ammonium est prépondérante dans les sols cultivés.

En dehors des périodes consécutives aux apports d'azote par les engrais et amendements organiques, l'azote minéral présent dans le sol ne représente généralement que quelques dizaines de kg par hectare. A l'exception des légumineuses qui bénéficient de la fixation symbiotique, les plantes absorbent l'azote principalement sous forme minérale, aussi bien nitrique (NO_3^-) que ammoniacale (NH_4^+).

Toutefois, la prédominance du nitrate au cours de l'année dans les sols cultivés conduit les plantes à absorber l'essentiel de leur azote sous cette forme [6].

- **Les enjeux de la fertilisation azotée :**

1er enjeu : la productivité

La nutrition azotée des plantes est, avec l'eau, un des plus importants facteurs de production des grandes cultures, des légumes de plein champ et des prairies. Localement, d'autres facteurs limitants comme les moyens de protection contre les bio-agresseurs (maladies, ravageurs, adventices...) ou la disponibilité d'autres éléments nutritifs (phosphore, potassium, soufre, magnésium, oligo-éléments) peuvent devenir prépondérants mais la disponibilité en azote demeure primordiale dans la plupart des contextes agro-climatiques. Un des enjeux du raisonnement de la fertilisation est d'estimer correctement ces fournitures afin de déterminer la dose d'engrais nécessaire et suffisante pour assurer la production visée. Cette dose représente l'optimum technique [6].

2ème enjeu : la qualité des récoltes

La teneur en azote ou en protéines des récoltes peut être une condition d'accès au marché ou de valeur de la production. Parallèlement à d'autres facteurs comme le choix variétal, le raisonnement de la fertilisation azotée (dose et modalités d'apports) est primordial pour assurer les niveaux de qualités requis par les filières de transformation. Notons que si la plupart des cultures visent des teneurs en azote ou en protéine élevées, d'autres comme l'orge brassicole ou la betterave sucrière ont, a contrario, des plafonds de teneurs à ne pas dépasser pour pouvoir correspondre aux critères industriels de transformation ou de valorisation. L'accès à des critères exigés par les marchés peut amener à définir une dose d'azote différente de la dose d'azote technico-économique déterminée sur le seul rendement [6].

3ème enjeu : la qualité de l'eau et celle de l'air [6]

Le cycle de l'azote dans une parcelle agricole n'est pas cloisonné aux limites de la parcelle : des transferts de composés azotés se produisent entre le sol, l'air et l'eau. Les conséquences de ces transferts sur l'équilibre des écosystèmes naturels et/ou sur la santé humaine dépendent de l'importance des flux d'azote concernés, les deux plus importants étant :

- **La lixiviation du nitrate** dans les eaux est le transfert le plus étudié. Le stock d'azote minéral restant dans le sol après la récolte des cultures est l'une des composantes de la quantité d'azote potentiellement soumis à la lixiviation pendant la période d'interculture.
- **La volatilisation de l'ammoniac** à partir des apports d'engrais minéraux et organiques est, après la lixiviation, le 2ème poste de pertes d'azote le plus étudié. L'impact environnemental des émissions d'ammoniac dans l'atmosphère est entre autre lié au fait que ce composé est un précurseur de particules fines reconnues pour leurs effets négatifs sur la santé.

4ème enjeu : la performance énergétique

Les principaux engrais azotés minéraux sont fabriqués à partir de l'ammoniac synthétisé à partir de l'azote présent dans l'air et de l'hydrogène fourni par le gaz naturel. Il faut un peu plus d'une tonne d'équivalent pétrole (TEP) sous forme de gaz naturel pour produire une tonne d'azote (N). Cette dépense énergétique indirecte représente 60 à 70% de l'énergie consommée dans l'itinéraire technique des grandes cultures loin devant les autres postes : engrais (P, K, S, Mg...), consommation de carburant, phytosanitaires et semences [6].

5ème enjeu : le changement climatique

Au cours de certaines étapes du cycle de l'azote dans le sol (nitrification et dénitrification), des composés azotés autres que l'ammoniac sont émis dans l'atmosphère. Parmi ceux-ci, le protoxyde d'azote est un gaz à effet de serre qui a un très fort impact sur le changement climatique. De plus, la production industrielle des engrais azotés est à l'origine d'émissions de dioxyde de carbone et de protoxyde d'azote. Enfin, les apports d'engrais azotés sont un des facteurs explicatifs des émissions de protoxyde d'azote par les sols. Ainsi, jusqu'à 90% de émissions de gaz à effet de serre liées à la production végétale peuvent être imputés à la fertilisation azotée (toutes sources d'azote comprises) [6].

- **L'olivier et la demande d'azote :**

Pour obtenir le débit maximal, il faut tenir compte du fait que l'apport doit se faire à des moments très précis de l'année. En effet, lorsque l'arbre produit, il a besoin d'azote soluble et il ne peut obtenir ce minéral que si la sève brute le puise dans le sol et le fait remonter vers les feuilles. Or, la sève brute n'est autre que l'eau puisée dans le sol [12].

« La figure 1 » de la demande azotée montre que l'eau doit être disponible surtout entre juillet et novembre. Donc, l'arrosage devra pouvoir, au besoin, se répartir sur cette période cruciale de 5 mois [12].

