



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

THÈSE

Présentée Par :

TAHIR FATIHA

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : **Biologie**

Spécialité: **Adaptation et productivité des plantes cultivées**

THEME :

Effet du déficit hydrique sur la productivité et la composition chimique de la lentille (*Lens Culinaris Medik ssp Culinaris*) en zone semi-aride

Soutenu le: 29.05.2021

Devant le jury composé de:

Pr MEDERBAL Khalladi	Président	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr BELKHODJA Moulay	Examineur	Université Oran I HBB Oran
Pr REGUIEG Issaad H.	Examineur	Université de Mostaganem
Pr REGAGBA Zineb	Examinatrice	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr HASSANI Abdelkrim	Directeur de Thèse	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr REZZOUG Waffa	Co-directrice de thèse	Université Ibn khaldoun Tiaret

Année universitaire : 2020-2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun de Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

THÈSE

Présentée Par :

TAHIR FATIHA

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE

DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : **Biologie**

Spécialité: **Adaptation et productivité des plantes cultivées**

THEME :

Effet du déficit hydrique sur la productivité et la composition chimique de la lentille (*Lens Culinaris Medik ssp Culinaris*) en zone semi-aride

Soutenu le: 29. 05. 2021

Devant le jury composé de:

Pr MEDERBAL Khalladi	Président	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr BELKHODJA Moulay	Examineur	Université Oran I HBB Oran
Pr REGUIEG Issaad H.	Examineur	Université de Mostaganem
Pr REGAGBA Zineb	Examinatrice	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr HASSANI Abdelkrim	Directeur de Thèse	Université Ibn khaldoun Tiaret
Pr REZZOUG Waffa	Co-directrice de thèse	Université Ibn khaldoun Tiaret

Année universitaire : 2020-2021.

Dédicace

*A mes parents, je vous rends hommage par ce modeste travail en guise
de ma reconnaissance et de mon infini amour.*

*A mon très chère mari pour sa patience et son encouragement qui
m'ont aidé à surmonter toutes les difficultés rencontrées au cours de
l'élaboration de cette thèse*

*A mes enfants Abdelaziz, Islem, Khadidja et son marie kader et
Ikram*

A ma belle-fille Nour el houda et ma petite fille Takoua sirrine

A mes très chers frères et sœurs et à leurs enfants

A mes beaux-frères Ahmed et wahid

A toute ma famille et à mes amies Assia bouzid, Fatiha Koulali,

Mimouna Zerrouki, Gharabi Dhia , Makhloufi chahra,

Boukenouda bakhta et ghlamallah nadjet et à tous mes collègues de

l'ITC.

Remerciements

Louange à « Allah » le Tout Puissant qui m'a guidé et inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura jamais abouti.

Mon dévouement total et tous mes respects vont à mes parents, qu'ils trouvent ici le fruit de leur éducation.

*Je tiens, en premier lieu, à remercier très sincèrement et très chaleureusement mon Directeur de thèse Monsieur **HASSANI Abdelkrim**, Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Tiaret, qui m'a encadré tout au long de cette thèse et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'il soit aussi remercié pour sa gentillesse, sa disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'il m'a prodigué.*

*Je tiens à remercier vivement Madame **REZZOUG Waffa O/El Kheir**, professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Tiaret pour ses encouragements qui m'ont été d'un grand soutien moral, surtout dans les moments les plus difficiles. Son encadrement était des plus exemplaires.*

*Je remercie Monsieur **ADDA Ahmed**, Professeur à la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université de Tiaret pour sa collaboration et ses orientations précieuses.*

*Je tiens à remercier Pr. **MEDERBAL Khalladi** professeur à l'université de Tiaret d'avoir accepté de présider mon jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma respectueuse gratitude.*

*Mes remerciements vont aussi à Monsieur **BELKHODJA Moulay**, professeur à l'université d'Oran, Monsieur **REGUIEG Issaad H** professeur à l'université de Mostaganem et Madame **REGGAGBA Zineb** professeur à l'université de Tiaret qui ont bien voulu prendre le temps d'examiner et de juger ce travail. Qu'ils sachent que j'ai été très honoré de leurs présences dans mon jury.*

*Je voudrais associer à ces remerciements toute ma gratitude et remerciements à **Mr TRARI Mourad** directeur de la ferme de démonstration et de production des semences de Sebaine pour son aide précieuse. Au terme de ce travail, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance aux personnes qui ont contribué de près et de loin à l'élaboration de ce travail*



Sommaire

Résumé en arabe	
Résumé en français	
Résumé en Anglais	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des Abréviations	
Introduction générale.....	16

Partie Bibliographique

Chapitre I Généralités sur le stress hydrique

I Notion de sécheresse et de stress hydrique	
I-1 Définition de la sécheresse.....	19
I-2 Définition du stress hydrique.....	19
I- 3 les effets du stress hydrique.....	20
I- 3- 1 Les effets précoces.....	20
I-3-2 Les effet à moyen terme.....	20
I- 3- 3 Les effets à long terme.....	21
I- 3.4 Effet du déficit hydrique sur le rendement de la lentille et ses composantes.....	21
I- 3- 5 L'effet du déficit hydrique sur la qualité des grains récoltés.....	22
I- 4 Les mécanismes d'adaptation et de résistance à la sécheresse et au stress hydrique	
I- 4 -1 Les stratégies d'adaptation à la sécheresse.....	23
I-4-2 les mécanismes de tolérance de la sécheresse et du stress hydrique.....	24
I-4-2-1 Les paramètres phenologiques.....	24
I-4-2-2 Les paramètres morphologiques.....	25
I-4-2-3 les paramètres physiologiques.....	26
I-4-2-4 Les paramètres Biochimiques ou ajustement osmotique	27
I-4-2- 4-1 Accumulation de la proline	27
I- 4-2-4-2 Accumulation des sucres solubles.....	28
I-4-2-4-3 Accumulation d'ions inorganiques (minéraux).....	28
I-4-2-4-4 Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique.....	28
I-4-2-4 -5 L'acide Abscicique (ABA).....	29

Chapitre II Généralités sur la lentille

II Généralités sur les légumineuses Alimentaires

II.1 Importance des légumineuses alimentaires et de la lentille	31
II-1-1 Evolution de la production des légumineuses et de la Lentille en Algérie durant les périodes 2010-2016 et 2005-2015.....	32

II-2. Intérêts des légumineuses alimentaires et de la Lentille	
II- 2.1 Intérêt Agronomique et Ecologique.....	33
II-2.2 Intérêt Nutritionnel, sanitaire et propriétés chimiques.....	34
II-2.3 Intérêt Economique.....	35
II-3 Les principales zones de production de lentille en Algérie.....	35
II-4 - Les principales variétés de Lentilles produites en Algérie.....	35
II-5- Origine de l'espèce : <i>Lens Culinaris</i> Medik <i>ssp</i>	36
II-6. Classification botanique.....	36
II-7. Description de la plante de lentille.....	37
II-8. Cycle biologique de développement de la lentille	
II-8.1- La phase végétative (VE-Vn).....	40
II-8.2- la Phase Reproductive (R1-R8).....	41
II-9. Les Exigences Ecologiques de la culture de lentille	
II-9.1 Température.....	42
II-9.2 Sol	42
II-9.3 Humidité.....	42
II-10. Conduite et mise en place de la lentille	
II- 10.1 Place de la lentille dans la rotation.....	43
II-10 .2 Préparation du sol.....	43
II-10.3 Période de semis.....	43
II-10 .4 Le semis.....	43
II-10 .5 La densité de semis.....	44
II-10.6 Fertilisation.....	44
II-10.7 La protection phytosanitaire.....	44
II-10.7.1 Contrôle des mauvaises herbes.....	44
II-10.7.2 Protection contre les maladies et les ravageurs.....	44
II-10.8 La récolte.....	45

Partie Expérimentale

Chapitre I Matériels et Méthodes

I- 1 Essai en plein champ 2015/2016.....	48
I-1-1 Objectifs.....	48
I-1-2 Matériel végétal.....	48
I-1-3 Localisation du site expérimental	49
I-1-4 Caractéristiques pédoclimatiques du site expérimental.....	49
I-1-4-1 Caractérisation physico chimique du sol.....	49
I-1-4-2 Les conditions climatiques.....	49
I-1- 4-3 Préparation du sol	51
I-1-4-4 Mise en place et Dispositif expérimental.....	51
I-1-5 les paramètres mesurés.....	53
I- 1-5-1 Les paramètres liés à la phénologie de la culture, particulièrement ceux liés à la phase de reproduction	53
I- 1-5- 2 Les paramètres morphologiques	
I-1-5-2-1 La hauteur des plantes HP (cm).....	54
I-1-5-2-2 La surface foliaire SF (cm ²).....	54
I-1-5-2-3 Le diamètre de la tige DT (mm).....	54
I-1-5-2-4 Le nombre d'étages foliaires NEF ou entre nœuds NEN.....	54
I-1-5-2-5 Le nombre de bouquets floraux par plante NBF/P.....	54
I-1-5-2-6 Le nombre de fleurs par plante NF/P.....	54
I-1-5-3 Les paramètres physiologiques	
I-1-5-3-1 La teneur relative en eau TRE %.....	54

