



Université Saint-Joseph de Beyrouth
Faculté d'ingénierie
École supérieure d'ingénieurs
d'agronomie méditerranéenne

UNIVERSITÉ SAINT-JOSEPH

FACULTE D'INGENIERIE

**ÉCOLE SUPERIEURE D'INGENIEURS
D'AGRONOMIE MEDITERRANEENNE**

N° d'ordre : 287

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME

**SELECTION VARIETALE DES GENOTYPES DE LENTILLES
ADAPTES AUX SAISONS COURTES ET CHAUDES**

Présenté par : Tracy J EL HABER

Sous la direction de : Dr. Fouad MAALOUF

Taanail – Mai 2019

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, le respect, la
reconnaissance...*

*Je dédie ce travail à ma famille et à tous ceux qui œuvrent
pour le développement des recherches agricoles.*

Tracy

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire, je remercie Dieu qui m'a aidée et m'a donnée la patience, la force et le courage pour accomplir ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord adresser toute ma gratitude au Centre International de Recherche Agricole dans les Zones Sèches (ICARDA) au nom du directeur de la station de Terbol, Monsieur Hassan MACHLAB, pour son accueil dès mon arrivée au centre. Aussi, un remerciement pour Monsieur Shiv KUMAR, responsable du programme de lentille à l'ICARDA et le programme GLDC.

J'adresse mes sincères remerciements à mon encadrant Monsieur Fouad MAALOUF qui m'a orientée, aidée et conseillée tout le long du travail. Ces critiques ont guidé mes réflexions, son professionnalisme m'a rendue très responsable et sa disponibilité dans les temps de doute m'ont menée au bon port.

Je remercie également l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs Agro-Alimentaires Méditerranéenne (ESIA-M), au nom de son Doyen Monsieur Fadi GEARA et de sa directrice Mme Maya KHARRAT SARKIS, ainsi qu'au nom de la secrétaire Mme Souad HAJJ-MOUSSA FEGHALI pour leurs suivis pédagogiques pendant les cinq ans d'étude et la permission de réaliser ce mémoire et de le présenter en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur.

Grand merci aux deux ingénieures Rind BALESH et Lynn ABOU-KHATER pour leurs aides et leurs suivies quotidiennes, en me fournissant les informations nécessaires au sein de mon étude.

Je n'oublie pas de remercier mon père et ma mère, mes exemples éternels, mes soutiens de moral et mes sources de bonheur, eux qui se sont toujours sacrifiées pour me voir réussir. Ainsi que mes frères et mes sœurs. Je veux remercier aussi mon amie Rima HIJAZI pour son soutien tout le temps.

RESUME

La lentille (*Lens culinaris* ssp *culinaris* Medikus) est une légumineuse alimentaire cultivée dans le monde entier pour son rôle dans la santé humaine et les sols. Avec le changement climatique, la chaleur et la sécheresse sont devenues les plus importants stress abiotiques qui affectent la productivité des lentilles dans les principales zones de production. On pense que la gravité de ces contraintes augmentera en intensité et en fréquence. Une des options pour réduire l'effet de la chaleur croissante et des stress dus à la sécheresse est de développer un matériel génétique de lentille adapté à ces conditions. Par conséquent, l'objectif de la présente est d'identifier le matériel génétique de lentille résistant à la chaleur et à la sécheresse à la station de recherche Terbol du Centre International de Recherche Agricole dans les Zones Sèches (ICARDA). 80 génotypes de matériel génétique (50 espèces sauvages apparentées et 30 races locales) représentent un large spectre de diversité ont été évalués sous serre plastique en les soumettant à: 1) un stress thermique (supérieure à 20°C nocturne et plus que 35 °C diurne, au moment de la floraison), 2) pas de stress avec irrigation complète et 3) 50% de déficit en eau tout au long du cycle de vie. Les expériences ont été entreprises entre Juillet 2018 et Mai 2019 en «alpha-design» avec deux ou trois répétitions dans des conditions différentes. Les observations ont été enregistrées sur des caractéristiques phénologiques telles que le nombre de jours nécessaires à la germination, la floraison et la maturité, ainsi que des composants de rendement comprenant le rendement biologique, le nombre de gousses par plante, le nombre de graines par plante et le poids total de la graine. La germination du pollen a également été évaluée au moment de la floraison afin d'observer l'effet de la chaleur et de la sécheresse sur la viabilité du pollen. Les résultats ont montré une réduction significative du rendement et d'autres caractéristiques sous des contraintes de chaleur et de sécheresse. L'étude a abouti à l'identification de six génotypes génétiques de lentilles cultivées (IG481, IG69497, IG75920, IG117678, IG117680 et IG156536) et de trois génotypes sauvages, *Lens orientalis* (IG72743, IG116027 et IG135410) tolérantes au stress hydrique. De même, six génotypes génétiques de lentilles cultivées (IG5505, IG5582, IG69492, IG71175, IG73685 et IG73858) et six de souches sauvages (IG72603, IG72864, IG116038, IG135410 et IG137423 de *Lens culinaris* ssp *orientalis* et IG72719 de *Lens culinaris* ssp *tomentosus*) ont été jugés tolérants au stress thermique. Aussi il existe un génotype IG135410 de sous espèce *orientalis* est tolérant aux deux stress ensemble. Les génotypes tolérants seront utilisés dans le programme de sélection

de l'ICARDA pour développer des variétés face au changement climatique, tolérantes à la chaleur et à la sécheresse, et seront également partagées et évaluées dans les pays où la culture de lentilles est confrontée à des stress thermiques et hydriques au cours des différentes phases de croissance des cultures.

ABSTRACT

Lentil (*Lens culinaris* ssp *culinaris* Medikus) is a cool season food legume crop grown around the world for its role in human and soil health. With climate change, heat and drought have emerged as the most important abiotic stresses that affect lentil productivity in major crop producing areas. It is expected that the severity of these stresses will further increase in intensity and frequency with changing climate. One of the options to counter the effect of rising heat and drought stresses is to develop lentil germoplasm adapted under such conditions. Therefore, the present study was undertaken to identify lentil germoplasm tolerant to heat and drought at Terbol research station of International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). The study involved evaluation of 80 germoplasm lines (50 wild relatives and 30 landraces) representing wide spectrum of diversity under plastic house by subjecting them to: 1) heat stress (greater than 20°C during night and greater than 35°C during the day at flowering time), 2) no stress with full irrigation, and 3) 50% water deficit through the life cycle. The experiments were undertaken between July 2018 and May 2019 in 'alpha-design' with two or three replications under different conditions. Observations were recorded on phenological traits such as days to germination, flowering and maturity, and yield components including biological yield, number of pods per plant, number of seeds per plant, and total seed weight. Pollen germination was also assessed at flowering time to observe the effect of heat and drought on pollen viability. The results showed significant reduction in yield and other traits under heat and drought stresses. The study resulted in identification of six germoplasm lines of cultivated lentil (IG481, IG69497, IG75920, IG117678, IG117680, and IG156536) and three of wild relative, *Lens orientalis* (IG72743, IG116027, and IG135410) as tolerant to water stress. Similarly, six germoplasm lines of cultivated lentil (IG5505, IG5582, IG69492, IG71175, IG73685, and IG73858) and six of wild relatives (IG72603, IG72864, IG116038, IG135410, and IG137423 of *Lens culinaris* ssp. *orientalis*, and IG72719 of subspecies *tomentosus*) were found tolerant to heat stress. Also it exists a genotype IG135410 of subspecies *orientalis* is tolerant to both stresses. These tolerant germoplasm lines will be utilized in breeding program at ICARDA to develop climate smart varieties of lentil with tolerance to heat and drought and will also be shared and evaluated in target countries where lentil cultivation faces heat and water stress during different crop growth stages.

TABLE DES MATIERES

Remerciements	IV
Résumé	V
Abstract	VII
Table des matières	VIII
Liste des tableaux.....	XI
Liste des figures	XII
Liste des abréviations	XV
Chapitre I : Introduction.....	2
Chapitre II : Problématique	3
1. Taxonomie de culture	4
2. Morphologie des espèces du genre <i>Lens</i>	4
2.1 Le genre (<i>culinaris</i>)	5
2.2 Le genre (<i>nigricans</i>)	5
3. Distribution géographique	5
4. Stades phénologiques	6
5. Importance de la culture de lentille	6
5.1 Importance économique	6
5.1.1 La culture de lentille dans le bassin méditerranéen	7
5.1.2 Importation et exportation dans le bassin méditerranéen	8
5.2 Importance nutritionnelle des lentilles	8
5.3 Importance dans le système agricole.....	9
6. Exigences pédoclimatiques	10
6.1 Température	10
6.2 Sol.....	10

6.3 Besoin en eau	10
6.4 Besoin en nutriments	10
7. Contraintes de la culture	11
7.1 Contraintes biotiques	11
7.2 Contraintes abiotiques	12
7.2.1 Stress hydrique	12
7.2.2 Stress thermique	13
8. Sélection génétique de la lentille	14
8.1 Système de reproduction de la lentille.....	14
8.2 Méthode de sélection.....	14
8.2.1 Sélection des parents	14
8.2.2. Stade de développement	15
9. Position du problème.....	15
10. Objectif	16
Chapitre III : Matériel et Méthodes	17
1. Dispositif expérimental	18
1.1 Site expérimental.....	18
1.2 matériel végétal et plan expérimental.....	18
2. Plan expérimental.....	18
2.1 Stress thermique	18
2.2 Sans stress : Expérimentation à irrigation complète	18
2.3 Stress hydrique	19
3. Mesures expérimentales	19
4. Analyse statistique	21
Chapitre IV : Résultats et discussions.....	22
1. Stress hydrique.....	23
1.1 Variables phénologiques.....	23
1.1.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes	23

1.1.2 Effet du traitement	25
1.1.3 Interaction entre génotypes et traitements (G x T).....	26
1.2 Variables de rendement	26
1.2.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes	26
1.2.2 Effet du traitement	30
1.2.3 Interaction entre génotypes et traitements (G x T).....	32
1.3 Sélection des génotypes les plus tolérants au stress hydrique	32
1.3.1 Les génotypes communs les plus tolérants au stress hydrique	34
1.3.2 Effet des deux traitements sur les génotypes sélectionnés.....	34
2. Stress thermique	41
2.1 Variables phénologiques.....	42
2.1.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes	42
2.2 Variables de rendement	43
2.2.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes	43
Sélection des génotypes tolérants au stress thermique.....	47
Chapitre V : Conclusion.....	49
Références	52
Annexes.....	59

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Moyenne carrée de l'analyse de la variance de l'expérience du stress hydrique	23
Tableau 2. Les géotypes communs les plus tolérants au stress hydrique	33
Tableau 3. Moyenne carrée de l'analyse de la variance de l'expérience du stress thermique ..	41
Tableau 4. Les géotypes communs les plus tolérants au stress thermique.....	47
Tableau 5. Valeur moyenne des deux traitements de stress hydrique (IRR 100%) et IRR (50%) et sans stress (IRR 100%) pour les trois caractères de rendement; NGP, NGRP, RG et la moindre différence significative de l'interaction (GxT).....	64
Tableau 6. Valeur moyenne du stress thermique pour les caractères phénologiques: DFLR et DMT, et les caractères de rendement: NGP, PG, RG et la différence significative de l'interaction (GxT).....	68
Tableau 7. Calendrier du travail du stress thermique	71
Tableau 8. Calendrier du travail du stress hydrique et sans stress	71

LISTE DES FIGURES

Figure 1. La production, la surface cultivée et le rendement durant les 10 dernières années dans le bassin méditerranéen (FAOSTAT, 2019).....	7
Figure 2. L'exportation et l'importation de lentille dans les pays du bassin méditerranéen (FAOSTAT, 2019).....	8
Figure 3. Distribution des dates à la floraison des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 8.28)	24
Figure 4. Distribution des dates à la maturation des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=7.11)	25
Figure 5. Effet du traitement sur la date à la maturation (DMAT) en se basant sur la moindre différence significative (LSD=1.1)	26
Figure 6. Distribution des rendements biologiques des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=4.97)	27
Figure 7. Distribution des nombres de gousses totales par pot des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 91.7)	28
Figure 8. Distribution des nombres de graines totales par pot des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 110.7)	29
Figure 9. Distribution des poids des graines récoltées des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=1.50)	30
Figure 10. Effet du traitement du rendement biologique (RB) et le poids des graines récoltées (RG) en se basant sur la moindre différence significative pour RB (LSD=0.7) et RG (LSD=0.2)	31
Figure 11. Effet du traitement sur le nombre de gousses totales par pot (NGP) et le nombre de graines totales par pot (NGRP) en se basant sur la moindre différence significative de NGP (LSD=14.2) et NGRP (LSD=17.2).....	32
Figure 12. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le géotype IG481	35
Figure 13. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le géotype IG69497.....	36
Figure 14. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le géotype IG117678.....	36

Figure 15. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG156536.....	37
Figure 16. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG116027.....	38
Figure 17. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG75920.....	38
Figure 18. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG117680.....	39
Figure 19: L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG72743.....	40
Figure 20: L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG135410.....	40
Figure 21. Distribution des dates à la floraison des génotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=5.73)	42
Figure 22. Distribution des dates à la maturation des génotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=6.86)	43
Figure 23. Distribution des rendements biologiques des génotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=0.60)	44
Figure 24. Distribution des nombres de gousses par plante en se basant sur la moindre différence significative (LSD=14.12).....	45
Figure 25. Distribution des poids des graines récoltées sur la moindre différence significative (LSD= 0.02).....	46
Figure 26. Distribution des pollens germés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=5.73).....	47
Figure 27. Germination	59
Figure 28. Floraison	59
Figure 29. Maturité	60
Figure 30. Nombre de gousses.....	60
Figure 31. Machine pour compter le nombre de graines.....	61
Figure 32. Rendement biologique.....	61
Figure 33. Peser les pots pour estimer la quantité d'eau en besoin	62

Figure 34. Germination du pollen.....	62
Figure 35. Différence entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50%	63
Figure 36. Etapes de méthode d'amélioration génétique de la lentille à l'ICARDA.....	63

LISTE DES ABREVIATIONS

% : pourcent

°C : degré (s) Celsius

av. J-C: avant Jésus-Christ

cm : centimètre (s)

mm: millimètre (s)

ml : millilitre (s)

CO₂ : dioxyde de carbone

ha : hectare (s)

ICARDA : International Center for Agricultural Research in Dry Areas

pH : point hydrogène

t : tonne (s)

kg : kilogramme (s)

g : gramme (s)

α : alpha

β : betta

δ : gamma

Ssp : sous-espèce

Ppm : partie par million

p : test de probabilité de Fisher

LSD : moindre différence significative

DFLR : date à la floraison

DMAT : date à la maturation

RB : rendement biologique

PG : germination du pollen

NGP : nombre de gousses totales par pot

NGPL : nombre de gousses par plante

NGRP : nombre de graines totales par pot

RG : poids des graines récoltées

IRR : irrigation

T :traitements

F1 : Hybride F1

N : azote

P : phosphore

K : potassium

H₃BO : acide borique

CaNO₃ : nitrate de calcium

R : répétition

G : géotypes

L : lens

FAO : Food and Agriculture Organization

J : Jour (s)

CHAPITRE I : INTRODUCTION

La lentille (*Lens culinaris* Medikus), appartient à la famille de légumineuses connue encore par différents noms comme Masoor (Inde), Adas (Arabe), Mercimek (Turquie), Messer (Ethiopie) et Heramame (Japon) (Yadav *et al.*, 2007). Elle est considérée comme la plus ancienne culture domestiquée avec des débris archéologiques trouvés à côté de l'habitat humain 12000 ans avant Jésus Christ (av. J-C) dans le Croissant-Fertile entre la Turquie du Sud-Ouest et le Turkestan jusqu'au moyen Orient (Cubero, 1981).

Actuellement, elle est cultivée sur 4,4 millions d'Hectares dans plus de 50 pays à travers le monde, avec une production de 4,7 millions de tonnes et dominée par les deux pays : le Canada et l'Inde (FAOSTAT, 2018). De plus, en Asie du sud, le Bangladesh et le Népal sont également d'importants pays producteurs de lentilles. En Amérique du nord, le deuxième producteur majeur après le Canada est les États-Unis. Dans le bassin méditerranéen, la Turquie, la Syrie, le Maroc, l'Espagne et la France sont les principaux producteurs de lentilles (FAOSTAT, 2018).

Cette culture a une grande importance pour les cultures céréalières en raison de sa capacité à fixer l'azote dans le sol et de l'enrichir en matières organiques (Witcombe *et al.*, 1984). Les graines et les pailles des céréales sont riches en protéines pour l'alimentation humaine et animale respectivement (Yadav *et al.*, 2007). Cette culture joue encore un rôle essentiel dans la réduction de l'empreinte carbonique de 406 kg t⁻¹ (Haq, 2014).

Malgré l'importance de la lentille déjà citée, cette culture est affectée par plusieurs facteurs biotiques et abiotiques. Parmi les facteurs biotiques, nous citons les maladies cryptogamiques foliaires et racinaires, les maladies virales, les ravageurs (insectes et nématodes) et les mauvaises herbes parasites et non parasites (ICARDA, 1993). Parmi les facteurs abiotiques, nous citons le stress thermique (la chaleur et le froid), la sécheresse et la toxicité dans les sols salins (Singh *et al.*, 1993). Cette étude se concentre dans les deux stress abiotiques principales dans la région méditerranéenne, à savoir la chaleur et la sécheresse. Ces deux derniers facteurs aboutissent à la réduction significative du rendement de cette culture.

L'objectif de cette recherche est donc d'évaluer l'effet de la chaleur et du déficit hydrique sur la performance de différents génotypes de lentilles cultivées et sauvages afin d'identifier les génotypes qui sont tolérants à l'un des deux stress ou aux deux ensemble.

CHAPITRE II : PROBLEMATIQUE

1. TAXONOMIE DE CULTURE

La lentille (*Lens culinaris* Medikus) appartient à la famille des *fabaceae* et à la tribu des *Vicieae*, elle est une plante annuelle, diploïde ($2n=14$ chromosomes) des régions tempérées (Kumar *et al.*, 2012). Selon la classification de Cubero (1974), dans le genre *Lens*, il existe cinq espèces, quatre sauvages ; *Lens montbretti* Davis & Plittmann, *Lens ervoides* Grande, *Lens nigricans* Gordon, *Lens orientalis* Handel-Mazetti et une espèce cultivée *Lens culinaris* Medikus. Or Zohary (1972) a mentionné dans son étude que *L. culinaris* et *L. orientalis* sont morphologiquement similaires. Alors le nom scientifique (*Lens culinaris*) était acquis en 1878 par le botaniste Allemand Medicus (Cubero, 1981).

2. MORPHOLOGIE DES ESPECES DU GENRE LENS

La lentille est une espèce cultivée annuelle et buissonnante, herbacée, de croissance dressée, qui varie normalement de 30 à 50 cm de hauteur. Elle possède plusieurs branches poilues et sa tige est mince et angulaire. Le rachis porte de 10 à 15 folioles de cinq à huit paires. Les feuilles sont alternées, ayant une forme oblongue-linéaire, obtuse de couleur vert jaunâtre à vert bleu foncé. En plus, généralement les feuilles supérieures sont converties en vrilles. Les stipules sont petites si elles sont présentes. Les fleurs sont petites, au nombre d'un à quatre, ayant différentes couleurs ; blanches, roses, violettes ou bleu pâle. Ces derniers naissent de l'aisselle des feuilles sur un pied mince presque long que les feuilles. A propos des gousses, elles sont gonflées et oblongues d'environ 1,5 cm de long. Aussi chacune d'elles contient deux graines d'environ 0,5 cm de diamètre en forme de la lentille. Les graines peuvent être marbrées et tachetées. Les variétés cultivées de lentilles se différencient par la couleur et la pilosité des feuilles, fleurs et graines, aussi par la taille (Yadav *et al.*, 2007).

Willams *et al.*, (1974) étaient les premiers à avoir considéré les concepts biologiques dans la classification des dites espèces. Ils ont comparé *nigricans*, *orientalis* et *culinaris* à une analyse en composantes principales, concluant que *culinaris* et *orientalis* sont plus proches l'un de l'autre que les deux; *L. orientalis* est une sous-espèce de *culinaris* (Willam *et al.*, 1974). Dans *L. culinaris* on a distingué 2 sous-espèces, ssp *culinaris* et ssp *orientalis*. Landizinky a fait un croisement entre *culinaris* et *orientalis* vu la facilité de croisement entre eux et de la croissance normale de leurs descendants. Ladizinky *et al.*, (1984) ont regroupé le genre *Lens* en deux espèces biologiques: *L. culinaris* et *L. nigricans*. Dans une étude antérieure menée par Cubero

(1981), les *nigricans* étaient considérés comme une sous-espèce de *L. culinaris*. En résumé, ces auteurs proposent la classification suivante du genre *Lens*.

2.1 LE GENRE (*CULINARIS*)

Stipules lancéolées, entières, si elles sont à moitié écloses, perpendiculairement au bouquet. Le calice a la même hauteur que la corolle.

- Ssp. *L. culinaris* espèce cultivée, fruits mûrs indécents ;
- Ssp. *L. odomensis*: stipule la demi-hachette ;
- Ssp. *L. orientalis* fruits mûrs déhiscents.

A l'intérieur de l'espèce *Lens culinaris* il existe deux groupes botaniques : 'microspera' à graines petites et 'macrospera' à graines plus grosses et aplaties (Cubero, 1984).