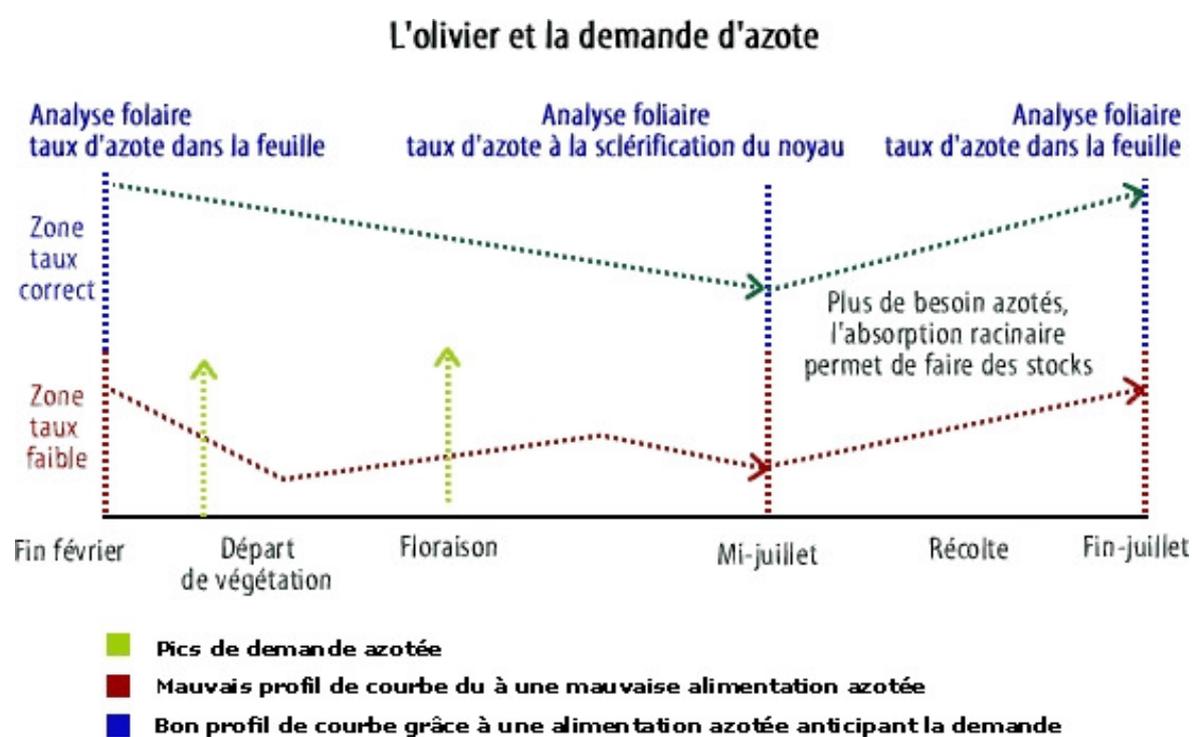


Figure 1 : Courbe de la demande azotée chez l'olivier

MATERIEL ET METHODES

Rappelons que l'objectif du travail est de rechercher un compromis entre la fertilisation azotée et l'irrigation déficitaire du jeune olivier. L'hypothèse de cette recherche est de voir la possibilité de compenser les effets dépressifs de l'irrigation déficitaire de l'olivier par une augmentation de la dose de la fertilisation azotée, étant une technique déterminante du taux de croissance des plantes.

I. Matériel végétal et conditions de culture

L'essai en pots a été réalisé sur 36 jeunes plants d'olivier âgés de deux ans ayant pratiquement la même taille. La variété utilisée était *Picholine marocaine* qui constitue la principale variété cultivée au Maroc.

Les plants ont été plantés en fin février 2017 dans des pots de 40 litres contenant un sol prélevé de la couche superficielle d'une parcelle habituellement inculte.

I.1 Analyses du sol effectuées

La matière organique

- **Matériel :**

1. Jeu de pipettes
2. Fioles jaugées de 200ml
3. Eprouvettes graduées de 200ml
4. Burette à piston ou simple
5. Erlenmeyers de 250ml

- **Réactifs :**

1. Acide sulfurique concentré (H₂SO₄) 98% (d=1.83)
2. Acide phosphorique concentré (85%)
3. Bichromate de potassium K₂Cr₂O₇ (1N)

- Sécher le bichromate de K à 105°C et refroidir dans un dessiccateur.
- Peser 49.04g de K₂Cr₂O₇ P.a et dissoudre dans environ 800ml d'eau distillée ; jauger à 1 litre.
- 4. Sulfate de fer (FeSO₄, 7H₂O) (1N) (550g → 200ml)
 - Dissoudre 278g de FeSO₄, 7H₂O PA
 - Ajouter 5ml d'acide sulfurique concentré
 - Laisser refroidir et puis jauger à 1000ml
- 5. Indicateur : Diphénylamine
 - Dissoudre 0.5g de diphénylamine dans un mélange de 20ml de H₂O et 100ml de H₂SO₄ concentré.

- **Mode opératoire :**

1. Peser 0.5g de sol tamisé à 2mm dans un erlenmeyer de 250ml.
2. Faire un blanc dans les mêmes conditions.
3. Ajouter 5ml de bichromate de potassium 1N.
4. Agiter à la main doucement jusqu'à dispersion du sol.
5. Ajouter 10ml de H₂SO₄ concentré en agitant doucement pendant 1min.
6. Laisser reposer 30 min sur un isolant thermique.
7. Ajouter 75ml d'eau distillée, homogénéiser.
8. Ajouter 5ml de H₃PO₄ concentré.
9. Laisser au repos pendant 30min.
10. Ajouter 0.5ml (3 gouttes) de l'indicateur (5) et homogénéiser.
11. Titrer l'excès de K₂Cr₂O₇ avec le FeSO₄ 1N jusqu'à vert brillant.
12. Noter le volume de FeSO₄ pour titrer le blanc de l'échantillon.

La formule utilisée dans le calcul est :

$$\%MO = 1.724 * V_{\text{titré}} * 0.04/5$$

 Ph du sol :

- **Matériel :**

1. Balance de .01g de précision
2. PH mètre
3. Bécher de 50ml
4. Baguette en vert

- **Réactifs :**

1. Solution Tampons de PH = 4.0, PH = 7.0 et PH = 9.0
2. Solution de 1.0M CaCl₂ : Dissoudre 147g de CaCl₂ dans 1L de H₂O distillée.

- **Mode opératoire :**

PH dans l'eau (PHe) et PH dans CaCl₂ (PHs)

1. Peser 10g du sol à 2.0mm dans un bécher de 50ml
2. Ajouter 20ml d'eau distillée
3. Agiter 3 fois (chaque 10') avec une baguette pendant 30 secs
4. Lire le PH mètre après 30min
5. Ajouter 2ml (8gouttes) de 1.0M CaCl₂
6. Agiter comme en (3) et lire le PH sel.

 **Phosphore :**

- **Matériel :**

1. Balance analytique, précision 0.0001 g.
2. Flacons PE de 200 ml avec bouchons.
3. Spatule en inox.
4. Éprouvette de 100ml.
5. Agitateur rotatif.
6. Entonnoirs et filtres 512 ½ ou équivalent.
7. Erlenmeyers de 200 ml.
8. Tubes à essais de 20 ml.
9. Spectrophotomètre et cuvettes.
10. Béchers de 100 ml et 250 ml.

- **Réactifs :**

a) **Extraction :**

- Bicarbonate de sodium (NaHCO₃) 0.5 N : 42g/900ml d'eau distillée. Mettre 233g de NaHCO₃ et ajuster à 5000 ml.

b) Détermination colorimétrique :

▪ Réactif d'Ecosse :

○ Potassium antimonyl tartrate : Mettre 0.2908 g de Potassium antimonyl tartrate dans un bécher de 100ml et ajuster à 100 ml.

○ Acide sulfurique (5.3 N) : Ajouter 148 ml d' H₂SO₄ (36 N) à 500 ml d'eau distillée, lentement, dans un évier avec un flux d'eau froide coulant sur le ballon jaugé pour refroidir la solution. Compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

○ Acide molybdique : Mettre 12 g d'acide molybdique dans un bécher et ajuster à 250 ml avec de l'eau distillée.

○ Combiner ensuite les réactifs dans un ballon jaugé à 2000 ml:

D'abord l'acide sulfurique, puis le potassium antimoine et l'acide molybdique. Ajuster avec de l'eau distillée.