I-1-5-3-2	Le taux de déperdition RWL.....	55
I-1-5-3-3	Le poids spécifique foliaire PSF (g/cm ²).....	55
I-1-6 Le Rendement et les composantes de rendement		
I-1-6-1	Le nombre de gousses par plante NGS/P.....	55
I-1-6-2	Le nombre de grains par plant NGR/P.....	55
I-1-6-3	Le rendement en grain RDT qx/ha.....	55
I-1-6-4	Le poids de cents grains PCG (g).....	55
I-7	Dosage des cations K ⁺ , Na ⁺ et Ca ⁺⁺	56
I-2	Expérimentation en milieu contrôlé (2016/2017).....	56
I-2-1	Objectif	56
I-2-2	Localisation de l'essai et Protocole expérimental	56
I-2-3	Les paramètres mesurés.....	57
I-2-3-1	Les paramètres physiologiques	57
I-2-3-2	Les paramètres biochimiques de la feuille	58
I-2-3-2-1	Le dosage de la proline	58
I-2-3-2-2	Le dosage des sucres solubles.....	58
I-3	Expérimentation en plein champs 2016/2017.....	59
I-3-1	Objectifs.....	59
I-3-2	Localisation du site expérimental.....	59
I-3-3	Conditions climatiques du site expérimental	59
I-3-4	Caractérisation du sol	60
I-3-5	Préparation du terrain et mise en place.....	61
I-3-6	Récolte et analyses	63
I-3-7	Les paramètres mesurés.....	63
I-3-7-1	Les paramètres physiologiques.....	63
I-3-7-2	Les paramètres morphologiques.....	63
I-3-7-3	Le rendement en grains et les composantes de rendement.....	63
I-3-7-4	La composition chimique des grains de Lentille.....	63
I-3-7-4-1	La teneur totale en protéines	63
I-3-7-4-2	La teneur en Amidon.....	64
I-3-7-4-3	La teneur en Minéraux.....	64
I-4	Analyse statistique.....	65

Chapitre II Résultats

II-1	Résultats de l'essai plein champs 2015/2016.....	67
II-1-1	Les paramètres phénologiques.....	67
II-1-2	Les paramètres morphologiques.....	70
II-1-2-1	La Hauteur des plantes HP (cm).....	70
II-1-2-2	La surface foliaire SF (cm ²).....	71
II-1-2-3	Le Nombre d'étages foliaires NEF.....	73
II-1-2-4	Le diamètre de la tige DT mm.....	75
II-1-2-5	La distance entre les nœuds DEN (cm).....	76
II-1-2-6	Le nombre de bouquets floraux et du nombre de fleurs par plante NBFP et NFP.	
II-1-3	Les paramètres physiologiques	
II-1-3-1	La teneur relative en eau TRE %.....	81
II-1-3-2	Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL (rate of water Loss)	
II-1-3-3	Le poids spécifique foliaire.....	82
II-1-4	Le rendement en grain et les composantes de rendement.....	84
II-1-4-1	Le nombre de gousse par plant NGS/P.....	84
II-1-4-2	Le nombre de grains par plant NGR/P.....	89

II-1-4-3 Le poids de cents grains PCG.....	90
II-1-4-4 Le rendement en grains RDG.....	91
II-1-5 Les minéraux (K, Na, Ca).....	93
II-1-5-1 Le Potassium.....	93
II-1-5-2 Le Taux du Sodium.....	94
II-1-5-3 Le Calcium.....	95
II-2 Résultats de l'expérimentation en milieu contrôlé.....	97
II-2- 1 Les paramètres physiologiques	97
II-2- 1 -1 La teneur relative en eau TRE OU RWC en %	97
II-2- 1 -2 Le taux de déperdition RWL en mg/cm ² *60mn.....	98
II-2- 1 -3 La surface foliaire en cm ²	99
II-2- 1 -4 Les pigments chlorophylliens.....	100
II-2-1-5 Le poids spécifique foliaire.....	102
II-2-2 Les paramètres biochimiques	102
II-2-2 -1 Accumulation de la proline dans les feuilles en µg /g.ms.....	102
II-2-2 -2 Accumulation des sucres solubles dans les feuilles en µg /g.ms....	104
II-3 Résultats de l'expérimentation en plein champs 2016/2017.....	105
II-3-1 Les paramètres physiologiques.....	105
II-3-1-1 La teneur relative en eau.....	105
II-3-1-2 Le taux déperdition RWL.....	106
II-3-2 Les paramètres morphologiques.....	107
II-3-2-1 La hauteur des plantes HP (cm).....	107
II-3-2-2 Le nombre des entre nœuds NEN.....	109
II-3-2-3 La surface des feuilles SF (cm)	110
II-3-3 Le rendement et les composantes de rendement.....	110
II-3-3-1 Le Nombre de gousses /plant.....	110
II-3-3-2 Le Nombre de grains/plant.....	111
II-3-3-3 Le Poids de cents grains.....	112
II-3-3-4 Le rendement en grain qx/ha.....	113
II-3-4 La Composition chimique de la graine.....	114
II-3-4-1 La Teneur totale en protéines.....	114
II-3-4-2 La Teneur en amidon.....	115
II-3-4-3 La Composition minérale	116
Chapitre III : Discussion générale.....	121
Conclusion générale.....	135
Références Bibliographiques.....	138
Annexes.....	157

ملخص

يعتبر العدس إستراتيجية هامة في الزراعة المستدامة وتوفير الأمن الغذائي لاحتوائه على كمية معتبرة من البروتينات ذات الجودة العالية (25-30 %) و تغطي زراعة العدس في الجزائر مساحات واسعة من المناطق الداخلية و الهضاب العليا ما يجعلها عرضة للجفاف المتأخر الذي يتسبب في خسائر فادحة في المحاصيل كل سنة.

في هذا السياق وضعت ثلاث تجارب إحداهن تحت ظروف اصطناعية و الأخرى تحت ظروف طبيعية تحت تأثير مستويين مائيين (مسقي و غير مسقي) من بداية الإزهار إلى طور امتلاء الحبة و تهدف إلى تقييم تحمل اربع أصناف من العدس للإجهاد المائي و كذا اثر فعاليات استراتيجيات التبريد و مؤشرات التأقلم المورفولوجية الفيزيولوجية و البيوكيميائية على الإنتاجية و المكونات الكيميائية لبذور العدس.

النتائج المتحصل عليها بينت أن تقديم تاريخ البذر في ظروف الإجهاد المائي أدى إلى تقصير أطوار و فترة النمو كما اثر الجفاف سلبا على نمو و مردود العدس و كذا مكونات المردود مع زيادة الوزن الورقي و تراكم كميات معتبرة من البر و لين و السكريات الذائبة و تدني نسبة الكروكلوفيل في الأوراق بالإضافة إلى زيادة في محتوى الحبوب من البروتينات و بعض المعادن مع تناقص كميات النشا. يعتبر المحتوى المائي للأنسجة النباتية مؤشر هام لتقييم درجة الإجهاد المائي و التفاعلات التي تنتهجها النباتات للتكيف مع العجز المائي.

الكلمات المفتاحية : إجهاد مائي متأخر، عدس، التبريد، التأقلم، المكونات الكيميائية.

Résumé

La lentille (*Lens culinaris* Medik) constitue un atout stratégique pour la sécurité alimentaire et le développement durable grâce à sa richesse en protéines de qualité (25 à 30%). En Algérie, elle couvre une grande partie des zones semi-arides des plaines intérieures et des hauts plateaux soumises très fréquemment à des sécheresses terminales entraînant des pertes importantes de rendements.

Dans ce contexte, 3 expérimentations ont été installées, l'une menée sous serre dans des conditions bien contrôlée et les deux autres en plein champs sous deux traitements hydriques irrigué et stressant du début de la floraison jusqu'au stade du remplissage des graines et ont pour objectif l'évaluation de l'effet du stress hydrique de fin de cycle sur le comportement de quatre variétés de lentilles (Syrie 229, Métropole, Balkans 75 et Ibela) et à élucider l'implication de la précocité comme stratégie d'esquive et de mettre en évidence les indices de tolérances d'ordre morphologiques, physiologiques, biochimiques et leur impact sur la productivité et la composition chimique des semences de lentille.

Les résultats obtenus montrent que le calage de la date de semis en condition de stress entraîne un raccourcissement significatif de la durée du cycle et des stades phénologiques, Une nette diminution de la croissance et du rendement et de ses composantes a été observée sous l'effet du déficit hydrique avec une augmentation en proline, en sucres solubles et du poids spécifique foliaire, une diminution en chlorophylle au niveau des feuilles et une augmentation du contenu protéique et de certains minéraux des graines tout en diminuant leur teneur en Amidon. La teneur relative en eau est un indicateur de référence efficace dans l'évaluation de la tolérance et des réponses adoptées par les plantes.

Mots clés : déficit hydrique de fin de cycle, lentille (*Lens culinaris* Medik), Précocité, tolérance, composition chimique.

Abstract

Lentil (*Lens culinaris* Medik) is a strategic asset for food security and sustainable development based on its high quality protein content (25 to 30%). In Algeria, it covers a large part of the semi-arid regions of the interior plains and highlands which are very frequently subjected to terminal droughts leading to significant yield losses every year.

In this context, 3 experiments have been set up, one conducted in greenhouses under well-controlled conditions and the two others in field trials under irrigated and stressful water treatments from the beginning of flowering to the seed filling stages with the objective of evaluating the effect of end-of-cycle water stress on the behavior of four varieties of lentils (Syria 229), Métropole, Balkans 75 and Ibela) and to elucidate the involvement of earliness as an avoidance strategy and to highlight tolerance indices related to morphological, physiological and biochemical factors and their impact on the productivity and chemical composition of lentil seeds.

The achieved results showed that the adjustment of the sowing date in stressful conditions leads to a significant shortening of the duration of the cycle and the phenological stages. A clear decrease in growth, yield and yield components was observed under the effect of the water deficit with an increase in proline, soluble sugars and leaf specific weight, a decrease in chlorophyll and an increase in seeds protein content and minerals while decreasing their starch content. The relative water content is an effective reference indicator in evaluating the tolerance and responses adopted by plants.