2.2 LE GENRE (*NIGRICANS*)

Stipules demi-hachette.

- Ssp *ervoides*: stipule entière ou partiellement entière, la dent du calice est plus courte que celle de la corolle ;
- Ssp *nigricans*: deux types. Le premier : stipule dentée formant plus ou moins un angle droit avec la branche principale. Le deuxième : stipule légèrement dentée avec tendance à avoir une position parallèle à la branche principale. La dent du calice est de la même hauteur ou plus haute que celle de la corolle (Cubero, 1984).

3. DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE

La lentille cultivée était domestiquée 12 000 ans AV. J.-C dans la zone entre la Turquie du Sud-Ouest et le Turkestan à partir de l'espèce *Lens orientalis* (Cubero, 1984). A cette culture ayant une variabilité suffisante pour coloniser les milieux méditerranéens, éthiopiens et indiens ou alternativement, à partir de formes intermédiaires *Lens nigricans* – *Lens orientalis* et/ou de populations mixtes entre eux, s'est déplacée vers l'Ouest par la voie de route de soie, vers le Sud par la voie du valley du Nille Jusqu'à l'Ethiopie, vers le Nord dans la direction vers l'Europe et les pays de l'Afrique du Nord. Dans les trois ailes de répartition, la culture a été évoluée différemment tout en créant une grande variation qualitative et quantitative, qui a été plus importante dans l'Ouest (Witcombe *et al.*, 1984).

4. STADES PHENOLOGIQUES

Ce système uniforme des stades phénologiques de la lentille est commun pour les différents cultivars et les environnements de croissance.

Stades de croissance végétative

Sur la tige principale, compter le nombre de nœuds visibles jusqu'au nœud sous-tendant la branche primaire basale, puis continuer le compte du nœud jusqu'à la branche primaire basale pour inclure la feuille complètement développée la plus haute. Les stades de croissance selon (Erskine *et al.*, 1990).

- Végétation d'émergence: Emergence des plantules, nœud cotylédonaire visible ;
- Végétation 1 - la première feuille simple s'est déroulée au premier nœud ;
- Végétation 2 - la deuxième feuille simple s'est déroulée au deuxième nœud ;
- Végétation 3 - la première feuille bifoliée s'est déroulée au troisième nœud ;
- Végétation 4 - la deuxième feuille bifoliée s'est déroulée au quatrième nœud ;
- Végétation 5 - la première feuille multifoliée s'est déroulée au cinquième nœud ;
- Végétation nième n - la nième feuille multifoliée s'est déroulée au nième nœud.

5. IMPORTANCE DE LA CULTURE DE LENTILLE

Les lentilles ont une importance économique, sociale et environnementale vu que cette culture est un élément de base dans l'agriculture. Ainsi elles sont d'importantes cultures de légumineuses dans la région méditerranéenne et au Moyen-Orient (Witcombe *et al.*, 1984).

5.1 IMPORTANCE ECONOMIQUE

En plus, c'est assez important de parler à propos de la situation actuelle de lentille suivant les statistiques de FAO: Elle est cultivée sur 4,4 millions d'Hectares dans plus de 50 pays à travers le monde, avec une production de 4,7 millions de tonne (FAOSTAT, 2019). Au cours des cinq dernières décennies, la production de cette culture a augmenté plus que cinq fois grâce à l'expansion de la culture dans de nouvelles zones et à l'augmentation de la productivité de 550 à 1077 kg/ha. Or la production est dominée par les deux pays : le Canada et l'Inde. De 2011 à 2013 : Le Canada a produit 1,65 millions de tonnes ce qui représente 35% de la production mondiale, sur une superficie de 0,99 millions d'hectares donnant un rendement moyen de 1674

kg/ha. Alors que l'Inde a 41% de la superficie récoltée mondiale (1,7 million d'hectares) et a produit 1,04 million de tonnes. De plus, en Asie du sud, le Bangladesh et le Népal sont également d'importants pays producteurs de lentilles. En Amérique du nord, le deuxième producteur majeur après le Canada c'est les États-Unis. En dehors de ces deux régions, les autres grands pays producteurs sont l'Australie (Producteur pour l'exportation), la Chine et l'Éthiopie. Sur le bassin méditerranéen, la Turquie, la Syrie, le Maroc, l'Espagne et la France sont les principaux producteurs de lentilles.

5.1.1 La culture de lentille dans le bassin méditerranéen

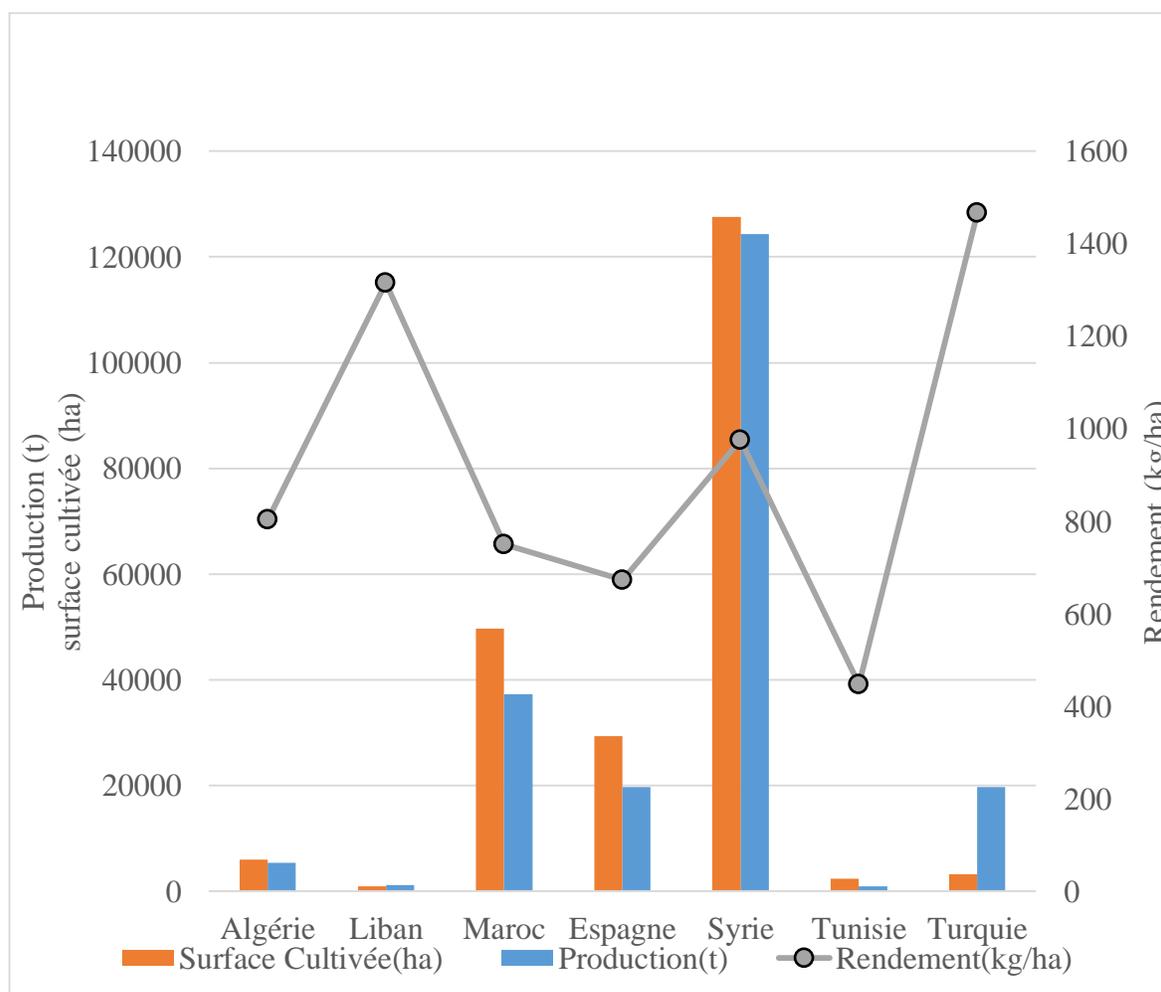


Figure 1. La production, la surface cultivée et le rendement durant les 10 dernières années dans le bassin méditerranéen (FAOSTAT, 2019)

Le principal producteur de lentilles dans le bassin méditerranéen est la Syrie avec 124 000 tonnes cultivées sur 127 000 hectares (Figure 1). Alors que la production et la superficie

cultivée ont beaucoup diminué et atteint au Maroc 38000 tonnes sur une superficie de 49000 hectares et en Espagne 20000 tonnes sur 29000 hectares.

5.1.2 Importation et exportation dans le bassin méditerranéen

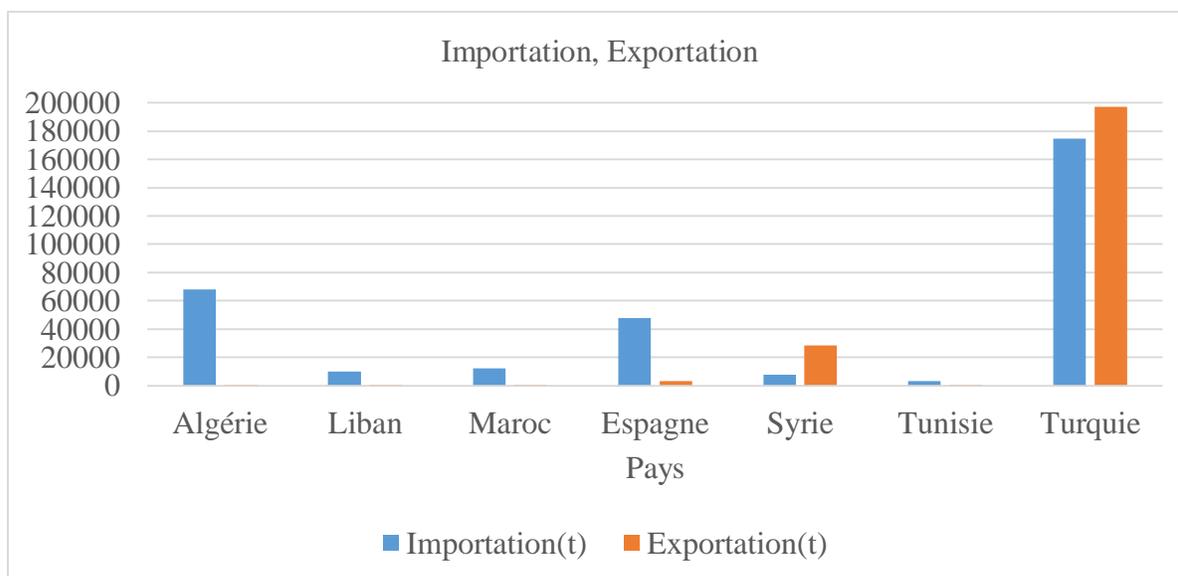


Figure 2. L'exportation et l'importation de lentille dans les pays du bassin méditerranéen (FAOSTAT, 2019)

Le pays le plus exportateur et importateur à la fois, est la Turquie ; 170000 tonnes d'importation et 190000 tonnes d'exportation. Puis l'Algérie 67000 tonnes et l'Espagne (48000 tonnes) sont les pays importateurs après la Turquie (FAOSTAT, 2019) (Figure 2).

Muni d'un climat Méditerranéen modéré, la région du Baalbek-El-Hermel et les régions de Rashya-Liban sont convenables pour la culture de lentille. Elle est cultivée généralement en novembre. En 2017, 1405 tonnes de lentilles ont été produites au Liban sur une superficie de 933 hectares et donc un rendement moyen de 1506 kg/ha. 11399 tonnes de lentilles ont été importées au Liban, et 648 tonnes ont été exportées durant l'année 2016 (FAOSTAT, 2019) (Figure 2).

5.2 IMPORTANCE NUTRITIONNELLE DES LENTILLES

Les lentilles sont une source de stockage de protéines qui fournissent des acides aminés essentiels et non essentiels au corps humain. La globuline est la protéine prédominante qui constitue 47% du total des protéines de la graine en plus de quantité suffisante d'albumine

(Lombardi-Boccia *et al.*, 2003). Conséquemment à ces quantités élevées de protéines et d'acides aminées, les lentilles forment une source alimentaire importante pour les pays à revenu faible et intermédiaire (Hoover *et al.*, 2009). Les lentilles, parmi les 23 légumineuses fournissent le deuxième pourcentage d'amidon le plus élevé de 47,1 % aussi elles donnent un pourcentage élevé de fibres alimentaires insolubles. Elles sont connues comme une bonne source de prébiotiques (Dwivedi *et al.*, 2014) et possèdent aussi des quantités de glucides prébiotiques importants (12,3-14,1 g/100 g de lentilles sèches) qui jouent un rôle dans la maintenance de l'environnement microbien intestinal et à prévenir les maladies associées à l'intestin (Johnson *et al.*, 2013).

Malgré la richesse de quelques éléments, il existe des déficits dans les gras et le sodium. Les lentilles sont riches en potassium (Ratio Sodium/Potassium 1:30) (Padovani *et al.*, 2003). Aussi, les graines de lentilles sont une excellente source végétale de fer qui est un élément important dans la vie des adolescents et des femmes enceintes. Des études ont justifié que les lentilles cuites préviennent l'anémie ferriprive (Soltan *et al.*, 2013).

Plusieurs minéraux sont documentés et prouvés pour leur importance dans les lentilles comme le Zinc, Cuivre, Manganèse, Molybdène, Sélénium et Bore. Aussi des vitamines comme la thiamine, riboflavine, niacine, acide pantothénique, pyridoxine, folate tocophérols α , β et γ et phylloquinone (Ryan *et al.*, 2007). Alors on déduit que la lentille est l'une des meilleures sources alimentaires des microéléments essentiels pour éviter les effets néfastes de plusieurs maladies.

5.3 IMPORTANCE DANS LE SYSTEME AGRICOLE

La culture de lentille est intégrée dans le système agricole grâce à sa capacité à fixer l'azote atmosphérique (Osman *et al.*, 1988). L'inclusion de cette production dans le système de culture contribue au maintien de la productivité du sol, et réduit la dépendance de l'agriculteur à l'engrais azoté pour obtenir de bons rendements.

Les sous-produits de cette culture servent comme produits fourragères pour les animaux (Witcombe *et al.*, 1984). Aussi les lentilles sont utilisées pour équilibrer les déficits en protéines animales dans les pays en développement (Osman *et al.*, 1988).

En plus du rôle essentiel de la lentille dans l'enrichissement des sols en azote, elle contribue à réduire l'empreinte carbonique qui s'élève à 406 kg t-1 (Haq *et al.*, 2016 ; Haq, 2014).

6. EXIGENCES PEDOCLIMATIQUES

6.1 TEMPERATURE

La lentille est l'une des principales cultures de légumineuses de saison fraîche en Inde et la deuxième culture d'hiver après le pois chiche (Kumar *et al.*, 2016). Elles nécessitent des basses températures pendant la croissance végétative, tandis qu'à maturité, des températures chaudes sont requises ; la température optimale pour sa meilleure croissance a été signalée à 18-30 ° C (Sinsawat *et al.*, 2004).

6.2 SOL

La lentille est bien adaptée aux différents types de sols mais plus adaptée aux sols à texture légère bien drainés (Ali *et al.*, 2009). Le sol sableux limoneux profond est un sol adéquat pour la culture de lentille (Yadav *et al.*, 2007). Les lentilles sont sensibles aux sols très salés, au bore et aux sols sodiques où la croissance des racines est limitée, réduisant ainsi l'extraction d'humidité et de nutriments. (Sivasankar *et al.*, 2018).

La croissance est fortement limitée à un pH entre cinq et neuf (Sivasankar *et al.*, 2018). Le pH le plus convenable est aux alentours de sept (Yadav *et al.*, 2007).

6.3 BESOIN EN EAU

Des précipitations annuelles environ 250 à 300 mm produiront des rendements suffisant en semences de bonne qualité, tandis que des précipitations plus abondantes peuvent endommager la culture. La culture de lentille est sensible à l'eau ce qui provoque une réduction de l'oxygène dans les racines et un jaunissement des plantes (Sivasankar *et al.*, 2018).

6.4 BESOIN EN NUTRIMENTS

La lentille a des besoins élevés en phosphore et des quantités suffisantes sont nécessaires pour le développement de la plante de lentille (Sivasankar *et al.*, 2018). Le phosphore doit être

ajouté au moment de plantation aux alentours de 22kg/ha (Saskatchewan pulse growers, 2016). Le taux de phosphate doit être réduit si le sol a une humidité moins qu'idéale.

Le soufre est aussi nécessaire pour la culture de lentille car il accélère la fixation symbiotique adéquate de l'azote et doit être appliqué lorsque les analyses de sol révèlent une teneur inférieur à 10 ppm. Aussi des applications de 10-17 kg/ha peuvent pallier la carence (Mahler, 2015). La culture n'a besoin d'aucun apport en azote.

7. CONTRAINTES DE LA CULTURE

La température mondiale augmente régulièrement, ayant un impact important sur la croissance et le développement des cultures des régions arides. On prévoit que la température maximale annuelle augmentera d'environ 1 à 3°C d'ici jusqu'à 2050 (GIEC 2012 cité dans Kumar *et al.*, 2015). Les augmentations récentes et potentielles de température globales seront probablement associées à des impacts sur le cycle hydrologique, notamment des modifications des précipitations et des événements extrêmes tels que sécheresses et vagues de chaleur (Sheffield et Wood, 2008). Ce changement climatique accentue l'effet des contraintes biotiques et contraintes abiotiques.

7.1 CONTRAINTES BIOTIQUES

Les principaux facteurs biotiques sont les maladies fongiques foliaires et racinaires, ainsi que les nématodes et les mauvaises herbes parasitaires (kemal, 2015). L'un des composants majeurs de la gestion des maladies dans les nombreux programmes de sélection de légumineuses est la sélection pour la résistance aux maladies (Siddique *et al.*, 2013).

Les maladies fongiques constituent la contrainte biologique la plus importante à la productivité (Taylor *et al.*, 2007) La lentille est affectée par *Aschochyta blight* (*Aschochyta lentis*) (Kemal 2015), BGM (*Botrytis cineria*), Anthracnose (*Colletotrichum truncatum*), et *Stephilia blight* (*Stephilia botryosum*) (Kemal, 2015).

Les maladies virales principales sont causées par plusieurs virus qui sont le virus de la rouille des haricots (BLRV) (Taylor *et al.*, 2007), Jaunisse de la betterave (BWYV), feuille rouge du trèfle souterrain (SCRLV) (Makkouk *et al.*, 2001) et Pea seed-borne mosaic virus (PSbMV) (Haddad *et al.*, 1978).

Les principaux insectes de la culture de lentille sont *Sitona crinitus*, *Agrotis ipsilon*, *Aphis craccivora* et *Thrips angusticeps*, bourgeon charançon causée par *apion arrogan*, finalement par la teigne causée par *Laspeyresia nigrican*.

Les mauvaises herbes parasites qui attaquent la culture de la lentille sont *Orobanche aegyptiaca*, *Orobanche crenata*, *Orobanche ramosa*, *Cuscuta campestris* et *Cuscuta hyalina* (ICARDA, 1993).

7.2 CONTRAINTES ABIOTIQUES

La sécheresse et la chaleur sont les deux facteurs abiotiques principaux limitant le rendement des cultures des régions arides. Avec le changement climatique, ces stress devraient être extrêmes et fréquents. La température mondiale augmente régulièrement, ce qui aura probablement un impact sur la croissance et le développement des cultures (Hatfield *et al.*, 2011). Ainsi que les légumineuses sont très sensibles à ces stress pendant la phase de reproduction ce qui entraîne une perte de fleurs et de gousses ce qui aboutit à la perte du rendement en grains (kumar *et al.*, 2015).

7.2.1 Stress hydrique

Le stress hydrique est un intervalle de déficit hydrique conduisant à une réduction de rendement. Le stress hydrique est largement considéré comme la contrainte environnementale la plus importante, qui réduit la productivité des cultures (Khan *et al.*, 2010).

La sécheresse est considérée comme le principal stress abiotique dans de nombreuses régions du monde (Malhotra *et al.*, 2004) et est responsable d'une notable perte de production de légumineuses alimentaires des régions tempérées (Subbarao *et al.*, 1995). Certaines pertes sont dues à une sécheresse intermittente au cours de la phase végétative, d'autres à une sécheresse finale au cours du développement de la reproduction (Serraj *et al.*, 2004).

Le premier et principal effet de la sécheresse est une altération de la germination et un mauvais établissement des peuplements (Harris *et al.*, 2002). En addition de la croissance cellulaire qui est considérée comme l'un des processus physiologiques les plus sensibles à la sécheresse en raison de la réduction de la pression de turgescence (Anjum *et al.*, 2011). En cas de déficit hydrique grave, l'élongation cellulaire des plantes supérieures peut être inhibée par

une interruption du flux d'eau du xylème vers les cellules allongées environnantes (Nonami, 1998).

Les déficits en eau réduisent la longévité des feuilles, en diminuant le potentiel hydrique du sol. La réduction de la surface foliaire induite par la sécheresse est imputée à la suppression de l'expansion foliaire par réduction de la photosynthèse (Rucker *et al.*, 1995).