▪ Solution d'acide ascorbique (pour la lecture au spectrophotomètre) :

○ Dissoudre 1.689 g d'acide ascorbique C₆H₈O₆ dans 320 ml de réactif d'Ecosse. On obtient **une solution d'acide ascorbique à 4%** qui sera utilisée pour doser le phosphore en solution. (Attention: préparer cette solution juste avant le dosage, elle ne tolère pas une trop longue exposition à la lumière).

c) Courbe d'étalonnage :

▪ Utiliser une solution de phosphore à 10 mg P/l:

• Mode opératoire :

1. Echantillon de départ : Le dosage se fait sur le sol qu'on a préparé précédemment.
2. Blanc : Remplacer la prise d'essai par de l'eau distillée et suivre la procédure.
3. Procédure : Elle se déroule en deux étapes: une extraction suivie d'un dosage colorimétrique.

a) Extraction :

1. Peser environ 2,5 g de sol broyé.
2. Noter la masse m, en g.

3. Mettre la prise d'essai dans un flacon de 100 ml et y ajouter 50 ml de NaHCO_3 (pH 8.5).
4. Mettre à agiter à la branleuse pendant 30 minutes.
5. Filtrer les échantillons sur des erlenmeyers de 200 ml.

II. Dispositif expérimental

- **Régimes hydriques testés**

L'irrigation a été variée dès la mise des plants en pots suivant trois niveaux de l'humidité à la capacité au champ (HCC) : 100% HCC, 70% HCC et 50% HCC. La valeur de l'HCC du sol utilisé a été mesurée au laboratoire avant la plantation des plants en déterminant la quantité d'eau retenue par un pot, préalablement séché et ensuite irrigué jusqu'à engorgement, après 24 heures.

La fréquence d'irrigation des pots était de deux fois par semaine. A chaque irrigation, les pots irrigués à 100% de l'HCC (pots témoins) sont pesés pour déterminer la dose d'eau à apporter, qui correspond à la quantité d'eau perdue par évapotranspiration. Après avoir déterminé la dose d'eau nécessaire pour faire revenir l'humidité des pots témoins à 100% HCC, celle-ci est multipliée par un coefficient de 0.7 pour obtenir le régime hydrique 70% HCC et de 0.5 pour produire le régime 50% HCC.

- **Doses d'azote testées**

Dans un premier temps, a été déterminée la dose d'azote recommandée pour un jeune olivier en tenant compte des analyses du sol, notamment en ce qui concerne la texture du sol et la teneur en matière organique. Pour calculer la dose d'azote optimale suivant l'analyse du sol réalisée, un logiciel de fertilisation des cultures a été utilisé (fertimap). Notons que le logiciel fournit des recommandations pour un hectare, alors que pour obtenir la dose à appliquer par pot, la valeur obtenue a été rapporté à la surface de l'ouverture du pot.

En effet, la dose recommandée était de l'ordre de 100 g/pot pour des conditions d'irrigation normale (100% de l'évapotranspiration). Ainsi, des doses croissantes de 25g ont été testées dans l'objectif de déterminer s'elles ont un pouvoir compensateur des effets dépressifs de l'irrigation déficitaire.

Notons qu'elle a été testée également une dose en dessous des recommandations. Ceci pour deux raisons : d'une part évaluer les effets d'une diminution d'azote et d'une part, déterminer avec plus de précision la dose optimale d'azote sous le régime hydrique complet dans des conditions de pot.

Comme l'azote est un élément qui se lessive facilement par l'eau, les applications d'azote ont été fractionnées sur trois dates coïncidant avec les périodes de grande croissance des pousses chez l'olivier, à savoir :

- 60% en début d'avril :
- 20% en mi-juin (apport non réalisé dans le cadre du stage)
- 20% en mi-juillet (apport non réalisé dans le cadre du stage)

Ainsi les doses et fractionnements testés sont présentés dans le tableau2 ci-dessous :

Code	Dose N (g/pot)	Equiv. Ammonitrate (g/arbre)	Fractionnement (g/arbre)
N1	75	225	134 début-avril
N2	100	300	179 début –avril
N3	125	375	224 début –avril
N4	150	450	269 début –avril

Tableau2 : Différentes doses d'azote apportées

Notons que le phosphore et le potassium ont été appliqués à la plantation en un seul apport vu leur faible mobilité dans le sol. Les doses apportées, équivalentes aux recommandations de fumure, étaient de 60 g/pot de P₂O₅ et 80 g/pot de K₂O.

50 % HCC		70 % HCC		100 % HCC	
N1	N3	N1	N3	N1	N3
N1	N3	N1	N3	N1	N3
N1	N3	N1	N3	N1	N3
N2	N4	N2	N4	N2	N4
N2	N4	N2	N4	N2	N4
N2	N4	N2	N4	N2	N4

Figure 2 : Schéma du dispositif expérimental testé

III. Paramètres mesurés

Au cours du stage, ont été mesurés des paramètres de croissance végétative et des paramètres biochimiques en relation avec l'alimentation azotée et hydrique.

III.1 Accroissement du tronc

L'accroissement du tronc fait partie des paramètres caractérisant la croissance végétative des arbres. Sa mesure a été réalisée dans l'objectif de déceler l'impact dépressif de l'irrigation déficitaire sur la vigueur des arbres et l'effet compensateur des apports d'azote.

Ce paramètre a été évalué par la mesure du diamètre du tronc de tous les jeunes plants, avant et après le départ végétatif (début mars et fin avril), moyennant un pied à coulisse digital. Les mesures ont été réalisées à la base du tronc sur un point marqué distant du sol de 2 à 5 cm.



Image 1 : Pied à coulisse digital

III.2 Surface foliaire

La surface foliaire est un paramètre de croissance végétative connu d'être souvent affecté par le stress hydrique et les apports d'azote.

Elle est déterminante des performances de croissance des arbres du fait de sa grande liaison avec la quantité de la chlorophylle et le nombre de stomates qui déterminent le taux photosynthétique et ainsi la biosynthèse de métabolites nécessaires à la croissance végétative.

Celle-ci a été mesurée après le départ végétatif à la fin du mois de Mai, soit deux mois après le commencement des traitements. Les mesures ont été effectuées sur l'ensemble des feuilles portées par des jeunes pousses de 5 à 15 cm.

La comparaison entre les différents traitements a été réalisée en rapportant la surface totale des feuilles à 10 centimètres linéaires de la pousse porteuse. Les mesures ont été réalisées sur des feuilles sans pétioles moyennant un planimètre (adc, bioscientific Ltd) calibré à 0.01 cm².



Image 2 : Type de planimètre utilisé pour la mesure de la surface foliaire

III.3 Concentration des pigments chlorophylliens foliaires

Des feuilles de même taille pratiquement ont été prélevées après le départ végétatif, à la fin du moi de Mai afin de déterminer la concentration des principaux pigments chlorophylliens, la chlorophylle a (Ch_a) et la chlorophylle b (Ch_b), par spectrophotométrie.

En effet, après séchage à l'étuve et broyage des échantillons de feuilles, 10 mg du broyat est agitée dans 1 ml d'acétone à 80% dans des tubes eppendorf pendant 1h 30 min jusqu'à l'extraction de la totalité des pigments. L'extrait obtenu est centrifugé à 14000 tr/min pendant 15 min sous une température de 4°C.