Key words: Terminal drought, Lentil (*Lens culinaris* Medik), earliness, Tolerance, chemical composition.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution de la production des légumineuses et de la Lentille en Algérie durant les périodes 2010-2016

Tableau 2 : Caractéristiques et origine du matériel végétal testé

Tableau 3 : Caractéristiques du sol dans le site expérimental 1.

Tableau 3 : précipitations enregistrées durant la période expérimentale 2015/2016

Tableau 5 : Températures enregistrées durant la campagne 2015-2016

Tableau 6: Dates de réalisation des opérations culturales

Tableau 7 : Caractéristiques du sol dans le site expérimental 2.

Tableau 8: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la durée des phases de développement chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 9 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la hauteur des plantes chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la surface foliaire chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 11: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre d'étages foliaire chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du diamètre de la Tige chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 13: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la distance entre les nœuds chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 14 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre du nombre des bouquets floraux et du nombre de fleurs par plante chez les 04 variétés de lentille testées

Tableau 15: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations la teneur relative en eau chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 16 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations la perte d'eau par la feuille excisée chez les 04 variétés de lentille testées

Tableau 17: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du poids spécifique chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 18 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre de gousses par plant chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 19: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre de grains par plant chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 20: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du poids de cents grains des 04 variétés de lentille testées.

Tableau 21: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du rendement en grains des 04 variétés de lentille testées.

Tableau 22 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de Potassium chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 23: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de sodium chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 24: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de Calcium chez les 04 variétés de lentille testées.

Tableau 25 : Effet du déficit hydrique sur les variations des paramètres physiologiques.

Tableau 26: Résultats de l'analyse statistique des paramètres biochimiques.

Tableau 27 : Analyse de la variance des paramètres physiologiques des variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Tableau 28 : Analyse de la variance des paramètres morphologiques des variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Tableau 29 : Analyse de la variance du RDG et des composantes de rendement des variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Tableau 30: Analyse de la variance du taux des protéines totales et de l'amidon chez les quatre variétés de lentille.

Tableau 31. Analyse de la variance des minéraux dans les variétés de lentilles en conditions d'irrigation et pluviales.

Liste des figures

- Figure 1 :** Rendements moyens de Lentille en Algérie durant la période 2005-2015
- Figure 2 :** Zones d'aptitude de la culture de lentille en Algérie (**Dekkiche et Chaou ,2016**)
- Figure 3 :** description d'un plant de lentille
- Figure 4(a, b) :** fleur et gousse d'un plant de lentille.
- Figure 5 :** Culture de lentille au stade Floraison
- Figure 6:** cycle de développement de la culture de Lentille
- Figure 7 :** diagramme Ombrothermique de la campagne agricole 2015/2016
- Figure 8 :** dispositif expérimental de l'essai en plein champs 2015/2016
- Figure 9 :** Dispositif expérimental de l'essai en milieu contrôlé
- Figure 10 :** Courbe étalon de la proline.
- Figure 11 :** Courbe étalon du glucose.
- Figure 12(a, b) :** Situation climatique durant la période expérimentale 2016/2017 sur le site de Sebaine.
- Figure 13 :** Diagramme Ombrothermique de la campagne agricole 2016/2017.
- Figure 14(a, b) :** Dispositif expérimental de l'essai 2016/2017.
- Figure 15 :** Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFL.
- Figure 16 :** Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFG.
- Figure 17 :** Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFG_r
- Figure 18 :** Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJM.
- Figure 19:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations de la hauteur des plantes des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 20:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations de la surface foliaire des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 21:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre d'étages foliaires des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 22:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur le diamètre de la tige des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 23:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations de distance entre les nœuds des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 24:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre de bouquets floraux par plante des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 25:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre de fleurs /plante des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 26 :** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur la variation de la teneur relative en eau des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 27 :** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du taux de déperdition des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 28 :** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du poids spécifique foliaire des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.
- Figure 29 :** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre de gousse /plant des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 30:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre de grains /plant des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 31:** Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre du poids de cent grains des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué
- Figure 32 :** Rendements en grains des quatre variétés de lentille aux 3 dates de semis sous les deux traitements irrigué et pluvial.

Figure 33: Variation des taux de Potassium chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

Figure 34 : Variation des taux de Sodium chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

Figure 35 : Variation des taux de Calcium chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

Figure 36: Variation du contenu relatif eau des quatre variétés de Lentille sous l'effet du stress hydrique.

Figure 37 : Evolution du taux de déperdition RWL en $\text{mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$ sous l'effet du stress hydrique des quatre géotypes de lentille.

Figure 38 : Effet du déficit hydrique sur l'évolution de la surface foliaire en cm^2 des quatre variétés de lentille testées.

Figure 39(a, b) : Effet du déficit hydrique sur l'évolution de la teneur en chlorophylle a et b des quatre variétés de lentille testées

Figure 40 : Effet du déficit hydrique sur l'évolution du poids spécifique foliaire des quatre variétés de lentille testées.

Figure 41: Effet du déficit hydrique sur l'évolution du taux de proline en $\mu\text{g/g.ms}$ des quatre géotypes de lentille testés

Figure 42: Effet du déficit hydrique sur l'évolution du taux de sucres solubles en $\mu\text{g/g.ms}$ des quatre géotypes de lentille testés.

Figure 43: variation de la teneur relative en eau chez les quatre variétés de lentille sous les conditions pluviales et irriguées.

Figure 44: Variation du taux de déperdition chez les quatre variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Figure 45: Evolution de la hauteur des plantes des quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 46 : Evolution du nombre des entre nœuds chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 47: Evolution de la surface foliaire chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 48 : Evolution du nombre des gousses / plant chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 49: Evolution du nombre des grains/plant chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 50: Evolution du poids de cents grains chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 51: Evolution du Rendement en grains chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

Figure 52 : variation du taux des protéines totales des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Figure 53: variation des taux d'amidon des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Figure 54: Variation du taux de potassium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Figure 55 (a, b): variation des taux de phosphore et de magnésium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Figure 56: variation des taux de calcium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Figure 57: variation des taux de sodium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

La liste d'abréviation

RWC: relatif water content ou teneur relative en eau (%)
RWL: rate of water loss ou taux de déperdition d'eau par la feuille excisée (mg/mn*cm₂)
SDH: sans déficit hydrique
ADH: avec déficit hydrique
%: pourcentage
°C: Degrés Celsius
CC: capacité au champ
cm : Centimètre
F: Test de Student
FAO: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
g: grammes
ICARDA: International Center for Agricultural Research in the Dry Areas
NJFL: Nombre de jours à la floraison
NJFG : Nombre de jours à la formation des gousses
NJR : Nombre de jours au remplissage des grains
NJM : Nombre de jours à la maturité
SF : surface foliaire
PSF : poids spécifique foliaire
IRR : irrigué
PL : pluvial
PCG : poids de cents grains
RDG : rendement en grains
NGS/P : nombre de gousses /plant
NGR/P : nombre de grains/plant
HP : hauteur des plantes
NEN : nombre des entre nœuds
DT : diamètre de la tige
DEN: distance entre les nœuds
NBF/P: nombre de bouquets floraux par plante
NF/P: nombre de fleurs par plante
µg: microgramme
ms : matière sèche
EUE : Efficience d'utilisation de l'eau
AO : Ajustement Osmotique
DSA/MADR : direction des services agricoles / ministère de l'agriculture et du développement rural
ITGC : institut technique des grandes cultures

Introduction Générale

Introduction générale-

La Lentille (*Lens culinaris* Medic.) est l'une des plus anciennes légumineuses à grains annuelles consommées et cultivées dans le monde. Ses centres d'origine sont le proche Orient et l'Asie de l'Ouest. Elle est cultivée en Asie (Turquie, l'Inde et Syrie), en Afrique, en Amérique du nord (Canada, Etat unis) et en Australie qui est devenu un des plus grands producteurs et exportateurs de la lentille depuis 1990 (Erskine et al., 2009). La lentille est cultivée en rotation avec les céréales et est utilisée pour la nutrition humaine grâce à sa richesse en protéines et sa courte durée de cuisson (Kaya, 2010). Elle contient de fortes concentrations d'acides aminés essentiels ainsi que d'autres nutriments comme les fibres alimentaires, les folates, la vitamine B1, des minéraux et composés antioxydants (Rozaan et al., 2001).

En Algérie, La lentille (*Lens Culinaris* Medik, *culinaris*) est la plus importante culture de légumineuses après la fève et les pois chiches, sa production reste très faible et ne couvre que 30% des besoins de consommation évalués à 1,01 million de quintaux. La production de lentilles a atteint une moyenne de 100 713 quintaux en 2016 (DSASI/MADRP, 2016) mais les rendements restent assez faibles. La faiblesse des rendements est due non seulement aux mauvaises pratiques culturales (non-respect des itinéraires techniques appropriés), à la faible compétition de ces cultures vis-à-vis la forte infestation des mauvaises herbes (responsables de la perte de 80% de rendements) et aussi à de nombreuses contraintes biotiques et abiotiques. Les rendements ont connu une légère amélioration en 2015-2016 grâce aux mesures incitatives et de soutien aux agriculteurs mises en place par l'État pour améliorer les revenus agricoles au sein des exploitations, créer de l'emploi et réduire les importations.