Le rendement en grains est le résultat de l'expression et de l'association de plusieurs composants de la croissance des plantes. Le déficit hydrique conduit à une baisse importante du rendement des plantes cultivées, probablement en perturbant les propriétés d'échange du gaz de feuille, ce qui non seulement limite la taille des tissus sources et collecteurs, mais aussi la charge en phloème, la translocation assimilée et la répartition de la matière sèche (Farooq *et al.*, 2009).

7.2.2 Stress thermique

L'augmentation de la température mondiale a un effet dévastateur sur la croissance et le développement des plantes cultivées, réduisant encore leur rendement potentiel et la qualité des produits alimentaires (Delahunty *et al.*, 2015). De plus, les augmentations locales de température sont plus élevées que le niveau mondial et nuisent davantage aux légumineuses cultivées (Kaushal *et al.*, 2013; Kaur *et al.*, 2015).

Les lentilles, sont particulièrement sensibles aux effets du stress thermique aux stades de reproduction du développement, lorsque les plantes sont en pleine floraison. Même quelques jours de température élevée (30°C à 35°C) limitent de nombreux processus, notamment la photosynthèse, les voies métaboliques, le débit d'électrons et le taux de respiration (Redden *et al.*, 2014), provoquant un avortement des fleurs et des gousses, entraînant des pertes de rendement en réduisant le nombre de graines, poids des graines et accélération de la sénescence (Gaur *et al.*, 2015).

Aussi, le stress thermique peut affecter la croissance, le développement, le métabolisme et la productivité des plantes (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). Il provoque divers changements physiologiques chez les plantes, tels que brûlure des feuilles et des tiges, abscission et sénescence des feuilles, inhibition de la croissance des pousses et des racines, inhibition de la croissance du tube pollinique, infertilité du pollen car un certain nombre d'études ont impliqué

le développement et la fonction du pollen en tant que phase plus sensible du stress thermique (Kaushal *et al.*, 2013) et avortement des gousses, conduisant à des pertes rendements des cultures. Des températures supérieures à la normale affectent également la stabilité de la membrane, les relations hydriques et la respiration (Hemantaranjan *et al.*, 2014).

En plus de ces deux facteurs abiotiques, la salinité et la carence en phosphore et en zinc ont été observées à une échelle limitée, aussi il y a des rapports sur le stress causé par une carence en nutriments et une carence en aluminium et manganèse induite par le pH acide (Singh *et al.*, 1993).

8. SELECTION GENETIQUE DE LA LENTILLE

8.1 SYSTEME DE REPRODUCTION DE LA LENTILLE

La lentille est une culture autogame avec moins de 1% des pollinisations croisées (Wilson et Law, 1972). Les étamines sont constituées de 10 anthères arrangées en forme spatiale : neuf sont attachées en position antérieure et un est libre en position postérieure. Le pistil comprend le stigmate, le style et l'ovaire, généralement avec deux ovules. La pollinisation a normalement lieu juste avant l'ouverture de la fleur (Muehlbauer *et al.*, 1980).

8.2 METHODE DE SELECTION

L'annexe 1, figure 36 montre les étapes du pedigree adoptées par ICARDA.

8.2.1 Sélection des parents

L'étape la plus importante dans la sélection est la sélection de parents appropriés à utiliser dans le programme de croisement. À l'ICARDA, le programme de sélection de lentilles comprend cinq grandes lignes de production, à savoir :

- Lentilles très précoces, pour les systèmes à base de riz en Asie du Sud ;
- Lentilles de courte durée, pour l'Afrique subsaharienne ;
- Lentilles récoltables à la machine, pour l'Asie occidentale et l'Afrique du Nord ;
- Lentilles riches en éléments nutritifs ;
- Lentilles intelligentes face au climat (tolérance à la sécheresse et à la chaleur).

8.2.2. Stade de développement

Le développement d'une nouvelle variété prend généralement sept à huit ans. Le trait cible, la diversité basée sur le pedigree et la morphologie, et les données de phénotypage disponibles sont prises en compte lors de la sélection des parents appropriés. Lorsque la sélection est faite visuellement, le choix des parents mâles et femelles est déterminé par des traits morphologiques permettant de confirmer l'hybridité des plantes F1 par des observations visuelles telles que la pigmentation de la tige, la pubescence de la plante, les vrilles, la couleur de la fleur, la couleur du cotylédon, la durée de la culture et la plante et la hauteur en lentille. Lorsque les deux parents ne diffèrent pas pour les variables morphologiques disponibles, chaque plante F1 est récoltée séparément et plantée dans F2 sous forme de rangées individuelles pour observer la ségrégation ou utiliser des marqueurs moléculaires pour distinguer les véritables plantes F1. Le choix des parents mâles et femelles dépend de l'objectif de reproduction. Pour les études de génétique et de cartographie impliquant un croisement entre deux génotypes cultivés pour le trait cible, un parent à trait morphologique sous forme récessive est utilisé comme deuxième parent avec la forme dominante de marqueur morphologique comme pollen parent. Pour certains traits, le choix des parents est guidé par la nature génétique du trait.

9. POSITION DU PROBLEME

La lentille est une culture de légumineuses très répandue dans la méditerranée et au Moyen-Orient, elle est cultivée généralement en hiver. D'où le climat méditerranéen convient aux exigences climatiques de cette culture. (Witcombe *et al.*, 1984).

Dû au changement climatique, la lentille souffre principalement de la sécheresse et de la chaleur, dans les régions semi-arides (IPPC, consulté le 13 Juin 2018). Ces contraintes sont extrêmes et fréquentes, elles ont déjà commencé à influencer négativement l'agriculture mondiale (Lobell *et al.*, 2011).

Dans les régions méditerranéennes, la culture fait face à des sécheresses terminales tout au long de la croissance (Silim *et al.*, 1993). Spécialement, la culture de lentille rencontre invariablement un stress hydrique contribuant à la diminution du rendement. Aussi les légumineuses de saison fraîche comme la lentille (*Lens culinaris* Medikus) sont sensibles au stress thermique, c'est-à-dire à de légères augmentations de température au stade reproductif,

d'où la nécessité d'explorer le matériel génétique disponible pour la tolérance à la chaleur (Sita *et al.*, 2017).

Le programme des lentilles au Centre International de Recherche Agricole dans les Zones Sèches (ICARDA) a donc comme but principal d'améliorer la lentille pour la tolérance à la haute température et pour la sécheresse.

10. OBJECTIF

L'objectif scientifique de cette étude, c'est d'identifier des ressources génétiques tolérantes aux stress hydrique et thermique dans les parents sauvages de lentille. Alors que les objectifs appliqués sont : Evaluer le matériel génétique et les plantes qui sont tolérantes à la sécheresse et à la température, dans le but de résoudre un problème agricole qui constitue une diminution des pertes économiques afin d'augmenter le rendement de rentabilité et faire face aux conditions climatiques néfastes.

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

1. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

1.1 SITE EXPERIMENTAL

Les expérimentations ont été faites au cours de l'été 2018 en Juillet jusqu'à l'hiver de 2019 en Mai, sous serre avec condition contrôlée à l'ICARDA, à la station de Terbol dans la Bekaa central. Il existe une chaudière avec un thermostat qui démarre quand la température devient moins de cinq degrés Celsius. Il existe aussi, un 'système de réfrigération désertique, qui maintient la température moins de l'optimale 24°C.

Le sol utilisé dans les trois essais expérimentaux consiste en un mélange composé de tourbe, sable et terre à quantité égale. La terre et le sable sont stérilisés à 100 °C. Le complexe NPK utilisé est à une dose de 16 g/litre d'eau.

1.2 MATERIEL VEGETAL ET PLAN EXPERIMENTAL

50 Géotypes de lentilles sauvages et 30 géotypes de lentilles cultivés ont été évalués dans cette étude sous serre dans trois essais « alpha design », avec trois répétitions sous stress thermique, et deux répétitions sous stress hydrique et dans des conditions optimales de la culture (Sans stress thermique).

2. PLAN EXPERIMENTAL

2.1 STRESS THERMIQUE

Cette expérimentation est faite sans déficit hydrique, sous serre. Sa date de plantation était le 3 Juillet (Annexe 2, tableau 7). Il y a eu trois répétitions des 80 géotypes, avec deux géotypes : IG115010 et IG76027. Sachant que chaque pot contient 10 graines d'un même géotype La température doit être au maximum 20°C nocturne et au maximum 35°C diurne, car pour imposer un stress thermique il faut que la température soit supérieure à 30/20 °C (Jour/Nuit) (Sehgal *et al.*, 2017). Quand le thermostat marque une température supérieure à 35°C, le système de réfrigération désertique démarre son travail afin de diminuer la température de la serre.

2.2 SANS STRESS : EXPERIMENTATION A IRRIGATION COMPLETE

Cette expérimentation est faite à irrigation complète sous serre. Sa date de plantation était le 5 Octobre (Annexe 2, tableau 8). Il y a eu deux répétitions des 80 géotypes, avec deux

génotypes témoins : IG70057 et IG114929. Sachant que chaque pot contient 10 graines d'un même génotype La température optimale est inférieure de 24°C. Car l'optimum de la température pour sa meilleure croissance a été signalé à 18-30°C (Sinsawat *et al.*, 2004). Quand le thermostat marque une température inférieure à 5°C, la chaudière démarre sa travail.

2.3 STRESS HYDRIQUE

Cette expérimentation est faite avec déficit hydrique sous serre. Sa date de plantation était le 5 Octobre (Annexe 7). Il y a eu deux répétitions des 80 génotypes, avec deux génotypes témoins : IG70057 et IG114929. Sachant que chaque pot contient 10 graines d'un même génotype (Annexe 16). La température optimale est inférieure à 24°C.

3. MESURES EXPERIMENTALES

Les mesures suivantes sont communes pour toutes les expérimentations conduites sachant que chaque pot contient 10 graines mais nous avons récoltés les plantes émergées qui varient de 3 à 10 plantes.

- **Date à la germination** : 50% des plantes par génotype germent (Annexe 1, figure 27) ;
- **Date à la floraison** : 50% des plantes par génotype atteignent le stade de floraison (Annexe 1, figure 28) ;
- **Date à la maturité** : 50% des plantes par génotype atteignent le stade de maturation (Annexe 1, figure 29) ;
- **Rendement biologique moyen/plante** : C'est le poids des plantes quand ils ont atteint la maturité (Annexe 6, figure 32) ;
- **Nombre moyen de gousses / plante** : Compter les gousses de chaque plante (Annexe 1, figure 30);
- **Nombre moyen de graines / plante** : Compter les graines qui se trouvent à l'intérieure des gousses de chaque plante (Annexe 1, figure 31) ;
- **Poids des graines récoltées** : Peser le nombre des graines récoltées de chaque pot
- **Mesure spécifique pour l'essai à stress thermique** : La méthode de Brewbaker et Kwack (1963) a été adoptée pour l'essai de stress thermique pour déterminer le taux de germination des pollens. Il consiste à collecter des grains de pollens frais et matures à

partir de sept fleurs ouvertes par échantillon lorsque la température diurne était au maximum 35° C et nocturne au maximum 20°C. Les grains de pollens collectés ont été ensuite conservés dans un tube Eppendorf dans une glacière pendant quelques heures avant le test de germination. Les essais de germination du pollen ont été effectués selon Brewbaker et Kwack (1963) en considérant deux répétitions par parcelle. Un milieu contenant 0,1 g / l d'acide borique (H₃BO₃), 0,3 g / l de nitrate de calcium (Ca (NO₃)₂), 100 g / l de saccharose et 10 g / l d'agar (Sigma, Aldrich-Germany), pH ajusté à 6,3 a été préparé et ensuite autoclavé à 121 ° C avant d'être versé dans des boîtes de Pétri (20 ml / boîte de 9 cm de diamètre). Les grains de pollen fraîchement collectés ont été époussetés et dispersés à la surface de la boîte de pétrie à l'aide d'une aiguille, puis incubés à 37 ° C pendant 16 heures avant d'ajouter une goutte de solution d'acétocarmine au milieu pour terminer la germination. Le grain de pollen a été compté comme ayant germé lorsque les tubes de pollen étaient au moins égaux au diamètre du grain. Le taux de germination a été déterminé au binoculaire et avec un compteur manuel sur la base d'au moins 100 grains de pollen par répétition (Annexe 1, figure 34);

- **Mesure spécifique pour les essais sans stress et sous stress hydrique :** La quantité d'eau absorbée en cas de stress hydrique et en cas d'une irrigation complète a été mesurée durant toute la période d'expérimentation. Afin de déterminer le besoin en eau pour chaque génotype au cours de développement dès la plantation jusqu'à la maturation, la quantité d'eau ajoutée a été enregistrée dans les deux essais de stress hydrique et irrigation complète. Ceci a été effectué en plusieurs reprises du 8 octobre 2018 au 12 janvier 2019 selon les étapes suivantes : Irriguer 100% chacun des pots dans les deux essais stress hydrique et sans stress pour registrer la quantité initiale . Puis après cinq jours, peser chacun des pots pour voir la quantité d'eau absorbé par la plante dès le jour initiale au cinquième jour . Finalement calculer la quantité manquante en se référent à la quantité initiale dans le but d'irriguer 100% de la quantité manquante à l'essai sans stress, et 50% de la quantité manquante à l'essai 50%. Refaire la pèse et l'irrigation chaque 5 jours jusqu'au stade de maturation.

4. ANALYSE STATISTIQUE

L'approche du maximum de vraisemblance (REML) restreinte (ou résiduelle ou réduite) a été adoptée pour l'analyse de variance et ainsi déterminer l'effet de l'erreur par pots et par bloc dans les trois expériences conduites. REML est notamment utilisé comme méthode d'ajustement de modèles mixtes linéaires. La moindre différence significative a été encore estimée. L'estimation REML a été effectuée par le modèle disponible dans le software Genstat.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Dans cette partie, nous allons détailler les résultats des trois essais, à savoir l'essai sans stress, l'essai du stress hydrique, l'essai du stress thermique.

1. STRESS HYDRIQUE

Le tableau 1 montre la moyenne carrée de l'analyse de variance des variables phénologiques DFLR, DMAT et les variables des rendements RB, NGP, NGRP et RG étudiés pour l'expérience conduite afin de comparer l'effet du stress hydrique.

Tableau 1. Moyenne carrée de l'analyse de la variance de l'expérience du stress hydrique

	DFLR	DMAT	RB	NGP	NGRP	RG
Répétition	5.55	1621.9***	225.34***	5096	1483	3.38
R (Bloque)	54.26	45.66*	30.01**	3594	3494	0.38
Génotypes (G)	97.57***	69.97***	61.88***	8075***	18781***	2.28***
Traitement (T)	0.02	5614.83***	6970.35***	1044235***	1218477***	168.24***
GxT	42.11	21.09	13.01	5963*	8554*	0.95
Erreur	34.84	25.78	12.66	3823	5381	0.99

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Date à la floraison DFLR, date à la maturation DMAT, Rendement biologique RB ; nombre de gousses totales par pot NGP, nombre de graines totales par pot NGRP et le poids des graines récoltées RG.

1.1 VARIABLES PHENOLOGIQUES

1.1.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes

L'analyse de variance présentée dans le tableau 1 montre qu'il existe une différence hautement significative ($p < 0.001$), entre les génotypes (G) pour les deux variables phénologique ; date à la floraison (DFLR) et la date à la maturation (DMAT).

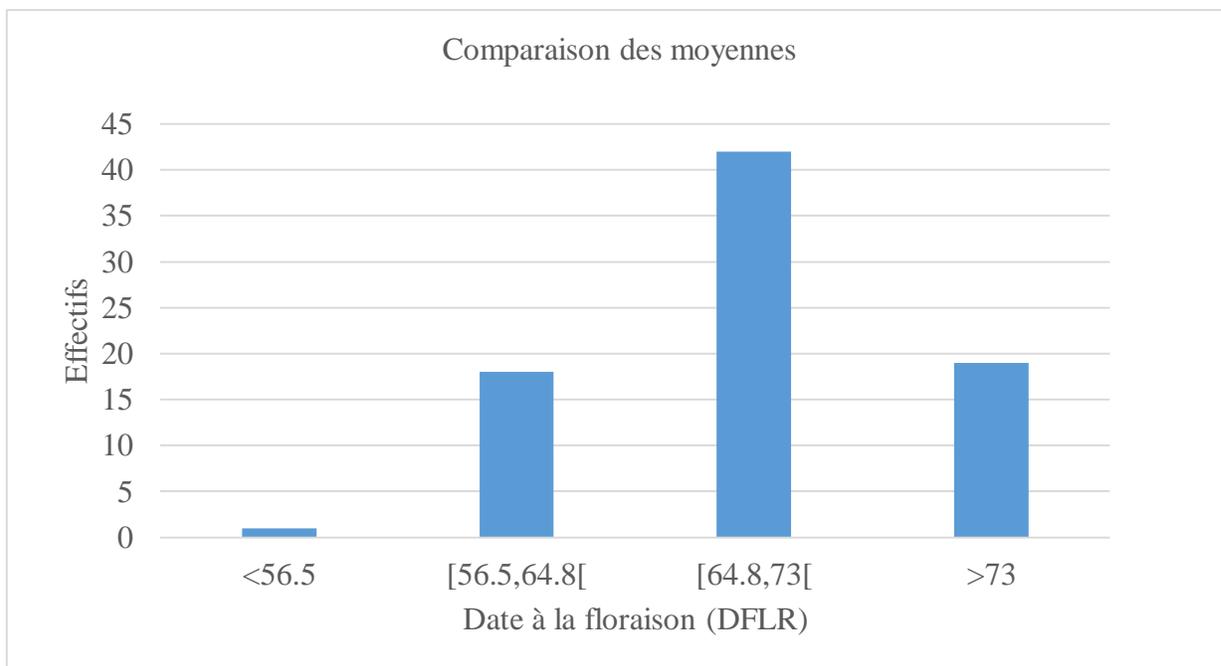


Figure 3. Distribution des dates à la floraison des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 8.28)

La moindre différence significative (LSD=8.28) de la date à la floraison montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés selon la date à la floraison. L'analyse de la moyenne de la DFLR montre qu'il y a 1 seul géotype à une moyenne plus petit que 56.5 J, 18 géotypes à une moyenne entre 56.5 et 64.8 J, 42 géotypes entre 64.8 et 73 J et le reste qui est 19 géotypes (Figure 3). Le groupe précoce qui varie entre 64.8 J et 73 J est composé de 70% géotypes cultivés et 30% géotypes sauvages et leurs floraison varie entre 50 et 60 Jours.

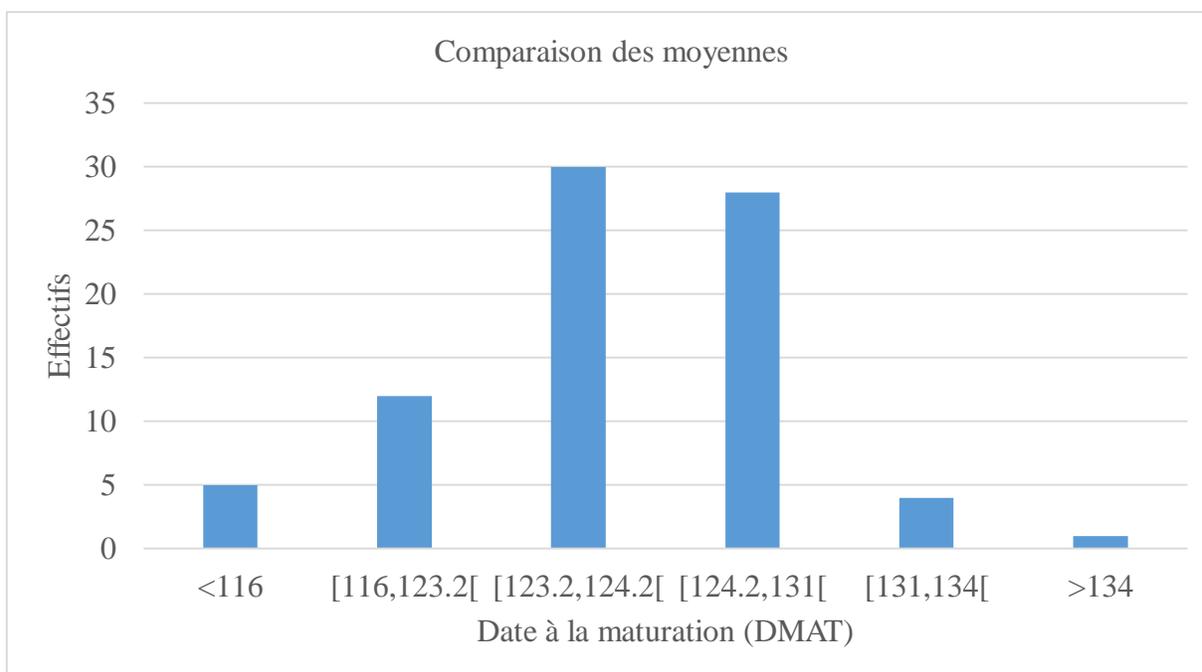


Figure 4. Distribution des dates à la maturation des génotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=7.11)

La moindre différence significative (LSD=7.11) de la date à la maturation montre qu'il existe six groupes bien déterminés selon la date à la maturation. L'analyse de la moyenne de la DMAT montre qu'il y a cinq génotypes inférieurs à 116 J, 12 génotypes entre 116 et 123.2 J, 30 génotypes entre 123.2 et 124.2 J, 28 génotypes entre 124.2 et 131 J, 4 génotypes entre 131 et 134 J, le reste 1 génotype supérieur à 134 J (Figure 4). Le groupe précoce entre 123.2 J et 124.2 J est composé de 60% génotypes cultivés et 40% génotypes sauvages et leurs maturation varie entre 110 J et 120 J.