La densité optique (DO) de la totalité du surnageant obtenue est mesurée à 645 nm et à 663 nm. Les concentrations des pigments chlorophylliens sont données par les formules suivantes (Singh et Billore, 1975) :

$$Ch_a = 12.7 (DO_{663}) - 2.69 (DO_{645})$$

$$Ch_b = 22.9 (DO_{645}) - 4.86 (DO_{663})$$

III.4 Teneur des fruits noués en acides et sucres solubles

Ces paramètres ont été mesurés sur des fruits noués dans l'objectif d'évaluer l'effet des traitements sur la composition des fruits (olives) au départ de leur croissance et ainsi pouvoir expliquer les effets sur leur croissance à la fin du cycle. L'intérêt a été porté sur les sucres et les acides, étant les métabolites qui peuvent influencer le plus la croissance du fruit à ce stade.

III.4.1 Sucres solubles totaux

Les sucres solubles ont été extraits en accord avec la méthode de Babu et al. (2002). En effet, 25 mg du broyat des fruits noués a été agité dans 1 ml d'éthanol 80% dans des tubes eppendorf. L'extrait ainsi obtenu est centrifugé pendant 40 mn sous 4°C à 2000 tr/min. Le surnageant de la centrifugation recueilli est ensuite conservé à froid en attente du dosage.

Le dosage des sucres totaux solubles a été réalisé suivant la méthode de Dubois et al., (1956). En effet, 0,5 ml de phénol (acide phénique) et 1,5 ml de solution d'acide sulfurique ont été ajoutés à 250 µl d'extrait. Le mélange est chauffé au bain marie à 95 °C pendant 5 mn. Après refroidissement, la densité optique est mesurée à 485 nm contre un blanc dans lequel 250 µl d'alcool 80 % a remplacé l'extrait brut. La courbe d'étalonnage au spectrophotomètre a été obtenue moyennant une gamme de concentration d'une solution de glucose (0 à 1 mg/l). Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière fraîche.

III.4.2 Acides aminés totaux

Les acides aminés totaux ont été dosés suivant la méthode de Yemm et Cocking (1955). En effet, dans un tube, ont été introduits dans l'ordre 0,5 ml d'éthanol 80%, 0,5 ml de tampon citrate (0,2 M, pH = 5),

1 ml de solution acétonée de ninhydrine (1g de ninhydrine dans 125 ml d'acétone), 250 μ l d'extrait (le même extrait ayant servi pour le dosage des sucres). Le mélange obtenu est placé au bain marie à 95 °C pendant 15 mn. Après refroidissement, 8 ml d'eau distillée sont ajoutées et l'absorbance est lue à 570 nm contre un blanc dans lequel l'extrait est remplacé par l'éthanol. La teneur en acides aminés est évaluée par référence à une courbe d'étalon réalisée avec une gamme de concentrations de glycine pure (0 à 1 ml/l). Les teneurs sont exprimées en mg /g de matière fraîche.

⇒ **Analyses traitées par le logiciel SPSS (Annexe 1)**

RESULTATS ET DISCUSSION

I. Résultats des paramètres physico-chimiques du sol

Les paramètres physico-chimiques du sol utilisé, présentées dans le tableau3, montrent qu'il s'agissait d'un sol légèrement alcalin, pauvre en matière organique et assez riche en phosphore et potassium.

Paramètre	Valeur
Sable (%)	18.3
Limon (%)	43.2
Argile (%)	38.5
pH*	7.30
Matière organique (%)*	0.9
P2O5 (ppm)*	23.36
K2O (ppm)	358.57
Conductivité électrique (mS/cm)	0.10

* : paramètres analysés dans le cadre de stage, suivant les protocoles présentés matériel et méthodes.

Tableau 3 : Résultats des paramètres physico-chimiques du sol utilisé

II. Effet de doses croissantes d'azote sur le démarrage du jeune olivier en pot

L'évaluation de l'effet de la dose d'azote a été réalisée pour les jeunes oliviers irrigués à la demande (100% HCC). Ceci dans l'objectif d'éliminer la variabilité qui serait due au traitement hydrique et pouvoir identifier la dose optimale d'azote en absence d'une contrainte hydrique. Cette dose sera par la suite prise comme référence pour évaluer l'effet compensateur des apports d'azote vis-à-vis l'effet de l'irrigation déficitaire (partie II).

II.1 Effet sur la surface foliaire

Statistiquement, aucune différence significative n'a été décelée entre les traitements d'azote testés pour la surface foliaire. Ce résultat indique que l'absorption d'azote par les plants était d'une même importance sous les différentes doses d'azote. Ce résultat indique également que la dose de 75 g/pot était la plus efficiente parmi les doses testées.

Par ailleurs, faut-il-signalier que les valeurs montrent une certaine tendance à la diminution de la surface foliaire en dépassant la dose de 75 g/pot. Ceci pourrait indiquer qu'il y'avait une certaine toxicité chez les plants ayant reçu plus de 75 g/pot. Une éventuelle toxicité pourrait parvenir de niveaux élevés de salinité dans le sol.

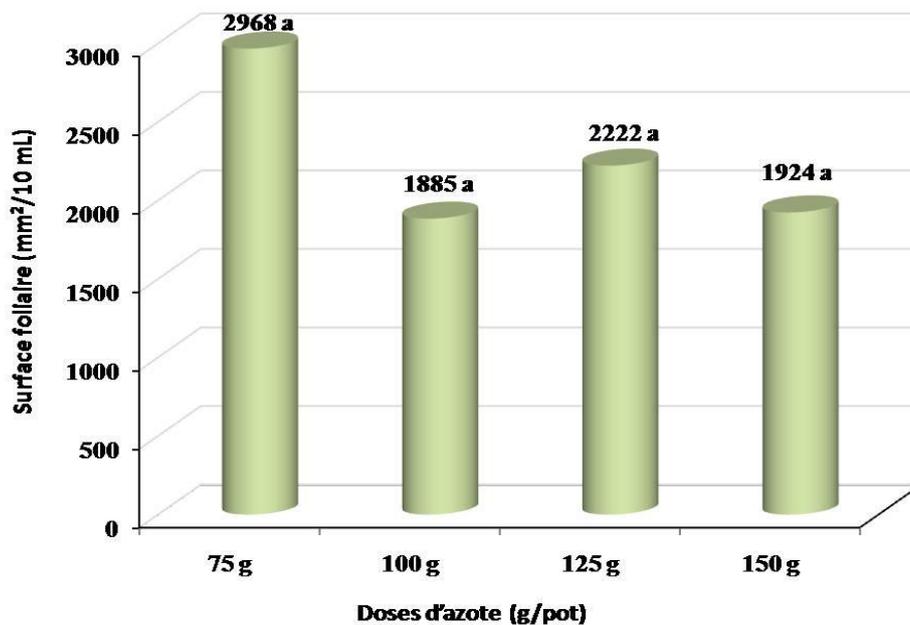


Figure 3. Surface foliaire chez l'olivier en fonction de doses croissantes d'azote sous les conditions d'irrigation complète

II.2 Effet sur la concentration des pigments chlorophylliens

Les résultats présentés dans la figure 5 montrent que la dose d'azote a significativement affecté la concentration de la chlorophylle au niveau foliaire. En effet, la concentration maximale a été enregistrée avec la dose de 75 g/pot, dépassant celles enregistrées au-delà de cette dose de 13% en moyenne.