Dans les régions semi-arides de l'Algérie comme Mila, Constantine, Guelma, Tiaret (Plaine du Sersou), Médéa et Sétif, les légumineuses (lentilles, pois chiches...) sont exclusivement pluviales, elles sont soumises à la sécheresse terminale qui a un effet néfaste sur la productivité de ces cultures et leur qualité nutritionnelle. Face à cette situation, il est nécessaire de développer une stratégie pour éviter et réduire les effets de la sécheresse terminale. Selon Hassani et al., (2008) ; Adda et al ., (2013), la sélection de géotypes tolérants les effets du stress hydrique de fin de cycle reste la meilleure solution car l'irrigation n'est pas possible en raison de la rareté des ressources en eau, du coût élevé de l'équipement d'irrigation et du risque de salinisation des sols.

Introduction générale

La résistance des cultures à la sécheresse a été attribuée à différents mécanismes conduisant à différents types de réponses. Les réponses des plantes à ce stress peuvent être phénologiques (raccourcissement des stades), morphologiques (réduction de la hauteur, et de la surface foliaire...), physiologiques (maintien d'un potentiel élevé, diminution de la transpiration...), biochimiques (ajustement osmotique par accumulation d'osmorégulateurs) et agronomiques (assurer un rendement maximal dans des conditions limitées) (Mishra et al., 2018).

Comparée à d'autres légumineuses, la lentille est relativement résistante à la sécheresse tout en étant très sensible au déficit hydrique durant la période de reproduction où elle risque de subir d'importantes pertes de rendement et de qualité (**Idrissi et al., 2012 ; Morghil et al., 2017**). La période de reproduction (stades de floraison et de remplissage des graines) est une étape cruciale de la croissance des cultures de lentilles. Lorsque la sécheresse se produit au moment de la floraison, elle entraîne une réduction de la production de fleurs qui donnent naissance aux gousses et la chute des jeunes fleurs et des gousses avant la formation et le remplissage des graines (**Idrissi et al., 2012**). Le remplissage des graines est le stade final de la croissance. Il implique l'apport de divers composants et précurseurs des feuilles aux graines en développement et de nombreux processus biochimiques ont lieu pour la production et la translocation des photo-assimilats, l'importation de précurseurs pour la biosynthèse des réserves de graines, de minéraux et d'autres constituants fonctionnels (hydrates de carbone, protéines et lipides) (**Ahmadi et Lanez, 2015 ; Sehgal et al., 2019**). Par ailleurs, lorsque la sécheresse se produit à ce stade, elle ralentit le processus de remplissage et en réduit sa durée, ce qui a pour conséquence des grains échaudés et de faible poids de mille grains, (**Sehgal et al., 2019 ; Moradi et al., 2015**).

La composition chimique des lentilles peut varier en fonction des cultivars, du sol et des conditions climatiques de la région. La teneur en protéines du grain constitue un déterminant majeur de la valeur nutritionnelle des légumineuses en général et des lentilles en particulier : sa synthèse est principalement liée à la remobilisation de l'azote des organes végétatifs (**Ahmadi et Lanez, 2015**). Certains auteurs indiquent que la teneur des grains de lentilles en protéines n'est pas associée aux effets de la sécheresse ou aux rendements, mais constitue un caractère génétique. L'amidon apparaît également comme une molécule clé dans la médiation des réponses des plantes aux stress abiotiques, tels que le déficit en eau. En effet, les plantes remobilisent généralement l'amidon pour fournir de l'énergie et du carbone ; alors que la photosynthèse peut être potentiellement limitée, la dégradation de l'amidon en réponse

à un stress a souvent été corrélée à une meilleure tolérance (**Dien et al ., 2019**). La quantité de minéraux contenus dans les grains de lentille peut être également influencée par les conditions environnementales (**Wang et Daun, 2006**).

Cette étude a donc été entreprise en se concentrant sur certaines caractéristiques de la tolérance à la sécheresse de fin de cycle au moyen d'indicateurs de bio-stress en l'occurrence les mécanismes de tolérance d'ordre phénologiques (précocité : esquive ou échappement), morphologiques, physiologiques et biochimiques et agronomique sur quatre variétés de lentille cultivées en Algérie. L'effet du déficit hydrique sur la composition chimique des grains de lentilles a été aussi étudié.

Dans la démarche globale de cette étude, le document est subdivisé en deux parties :

- Une première partie consacrée à la synthèse bibliographique qui est divisée en deux chapitres :
 - ✦ le premier chapitre englobe des généralités sur le stress hydrique,
 - ✦ le deuxième donne un aperçu sur les légumineuses alimentaires et la culture de lentille,

- Une deuxième partie concerne la partie expérimentale répartie en trois chapitres:
 - ✦ Un chapitre qui résume le matériel et la méthodologie du travail,
 - ✦ Un deuxième chapitre traite la présentation des résultats
 - ✦ Un troisième et dernier chapitre donne des comparaisons avec des travaux précédents. Enfin cette étude se termine par une conclusion générale et des perspectives.

Les résultats obtenus ont fait l'objet de publications dans des revues de renommée internationale :

Publication 1: Tahir F, Hassani AK, Rezzoug W. Evaluation of Terminal Water Stress effect on Morphological, Physiological Parameters, Yield and Remobilization of Assimilates in two Types of Lentils Cultivars (*lens culinaris* Medik *culinaris* ssp.) under Algerian conditions.

Bionature, 40(2) 2020: 36-51 ISSN: 0970-9835 (P), 0974-4282 (O).

Publications 2: Tahir F, Hassani AK, Kouadria M, Rezzoug W. Study of Morpho-Physiological and Biochemical Behavior of Cultivated Legume (*Lens culinaris* Medik Ssp *culinaris*) in Dry Area of Algeria. Ukrainian Journal of Ecology, 9 (4) 2019: 535-541.

Publications 3: : Tahir F, Hassani AK, Rezzoug W. Characterization of some morpho-physiological responses, seed chemical composition and grain yield in Lentil varieties (*Lens culinaris* Medik *culinaris*) under irrigated and rainfed conditions. J. Fundam. Appl. Sci., 2021, 13(2), 798-815.

Partie

Bibliographique

Chapitre I

I-1 Notion de sécheresse et de stress hydrique**I-1 Définition de la sécheresse**

La sécheresse est définie comme un déficit de pluviométrie non systématique conduisant le plus souvent à un stress hydrique. Elle se caractérise par la durée de son apparition (sécheresse intermittente ou prolongée), la période d'occurrence, l'extension géographique et l'époque d'apparition par rapport au cycle cultural (Amigues et al., 2006).

Pour sa part, Tardieu (1996) a défini la sécheresse comme étant une période prolongée sans précipitation qui peut résulter dans la réduction de la teneur en eau du sol et ainsi causer le déficit hydrique chez la plante.

La sécheresse peut être également définie en terme soit de statut de l'eau externe aux alentours de la plante (sol, air) ou bien le statut de l'eau interne dans les tissus. Ce qui signifie qu'il y'a une balance négative entre la disponibilité de l'eau et la demande de la plante (Witcombe et al., 2009).

L'installation d'une sécheresse se manifeste par la combinaison d'une part de la restriction de la disponibilité en eau du sol et d'autre part de l'augmentation de la demande évaporatrice (Kiani, 2007). Aussi, la sécheresse agronomique dite également édaphique est causée par une insuffisance des pluies pendant la saison de la culture et affectant sérieusement les rendements des cultures (Oukaroum, 2007 ; Gaufichon et al., 2010).

I-2 Définition du stress hydrique

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants affectant les conditions de croissance, le développement et le rendement des cultures (Madhava et al., 2006). Il est défini comme une baisse de la disponibilité de l'eau se traduisant par une réduction de la croissance de la plante et de la production par rapport au potentiel du génotype (Wang et al., 2003).

Le déficit hydrique se définit également comme les situations dans lesquelles le potentiel hydrique et la turgescence des plantes sont assez réduites perturbant ainsi le déroulement normal des différentes fonctions de la plante, il résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et /ou dans le sol, en dessous d'une certaine valeur dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (Turner, 1986). C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi arides où les précipitations sont irrégulières et mal

réparties d'une année à une autre au cours desquelles les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique (Boyer, 1968).

Pour sa part, Passioura (2004) définit également le déficit hydrique comme étant les circonstances dans lesquelles les plantes accusent une réduction de croissance et de production suite à une alimentation hydrique insuffisante dite stress hydrique.

I- 3 Les effets du stress hydrique

L'effet du stress sur la plante est fonction de son degré, sa durée, le stade de développement de la culture, le génotype et son interaction avec l'environnement (Yokota et al., 2006).

Sous stress hydrique, la plante perd la capacité d'établir un équilibre entre son bilan hydrique et sa turgescence qui s'annule; elle passe de l'état productif à l'état de survie, qui représente sur le plan agronomique le facteur responsable de la réduction des rendements (Benbelkacem, 1997 ; Belout, 2000).

I- 3- 1 Les effets précoces

La fermeture des stomates est une réponse rapide au déficit hydrique, elle se fait en quelques minutes dès la sensation d'une augmentation de la vapeur de l'air (Assmann et al., 2000), elle agit comme régulateur de la pression osmotique et permet la protection de la plante contre la déshydratation mais présente l'inconvénient de perturber la photosynthèse par diminution de l'assimilation du carbone (Cechin et al., 2006). La fermeture des stomates supprime l'action des chloroplastes à un apport de CO₂ d'origine atmosphérique qui suit le même trajet que la vapeur d'eau et apparition dans les cellules de potentiels hydriques faibles intervenant directement sur l'intégrité de la machine photosynthétique (Hopkins, 2003).