1.1.2 Effet du traitement

L'analyse de variance (Tableau 1) montre qu'il existe une différence hautement significative entre les traitements (T), pour le DMAT dans les variables phénologiques ($p < 0.001$). La figure 3 montre que la moyenne de la date maturité dans l'essai du stress hydrique (100%) est significativement supérieure à la moyenne de la maturité sous stress hydrique (50%). En revanche, il n'y a pas une différence significative pour le DFLR entre les deux traitements alors ce dernier n'a pas d'effet sur le DFLR.

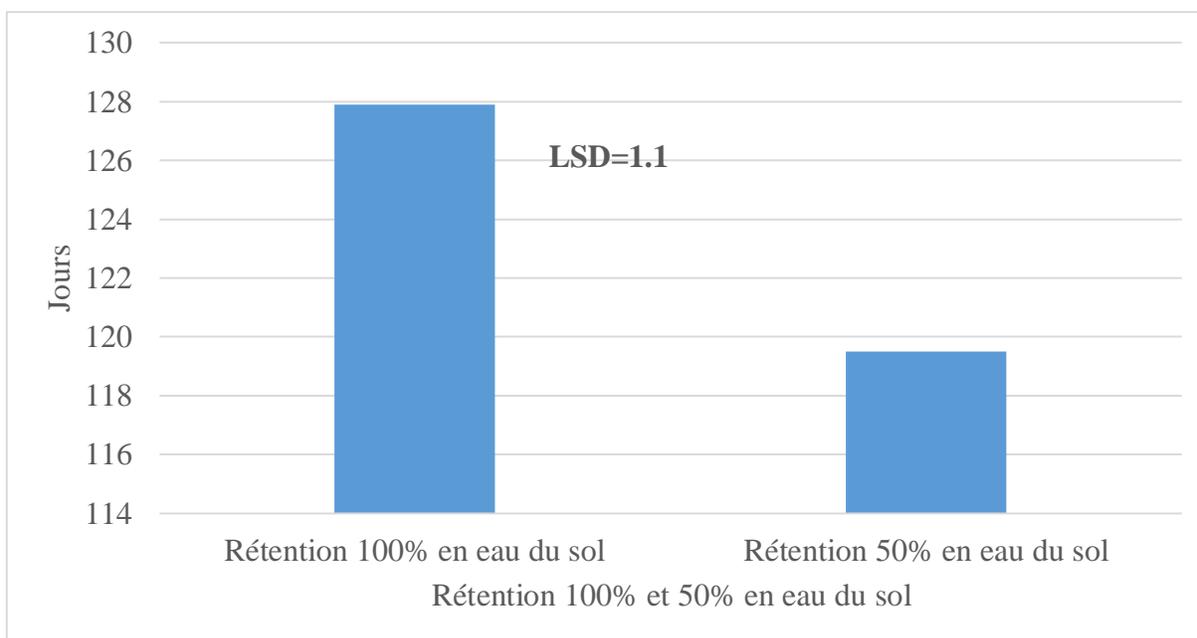


Figure 5. Effet du traitement sur la date à la maturation (DMAT) en se basant sur la moindre différence significative (LSD=1.1)

La figure 5 montre qu'il y a une différence entre l'effet du premier traitement (100%) sur la date à la maturation (DMAT) qui a duré jusqu'à peu près 128 jours. La fermeture des stomates en réponse à la faible teneur en eau du sol, réduit l'apport en CO₂ et, par conséquent, la photosynthèse diminue (Flexas *et al.*, 2004) ce qui accélère le cycle végétatif et par conséquent les génotypes de lentille atteignent la phase de maturation plus rapidement en cas de stress hydrique qu'en cas de sans stress, ce qui n'est pas favorable dans notre étude. Le traitement 50% montre la maturation qui est arrêtée aux alentours de 120 jours.

1.1.3 Interaction entre génotypes et traitements (G x T)

Par contre, il n'y a pas une différence significative pour l'interaction G X T pour DFLR et DMAT. Alors que tous les génotypes répondent d'une manière similaire au stress hydrique (Tableau 1).

1.2 VARIABLES DE RENDEMENT

1.2.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes

Le tableau 1 montre aussi l'analyse de la variance des génotypes (G) pour les variables de rendements. Il existe une différence hautement significative ($p < 0.001$) sur les variables

suivantes ; (RB), nombre de gousses totales par pot (NGP), nombre de graines totales par pot (NGRP) et le rendement des graines récoltées (RG).

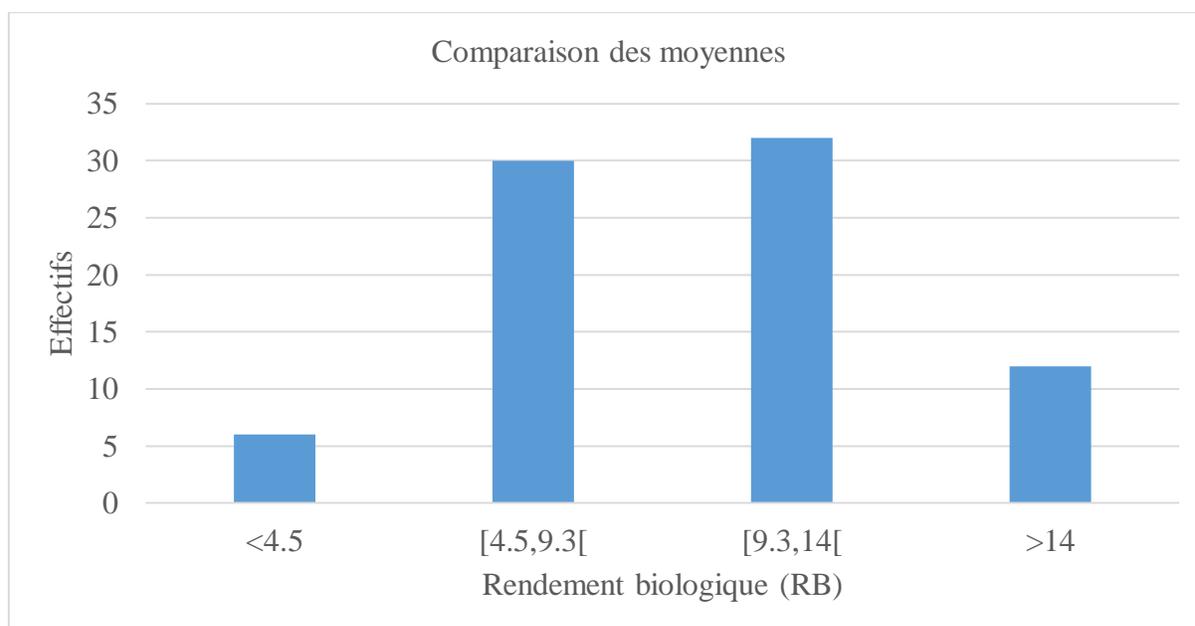


Figure 6. Distribution des rendements biologiques des génotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=4.97)

La moindre différence significative (LSD= 4.97) du rendement biologique montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de RB montre qu'il y a six génotypes inférieurs à 4.5 g, 30 génotypes entre 4.5 et 9.3 g, 32 génotypes entre 9.3 et 14 g, et 12 génotypes supérieurs à 14 (Figure 6). Le groupe entre 9.3 et 14g a le rendement important qui varie entre 30 et 15g et composé de 60% de plantes cultivés et 40% de génotypes sauvages.

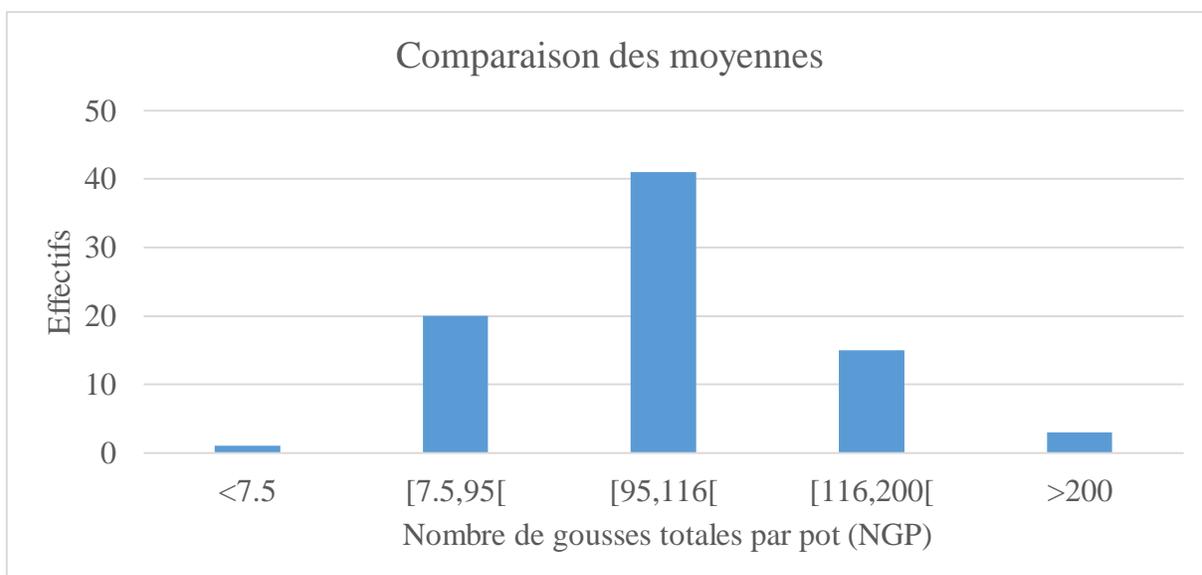


Figure 7. Distribution des nombres de gousses totales par pot des génotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 91.7)

La moindre différence significative (LSD=91.7) du nombre de gousses totales par pot, montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de NGP montre qu'il y a un génotype inférieur à 7.5, 20 génotypes entre 7.5 et 95, 41 génotypes entre 95 et 116, 15 génotypes entre 116 et 200 et le reste trois génotypes supérieurs à 200 (Figure 7). Le groupe entre 95 et 116 a le plus grand nombre de gousses et varie entre 400 et 150 et composé de 80% de génotypes cultivés et 20% de génotypes sauvages.

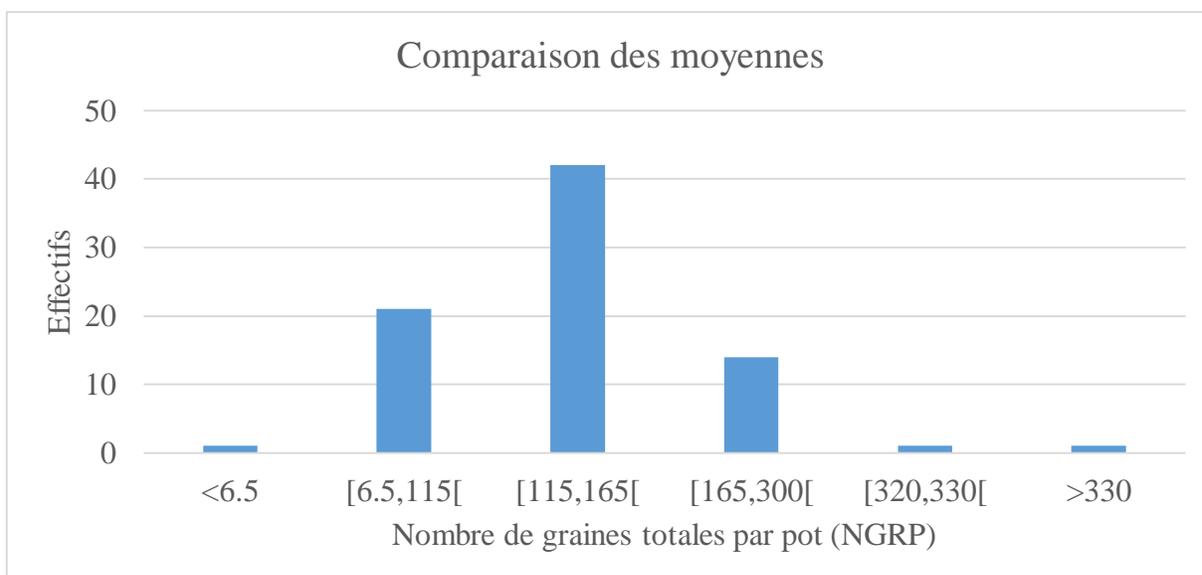


Figure 8. Distribution des nombres de graines totales par pot des géotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD= 110.7)

La moindre différence significative (LSD= 110.7) du nombre de graines totales par pot, montre qu'il existe six groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de NGRP montre qu'il y a un géotype inférieur à 6.5, 21 géotypes entre 6.5 et 115, 42 géotypes entre 115 et 165, 14 géotypes entre 165 et 300, 1 géotype entre 320 et 330 et finalement un géotype supérieur à 330 (Figure 8). Le groupe entre 115 et 165 a le plus grand nombre de gousses et varie entre 550 et 250 et composé de 60% de géotypes cultivés et 40% de géotypes sauvages.

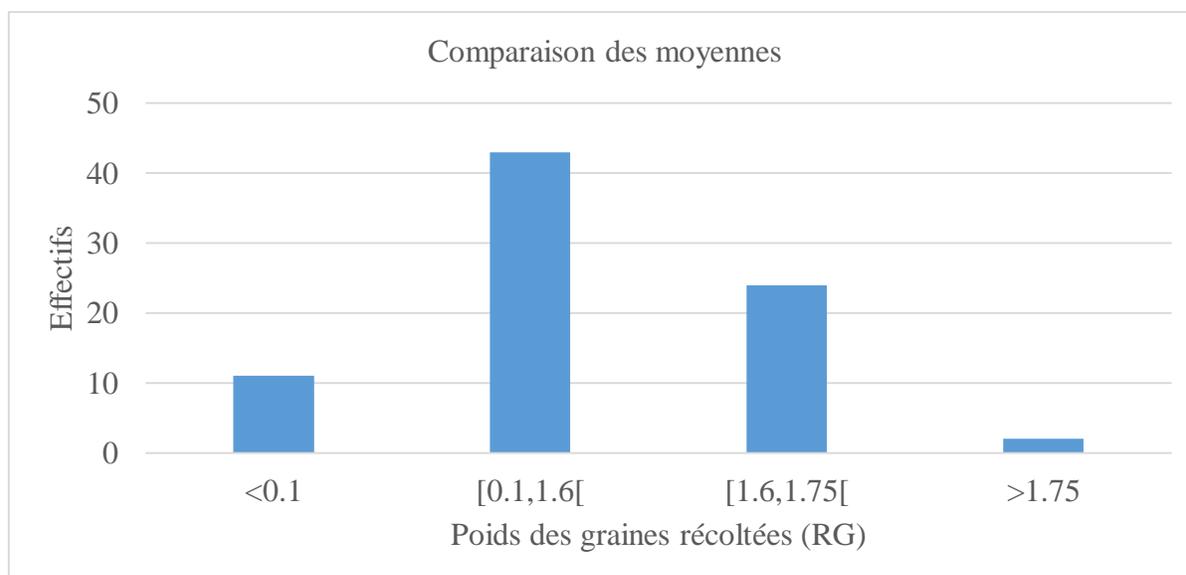


Figure 9. Distribution des poids des graines récoltées des génotypes classés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=1.50)

La moindre différence significative (LSD= 1.50) du poids de graines récoltées, montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de RG montre qu'il y a un génotype inférieur à 0.1 g, 43 génotypes entre 0.1 et 1.6 g, 24 génotypes entre 1.6 et 1.75 g et deux génotypes supérieurs à 1.75 g (Figure 9). Le groupe entre 0.1 et 1.6 a le plus grand poids et varie entre 7 et 5 g et composé de 70% de génotypes cultivés et 30% génotypes sauvages.

1.2.2 Effet du traitement

L'analyse de variance (Tableau 1) montre qu'il existe une différence hautement significative entre les traitements (T), pour le RB, NGP, NGRP et RG dans les variables de rendement ($p < 0.001$).

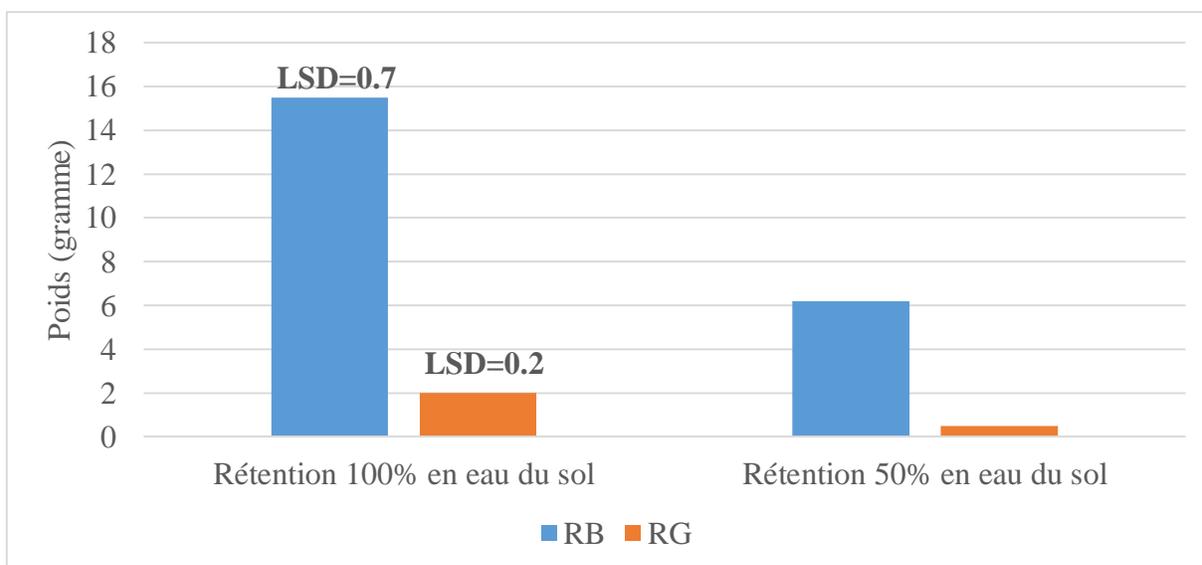


Figure 10. Effet du traitement du rendement biologique (RB) et le poids des graines récoltées (RG) en se basant sur la moindre différence significative pour RB (LSD=0.7) et RG (LSD=0.2)

La figure 10 montre les moyennes de RB et RG dans l'essai du stress hydrique (100%) est significativement supérieur aux moyennes de ces deux variables sous stress hydrique (50%). Un effet négatif commun du stress hydrique sur les plantes cultivées est la réduction de la production de biomasse fraîche et sèche (Zhao *et al.* 2006) (Annexe 1, figure 35).

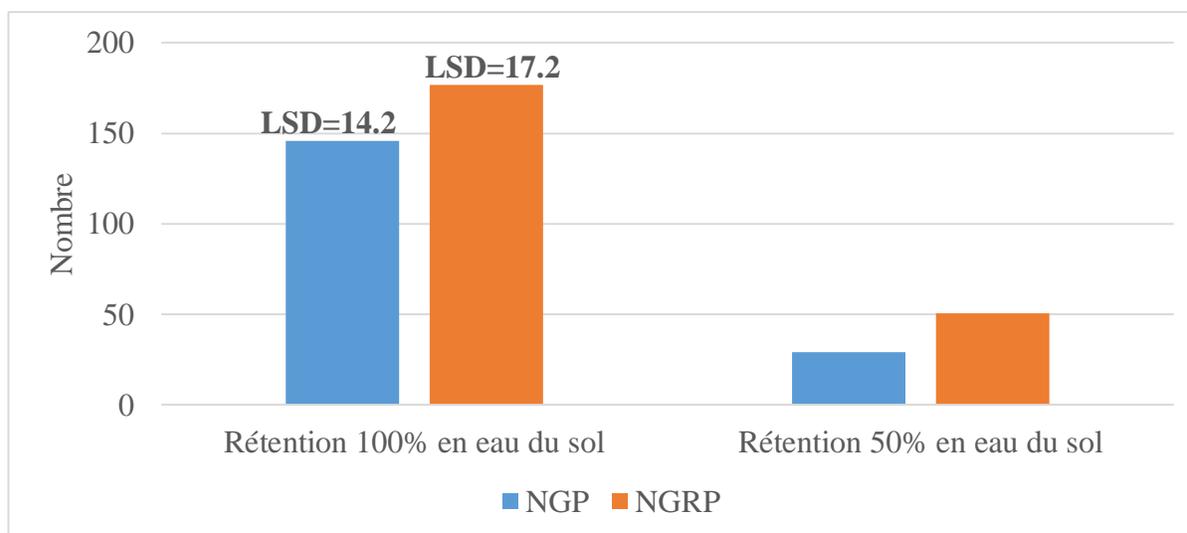


Figure 11. Effet du traitement sur le nombre de gousses totales par pot (NGP) et le nombre de graines totales par pot (NGRP) en se basant sur la moindre différence significative de NGP (LSD=14.2) et NGRP (LSD=17.2)

Aussi, la figure 11 montre les moyennes de NGP et NGRP dans l'essai du stress hydrique (100%) est significativement supérieures aux moyennes de NGP et NGRP sous stress hydrique. Ce résultat est justifié car la carence en eau conduit à une baisse importante des caractéristiques de rendement des plantes cultivées parmi elles, le nombre de gousses et graines (Farooq *et al.*, 2009).