La diminution de la teneur en chlorophylle sous les doses dépassant 75 g/pot est originaire d'une diminution au niveau de la chlorophylle b, alors que la chlorophylle a est restée inchangée. Ceci pourrait indiquer les effets de toxicité par l'azote qui s'exprime d'abord sur la chlorophylle b avant de passer à la chlorophylle a.

Toutefois, comme a été constaté en considérant les paramètres de croissance végétative, la dose de 75 g/pot s'est montrée optimale pour une biosynthèse satisfaisante de la chlorophylle et mérite donc d'être pris comme référence pour l'essai sur l'irrigation déficitaire.

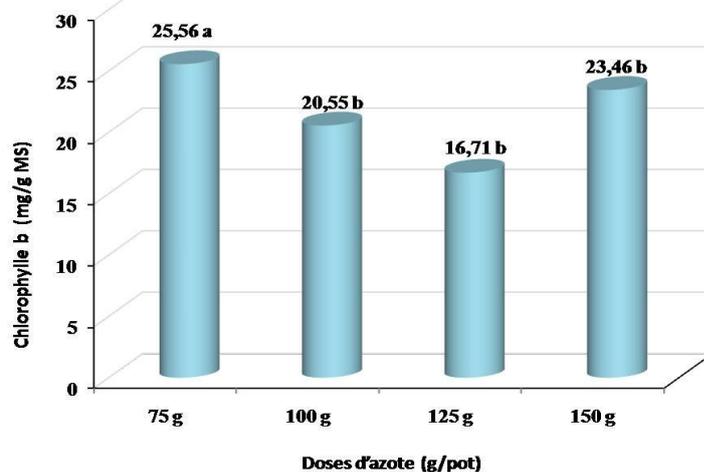
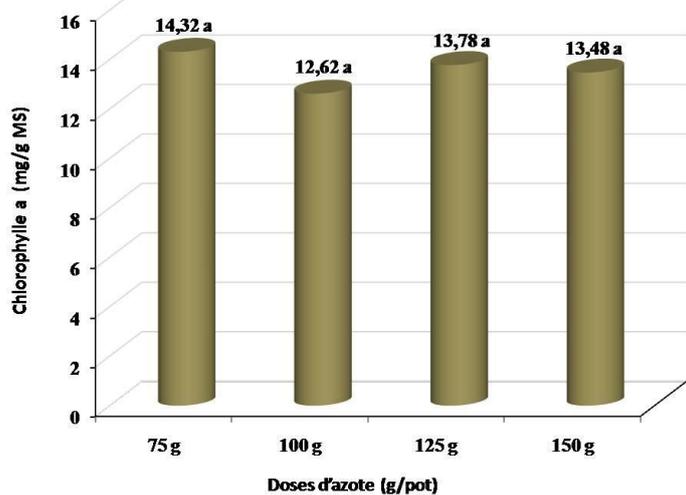
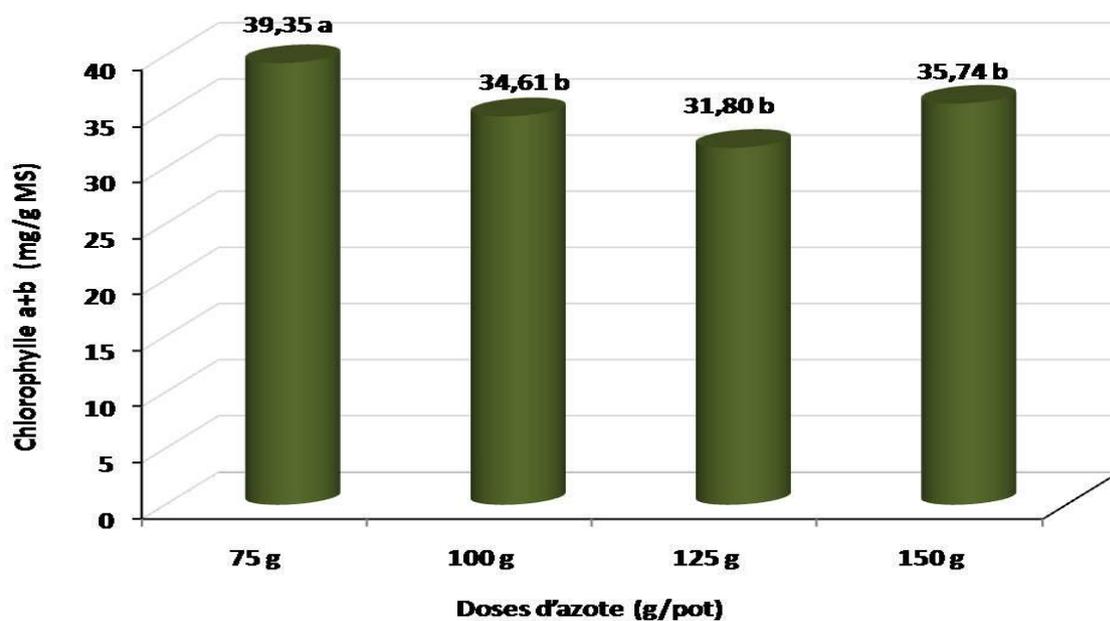


Figure 4. Effet des doses croissantes d'azote sur la concentration en chlorophylle totale, chlorophylle (a) et chlorophylle (b) sous les conditions d'irrigation complète

II.3 Effet sur le calibre du fruit et sa composition biochimique

- Effet sur le poids du fruit à la nouaison

La dose d'azote a significativement affecté le poids du fruit à la nouaison. Celui-ci a été maximal avec les doses d'azote de 75 et 100 g/pot. Cependant, des réductions considérables ont été notées au-delà de 100 g/pot, d'une moyenne de 12% avec l'apport d'une dose de 125 g/pot et de 45% avec une dose de 150 g/pot.

Considérant ce paramètre, il est donc constaté que la dose optimale d'azote dans les conditions de l'essai est de 75 g/pot. Notons que l'effet sur ce paramètre n'est discutable sur le plan agronomique qu'après le développement final du fruit. Toutefois, les résultats obtenus à ce stade permettront d'expliquer d'éventuelles variations à la maturité des fruits, attendue en novembre.