I-3-2 Les effet à moyen terme

Ajustement osmotique par accumulation de solutés dans les cellules en réponse au stress hydrique permettant l'abaissement du potentiel osmotique. L'ajustement osmotique permet le maintien de la turgescence cellulaire qui est la base de la préservation de plusieurs fonctions physiologiques car il permet d'empêcher la fermeture des stomates donc de maintenir la photosynthèse, la transpiration, l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire dont la turgescence est la force motrice (Bammoun, 1997 in Azzouz, 2009).

L'ajustement osmotique permet également une protection des membranes et des systèmes enzymatiques et apparaît comme un mécanisme clé dans la tolérance à la déshydratation

(Nourri, 2003). Les solutés accumulés peuvent être des acides aminés (proline, arginine,..), des amides (glutamine, asparagine), des polyamines, des acides organiques, des sucres et des minéraux (K⁺, Na⁺) (Turner et Jones, 1980 ; Silva et al., 2010).

I- 3- 3 : Les effets à long terme

Des modifications morphologiques, anatomiques, physiologiques et développementales de la plante peuvent être observées, on peut citer la réduction de la hauteur et du diamètre de la tige ; un raccourcissement des entre-nœuds, la diminution du volume des cellules, réduction de la surface des feuilles avec augmentation de leur épaisseur, la sénescence prématurée des feuilles matures, une élévation du rapport racines/feuilles en terme de biomasse, la dessiccation et la mort de plante en cas de stress sévère (Lamaze et al ., 1994 in Lahoual et al ., 2019). Selon Quirino et al., (2000), la sénescence prématurée des feuilles matures représente un des symptômes de stress oxydatif et une forme de mort cellulaire programmée qui se déroule de manière ordonnée, les chloroplastes sont les premiers organites à se dégrader avec dégradation de la chlorophylle.

Des changements physiologiques et biochimiques peuvent être induits par le stress hydrique chez les plantes notamment la perte de turgescence, la réduction d'élongation cellulaire, la réduction de la teneur en eau, de la transpiration, de la photosynthèse et augmentation de l'accumulation des osmolytes. La réduction de la photosynthèse est supposée dépendre à la fois de la fermeture stomatique qui s'accompagne d'une réduction de l'assimilation de CO₂ dans les feuilles par diminution de sa diffusion et d'une limitation biochimique du chloroplaste pour fixer le CO₂ (Graam et Boyer, 1990 in Lahoual et al ., 2019) probablement associée à la régénération limitante du RuBP. La respiration, la translocation, l'absorption et le métabolisme sont également affectés (Jaleel et al., 2008). Une réduction d'absorption des minéraux et de leur transport des racines vers la tige peut également être observée.

I- 3.4 Effet du déficit hydrique sur le rendement de la lentille et ses composantes

Le rendement en grain est un caractère complexe qui résulte de l'interaction d'une multitude de facteurs hautement sensibles aux variations environnementales (Yusuf et al., 1979). Il pourrait être estimé sur la base de la performance d'un certain nombre de composantes morpho-physiologiques et phénologiques telles que la hauteur de la plante, le nombre de branches, de gousses et de grains par plant, de la date de floraison et du poids de cents grains (Singh, 1977). Selon Idrissi et al ., (2012) , dans les environnements semi-arides caractérisés par les fréquences de déficit hydriques de fin de cycle, les rendements élevés sont

associés au développement rapide et à la vigueur précoce de la plante, au prolongement de la durée de floraison et de remplissage des grains, au nombre de gousses élevé et un indice de récolte élevé.

I- 3- 5 L'effet du déficit hydrique sur la qualité des grains de lentille récoltés

L'effet du déficit hydrique sur la qualité des grains est complexe et dépend largement du stade pendant lequel le déficit hydrique se produit. Trois composés majeurs représentent la composition primaire et la plus grande masse des grains qui sont les hydrates de carbone, les lipides et les protéines. Les teneurs en protéines, en amidon et en huiles sont les critères majeurs de la qualité et varient sous l'effet du climat. En général, la taille de l'organe et donc la quantité des composants stockés diminue avec le déficit hydrique (Liliane et al., 2017).

La production d'assimilats carbonés étant plus touchée que celle des protéines, les teneurs en amidon ou en lipides tendent à baisser et celles en protéines tendent à augmenter avec le déficit hydrique. Les teneurs en composés secondaires varient aussi avec le déficit hydrique, d'une façon qui dépend de l'intensité du déficit et du stade auquel il est appliqué. Cet effet est faible pour des déficits survenant avant la floraison (Triboi et al., 2003) et des augmentations des teneurs en protéines peuvent être observées. Ceci est lié à la réduction de la compétition pour les assimilats entre les organes récoltés, du fait de la diminution du nombre de grains mais leur poids reste stable et peut même augmenter en raison de la disponibilité en assimilats pour chaque organe (compensation) (Triboi et al., 2003).

En revanche, les conséquences pour des sécheresses intervenant après la floraison sont maximales, un déficit hydrique post-floraison diminue la disponibilité en carbone pour le grain, affectant ainsi les teneurs en amidon et en huile. Au contraire, les teneurs en protéines sont souvent augmentées car les métabolismes liés aux protéines sont moins affectés que ceux liés à l'accumulation de carbone (Gooding et al., 2003).

La capacité d'adaptation des variétés au stress hydrique peut être liée à une amélioration du taux de remplissage des grains, la contribution des hydrates de carbone stockés dans les tiges ou la persistance de la chlorophylle par une longue durée de la vie de la feuille étandard (Bahlouli et al., 2006). Le transfert du maximum des substrats stockés peut se faire en améliorant la vitesse de remplissage du grain et/ou la durée de la phase de remplissage sous stress (Fellah et al., 2002).

La concentration des grains en macro et oligo-éléments est fonction de la biodisponibilité dans le sol et du fonctionnement de la plante (Fageria et al., 2002). Le déficit

hydrique modifie la biodisponibilité des minéraux dans le sol par des phénomènes d'oxydoréduction, solubilisation/précipitation, et de mobilité dans le sol. Au niveau de la plante, la sécheresse modifie la croissance et la quantité des composants majeurs, réduit la dilution par rapport à d'autres composants dont l'accumulation est moins altérée. Pour cette raison, le poids d'un grain est souvent corrélé négativement avec la teneur en P, Mg, Se, Mn, Ca, K, Sr, Fe (Boyer, 1968 ; Erbas Kose et al., 2018).

I- 4 Les mécanismes d'adaptation et de résistance à la sécheresse et au stress hydrique

Du point de vue physiologique, la résistance d'une plante à la contrainte hydrique peut être définie par sa capacité à survivre et à s'accroître et du point de vue agronomique par l'obtention d'un rendement plus élevé que celui des plantes sensibles (Madhava et al., 2006 in Mouellef, 2010).

La résistance d'un génotype face à un déficit hydrique s'évalue par sa capacité à maintenir un rendement acceptable malgré les contraintes en eau (Sarraf et al., 1993). Dans le même contexte, El jaafari et al., (1993) définissent cette résistance par la capacité d'une plante à produire en condition de déficit hydrique et à maintenir l'intégrité de ses structures et fonctions. La résistance d'une plante à une contrainte du milieu est sa faculté de se développer dans les conditions défavorables (Azzi, 1954 in Mouellef, 2010).

L'adaptation des plantes à la sécheresse consiste à éviter le stress hydrique en premier lieu et à le tolérer en deuxième lieu. Elle peut être définie comme étant le résultat de l'intervention de plusieurs caractéristiques morphologiques, physiologiques et anatomiques. Elle se traduit en réponse à la contrainte hydrique par une succession de modifications à l'échelle cellulaire, sub-cellulaire et moléculaire (Tardieu, 2005 in Lahoual et al., 2019).

I- 4 -1 Les stratégies d'adaptation à la sécheresse

De nombreuses stratégies sont développées par les plantes pour s'adapter à la sécheresse, elles varient en fonction de l'espèce et des conditions du milieu. Levitt (1980) les a classé en trois grands types d'adaptation aux stress et qui sont : (1) L'échappement ou esquivage qui consiste à réaliser le cycle pendant la période favorable ; (2) L'évitement de la déshydratation (ou résistance) qui permet le maintien d'un potentiel hydrique élevé dans la plante ; (3) La tolérance à la déshydratation qui consiste en un ensemble d'aptitudes à résister aux effets d'un faible potentiel hydrique.

1- La première façon d'éviter la sécheresse, est **l'esquivage ou l'échappement**, cette stratégie est basée sur la plasticité de la phénologie de la variété, elle consiste à faire coïncider

les phases de développement de la culture avec les périodes où le stress est moins intense (Witcombe et al., 2009). L'esquive permet à la plante de réduire les effets de la contrainte hydrique par une bonne adaptation de son cycle à la longueur de la saison des pluies. Le développement rapide avec une floraison précoce permet à la plante d'éviter les périodes sèches. Cette stratégie est basée sur le calage de la date de semis ou l'utilisation de variétés précoces permettant d'éviter les déficits hydriques de fin de cycle (Ali Dib, 1977).

2- La deuxième stratégie d'adaptation est **l'évitement de la déshydratation** des tissus qui représente la capacité d'une plante à maintenir un état hydrique satisfaisant par réduction des pertes en eau par transpiration (par fermeture partielle ou totale des stomates) ou par optimisation de l'absorption d'eau par les racines (Benlaribi et al., 1990 ; Richards et al., 2002). Selon Monneveux (1991), l'évitement consiste à empêcher que la plante ne soit soumise à un stress hydrique important. Du point de vue génétique, il s'agit des limitations de la surface foliaire et de la transpiration et d'un développement favorisé du système racinaire. D'une certaine manière, la limitation du nombre de grains peut être considérée comme un mécanisme d'évitement.