1.2.3 Interaction entre génotypes et traitements (G x T)

Seules les NGP ($p < 0.05$) et NGRP ($p < 0.05$) montrent une différence significative dans l'interaction du génotype et traitement (GxT). Alors ces deux variables ne répondent pas d'une même manière similaire au stress hydrique comme les autres variables de rendement. (Tableau 1).

1.3 SELECTION DES GENOTYPES LES PLUS TOLERANTS AU STRESS HYDRIQUE

(L'annexe 2, tableau 5) montre les génotypes marqués en gras qui ne sont pas affectés par le stress hydrique, c'est à dire il n'y a pas d'effet des deux traitements (100% d'irrigation et 50% d'irrigation) sur les génotypes.

Tableau 2. Les géotypes communs les plus tolérants au stress hydrique

Géotypes	Sous-Espèces	NGP		NGRP		RG	
		IRR 100%	IRR 50%	IRR 100%	IRR 50%	IRR 100%	IRR 50%
IG481	<i>Lens culinaris culinaris</i>	16.76	2	16.8	4	0.36	0.03
IG69497	<i>Lens culinaris culinaris</i>	151.74	65.04	202.4	82.8	2.86	1.67
IG75920	<i>Lens culinaris culinaris</i>	81.83	41	71.8	75	1.73	2.13
IG117678	<i>Lens culinaris culinaris</i>	72.14	37.04	84	65.3	3.13	2.25
IG117680	<i>Lens culinaris culinaris</i>	119.58	30.52	116.2	59.3	4.25	2.09
IG156536	<i>Lens culinaris culinaris</i>	135.97	35.02	118.7	56.8	3.09	1.93
IG72743	<i>Lens culinaris orientalis</i>	132.2	50.59	128.8	90	1.46	0.64
IG116027	<i>Lens culinaris orientalis</i>	146.79	56.72	200.9	93.4	1.13	0.60
IG135410	<i>Lens culinaris orientalis</i>	178.4	68.23	218.4	136.7	1.78	1.11
		LSD=123.9		LSD= 148.5		LSD= 2.02	

1.3.1 Les géotypes communs les plus tolérants au stress hydrique

Le tableau 2 montre les géotypes hautement non affectés, qui sont supérieurs à la moyenne de la différence la moins significative pour les variables suivants, nombre de gousses totales par pot, nombre de graines totales par pot et poids des graines récoltées. Ces géotypes sont les communs entre les variables, c'est à dire le même géotype n'est pas affecté par les traitements sur plusieurs variables comme: le géotype (IG69497) ; (nombre de gousses totales par pot (NGP) : IRR 100%: 151.7, IRR 50%: 65.0, nombre de graines totales par pot (NGRP): IRR 100%: 202.4 , IRR 50%: 82.8 , (RG): IRR 100%: 2.86, IRR 50%: 1.67) et Géotype (IG117678) : NGP(119,58 pour le 100% et 30.52 pour le 50%), NGRP(116,2 pour le 100%, 59,3 pour le 50%), et le RG(4,25 pour le 100%, 2,09 pour le 50%). Alors six géotypes de lentilles cultivées appartiennent au sous-espèce *Lens culinaris* (IG481, IG69497, IG75920, IG117678, IG117680, IG156536) et trois géotypes de lentilles sauvages appartiennent au sous-espèce de *lens orientalis* (IG72743, IG116027, IG135410) étaient tolérants au stress hydrique.

1.3.2 Effet des deux traitements sur les géotypes sélectionnés

L'eau utilisée pour chacun des géotypes sélectionnés pour le stress hydrique a été comparée pour les deux traitements (100% et 50%).

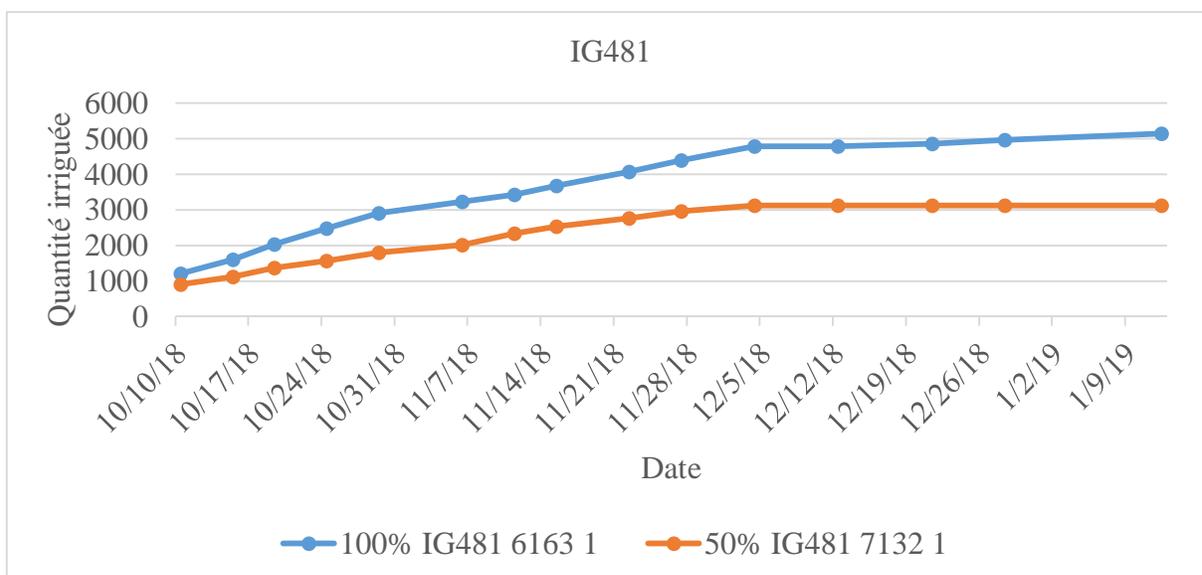


Figure 12. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG481

Le besoin en eau du traitement 50% est moins que le besoin en eau du traitement 100%. Mais les 2 courbes varient de la même manière. La quantité du besoin augmente de 10/10/18 jusqu'à 12/5/18 pour devenir ensuite stable aux cinq dernières irrigations (Figure 12).

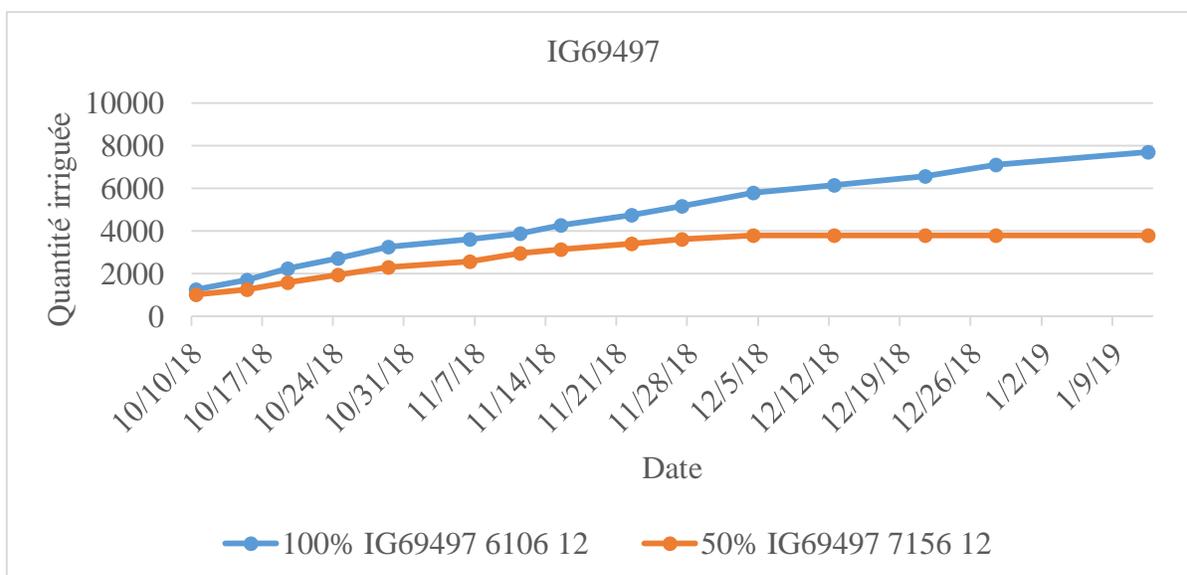


Figure 13. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG69497

Le besoin en eau est le même que le graphe précédent, aussi au cours des cinq dernières irrigations après 12/5/18 la quantité d'eau irriguée n'a pas varié (Figure 13).

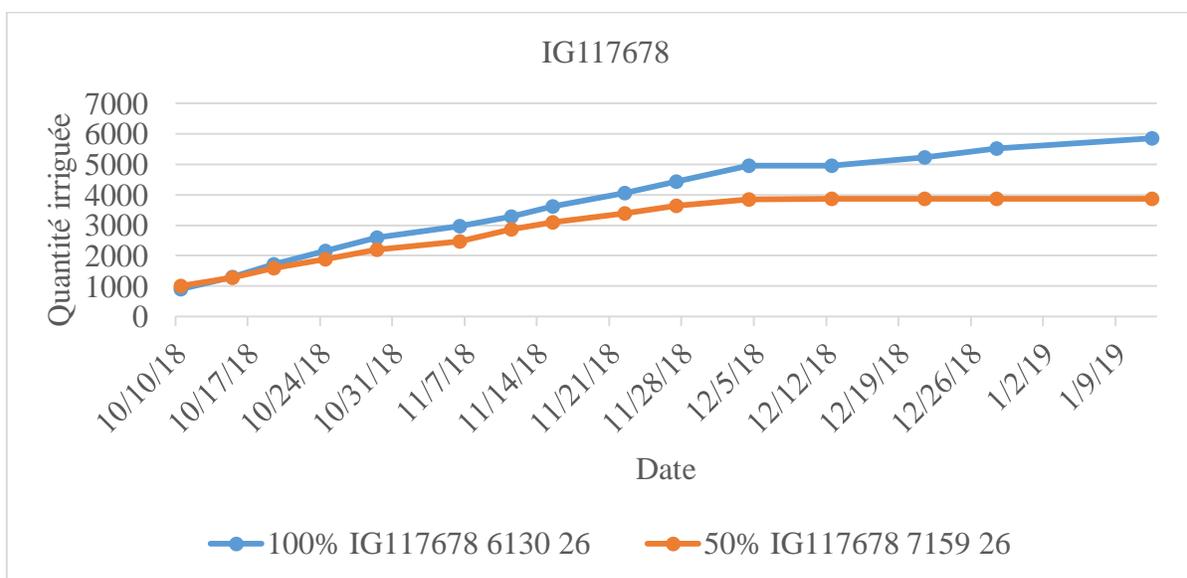


Figure 14. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG117678

Les quantités d'eau ajoutée dans le traitement de 100% et 50% au début, étaient plus grandes que les génotypes précédents. Mais la même chose, qu'après 12/5/18, cette quantité est devenue stable (Figure 14).

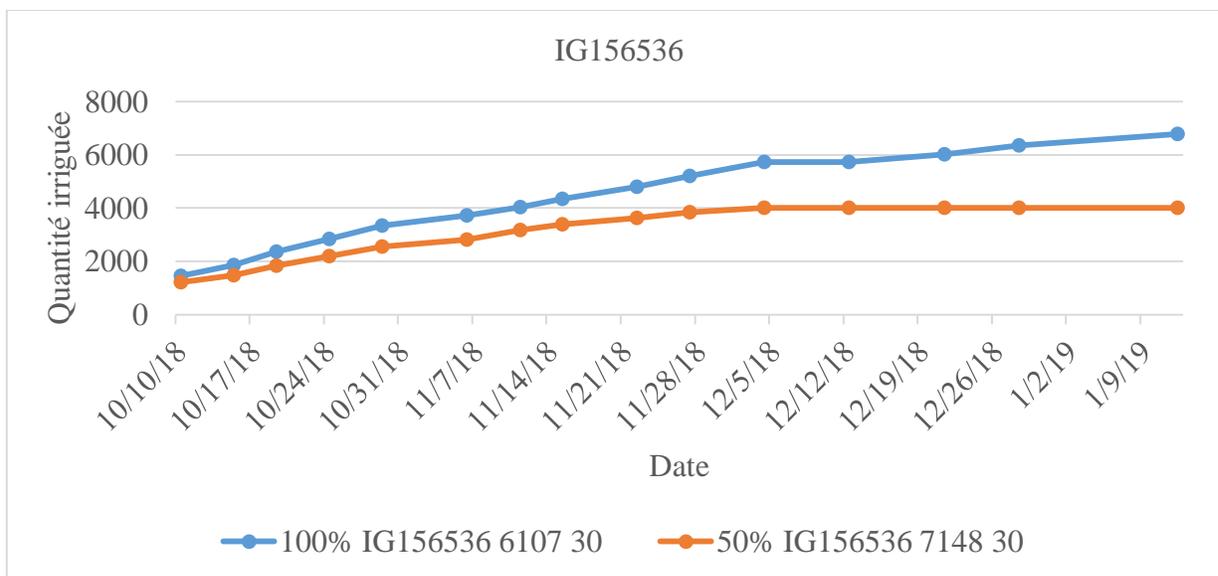


Figure 15. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG156536

La courbe de 100% augmente dès la première irrigation jusqu'à la dernière. Mais la courbe de 50% qui ne présente pas une grande différence avec la première, augmente au début pour être stable après 12/5/18 (Figure 15).

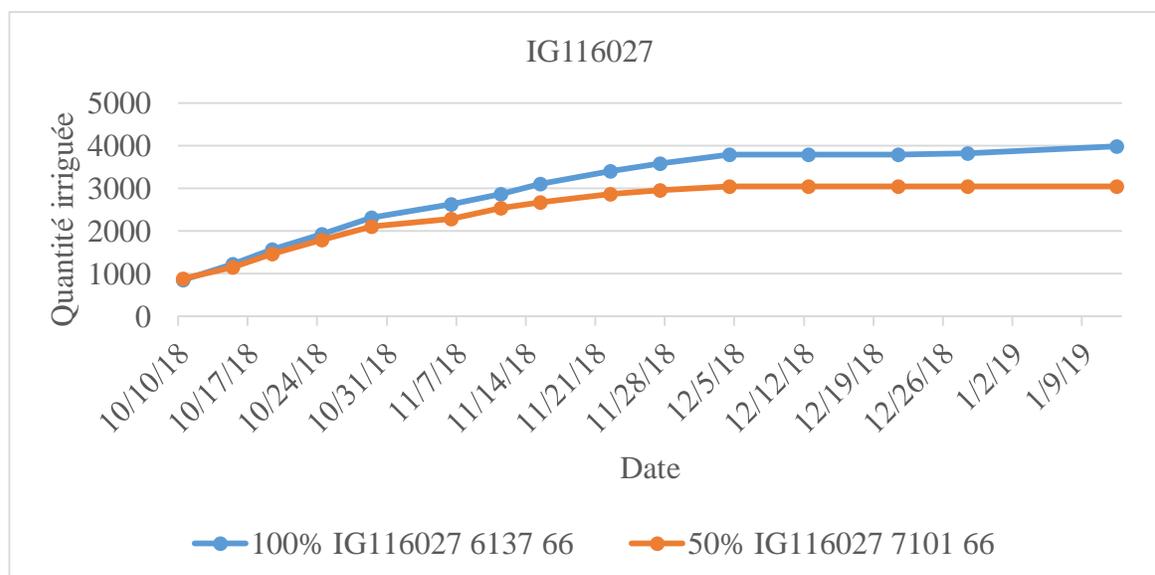


Figure 16. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG116027

Les pots dans les deux traitements au cours des trois premières dates demandent la même quantité d'eau pour devenir stables après 12/5/18 (Figure 16).

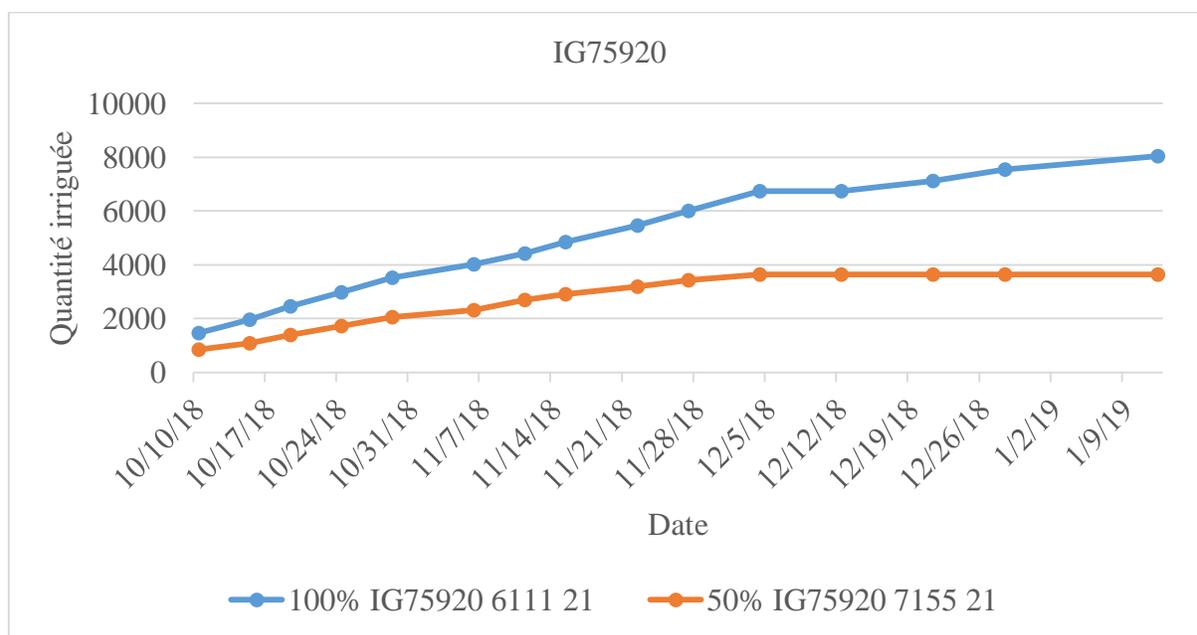


Figure 17. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG75920

Le traitement 100% demande une grande quantité d'eau qui a évolué dans toutes les dates. Mais le traitement 50% a demandé une quantité d'eau au début pour devenir stable après 12/5/18 (Figure 17).

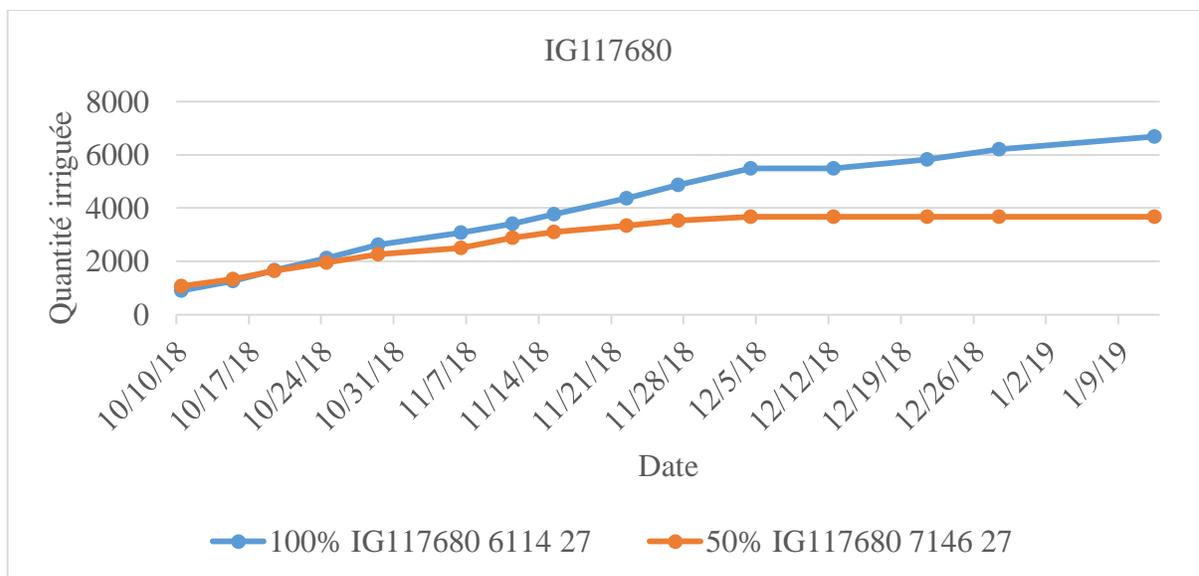


Figure 18. L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG117680

Les trois premières irrigations ont eu besoin de la même quantité dans les deux traitements, pour augmenter après et devenir stables dès 12/5/18 (figure 18).