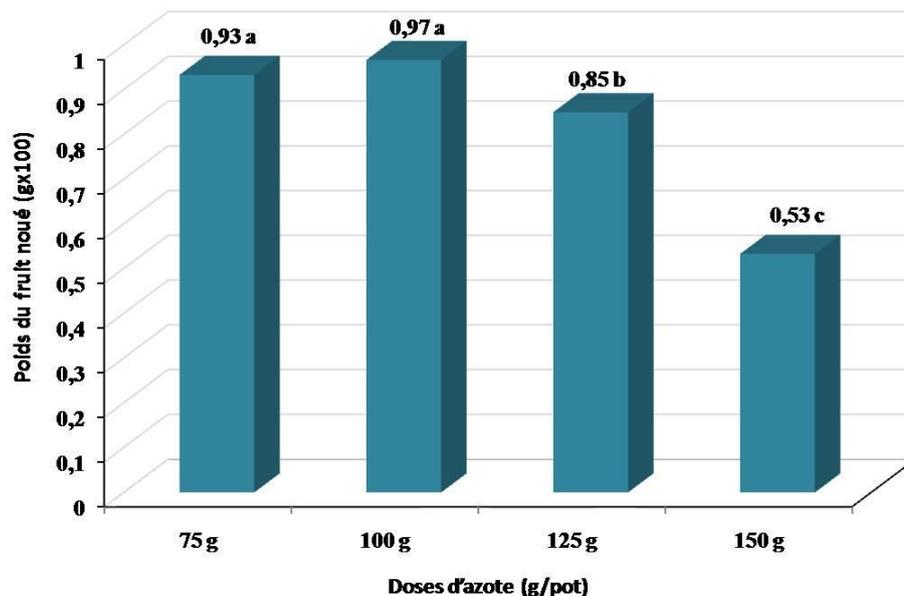


Figure 5. Effet des doses croissantes d'azote sur le poids du fruit à la nouaison sous les conditions d'irrigation complète

- Effet sur la teneur en sucres soluble et acide aminés totaux

Les teneurs du fruit à la nouaison en sucres solubles et acides aminés étaient dépendantes de la dose d'azote. La teneur en acides aminés a augmenté avec la dose d'azote pour atteindre son maximum à la dose de 150 g/pot d'azote. Cependant, la teneur en sucres solubles présente une évolution suivant les doses d'azote de type sinusoïdale, marquant un pic minimum avec

une dose d'azote de 100 g/pot. La variation de ces deux composés biochimiques pourrait influencer le développement futur du fruit et ainsi expliquer d'éventuels changements à sa maturité.

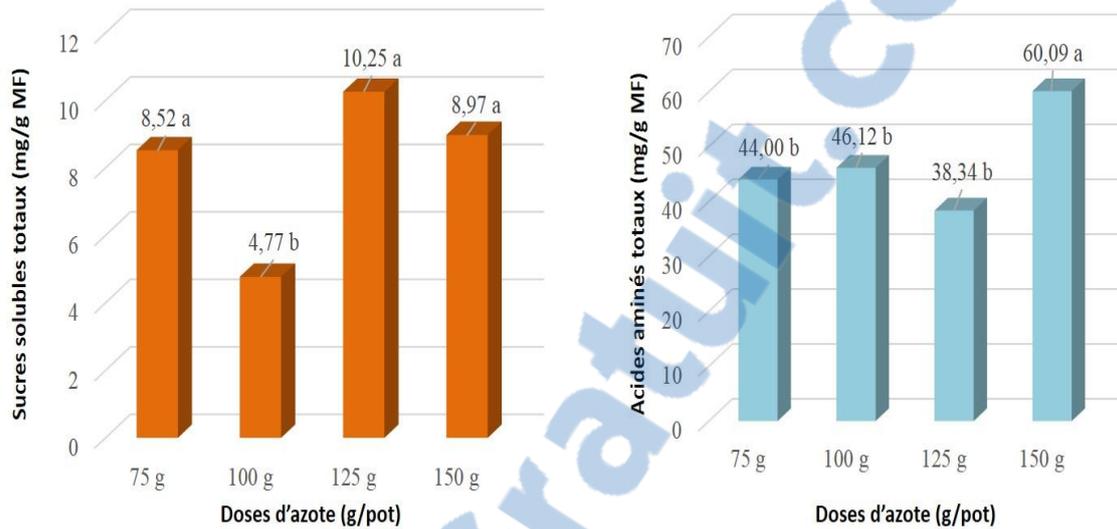


Figure 6. Effet des doses croissantes d'azote sur la teneur du fruit noué en sucres solubles et acides aminés totaux sous les conditions d'irrigation complète

III. Compensation de l'effet dépressif de l'irrigation déficitaire par la fertilisation azotée

Pour l'évaluation de cette compensation, seront considérés uniquement les paramètres significativement affectés par l'apport d'azote. Il s'agit de la concentration de chlorophylle, le poids du fruit, les teneurs du fruit en sucres solubles et acides aminés totaux.

III.1 Effet compensateur pour la teneur en chlorophylle

Les deux niveaux d'irrigation déficitaire ont entraîné des réductions significatives en termes de concentration de la chlorophylle au niveau foliaire. Les réductions étaient beaucoup plus notables sous irrigation déficitaire modérée de 70% HCC avec une moyenne de 21% par rapport au témoin (100% HCC fertilisé par 75 g/pot). La faiblesse de la réduction sous irrigation déficitaire sévère, qui était de 9%, serait liée à des réductions au niveau de la teneur des feuilles en eau.

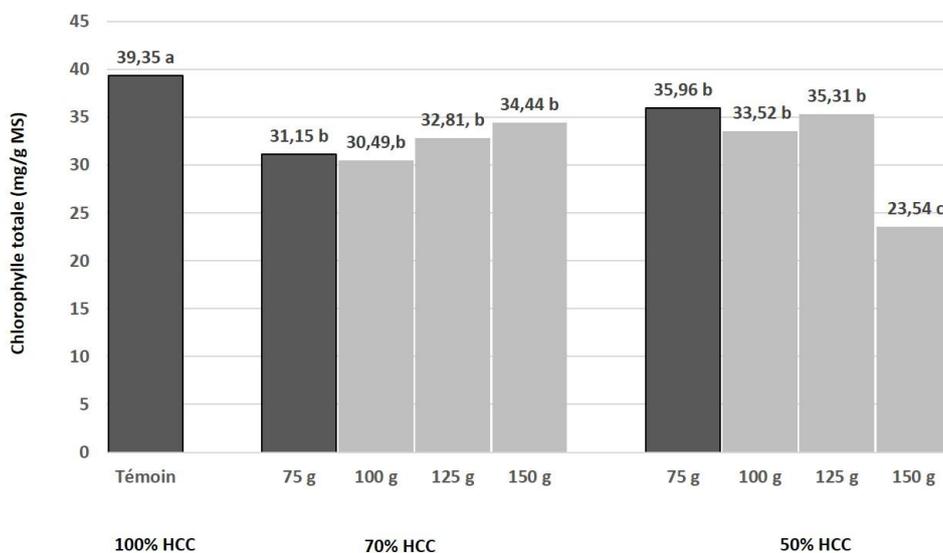


Figure 7. Teneur en chlorophylle influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote

Ces réductions n'ont pas été compensées par l'apport de doses croissantes d'azote pour les deux régimes d'irrigation déficitaire testés. Ce résultat laisse présager que la biosynthèse de la chlorophylle est plus contrôlée par l'alimentation hydrique qu'azotée. Autrement dit, les plants étaient plus sensibles à des réductions au niveau hydrique qu'à des apports supplémentaires d'azote.