3- La troisième stratégie d'adaptation à la sécheresse est **la tolérance avec une faible teneur en eau** dont le but est la préservation de l'intégrité structurale et fonctionnelle des tissus lorsque le potentiel hydrique baisse. Cette stratégie permet à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré la dégradation de son état hydrique. Elle fait intervenir deux mécanismes : le maintien de la turgescence par ajustement osmotique (accumulation de solutés tel que les sucres, proline, acides organiques et les ions telle que le sodium et le potassium permettant la conservation de l'eau dans les cellules) et la tolérance à la dessiccation qui dépend de la capacité des membranes à résister à la dégradation enzymatique et à la dénaturation des protéines (Kiani, 2007).

I-4-2 les mécanismes de tolérance de la sécheresse et du stress hydrique.

La résistance et la tolérance d'une plante au stress hydrique apparaît comme le résultat de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques biochimiques et moléculaires qui interagissent pour le maintien de la croissance, du développement et de la productivité (Ali Dib, 1977 ; Azzouz, 2009).

I-4-2-1 Les paramètres phénologiques :

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte

hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse fin de cycle (Ali Dib, 1977). Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le calage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales. Dans les régions semi-arides de l'Algérie cas des plaines intérieures et hauts plateaux, il est recommandé de semer les lentilles à partir du début de mois Novembre jusqu'à la fin du mois de Décembre au moment où l'humidité du sol est suffisante et les températures favorables pour permettre la germination et la levée homogène et pour échapper, totalement ou partiellement, aux gelées printanières et aux fréquentes périodes chaudes et sèches de la fin du cycle (Hamadache, 2014 ; Idrissi et al., 2012).

Selon Witcombe et al., (2009), la précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. En effet, les géotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent mieux l'eau disponible pour se reproduire avec succès avant que l'eau devienne contraignante. De nombreux travaux ont mis en évidence l'existence d'une corrélation positive entre la longueur du cycle et le rendement potentiel. L'adoption d'une telle stratégie par l'utilisation de variétés précoces entraîne le sacrifice d'une part de la productivité (Ben Salem et al., 1997 in Mouellef, 2010).

I-4-2-2 Les paramètres morphologiques

Selon la stratégie adaptative de chaque espèce, l'effet du stress hydrique peut se traduire par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption de l'eau, minimiser la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilats. Ces modifications peuvent affecter la partie souterraine et aérienne.

En ce qui concerne le système racinaire, certains auteurs comme Richards et Passioura (1981) ; Adda et al (2005) ; Labdelli et al (2011) indiquent qu'un développement en longueur des racines permet une exploitation efficace de ce dernier à extraire l'eau des profondeurs. D'autres comme Hopkins (2003), affirme que la croissance des racines est généralement moins sensible au déficit hydrique que celle de la partie aérienne. La croissance racinaire est plutôt orientée dans un sens de remodelage de l'ensemble du système racinaire : le nombre des racines diminue, le volume racinaire est également réduit (Munns, 2002).

Pour la partie aérienne, on peut observer le ralentissement de la mise en place de nouveaux organes aériens (tiges et feuilles) et réduction de la croissance des organes pré-existants, réduction de la hauteur de la plante, un raccourcissement des entre-nœuds, la diminution du volume des cellules, réduction de la surface des feuilles avec augmentation de

leur épaisseur, la sénescence prématurée des feuilles matures branches ou de talles. Ces modifications résultent d'une diminution de la vitesse de divisions des cellules constituant les tissus végétaux et d'une modification des propriétés physico chimiques des parois entourant les cellules qui deviennent plus rigides ce qui limite les échanges entre la plante et l'air et donc les pertes par transpiration (Granier et al., 2000).

I-4-2-3 les paramètres physiologiques

✦ Teneur relative en eau (TRE)

La teneur relative en eau est un critère d'évaluation de la tolérance à la sécheresse. Clark et al (1989), indiquent que la mesure de la teneur relative en eau des feuilles est l'une des meilleures techniques pour connaître la résistance des plantes au stress hydrique. La Teneur relative en eau est plus élevée chez les variétés résistantes que chez les variétés sensibles dans les conditions de sécheresse. La teneur relative en eau, en plus des relations avec le volume cellulaire, reflète plus précisément la balance entre l'eau disponible dans la feuille et le taux de transpiration, le potentiel osmotique et de turgescence (Nourri, 2002).

✦ Régulation stomatique

La régulation stomatique est le premier mécanisme détectable avant toute modification des autres paramètres hydriques tels que le potentiel hydrique foliaire, le potentiel osmotique et la teneur relative en eau (Djekkoun et Ykhlef, 1996). Lorsque l'évapotranspiration potentielle devient supérieure à ses possibilités d'alimentation en eau, la plante réagit en fermant ses stomates pour éviter de se dessécher. L'importance de l'effet de la fermeture des stomates en contraintes hydriques, est toutefois relative, car elle peut constituer un obstacle pour le bon fonctionnement de la photosynthèse (Turner et al., 1986). La réduction de la photosynthèse liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire est supposée dépendre à la fois de la fermeture des stomates avec pour conséquence une diminution de la conductance à la diffusion du CO₂ et une limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO₂ (Kramer, 1983 in Gnofam et al., 2014).

✦ La teneur des pigments chlorophylliens

La capacité de modifier la composition en chlorophylle des feuilles mesurée par le rapport des chlorophylles de type a et b a un effet sur la proportion de la lumière incidente. Un rapport faible est associée à une couleur verte foncée (+ de chlorophylle a) notée en début

printemps en présence de stress moins intense. Dès que les conditions de croissance deviennent moins favorables avec l'installation du stress, la plante reconvertie une partie de la chlorophylle a en chlorophylle b. Elle prend de ce fait une couleur moins foncée (vert clair) permettant de réfléchir la luminosité reçue et par conséquent de réduire la température foliaire et la transpiration (Reynolds et al., 2007).

I-4-2-4 Les paramètres Biochimiques ou ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est considéré comme un élément important dans la tolérance des plantes au stress hydrique, il implique l'accumulation au niveau cellulaire de nombreux composés osmoprotecteurs permettant la conservation de la turgescence cellulaire (Nourri et al., 2002). L'ajustement osmotique (AO) maintient l'ouverture stomatique et l'assimilation du CO₂ (Kameli et Losel, 1996). Il améliore l'EUE, retarde la sénescence et maintient le transfert des assimilats vers le grain augmentant par conséquent l'indice de récolte (Araus et al. 1999). Parmi les composés organiques qui interviennent dans l'ajustement osmotique, la proline et les sucres solubles tiennent une part importante.

I-4-2- 4- 1 Accumulation de la proline

Parmi les acides aminés accumulés par les plantes en cas de stress, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquées des stress hydriques et osmotiques. La capacité d'accumulation de la proline a été utilisée par de nombreux sélectionneurs et physiologistes dans le criblage des génotypes résistants aux différents stress abiotiques (déficit hydrique, salinité, froid) (Slama et al., 2005).

La proline peut être synthétisée à partir de l'acide glutamique ou bien via l'ornisitolé utilisée comme précurseurs (Samars et al., 1995 in Mouellef, 2010). La synthèse de la proline peut être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique et par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres ce qui lui confère un rôle osmoprotecteur du fait qu'elle est la plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol et non dans les vacuoles (les chloroplastes et les mitochondries importent la proline et la vacuole a une activité exportatrice) (Bellinger et Lahrer, 1989 in Azzouz, 2009).

L'accumulation de la proline est un phénomène d'adaptation au déficit hydrique permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique (De Raissac, 1992). La proline peut conférer la tolérance aux plantes en conditions de stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Nourri, 2002). L'accumulation de la proline a été observée par de

nombreux chercheurs sur différentes cultures comme Bendjamaa (2010) sur blé dur, Morteza et al (2013) sur lentille, Tegggar (2015) sur le haricot et Kebbadj et al (2017) sur la fève.

I- 4-2-4-2 Accumulation des sucres solubles

Comme la proline, les sucres solubles servent de composés solubles compatibles pour l'ajustement osmotique, participent au maintien de la balance de la force osmotique sous stress hydrique. Les réserves amylacées sont progressivement utilisées suite à leur conversion rapide en saccharose qui pourra être associée à une inhibition de la synthèse d'amidon (Geigenberger et al., 1997 in Mouellef, 2010). Selon le même auteur, les enzymes liés au métabolisme des sucres semblent avoir une importance majeure dans la tolérance au stress hydrique.

Selon Blum (1996), les sucres solubles participent à l'abaissement du potentiel osmotique en protégeant les membranes contre la déshydratation en conditions de déficit hydrique.

I-4-2-4-3 Accumulation des ions inorganiques (minéraux).

L'ajustement osmotique à travers l'accumulation des ions tels que le sodium et le potassium est la réponse métabolique commune des plantes supérieures pour maintenir l'équilibre hydrique et éviter le stress hydrique (Benlloch-González et al., 2015). Parmi les minéraux qui interviennent dans l'ajustement osmotique, on évoque fréquemment le K^+ et les ions accompagnateurs (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} ...).

I-4-2-4-4 Synthèse des protéines liées à la tolérance au stress hydrique

✦ Les protéines de stress jouent un rôle important dans l'adaptation de la plante à la sécheresse, certaines d'entre elles ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutissent à la synthèse des protéines fonctionnelles (Campalans et al., 1999).