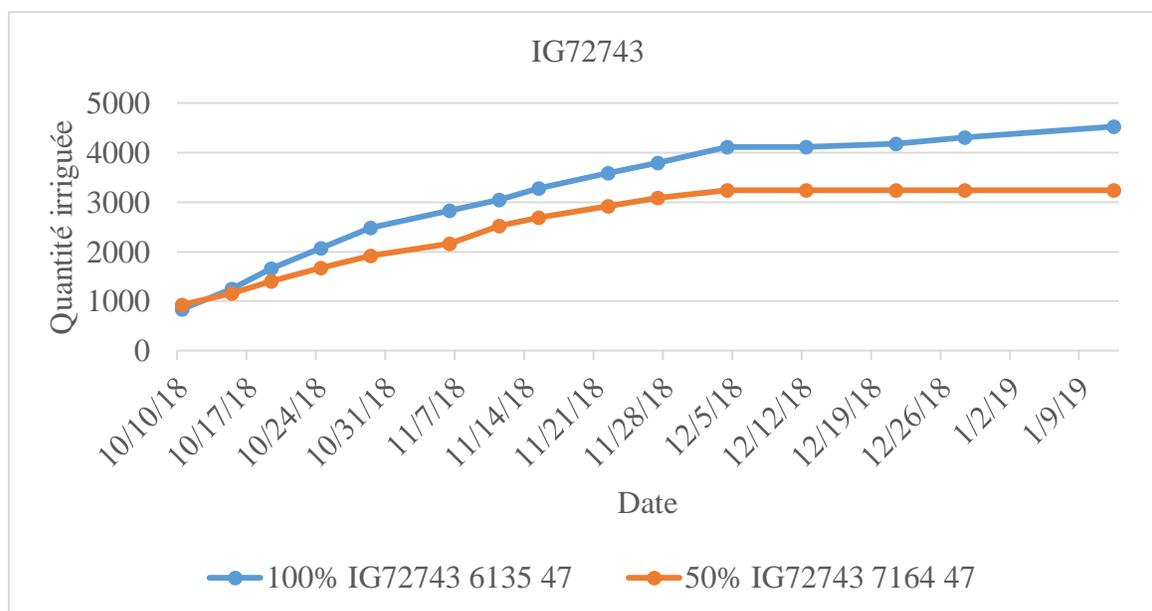


Figure 19: L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG72743

L'évolution des deux courbes de 100 et 50% varie de la même manière. Ils ont besoin d'une grande quantité au début pour devenir après stable (Figure 19).

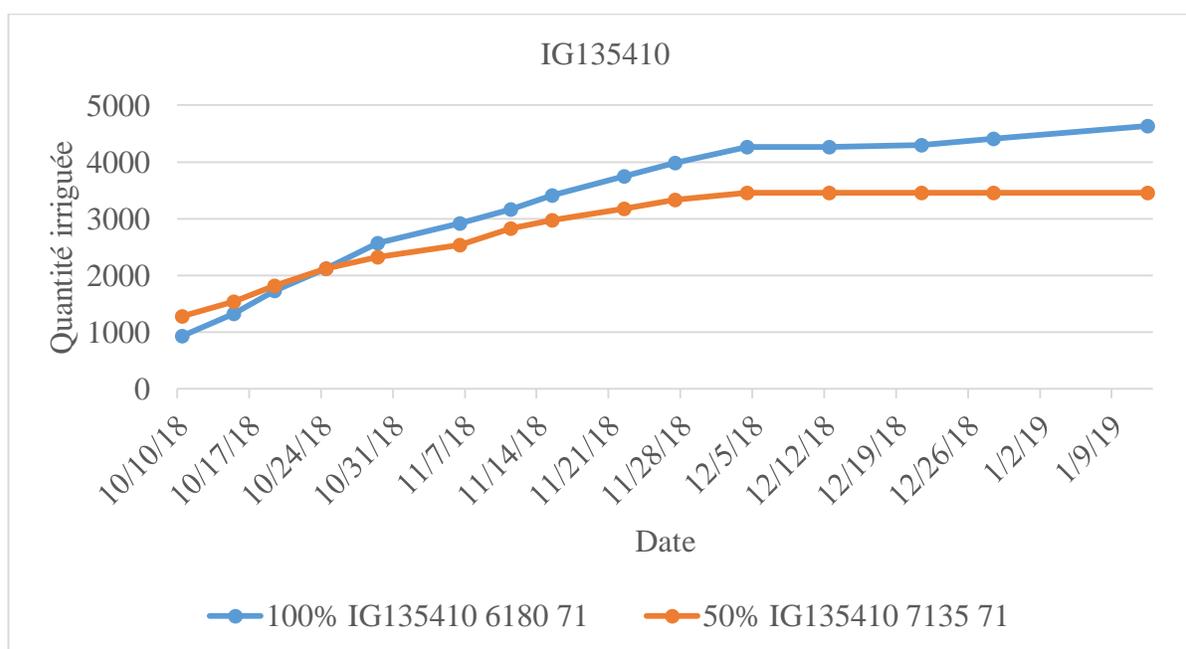


Figure 20: L'évolution de l'eau entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50% pour le génotype IG135410

La quantité d'eau irriguée a été supérieure pour l'IG135410 dans le 100% irrigation et dans le 50% irrigation que dans le cas des autres sélectionnés (Figure 20).

La même évolution des courbes des génotypes tolérants montre qu'au stress hydrique c'est-à-dire à une quantité d'eau réduite, ces génotypes ont le même rendement final.

Malgré que les génotypes tolérants au stress hydrique reçoivent une quantité d'eau significativement supérieure dans le cas sans stress que pour l'expérimentation à 50%, la valeur de LSD de l'interaction Génotype x Traitement montre qu'il n'y a pas une différence entre les deux traitements pour le nombre de gousses totales par pot, nombre de graines totales par pot et le poids des graines récoltées. (Tableau 1).

2. STRESS THERMIQUE

Le tableau 3 montre la moyenne carrée de l'analyse de variance des variables phénologiques DFLR, DMAT et les variables des rendements RB, GM, NGPL et RG étudiés pour l'expérience conduite afin de comparer l'effet du stress thermique.

Il n'y avait aucune possibilité de réaliser un essai thermique à titre de contrôle en même temps pour comparer les performances des génotypes sous stress thermique et sans stress thermique.

Tableau 3. Moyenne carrée de l'analyse de la variance de l'expérience du stress thermique

	DFLR	DMAT	GM	RB	NGPL	RG
Répétition	81.43**	79.49*	111.02	0.03***	557.2***	0.0009*
R (Bloque)	61.44***	72.37***	152.26***	0.01***	134.9***	0.0010***
Génotypes (G)	65.23***	58.66***	124.48***	0.02***	173.6***	0.00121***
Résiduel	11.9	17.76	40.23	0.002	47.8	0.0002

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$. Date à la floraison DFLR, date à la maturation DMAT , rendement biologique RB, nombre de gousses totales par plante NGPL, et le rendement de graines récoltées RG.

2.1 VARIABLES PHENOLOGIQUES

2.1.1 Analyse de la variance et de la moyenne des géotypes

L'analyse de variance présentée dans le tableau 1 montre qu'il existe une différence hautement significative ($p < 0.001$), entre les géotypes (G) pour les deux variables phénologiques à la floraison (DFLR) et la date à la maturation (DMAT).

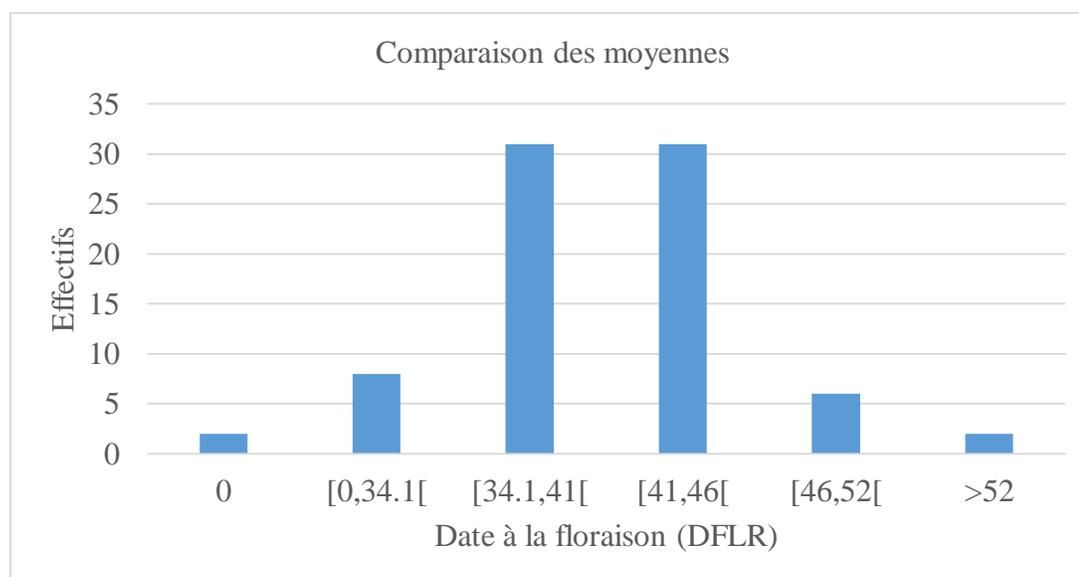


Figure 21. Distribution des dates à la floraison des géotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=5.73)

La moindre différence significative (LSD=5.73) de la date à la floraison montre qu'il existe six groupes bien déterminés selon la date à la floraison. L'analyse de la moyenne de la DFLR montre qu'il y a deux géotypes égaux à 0, 8 géotypes entre 0.28 et 34.1 J, 31 géotypes entre 34.1 et 41 J, 31 géotypes entre 41 et 46 J, 6 géotypes entre 46 et 52 J et deux géotypes supérieurs à 52 J (Figure 21). Les deux groupes précoces entre 14.1 et 46 varient entre 27 et 49 J et composés de 40% de géotypes cultivés et 60% de géotypes sauvages.

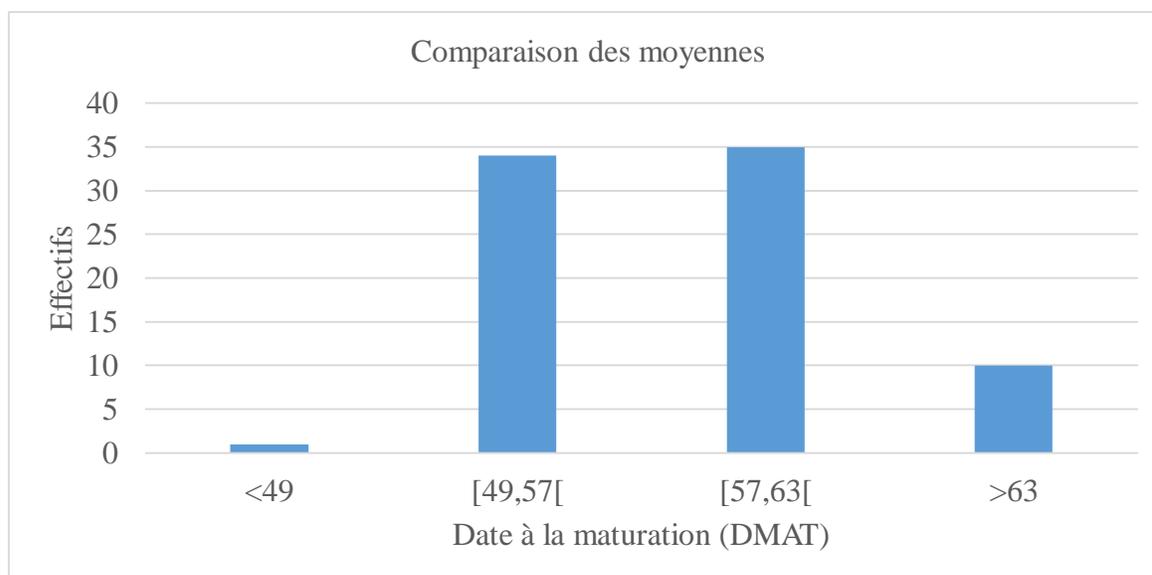


Figure 22. Distribution des dates à la maturation des génotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=6.86)

La moindre différence significative (LSD=6.86) de la date à la maturation montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés selon la date à la maturation. L'analyse de la moyenne de la DMAT montre qu'il y a un génotype inférieure à 49 J, 34 génotypes entre 49 et 57 J, 35 génotypes entre 57 et 63 J et 10 génotypes supérieurs à 63 J (Figure 22). Le groupe précoce entre 57 et 63 varie entre 48 et 51 J et composé de 50% de génotypes cultivés et 50% de génotypes sauvages.

2.2 VARIABLES DE RENDEMENT

2.2.1 Analyse de la variance et de la moyenne des génotypes

Le tableau 4 montre aussi une différence hautement significative ($p < 0.001$) pour les variables de rendement ; rendement biologique (RB), germination du pollen (PG), nombre de gousses totales par plante (NGPL), poids de graines récoltées (RG).

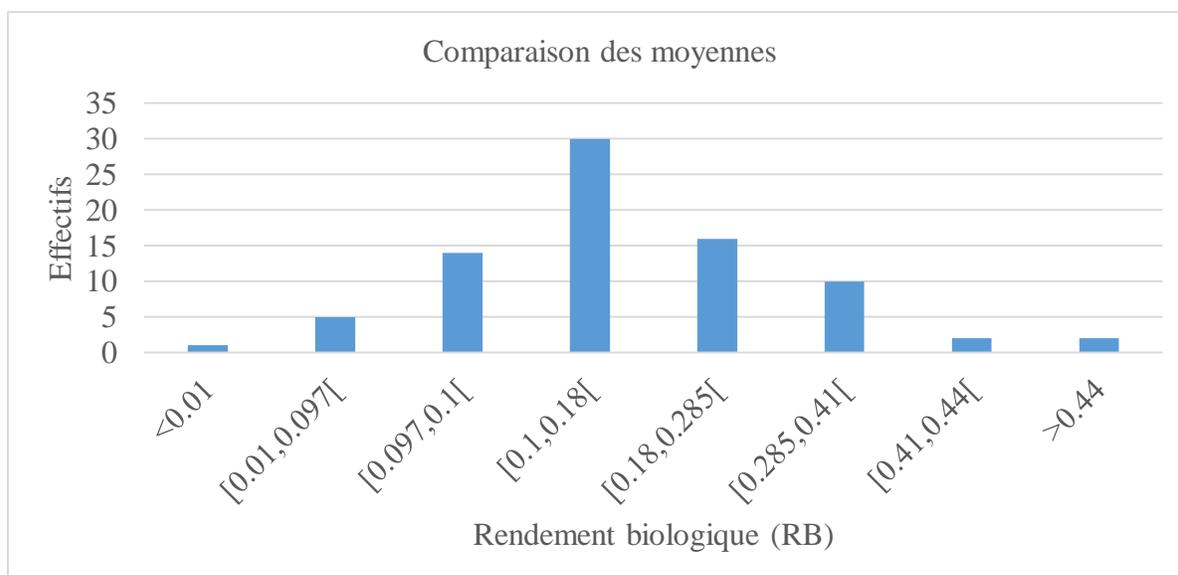


Figure 23. Distribution des rendements biologiques des génotypes en se basant sur la moindre différence significative (LSD=0.60)

La moindre différence significative (LSD= 0.60) du rendement biologique montre qu'il existe huit groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de RB montre qu'il y a un génotype inférieur à 0.01 g, 5 génotypes entre 0.01 et 0.09 g, 14 génotypes entre 0.09 et 0.1 g, 30 génotypes entre 0.1 et 0.18 g, 16 génotypes entre 0.18 et 0.28 g, 10 génotypes entre 0.28 et 0.41 g, 2 génotypes entre 0.41 et 0.44 g, et deux génotypes supérieurs à 0.44 g (Figure 23). Le groupe entre 0.1 et 0.18 a le plus grand rendement qui varie entre 0.99 g 0.40 g et composé de 60% de génotypes cultivés et 40% de génotypes sauvages.

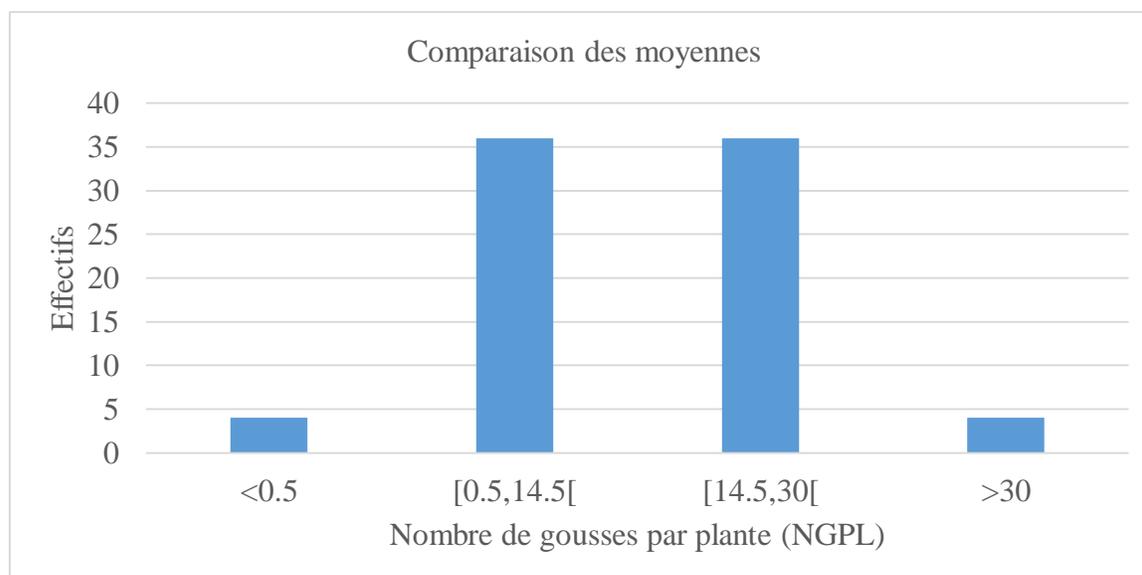


Figure 24. Distribution des nombres de gousses par plante en se basant sur la moindre différence significative (LSD=14.12)

La moindre différence significative (LSD=14.12) du nombre de gousses totales par plante, montre qu'il existe quatre groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de NGP montre qu'il y a quatre génotypes inférieurs à 0.5, 36 génotypes entre 0.5 et 14.5, 36 génotypes entre 14.5 et 30 finalement quatre génotypes supérieurs à 30 (Figure 24). Les deux groupes entre 0.5 et 30 ont le plus grand nombre de gousses qui varient entre 11 et 8 et composé de 60% de génotypes cultivées et 40% de génotypes sauvages.

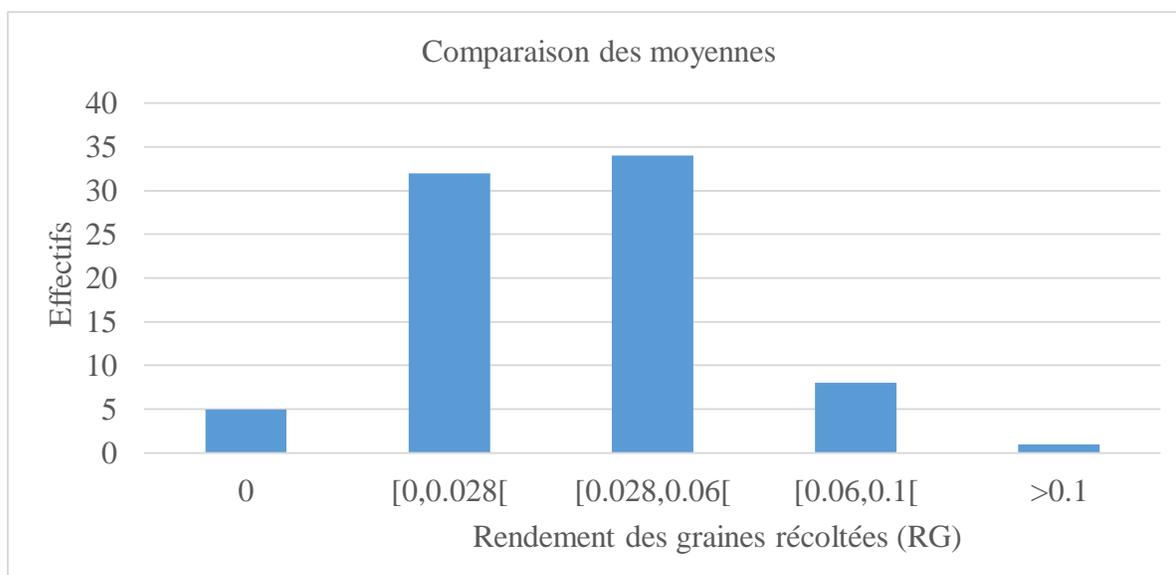


Figure 25. Distribution des poids des graines récoltées sur la moindre différence significative (LSD= 0.02)

La moindre différence significative (LSD= 0.02) du nombre des poids des graines récoltées montre qu'il existe cinq groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de RG montre qu'il y a cinq génotypes égaux à 0 g, 32 génotypes entre 0.0 et 0.28 g, 34 génotypes entre 0.02 et 0.06 g, 8 génotypes entre 0.06 et 0.1 g, finalement un génotype supérieure à 0.1 g (Figure 25). Le groupe entre 0.028 et 0.06 g a le poids des graines récoltés le plus important et varie entre 0.24 et 0.09 g et composé de 50% de génotypes cultivés et 50% de génotypes sauvages.