III.2 Effet compensateur pour le poids du fruit

Le poids du fruit à la nouaison n'a pas été affecté par le niveau de l'irrigation déficitaire. Ceci pourrait être expliqué par le fait que la nouaison des fruits provient essentiellement des réserves du bois, qui était pratiquement similaire pour l'ensemble des plants sous les différents traitements. Il est donc judicieux de chercher cet effet au-delà de ce stade phénologique, voire au stade de maturité.

Quoiqu'il en soit, l'augmentation de la dose d'azote a entraîné une réduction du calibre du fruit à la nouaison. Ce résultat pourrait indiquer que les suppléments d'azote sont incapables de compenser les effets de l'irrigation déficitaire pour ce paramètre.

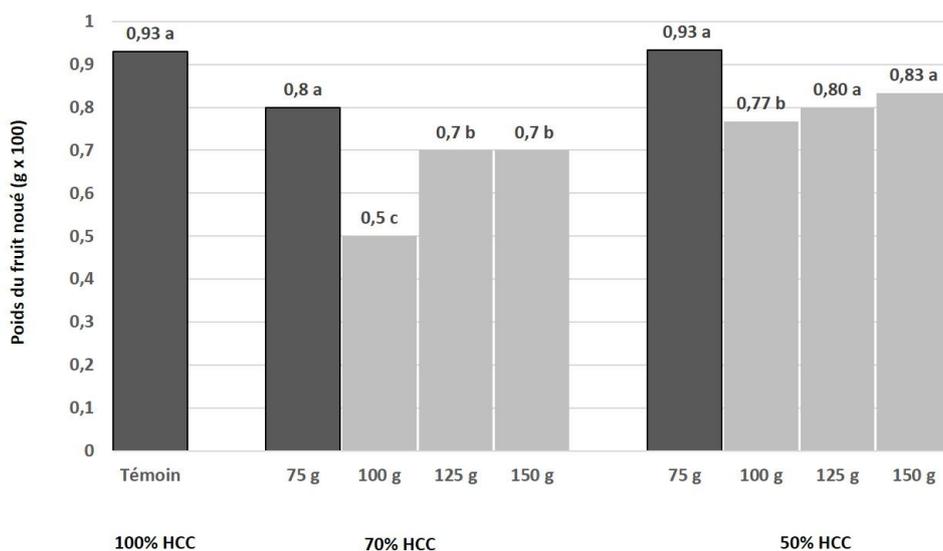


Figure 8. Poids du fruit à la nouaison influencé par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote

III.3 Effet compensateur pour la teneur du fruit en sucres solubles

Les deux niveaux de l'irrigation déficitaire ont affecté différemment la teneur du fruit en sucres solubles. En effet, sous irrigation déficitaire modérée, la teneur des sucres a diminué d'une moyenne de 26%. Cependant, sous irrigation déficitaire sévère, la teneur des sucres a augmenté d'une manière spectaculaire, d'une moyenne de 76%.

L'application de doses supplémentaires d'azote n'a pas pu compenser les effets de l'irrigation déficitaire sur ce paramètre, excepté au niveau de l'irrigation déficitaire à 50% HCC où les effets ont été compensés par l'azote à la dose de 100 g/pot.

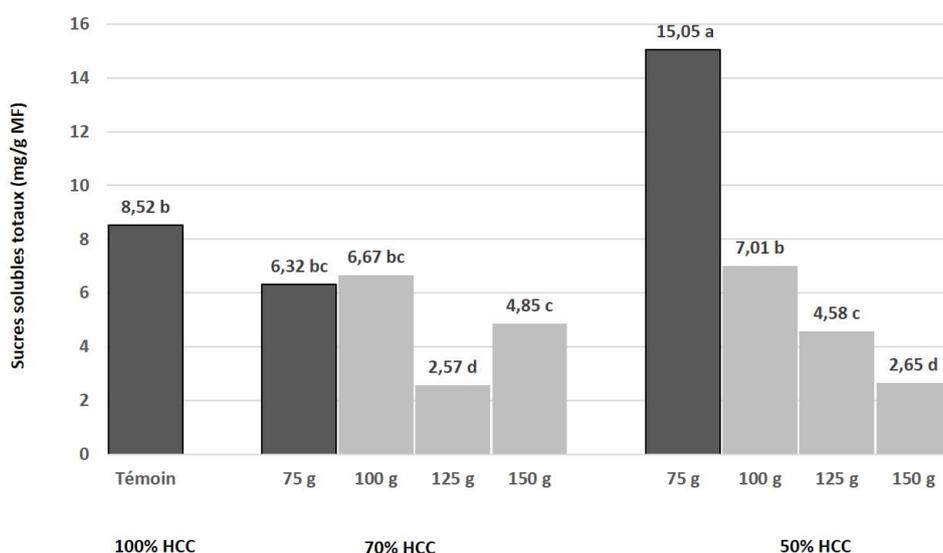


Figure 9. Teneur du fruit en sucres solubles influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote



III.4 Effet compensateur pour la teneur du fruit en acides aminés

L'irrigation déficitaire a entraîné une augmentation de la teneur des fruits en acides aminés. Le taux d'augmentation similaire pour les deux niveaux d'irrigations déficitaires testés, d'une moyenne de 18% par rapport au témoin.

Les suppléments d'azote ont tendance à augmenter la teneur des acides aminés. Par conséquent, ils ne se sont pas montrés compensateurs des effets de l'irrigation déficitaire.

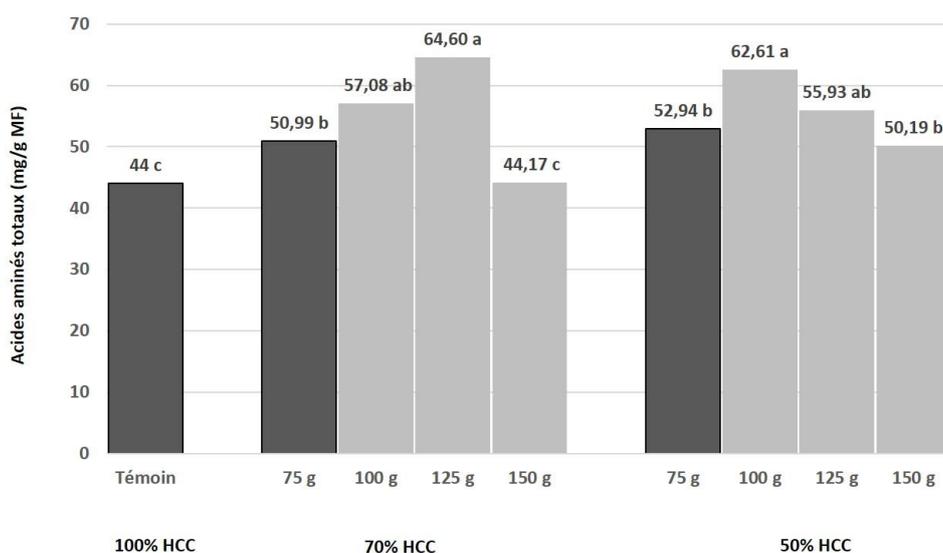


Figure 10. Teneur du fruit en acides aminés influencée par le régime d'irrigation déficitaire et la dose d'azote