✦ **Les aquaporines** sont des protéines induites par le stress et jouent un rôle important dans le transport cellulaire de l'eau, elles peuvent réguler la conductivité hydraulique et augmenter la perméabilité des membranes permettant la conservation cellulaire de l'eau pendant les périodes sèches (Samars et al., 1995 in Mouellef, 2010; Slama et al., 2005).

I-4-2-4 -5 L'acide Abscicique (ABA)

Classiquement considéré comme une hormone de stress, L'ABA joue un rôle médiateur dans les réponses des plantes au stress hydrique principalement dans les mouvements stomatiques, la réduction de l'élongation des feuilles et la promotion de l'extension des racines (El jaafari et al., 1993). L'ABA est un effecteur de la fermeture des stomates et de la synthèse d'osmoprotecteurs (Tardieu et Davis, 1993). Cette phytohormone est synthétisée par les racines soumises à un stress hydrique et est véhiculée jusqu'aux feuilles par la sève brute (Djekoun et Ykhlef, 1996).

Chapitre II

Généralités sur les légumineuses
Alimentaires et la Lentille

Chapitre II: Généralités sur les légumineuses Alimentaires et la lentille

II.1 Importance des légumineuses alimentaires et de la lentille :

Les légumineuses alimentaires constituent une source très importante de protéines végétales peu coûteuses qui peuvent corriger le déficit en protéines animales. Elles sont cultivées pour leurs grains riches en amidon cas de la Fève, le Haricot, la Lentille, le Pois et le Pois chiche. En plus de leur importance dans le régime alimentaire des êtres humains et dans l'alimentation animale, elles ont un intérêt particulier dans le concept d'agriculture durable dans la mesure où leur introduction dans l'assolement instaure la rotation des cultures, la diversification des productions et la protection de l'environnement par l'économie des engrais azotés et des désherbants chimiques (Journet et al., 2001).

Les légumineuses constituent une immense famille de plantes présentant en commun un ovaire libre constitué d'un seul carpelle donnant un fruit appelé gousse. On compte 475 genres, 16400 espèces réparties en 3 familles (Mimosoideae, Caesalpinoideae et les Papilionoideae ou Fabaceae (Costa et al., 2006 ; Sehali, 2000). Le Haricot sec (*Phaseolus vulgaris*), la Fève (*Faba bean minor*), le Pois chiche (*Cicer arietinum*), la Lentille (*Lens culinaris*) et le pois sec (*Pisum sativum*) sont les principales légumineuses alimentaires cultivées dans le monde. Leur culture se localise surtout en Amérique du nord, dans le bassin Méditerranéen et dans le subcontinent indien (Hamadache, 2014).

La production mondiale des légumineuses à graines est estimée à 334 millions de tonnes par an durant la période de 2008 à 2012 (Shrestha et al., 2005 ; Zaghouane et al., 2018). Celle de la lentille est considérée comme minoritaire, elle a atteint 3917 milles tonnes sur une superficie de 3700 milles hectares (FAO, 2007). Les grands pays producteurs de lentille sont l'Inde, le Canada, le Pakistan, la Turquie, l'Australie, les Etats Unis, le Bangladesh et la chine.

En Algérie, les légumineuses occupent une place importante après les céréales dans l'alimentation humaine, néanmoins, sa production reste faible, le plus souvent notre pays a recours à l'importation de ce produit (2.24 millions de quintaux importés en 2015 dont 40 % des lentilles) (Zaghouane et al ., 2018). Le développement de la production des légumineuses alimentaires en Algérie est l'un des programmes prioritaires de la politique de renouveau agricole et rural mis en œuvre durant les années 2009-2014 par le ministère de l'agriculture et visant l'augmentation de la production de ces cultures notamment celle du pois chiche et de la lentille (ITGC, 2011).

II-1-1 Evolution de la production des légumineuses et de la Lentille en Algérie durant les périodes 2010-2016 et 2005-2015.

La production en grain des légumineuses alimentaires demeure très faible et ne couvre que 30 % des besoins de consommation. Durant les six dernières années (2010-2016), la production a atteint une moyenne de 850597 quintaux. La meilleure production a été obtenue au cours de la campagne agricole 2012-2013 (Tableau1). Pour la culture de lentille, la production a régressé durant la période 2011-2015 et a marqué une nette augmentation en 2015-2016 atteignant 100713 quintaux (Tableau 1). En ce qui concerne les rendements, ils demeurent assez faibles et ont connu une légère amélioration en 2015-2016 suite à l'intéressement des agriculteurs à ces cultures aux regards des mesures incitatives et de soutien instaurés par l'état (Maatougui, 2016).

Tableau 1 : Evolution de la production et des rendements des légumineuses alimentaires et de la lentille.

Années	Légumineuses Alimentaires			Lentilles		
	Evolution des superficies (ha)	Evolution de la production (qx)	Evolution des Rendement (qx/ha)	Evolution des superficies (ha)	Evolution de la production (qx)	Evolution des Rendement (qx/ha)
2010-2011	87296	788170	79.0	11090	82152	7.4
2011-2012	85295	842900	9.9	6244	57380	9.2
2012-2013	84993	958330	11.3	5543	63184	11.4
2013-2014	90507	937065	9.4	6458	53409	10.4
2014-2015	85068	831815	10.3	6330	49454	7.8
2015-2016	73818	745303	10.1	7762	100713	11.5
Moyenne	84496	850597	10.1	7238	67716	9.6

Source : données statistiques Agricoles – série B –DSASI/MADRP (2016).

L'étude réalisée par l'institut technique des grandes cultures (ITGC) en 2016 sur la situation actuelle et les zones d'adaptation des légumineuses alimentaires en Algérie durant la période 2005-2015 a montré que les superficies emblavées en lentille sur le nord de l'Algérie est de 4502 ha avec une production moyenne de 39577 quintaux, la région de Mila et Constantine a emblavé 2560 ha et a réalisé une production atteignant les 64626 qx en 2010. La zone Est (Oum el bouaghi, Souk Ahras, setif) n'a réalisé que 471 ha avec une production de 5181 qx. Dans la zone des hauts plateaux (Tiaret et Tissemsilt), 651 ha ont été emblavées

et 4882.5 qx obtenus. La plaine intérieure de Medea, 144 ha avec une production de 1049 qx et un rendement moyen de 7.5 qx/ha (Dekkiche et Chaou, 2016).

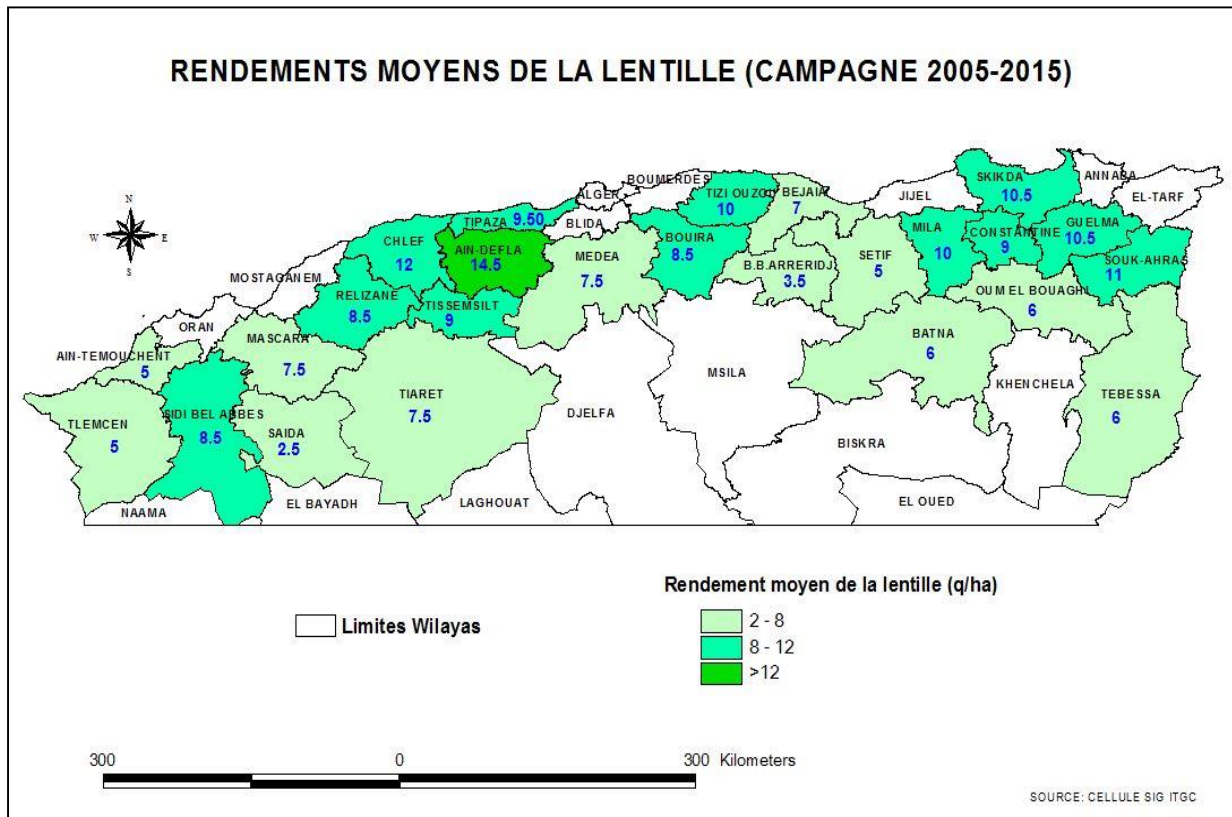


Figure 1 : Rendements moyens de la lentille en Algérie durant la période 2005-2015 (Dekkiche et Chaou, 2016)

II- 2. Intérêts des légumineuses alimentaires et de la Lentille

II- 2- 1 Intérêt agronomique et écologique

La lentille, comme l'ensemble des légumineuses alimentaires, est capable de satisfaire ses besoins en azote par fixation symbiotique de l'N atmosphérique (grâce aux bactéries fixatrices présentes dans les nodules de ses racines) permettant ainsi l'amélioration de la fertilité des sols et réduisent l'apport des engrais synthétiques. (Journet et al., 2001 ; Baudoin et al., 2001).