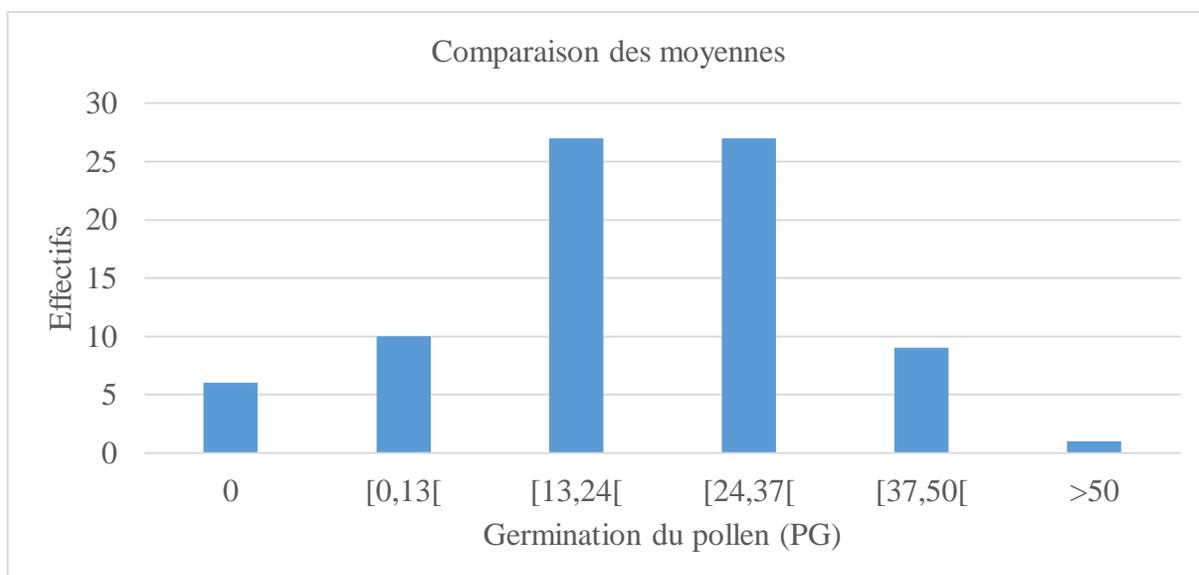


Figure 26. Distribution des pollens germés en se basant sur la moindre différence significative (LSD=5.73)

La moindre différence significative (LSD= 5.73) du pollen germé montre qu'il existe six groupes bien déterminés. L'analyse de la moyenne de PG montre qu'il y a six génotypes égaux à 0, 10 génotypes entre 0 et 13, 27 génotypes entre 13 et 24, 27 génotypes entre 27 et 37, 9 génotypes entre 37 et 50 finalement un génotype supérieur à 50 (Figure 26). Les deux groupes entre 13 et 37 ont le taux de germination le plus rand et varie entre 70% et 50% et composé de 80% de génotypes cultivés et 20% de génotypes sauvages.

SELECTION DES GENOTYPES TOLERANTS AU STRESS THERMIQUE

(L'annexe 2, tableau 6) montre les génotypes qui ne sont pas affectés par le stress thermique.

Tableau 4. Les génotypes communs les plus tolérants au stress thermique

Génotypes	Sous-Espèces	DFLR	DMAT	PG	NGPL	RB
IG5505	<i>Lens culinaris culinaris</i>	39.76	60.06	38.35	8.6	0.28
IG5582	<i>Lens culinaris culinaris</i>	45.17	64.52	48.86	8.4	0.44
IG69492	<i>Lens culinaris culinaris</i>	43	63.66	38.86	10.61	0.28
IG71175	<i>Lens culinaris culinaris</i>	40.7	65.02	37.14	26.94	0.50
IG73685	<i>Lens culinaris culinaris</i>	41.69	64.99	37.08	51.34	0.44

IG73858	<i>Lens culinaris culinaris</i>	42.32	64.69	36.51	24.95	0.30
IG72603	<i>Lens culinaris orientalis</i>	45	65.32	38.31	4.95	0.14
IG72719	<i>Lens culinaris tomentosus</i>	44.68	64.98	53.12	34	0.15
IG72864	<i>Lens culinaris. orientalis</i>	51.34	63	40.18	6.47	0.13
IG116038	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.76	65.04	44.64	0.97	0.12
IG135410	<i>Lens culinaris orientalis</i>	37	59.69	40.9	2.4	0.01
IG137423	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.33	64.67	35.6	9	0.05
LSD		5.73	6.86	12.53	14.12	0.08

Le tableau 4 montre les 12 génotypes les plus tolérants au stress thermique , six génotypes de lentilles cultivées appartiennent au sous espèce *culinaris* (IG5505, IG5582, IG69492, IG71175, IG73685, IG73858) et six génotypes de lentilles sauvages (IG72603 de sous espèce *orientalis*, IG72719 de sous espèce de *tomentosus*, IG72864 de sous espèce *orientalis*, IG116038 de sous espèce *orientalis*, IG135410 de sous espèce *orientalis*, IG137423 de sous espèce *orientalis*). On constate parmi eux, le génotype IG135410 de sous espèces *orientalis* a la date à la floraison la plus proche à la date de plantation, IG135410 de sous espèce *orientalis* a la date à la maturation la plus proche à la plantation, IG72719 de sous espèce *tomentosus* a le nombre de pollen germés supérieur aux autres génotypes, IG73685 de sous espèce *culinaris* a le nombre de gousses par plante le plus grand, et le génotype IG71175 de sous espèce *culinaris* a le rendement biologique le plus important.

Or ce qui est vu dans ces résultats que le stress thermique a affecté la floraison, la maturation aussi le rendement. Car le stress thermique accélère la senescence et cause un avortement des fleurs aussi il affecte les gousses, entraînant des pertes de rendement en réduisant le nombre de graines et le poids des graines (Siddique, 1999 ; Gaur *et al.*, 2015).

CHAPITRE V : CONCLUSION

Les deux stress thermique et hydrique sont deux contraintes majeures de la production agricole méditerranéenne. Dorénavant, l'accent se placera sur le développement des variétés tolérants à la sécheresse et à la chaleur.

Dans le cas du stress hydrique ; l'analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative entre les génotypes pour toutes les variables phenologiques ; Date à la floraison, date à la maturation et la variables de rendement ; nombre de gousses totales par pot, nombre de graines totales par pot, rendement biologique et poids des graines récoltées.

Aussi l'analyse de la variance a montré qu'il existe une différence hautement significative entre les traitements pour la variable phénologique ; date à la maturation mais pas de différence pour la date à la floraison, et les variables de rendements ; nombre de gousses totales par pot, nombre de graines totale par pot, rendement biologique, poids de graines récoltées.

Il y a de différence pour l'interaction entre génotypes et traitements pour le nombre de gousses et de graines totales par pot c'est à dire ces deux variables ne répondent pas d'une même manière similaire au stress hydrique comme les autres variables de rendement.

En ce qui concerne le stress thermique l'analyse de la variance montre qu'il existe une différence hautement significative entre les génotypes pour les variables phenologiques : date à la floraison, date à la maturation et les variables de rendements ; rendement biologique, poids des graines récoltées, germination du pollen et nombre de gousses par plante.

Six génotypes de lentilles cultivées appartiennent au sous espèce *culinaris* (IG481, IG69497, IG75920, IG117678, IG117680, IG156536) et trois génotypes de lentilles sauvages appartiennent au sous espèce de *orientalis* (IG72743, IG116027, IG135410) étaient tolérants au stress hydrique.

Et six génotypes de lentilles cultivées appartiennent au sous espèce *culinaris* (IG5505, IG5582, IG69492, IG71175, IG73685, IG73858). Six génotypes de lentilles sauvages (IG72603, IG72864, IG116038, IG135410, IG137423 de sous espèce *orientalis* et IG72719 de sous espèce

de tomentosus) étaient tolérants au stress thermique. Aussi il existe un génotype IG135410 de sous espèce *orientalis* est tolérant aux deux stress ensemble.

Ces génotypes tolérants seront utilisés dans le programme de sélection de l'ICARDA pour développer des variétés de lentilles intelligentes face au climat, tolérantes à la chaleur et à la sécheresse, et seront également partagées et évaluées dans les pays cibles où la culture de lentilles est confrontée à des stress thermiques et hydriques au cours des différentes étapes de croissance.

RÉFÉRENCES

- Ali, M., Singh, K. K., Pramaik, S. C., and Ali, M. O. 2009. Chapter 14. Cropping systems and production agronomy, pp. 213-28.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6(9), 2026-2032.
- Beniwal, S. P. S., Bayaa, B., Weigand, S., Makkouk, K. H., & Saxena, M. C. (1993). Field guide to lentil diseases and insect pests. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- BERGVINSON David, GAUR Pooran, AGRAWAL Shiv Kumar, BEEBE Steve and TAMO Manuele. Pp (from 71 to 82).
- Centre International de Recherche Agricole Dans les zones Arides. (1993). Field guide to lentil disease and insect pests.
- Cubero, J. I. (1981). Origin, taxonomy and domestication. *Lentils. Slough, CAB*, 15-38.
- Cubero, J. I. (1984). Taxonomy, distribution and evolution of the lentil and its wild relatives. In *Genetic Resources and Their Exploitation—Chickpeas, Faba beans and Lentils* (pp. 187-203). Springer, Dordrecht.
- Delahunty, A., Nuttall, J., Nicolas, M., & Brand, J. (2015, September). Genotypic heat tolerance in lentil. In *Proceedings of the 17th ASA Conference* (pp. 20-24).
- Dwivedi, S., Sahrawat, K., Puppala, N., & Ortiz, R. (2014). Plant prebiotics and human health: Biotechnology to breed prebiotic-rich nutritious food crops. *Electronic Journal of Biotechnology*, 17(5), 238-245.
- Erskine, W., Ellis, R. H., Summerfield, R. J., Roberts, E. H., & Hussain, A. (1990). Characterization of responses to temperature and photoperiod for time to flowering in a world lentil collection. *Theoretical and Applied Genetics*, 80(2), 193-199.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable agriculture* (pp. 153-188). Springer, Dordrecht.

Flexas, J., Bota, J., Loreto, F., Cornic, G., & Sharkey, T. D. (2004). Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant biology*, 6(03), 269-279.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.FAOSTAT [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > (page consultée le 12.06.2018).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.FAOSTAT [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > (page consultée le 23.07.2018).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.FAOSTAT [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> > (page consultée le 09.03.2019).

Function of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) Genotypes Varying in Heat and Drought Sensitivity. *Frontiers in plant science*, 8, 1776.

Gaur, P. M., Samineni, S., Krishnamurthy, L., Varshney, R. K., Kumar, S., Ghanem, M. E., ... & Nayyar, H. (2014). High temperature tolerance in grain legumes.

Haddad, N. I., Muehlbauer, F., & Hampton, R. O. (1978). Inheritance of Resistance to Pea Seed-borne Mosaic Virus in Lentils 1. *Crop Science*, 18(4), 613-615.

Haq, M. E., Kader, M. A., & Farhan, S. (2016). Carbon footprint of lentil in old Brahmaputra floodplain soil. *Progressive Agriculture*, 27(2), 162-167.

Harris, D., Tripathi, R. S., & Joshi, A. (2002). On-farm seed priming to improve crop establishment and yield in dry direct-seeded rice. *Direct seeding: Research Strategies and Opportunities*, International Research Institute, Manila, Philippines, 231-240.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, *14*(5), 9643-9684.

Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., ... & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy journal*, *103*(2), 351-370.

Hemantaranjan, A., Bhanu, A. N., Singh, M. N., Yadav, D. K., Patel, P. K., and Singh, R. (2014). Heat stress responses and thermotolerance. *Adv. Plants Agric. Res.* 1:12. doi: 10.15406/apar.2014.01.00012.

Hoover, R., Hughes, T., Chung, H. J., & Liu, Q. (2010). Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food research international*, *43*(2), 399-413.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change[en ligne]. Disponible sur : < <http://www.ipcc.ch/> > (page consultée le 13.06.2018).

Johnson, C. R., Combs Jr, G. F., & Thavarajah, P. (2013). Lentil (*Lens culinaris* L.): A prebiotic-rich whole food legume. *Food Research International*, *51*(1), 107-113.

Kaur, R., Bains, T. S., Bindumadhava, H., & Nayyar, H. (2015). Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. *Scientia Horticulturae*, *197*, 527-541.

Kaushal, N., Awasthi, R., Gupta, K., Gaur, P., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2013). Heat-stress-induced reproductive failures in chickpea (*Cicer arietinum*) are associated with impaired sucrose metabolism in leaves and anthers. *Functional Plant Biology*, *40*(12), 1334-1349.

Kemal, S. A. (2015). Phenotyping Methods of Fungal Diseases, Parasitic Nematodes, and Weeds in Cool-Season Food Legumes. In *Phenomics in Crop Plants: Trends, Options and Limitations* (pp. 147-161). Springer, New Delhi.

KHAN, H. R., PAULL, J. G., SIDDIQUE, K. H.M.,STODDARD, F.L.2010.Faba bean breeding for drought-affected environments: A physiological and agronomic perspective.Field Crops Reaserch,115,279-286.

Kumar, J., Basu, P. S., Srivastava, E., Chaturvedi, S. K., Nadarajan, N., & Kumar, S. (2012). Phenotyping of traits imparting drought tolerance in lentil. *Crop and Pasture Science*, 63(6), 547-554.

Kumar, J., Kant, R., Kumar, S., Basu, P. S., Sarker, A., & Singh, N. P. (2016). Heat tolerance in lentil under field conditions. *Legume Genomics and Genetics*, 7.

Kumar, S., Gupta, P., Kumar, J., & Pratap, A. (2015). Phenotyping Crop Plants for Drought and Heat-Related Traits. In *Phenomics in Crop Plants: Trends, Options and Limitations* (pp. 89-100). Springer, New Delhi.

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620.

Lombardi-Boccia, G., Ruggeri, S., Aguzzi, A., & Cappelloni, M. (2003). Globulins enhance in vitro iron but not zinc dialysability: a study on six legume species. *Journal of trace elements in medicine and biology*, 17(1), 1.

Makkouk, K. M., Bashir, M., Jones, R. A. C., & Kumari, S. G. (2001). Survey for viruses in lentil and chickpea crops in Pakistan. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 108(3), 258-268.

Malhotra, R. S., Sarker, A., & Saxena, M. C. (2004). Drought tolerance in chickpea and lentil—present status and future strategies. *Challenges and Strategies of Dryland Agriculture*, (challengesandst), 257-273.

MUEHLBAUER Fred J. and SARKER Ashutosh. (2018). Improving cultivation of lentil. In ‘Achieving sustainable cultivation of grain legumes’. Volume 2. Ed by SIVANSAKAR Shoba,

Muehlbauer, F. J., Summerfield, R. J., Kaiser, W. J., Clement, S. L., Boerboom, C. M., Welsh-Maddux, M. M., & Short, R. W. (1998). Principles and practice of lentil production. *US Department of Agriculture, Agricultural Research Service*.

Nonami H (1998). Plant water relations and control of cell elongation at low water potentials. *J. Plant Res.*, 111: 373-382.

Osman, A. E., Ibrahim, M. M., & Jones, M. A. (Eds.). (2012). *The Role of Legumes in the Farming Systems of the Mediterranean Areas: Proceedings of a Workshop on the Role of Legumes in the Farming Systems of the Mediterranean Areas UNDP/ICARDA, Tunis, June 20–24, 1988* (Vol. 38). Springer Science & Business Media.

Osman, A. E., Pagnotta, M., Russi, L., Cocks, P. S., & Falcinelli, M. (1990). The role of legumes in improving marginal lands. In *The role of legumes in the farming systems of the Mediterranean areas*. Springer, Dordrecht, (pp. 205-216).

Padovani R.M., Lima D.M., Colugnati F.A., Rodriguez-Amaya D.B. Comparison of proximate, mineral and vitamin composition of common Brazilian and US foods. *J. Food Compos. Anal.* 2007;20:733–738. doi: 10.1016/j.jfca.2007.03.006.

Redden, R. J., Hatfield, J. L., Prasad, V., Ebert, A. W., Yadav, S. S., & O’Leary, G. J. (2014). Temperature, climate change, and global food security. *Temperature and Plant Development*, 8, 181-202.

Rucker, K. S., Kvien, C. K., Holbrook, C. C., & Hook, J. E. (1995). Identification of peanut genotypes with improved drought avoidance traits. *Peanut Science*, 22(1), 14-18.

Ryan, E., Galvin, K., O’connor, T. P., Maguire, A. R., & O’Brien, N. M. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(3), 85-91.

Saskatchewan Pulse Grower. 2016. Inoculation and fertility. <http://saskpulse.com/growing/lentils/inoculation-and-fertility/>.

Sehgal, A., Sita, K., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2017). Effects of Drought, Heat and Their Interaction on the Growth, Yield and Photosynthetic.

Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J. H. (2004). Variation in root traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, 88(2-3), 115-127.

Sheffield, J., & Wood, E. F. (2008). Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations. *Climate dynamics*, 31(1), 79-105.

Siddique, K. H. M., Erskine, W., Hobson, K., Knights, E. J., Leonforte, A., Khan, T. N., ... & Materne, M. (2013). Cool-season grain legume improvement in Australia—use of genetic resources. *Crop and Pasture Science*, 64(4), 347-360.

Silim, S. N., Saxena, M. C., & Erskine, W. (1993). Adaptation of lentil to the Mediterranean environment. I. Factors affecting yield under drought conditions. *Experimental Agriculture*, 29(1), 9-19.

Sinsawat, V., Leipner, J., Stamp, P., & Fracheboud, Y. (2004). Effect of heat stress on the photosynthetic apparatus in maize (*Zea mays* L.) grown at control or high temperature. *Environmental and Experimental Botany*, 52(2), 123-129.

Sita, K., Sehgal, A., Kumar, J., Kumar, S., Singh, S., Siddique, K. H., & Nayyar, H. (2017). Identification of high-temperature tolerant lentil (*Lens culinaris* Medik.) genotypes through leaf and pollen traits. *Frontiers in plant science*, 8, 744.

Sivasankar, S., Bergvinson, D., Gaur, P., Kumar, S., Beebe, S., & Tamò, M. (2018). Achieving sustainable cultivation of grain legumes. Volume 2: Improving cultivation of particular grain legumes. *Achieving sustainable cultivation of grain legumes. Volume 2: Improving cultivation of particular grain legumes*.

Subbarao, G. V., Johansen, C., Slinkard, A. E., Nageswara Rao, R. C., Saxena, N. P., Chauhan, Y. S., & Lawn, R. J. (1995). Strategies for improving drought resistance in grain legumes. *Critical reviews in plant sciences*, 14(6), 469-523.

Singh, K. B., & Saxena, M. C. (Eds.). (1993). *Breeding for stress tolerance in cool-season food legumes* (No. 635.65 S52). Chichester, UK: Wiley.

Soltan, S. S. (2013). The protective effect of soybean, sesame, lentils, pumpkin seeds and molasses on iron deficiency anemia in rats. *World Appl. Sci. J*, 23, 795-807.

Taylor, P., Lindbeck, K., Chen, W., & Ford, R. (2007). Lentil diseases. In *Lentil* (pp. 291-313). Springer, Dordrecht.

Wilson, V. E., & Law, A. G. (1972). Natural crossing in *Lens esculenta* Moench. *Amer Soc Hort Sci J*.

Witcombe, J. R., & Erskine, W. (Eds.). (1984). Genetic Resources and Their Exploitation—Chickpeas, Faba Beans and Lentils (Vol. 6). Springer Science & Business Media.

Yadav, S. S., McNeil, D., & Stevenson, P. C. (Eds.). (2007). *Lentil: An ancient crop for modern times*. Springer Science & Business Media.

Zamir, D., & Ladizinsky, G. (1984). Genetics of allozyme variants and linkage groups in lentil. *Euphytica*, 33(2), 329-336.

Zhao, T. J., Sun, S., Liu, Y., Liu, J. M., Liu, Q., Yan, Y. B., & Zhou, H. M. (2006). Regulating the drought-responsive element (DRE)-mediated signaling pathway by synergic functions of trans-active and trans-inactive DRE binding factors in *Brassica napus*. *Journal of Biological Chemistry*, 281(16), 10752-10759.

Zohary, D. (1972). The wild progenitor and the place of origin of the cultivated lentil: *Lens culinaris*. *Economic Botany*, 26(4), 326-332.

ANNEXES

Annexe 1.