Conclusion

J'ai effectué mon stage de fin d'étude à l'Institut National de la Recherche Agronomique Meknès (2 mois). Pendant cette période, j'ai contribué à l'étude, dans des conditions contrôlées, des compromis entre l'irrigation déficitaire et la fertilisation azotée chez le jeune olivier, étant une technique de compensation des effets du stress hydrique. D'après cette étude nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- Dans des conditions d'irrigation complète, on a pu constater que la variation croissante d'azote avait un effet uniquement sur :
 - La concentration des pigments chlorophylliens, par une diminution au niveau de la chlorophylle b sous les doses d'azote dépassant 75g/pot.
 - Le poids du fruit à la nouaison, qui a été maximal avec des doses d'azote de 75 et 100 g/pot tandis qu'il a diminué pour les doses de 125 et 150g/pot.
 - La teneur en sucres solubles et acides aminés totaux, traduite par une augmentation des acides aminés avec la dose d'azote alors que la teneur en sucres solubles montre une évolution sinusoïdale suivant ces derniers.
- Dans des conditions d'irrigation déficitaire, 70 et 50% de l'HCC, on a constaté jusqu'au stade de nouaison des fruits :
 - Une réduction de la teneur en chlorophylle, avec une plus grande acuité sous l'irrigation déficitaire modérée de 70% HCC que celle de 50% HCC.
 - Une réduction notable en termes de teneur du fruit en sucres solubles sous irrigation modérée (70% HCC) en opposition à l'irrigation sévère de 50% HCC.
 - Pour les acides aminés, contrairement aux sucres solubles, on a pu remarquer une augmentation de leur teneur au niveau du fruit en irrigation déficitaire.
- Deux hypothèses sont donc à investiguer :
 - Soit, que les doses d'azotes ont été mal raisonnées pour les conditions de pots.
 - Ou, que les suppléments d'azote sont incapables de compenser les effets de l'irrigation déficitaire chez le jeune olivier.

Recommandations

- Les résultats obtenus de ce travail sont d'ordre préliminaire. A l'état d'avancement actuel de l'étude, les résultats ne sont pas concluants. Ainsi, il est recommandé de :
 - Poursuivre les observations jusqu'à la fin du cycle de la plante, prévue en novembre 2017, pour une évaluation plus précise des impacts des traitements testés.
 - Reconduire l'essai sur une période de 3 années consécutives pour tenir compte de la variabilité des conditions climatiques.
- Dans le cas où l'étude donne lieu à des résultats positifs pour l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation déficitaire d'un jeune arbre (olivier) à travers l'augmentation des suppléments en azote, il est recommandé de ne pas tabler sur son utilisation à elle seule et ce pour deux raisons principales :
 - Les suppléments en azote peuvent être une source de pollution, en l'occurrence pour la nappe phréatique.
 - Les suppléments d'azote engendrent des coûts supplémentaires importants au niveau des charges de production.

Références Bibliographiques

- [1] AFIDOL (Association Française Interprofessionnelle De l'Olive) 2017 : L'olivier et l'eau.
- [2] Balaghi R., Jlibene M., Tychon B., Mrabet R. 2007. Gestion du risque de sécheresse agricole au Maroc. Sécheresse 2007; 18 (3). Pages 1-8.
- [3] Gratraud.C. 2016. L'irrigation de l'olivier : les meilleures périodes. <http://olivarbo.fr/lirrigation-de-lolivier-les-meilleures-periodes/>
- [4] Masmoudi Charfi C. 2012. Manuel d'irrigation de l'olivier Techniques et Applications. Pages17-18.
- [5] Masmoudi Charfi C. 2012. Manuel d'irrigation de l'olivier Techniques et Applications. Page 84.
- [6] COMIFER (Comité Français d'Etudes et de Développement de la Fertilisation Raisonnée) 2013 : Calcul de la fertilisation azotée. Pages 9-19.
- [7] El Mouhtadi I., Agouzzal M., Guy F. 2014. L'olivier au Maroc. Page 1.
- [8] Laouina A. 2006. Gestion durable des ressources naturelles et de la biodiversité au Maroc. Ed. Haut Commissariat du Plan. Page 118.
- [9] MAPM (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime) 2016. Agriculture en chiffres. Page 17.
- [10] MAPM (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime). 2009. Plan Maroc vert. Page 32.
- [11] Notice de l'ITAN. 2009. L'olivier au Maroc : Olivier Barbié1. Page 2.
- [12] Notice de l'ITAN. 2009. L'olivier au Maroc : Olivier Barbié1. Pages 22-23.

- [13] Olivier au Maroc. 2014. Guide de l'investissement oléicole. Pages 4-6.
- [14] FAO (Organisation des Nations Unis pour l'alimentation et l'agriculture). 2015. Analyse de la filière oléicole : cas du Maroc. Page 173.
- [15] Razouk R. 2017. Communication privée fournie par le chercheur, Agrophysiologie des arbres fruitiers et de l'olivier Razouk.R2017
- [16] Razouk R., Kajji A. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on water relations and growth of young plum trees under severe water stress conditions. International Journal of Plant & Soil Science, 5(5). Pages 300-312.
- [17] Razouk.R .2015. Optimisation de l'irrigation déficitaire par application de restrictions hydriques raisonnées et mycorhization arbusculaire chez certaines rosacées fruitières et irrigation d'appoint chez l'olivier. Thèse de doctorat présentée à la faculté des sciences Meknès. Mars, 2015. Pages 6-7.
- [18] Razouk R., Ibijbijen J. Kajji A., Karrou M. 2007. Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. American Journal of Plant Sciences, 4, 561-570.

Site Web

- [19] <http://megheira.free.fr/L'OLIVIER.html>

Annexes

Annexe 1 : SPSS

Qu'est ce que SPSS?

SPSS est un logiciel spécialement conçu pour les analyses statistiques en sciences sociales. Il signifie « Statistical Package for Social Sciences ». C'est un logiciel spécialisé de traitement statistique des données. il comprend plusieurs modules :

1. Système de base
2. Modèles de régression (regression models)
3. Modèles avancés (advanced models)
4. Tableaux (tables)
5. Tests exacts (exact tests)
6. Catégories (categories)
7. Tendances (trends)
8. Autres modules spécialisés

Que peut faire SPSS ?

1. La saisie des données et la gestion des bases de données
2. Le traitement des données
3. L'analyse des données
4. Traitement graphique des résultats : histogrammes, courbes, camemberts etc