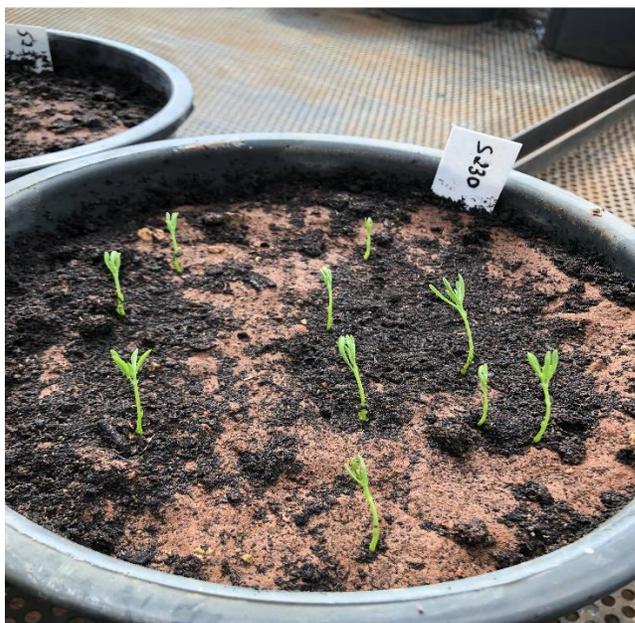


Figure 27. Germination



Figure 28. Floraison



Figure 29. Maturité



Figure 30. Nombre de gousses



Figure 31. Machine pour compter le nombre de graines



Figure 32. Rendement biologique



Figure 33. Peser les pots pour estimer la quantité d'eau en besoin



Figure 34. Germination du pollen



Figure 35. Différence entre les deux traitements d'irrigation 100% et 50%

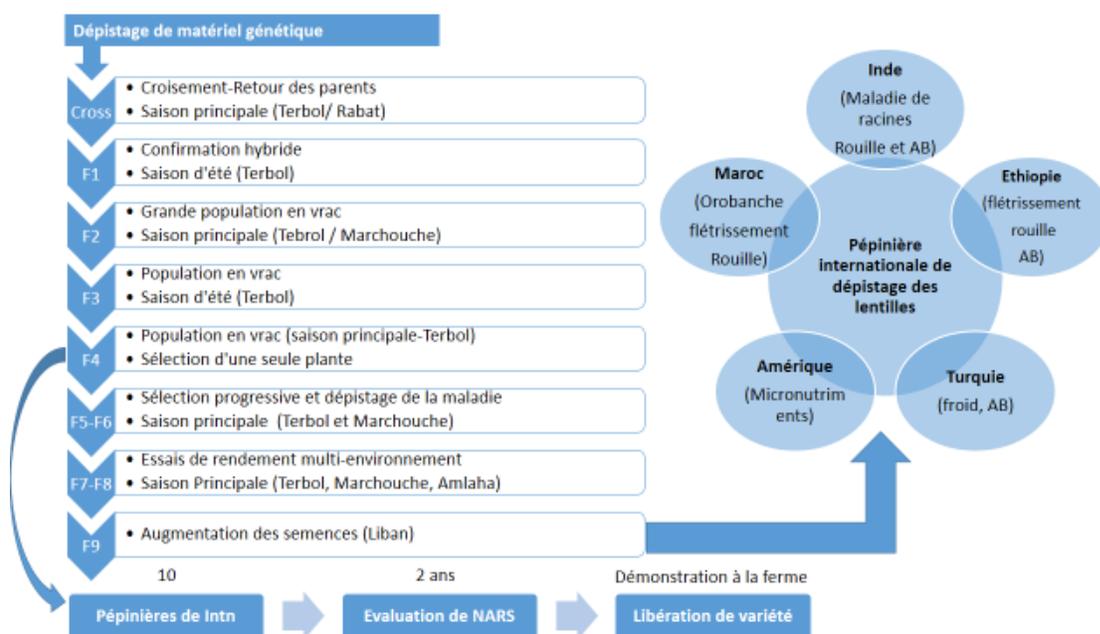


Figure 36. Etapes de méthode d'amélioration génétique de la lentille à l'ICARDA

Annexe 2

Tableau 5. Valeur moyenne des deux traitements de stress hydrique (IRR 100%) et IRR (50%) et sans stress (IRR 100%) pour les trois caractères de rendement; NGP, NGRP, RG et la moindre différence significative de l'interaction (GxT)

Géotypes	Sous-Espèces	NGP		NGRP		RG	
		IRR100%	IRR50%	IRR100%	IRR50%	IRR100%	IRR50%
IG481	<i>Lens culinaris culinaris</i>	16.76	2	16.8	4	0.36	0.03
IG590	<i>Lens culinaris culinaris</i>	144.98	22.92	152.6	60	5.26	1.74
IG1861	<i>Lens culinaris culinaris</i>	130.99	40.1	102.3	74	2.93	0.30
IG2580	<i>Lens culinaris culinaris</i>	114.36	18.6	122.3	24.5	3.08	0.39
IG4400	<i>Lens culinaris culinaris</i>	97.42	5.24	67.2	3.9	2.60	0.06
IG4605	<i>Lens culinaris culinaris</i>	81.48	4.23	66	3.4	2.49	0.08
IG156779	<i>Lens culinaris culinaris</i>	63.58	7.2	86.5	14	1.76	0.21
IG5505	<i>Lens culinaris culinaris</i>	70.62	0	49.3	0	1.28	0
IG5582	<i>Lens culinaris culinaris</i>	70.88	3.59	22.5	3.5	0.48	0.15
IG5588	<i>Lens culinaris culinaris</i>	93.88	7.56	89.3	7.9	1.60	0.18
IG69492	<i>Lens culinaris culinaris</i>	52.7	0	44	0	1.90	0
IG69497	<i>Lens culinaris culinaris</i>	151.74	65.04	202.4	82.8	2.86	1.67
IG70043	<i>Lens culinaris culinaris</i>	62.27	11	39.1	13	1.12	0.47
IG70057	<i>Lens culinaris culinaris</i>	23.12	0	17.3	0	0.78	0
IG70135	<i>Lens culinaris culinaris</i>	164.99	28.29	255.5	51.6	6.46	0.99

IG71175	<i>Lens culinaris culinaris</i>	137.22	16.77	94.9	25.9	2.39	0.49
IG71282	<i>Lens culinaris culinaris</i>	43.04	22	35.3	49	1.00	1.41
IG73685	<i>Lens culinaris culinaris</i>	70.02	29.93	73.3	43.1	1.37	0.63
IG73858	<i>Lens culinaris culinaris</i>	42.79	7	37.9	11	1.25	0.27
IG73874	<i>Lens culinaris culinaris</i>	55.42	4	46.3	0	1.11	0
IG75920	<i>Lens culinaris culinaris</i>	81.83	41	71.8	75	1.73	2.13
IG76027	<i>Lens culinaris culinaris</i>	144.7	27.03	197.5	46	2.51	0.47
IG114718	<i>Lens culinaris culinaris</i>	148.08	6.79	148.2	5.4	3.32	0.06
IG114929	<i>Lens culinaris culinaris</i>	118.12	18.2	158.6	23.5	2.53	0.23
IG115010	<i>Lens culinaris culinaris</i>	131.93	21.61	174.4	33.2	2.58	0.39
IG117678	<i>Lens culinaris culinaris</i>	72.14	37.04	84	65.3	3.13	2.25
IG117680	<i>Lens culinaris culinaris</i>	119.58	30.52	116.2	59.3	4.25	2.09
IG8006	<i>Lens culinaris culinaris</i>	150.29	26.02	166.9	39.3	3.39	0.67
IG137959	<i>Lens culinaris culinaris</i>	94.99	22.23	64.4	36.2	2.29	1.02
IG156536	<i>Lens culinaris culinaris</i>	135.97	35.02	118.7	56.8	3.09	1.93
IG72532	<i>Lens nigrican</i>	50.23	0	31.7	0	0.26	0
IG72562	<i>Lens odemensis</i>	278.94	49.09	470.9	91	2.05	0.42
IG72564	<i>Lens ervoides</i>	188.31	8.97	206.6	14.4	0.72	0.08
IG72592	<i>Lens culinaris orientalis</i>	186.79	45.64	238.1	76	1.58	0.46
IG72593	<i>Lens culinaris orientalis</i>	135.01	23.42	126	30.2	1.38	0.03
IG72596	<i>Lens culinaris orientalis</i>	177.47	78.43	275.2	108.4	1.56	0.64
IG72603	<i>Lens culinaris orientalis</i>	191.02	71.7	285.8	91	2.17	0.31
IG72604	<i>Lens culinaris orientalis</i>	63.74	24.77	101.7	39.9	0.71	0.17

IG72608	<i>Lens culinaris orientalis</i>	160.43	40.2	264.4	76.3	2.88	0.49
IG72609	<i>Lens culinaris orientalis</i>	19.1	1	27	2	0.01	0.24
IG72654	<i>Lens ervoides</i>	136.42	22.18	151.7	36	1.16	0.10
IG72668	<i>Lens culinaris orientalis</i>	73.29	14.43	91.4	23.1	0.59	0.15
IG72669	<i>Lens culinaris orientalis</i>	191.58	34.77	279.5	62.6	2.59	0.56
IG72691	<i>Lens culinaris odemensis</i>	68.1	15.99	41.5	27	0.44	0.24
IG72719	<i>Lens culinaris tomentosus</i>	211.79	36.24	305.1	65.7	3.53	0.76
IG72742	<i>Lens orientalis</i>	102.79	26.93	168.6	47.4	1.81	0.34
IG72743	<i>Lens orientalis</i>	132.2	50.59	128.8	90	1.46	0.64
IG72748	<i>Lens culinaris orientalis</i>	232.17	43.31	356.2	89.6	3.67	0.90
IG72750	<i>Lens orientalis</i>	186.17	28.7	235.7	43.3	2.54	0.43
IG72751	<i>Lens culinaris orientalis</i>	48.14	22.33	84.5	40.3	0.88	0.26
IG72800	<i>Lens culinaris orientalis</i>	353.01	66.68	426	124.5	3.03	0.85
IG72801	<i>Lens culinaris orientalis</i>	101.31	25.43	132.1	41.9	1.32	0.40
IG72820	<i>Lens culinaris orientalis</i>	140.79	10.42	205.4	13.2	1.46	0.06
IG72824	<i>Lens culinaris orientalis</i>	89.98	18	97.1	23	0.96	0.19
IG72830	<i>Lens culinaris tomentosus</i>	274.57	24.51	361.7	43.1	3.41	0.41
IG72847	<i>Lens culinaris orientalis</i>	167.7	44.09	234.3	74	2.93	0.71
IG72848	<i>Lens culinaris orientalis</i>	241.88	55.26	331.5	103.3	3.36	1.16
IG72858	<i>Lens culinaris orientalis</i>	275.79	15.93	324.4	27.6	0.96	0.01
IG72864	<i>Lens culinaris orientalis</i>	126.18	14.1	105.5	20	1.4	0.00
IG72865	<i>Lens culinaris orientalis</i>	145.61	28.88	155.7	38.7	1.59	0.39
IG72897	<i>Lens culinaris orientalis</i>	235.01	65.77	296	124.1	3.16	0.82

IG107449	<i>Lens culinaris orientalis</i>	82.83	16.73	101.8	24.4	1.97	0.15
IG110594	<i>Lens culinaris orientalis</i>	563.4	24.4	190.9	36.9	1.23	0.18
IG110846	<i>Lens culinaris orientalis</i>	134.54	32.23	271.3	60.7	1.85	0.52
IG116016	<i>Lens culinaris orientalis</i>	123.93	8.12	125.6	21	0.98	0.05
IG116027	<i>Lens culinaris orientalis</i>	146.79	56.72	200.9	93.4	1.13	0.60
IG116028	<i>Lens culinaris orientalis</i>	164.77	42.22	143.9	76.9	1.30	0.37
IG116032	<i>Lens nigricans</i>	7	8	4	9	0.11	0.01
IG116038	<i>Lens culinaris orientalis</i>	67.42	17.58	125.8	34	1.31	0.24
IG116039	<i>Lens culinaris orientalis</i>	167	0	111	0	0.59	0
IG135410	<i>Lens culinaris orientalis</i>	178.4	68.23	218.4	136.7	1.78	1.11
IG135415	<i>Lens culinaris orientalis</i>	246.98	6.81	451.6	14	3.90	0.13
IG135570	<i>Lens culinaris orientalis</i>	76.26	13.07	70.8	20.7	0.43	0.08
IG136670	<i>Lens culinaris orientalis</i>	194.81	19.88	249.6	33.3	1.50	0.28
IG136671	<i>Lens culinaris orientalis</i>	183.42	31.93	241.7	57.4	2.08	0.39
IG136672	<i>Lens culinaris orientalis</i>	137.93	17.38	203.1	25.5	1.38	0.29
IG136673	<i>Lens culinaris orientalis</i>	88.49	7.11	109	9.2	1.32	0.01
IG136677	<i>Lens culinaris orientalis</i>	221.51	21.04	225.6	37.8	2.17	0.37
IG136679	<i>Lens culinaris orientalis</i>	324.56	83.77	615.9	159.1	4.31	1.13
IG137423	<i>Lens culinaris orientalis</i>	197.94	45.12	214.9	74.9	1.612	0.36
Standard Error		62.6		75.02		1.02	
LSD		123.9		148.5		2.02	

Tableau 6. Valeur moyenne du stress thermique pour les caractères phénologiques: DFLR et DMT, et les caractères de rendement: NGP, PG, RG et la différence significative de l'interaction (GxT).

Génotypes	Sous-Espèces	DFLR	DMAT	PG	NGPL	RB
IG481	<i>Lens culinaris culinaris</i>	45.5	64.34	27.08	3.12	0.1743
IG590	<i>Lens culinaris culinaris</i>	34.09	51.71	26	25.08	0.3798
IG1861	<i>Lens culinaris culinaris</i>	27.67	52.35	0	10.39	0.1343
IG2580	<i>Lens culinaris culinaris</i>	38.03	64.5	22.69	11.86	0.4107
IG4400	<i>Lens culinaris culinaris</i>	45.31	63.68	25.83	6.72	0.3978
IG4605	<i>Lens culinaris culinaris</i>	31.34	50.65	11.58	15.12	0.3141
IG156779	<i>Lens culinaris culinaris</i>	34.36	61.01	27.64	28.57	0.2707
IG5505	<i>Lens culinaris culinaris</i>	39.76	60.06	38.35	8.6	0.2824
IG5582	<i>Lens culinaris culinaris</i>	45.17	64.52	48.86	8.4	0.4469
IG5588	<i>Lens culinaris culinaris</i>	45.35	64.67	15.09	6.48	0.1544
IG69492	<i>Lens culinaris culinaris</i>	43	63.66	38.86	10.61	0.2849
IG69497	<i>Lens culinaris culinaris</i>	36.75	55.69	26.96	14.83	0.1721
IG70043	<i>Lens culinaris culinaris</i>	40.15	60.01	18.6	12.11	0.2788
IG70057	<i>Lens culinaris culinaris</i>	44.35	64.68	34.49	21	0.2615
IG70135	<i>Lens culinaris culinaris</i>	27.67	49.67	10.53	37.04	0.1525
IG71175	<i>Lens culinaris culinaris</i>	40.7	65.02	37.14	26.94	0.5023
IG71282	<i>Lens culinaris culinaris</i>	38.14	64.04	17.06	20.58	0.6025
IG73685	<i>Lens culinaris culinaris</i>	41.69	64.99	37.08	51.34	0.442
IG73858	<i>Lens culinaris culinaris</i>	42.32	64.69	36.51	24.95	0.3046
IG73874	<i>Lens culinaris culinaris</i>	43.33	64.33	29.74	17	0.3536
IG75920	<i>Lens culinaris culinaris</i>	47.05	63.33	27.11	6.06	0.2983
IG76027	<i>Lens culinaris culinaris</i>	29.47	52.37	0	18.42	0.2064
IG114718	<i>Lens culinaris culinaris</i>	36.71	60.3	16	16.9	0.1869
IG114929	<i>Lens culinaris culinaris</i>	35.7	51.34	18	14.05	0.0993

IG115010	<i>Lens culinaris culinaris</i>	35.41	54.72	0	8.19	0.0942
IG117678	<i>Lens culinaris culinaris</i>	39.01	65	15.78	7.54	0.19
IG117680	<i>Lens culinaris culinaris</i>	33.72	59.36	14.29	27.77	0.3229
IG8006	<i>Lens culinaris culinaris</i>	30.05	51.68	17.91	26.07	0.2268
IG137959	<i>Lens culinaris culinaris</i>	37.35	60.99	14.35	17.61	0.3209
IG156536	<i>Lens culinaris culinaris</i>	42.73	63.69	28.73	16	0.2535
IG72532	<i>Lens nigricans</i>	0	64.72	0	0	0.2825
IG72562	<i>Lens culinaris. odemensis</i>	43.81	65.34	34.31	16.23	0.1527
IG72564	<i>Lens ervoides</i>	48	65.33	0	3	0.0442
IG72592	<i>Lens culinaris orientalis</i>	42.34	64.68	16.42	11	0.1182
IG72593	<i>Lens culinaris orientalis</i>	42.02	65	32.74	13	0.0969
IG72596	<i>Lens culinaris orientalis</i>	36.72	48.99	22.64	17.74	0.1317
IG72603	<i>Lens culinaris orientalis</i>	45	65.32	38.31	4.95	0.1437
IG72604	<i>Lens culinaris orientalis</i>	37.71	65	18.22	33.29	0.1918
IG72608	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.7	65.34	32.01	7.61	0.1247
IG72609	<i>Lens culinaris orientalis</i>	52	64	0	0.07	0.1836
IG72654	<i>Lens ervoides</i>	42.72	65.02	12.59	18.53	0.1956
IG72668	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.69	58	23.58	2.98	0.1256
IG72669	<i>Lens culinaris orientalis</i>	45.04	65.01	28.23	14	0.13
IG72691	<i>Lens culinaris odemensis</i>	39.39	61.33	0	7.94	0.114
IG72719	<i>Lens culinaris tomentosus</i>	44.68	64.98	53.12	34	0.1537
IG72742	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.34	65.37	24.17	1.82	0.0832
IG72743	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.04	61.33	27.77	26	0.1048
IG72748	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.02	55.65	20.39	5.81	0.0633
IG72750	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.04	64.36	31.23	20.95	0.1427
IG72751	<i>Lens culinaris orientalis</i>	40.35	55.67	16.68	8.22	0.1153
IG72800	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.68	64.66	24.02	22	0.0567
IG72801	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.05	64.66	26.4	25	0.1184
IG72820	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.67	60.02	16.57	6.89	0.124
IG72824	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.34	64	22.78	10	0.1202

IG72830	<i>Lens culinaris tomentosus</i>	39.7	64	19.93	5.42	0.0929
IG72847	<i>Lens culinaris orientalis</i>	33.01	54.71	30.39	4.47	0.057
IG72848	<i>Lens culinaris orientalis</i>	34.39	54.02	32.69	2.94	0.0333
IG72858	<i>Lens culinaris orientalis</i>	45.03	64.01	32	25	0.1357
IG72864	<i>Lens culinaris orientalis</i>	51.34	63	40.18	6.47	0.1356
IG72865	<i>Lens culinaris orientalis</i>	39.02	59.3	0	2.86	0.0825
IG72897	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.67	65.35	21.33	6.83	0.1054
IG107449	<i>Lens culinaris orientalis</i>	40.04	63.66	32.15	5.05	0.0533
IG110594	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.03	54.64	0	4.94	0.1257
IG110846	<i>Lens culinaris orientalis</i>	38.68	59.69	0	2.35	0.0263
IG116016	<i>Lens culinaris orientalis</i>	50.67	62.68	11.91	2	0.1763
IG116027	<i>Lens culinaris orientalis</i>	45.02	64.69	0	2.61	0.2988
IG116028	<i>Lens culinaris orientalis</i>	53.71	65.33	18.79	2.61	0.168
IG116032	<i>Lens nigricans</i>	0	66	0	0.45	0.0928
IG116038	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.76	65.04	44.64	0.97	0.12
IG116039	<i>Lens culinaris orientalis</i>	57	65.99	27.5	0.42	0.0937
IG135410	<i>Lens culinaris orientalis</i>	37	59.69	40.9	2.4	0.0105
IG135415	<i>Lens culinaris orientalis</i>	37.34	56.34	15.47	5.89	0.0953
IG135570	<i>Lens culinaris orientalis</i>	51	62.68	0	0.71	0.2199
IG136670	<i>Lens culinaris. orientalis</i>	38.08	60	15.15	6.85	0.1369
IG136671	<i>Lens culinaris orientalis</i>	44.12	64.09	25.92	12.19	0.2528
IG136672	<i>Lens culinaris orientalis</i>	42.02	65.02	17.47	3.83	0.0788
IG136673	<i>Lens culinaris orientalis</i>	42.32	65.04	13.95	10.05	0.2234
IG136677	<i>Lens culinaris orientalis</i>	36.09	53.69	0	2.67	0.1258
IG136679	<i>Lens culinaris orientalis</i>	39.01	65	25.23	14	0.0988
IG137423	<i>Lens culinaris orientalis</i>	41.33	64.67	35.6	9	0.0552
Standard error		2.89	3.47	6.163	7.074	0.01346
LSD		5.732	6.86	12.53	14.12	0.026

Tableau 7. Calendrier du travail du stress thermique

Activités	Date de réalisation
Scarification des graines et Traitement de semence par un fongicide (Rizolex)	26 Juin
Hivernalisation des semences récoltées à une température 4°C pour une durée 48 heures	28 Juin
Stérilisation du sable et du sol à une température de 100°C et ajout du tourbe + fertilisants	1 Juillet
Plantation de l'expérimentation	3 Juin
Contrôle d'une température nocturne minable de 20°C et d'une température diurne maximale de 35°C	6 Août
Recollecion de la date à la germination	7 Août
Prise note de la date à la floraison	28 Août
Prise de taux de germination des graines de pollen	30 Août
Maturité/jour de la date de plantation	7 Septembre
Récolte et prise note des rendements	19 Septembre

Tableau 8. Calendrier du travail du stress hydrique et sans stress

Activités	Date de réalisation
Scarification des graines et Traitement de semence par un fongicide (Rizolex)	27 Septembre
Hivernalisation des semences récoltées à une température 4°C pour une durée 48 heures	28 Septembre
Stérilisation du sable et du sol à une température de 100°C et ajout du tourbe + fertilisants	3 Octobre
Plantation de l'expérimentation	5 Octobre
Irrigation	12 Janvier

Recollection de la date à la germination	20 Novembre
Prise note de la date à la floraison	28 Décembre
Calcul du besoin en eau	12 Janvier
Maturité/jour de la date de plantation	15 Février
Récolte et prise note des rendements	20 Février