II-2-2 Intérêt nutritionnel, sanitaire et propriétés chimiques

Les lentilles constituent une importante source d'énergie, elles sont composées de fibres alimentaires (8-9%), de glucides complexes (43-45%), d'une faible teneur en gras (1-1,5%) et d'une grande quantité de protéines dont le taux varie de 18 à 30%. Elles apportent également des vitamines du groupe B, des minéraux tels que le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium. Cependant, elles renferment un certain nombre de facteurs anti nutritionnels tels que les inhibiteurs de protéase, les lectines, les phytates et les polyphénols. Elles ne renferment pas de cholestérol et ont un indice glycémique faible (Boye et al., 2010). Elles sont riches en lysine dont la teneur des céréales en est faible et apportent des quantités élevées d'autres acides aminés essentiels comme la leucine, l'isoleucine et la valine (Baudoin et al., 2001). Elle présente plusieurs bienfaits sur la santé humaine notamment un meilleur contrôle du diabète, une diminution des maladies cardiovasculaires et une diminution des risques de cancer (Boye et al., 2010).

La composition de graines de lentilles mûres crues, par 100 g de partie comestible, est : 11.2 g d'eau, 1413 kJ (338 kcal) d'énergie, 28.1 g de protéines, 1.0 g de lipides, 57.1 g de glucides, 30.5 g de fibres alimentaires, 51 mg de Ca, 107 mg de Mg, 454 mg de P, 0.9 mg de Fe, 3.6 mg de Zn, vitamine A 39 UI, thiamine 0.48 mg, riboflavine 0.25 mg, niacine 2.6 mg, vitamine B₆ 0.54 mg, folates 433 µg et acide ascorbique 6.2 mg (Almi, 2016).

La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 251 mg, lysine 1957 mg, méthionine 238 mg, phénylalanine 1383 mg, thréonine 1006 mg, valine 1392 mg, leucine 2034 mg et isoleucine 1212 mg. Les principaux acides aminés limitants sont la méthionine et la cystine (Almi, 2016).

Parmi les facteurs antinutritionnels on trouve les inhibiteurs de trypsine, les hémagglutinines, les tanins, les phytates et les oligosaccharides, mais leurs taux sont beaucoup plus faibles que ceux des pois et des fèves, par exemple. La lentille est plus facile à digérer et a un temps de cuisson plus court (Almi, 2016).

Le foin de lentille contient 10.2% d'humidité, 4.4% de protéines, 1.8% de lipides, 50.0% de glucides, 21.4% de fibres et 12.2% de cendres et constitue un excellent aliment pour les petits ruminants (Boye et al., 2010).

II-2- 3 Intérêt économique

Au même titre que les autres légumineuses alimentaires, la lentille associée aux céréales constitue la base du régime alimentaire de nombreuses populations dans le monde en raison de sa forte teneur en protéines permettant de remplacer les protéines animales difficilement accessibles. La production de lentille peut améliorer le revenu des exploitations, créer l'emploi et réduire les importations (Zaghouane, 2001).

II-3 Les principales zones de production de lentille en Algérie

La lentille est cultivée dans :

- Les zones de plaines intérieures (Tlemcen, sidi Belabbes, la plaine de Chelif, Medea, Bouira, la haute plaine de Mila et Constantine) ;
- Les hauts plateaux (Plateau du Sersou de Tiaret et Tissemsilt, Saida, les hautes plaines de Sétif, Bordj Bou aarerdj, Souk Ahras et Guema) ;
- Les zones littorales et sub- littorales (Nord de Tlemcen, Ain Temouchent, Oran, Mostaganem, Les plaines de Relizane) (Dekkiche et Chaou, 2016).

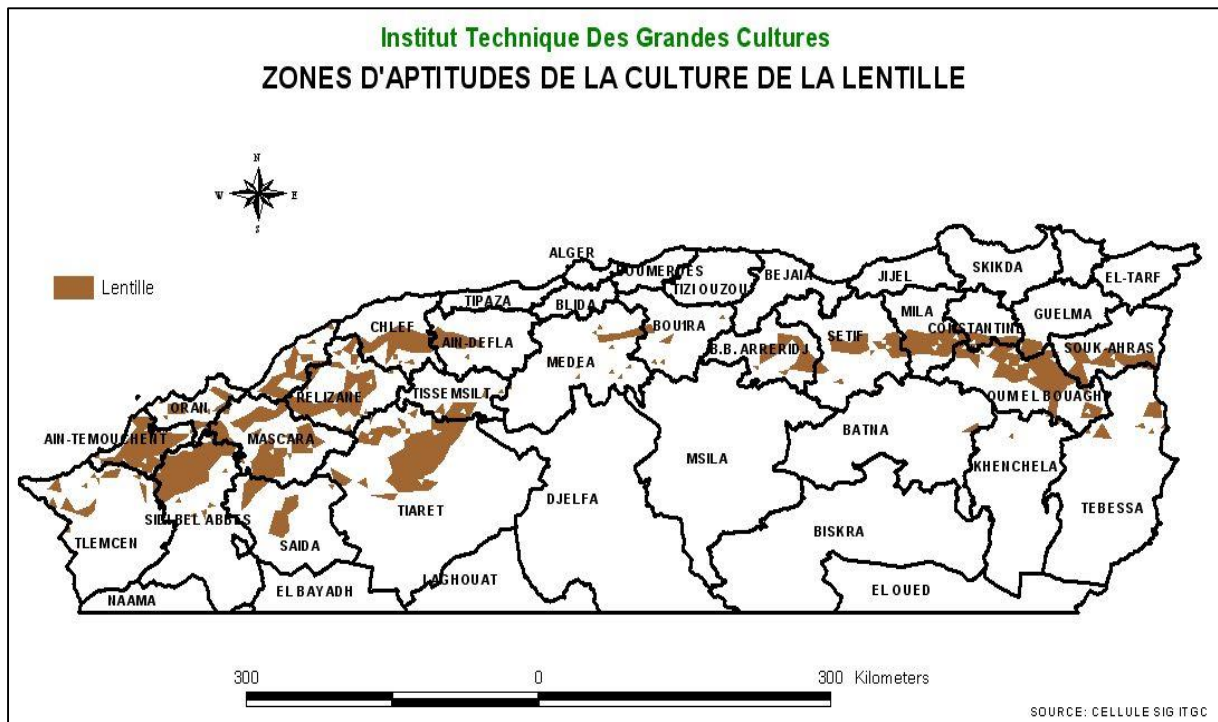


Figure 2 : Situation de la culture de lentille en Algérie (Dekkiche et Chaou, 2016)

II- 4 -Les principales variétés de lentilles produites en Algérie

Selon Zaghouane et al (2016) ; Hamadache (2014), les principales variétés de lentille produites en Algérie sont : la large blonde Metropole, Balkan 755, Syrie229, Nel 45R, Seybouse (ILL69-94), Atlas (ILL53-58), Nador, Tafrent (ILL 47-79), Djendel (ILL 2126 x ILL7946), Taghit (ILL ILL 4660 x ILL10023), Dahra et LVS (produite et multipliée par la SARL SERSOU).

Le choix des variétés est basé sur leur potentiel de production, leur adaptation aux conditions pédoclimatiques des zones de production, la tolérance aux stress abiotiques et biotiques et la qualité de leur grain (une bonne qualité culinaire) (Zaghouane et al., 2018).

II- 5- Origine de l'espèce : *Lens Culinaris* Medik ssp :

L'ancêtre du *Lens culinaris* est le *Lens Orientalis* (Ladizinsky et al., 1984 in Zaghouane et al., 2018). La lentille est un des plus anciens légumes secs cultivés en Asie occidentale, en Egypte et en Europe méridionale. Le centre d'origine du *L. culinaris* se situe au Proche-Orient, sa mise en culture a débuté dans cette région (Zohary et al., 1973). Selon Cubero (1981), la lentille s'est d'abord propagé jusqu'à la vallée du Nil, puis à l'Europe centrale et a atteint le sous-continent indien et le reste du bassin méditerranéen vers la fin de l'âge de bronze. L'espèce a été introduite plus récemment en Amérique du Sud et en Amérique centrale, probablement par les Espagnols. L'espèce a finalement été introduite aux États-Unis avant la Seconde Guerre mondiale, puis au Canada en 1969.

II-6. Classification botanique

La lentille appartient à la famille des Fabacées appelée communément légumineuse, à la tribu des viciées et au genre *Lens*. Selon (Ladizinsky et al., 1984 in Zaghouane et al., 2018), Le genre *Lens* comprend les espèces suivantes :

- *Lens culinaris* Medikus
- *Len orientalis* (Boiss.) Hand-Mazz., ancêtre de *Lens culinaris* ;
- *Lens nigricans* (M.Bieb.) Grand ;
- *Lens ervoides* (Bring.) Grand. ;
- *Lens odemensis* Ladiz. ;
- *Lens lamottei* Czefranova ;
- *Lens tomentosus* Ladiz.

Lens est un mot latin qui décrit exactement la forme de la graine de la légumineuse cultivée que les botanistes appellent aujourd'hui *Lens Culinaris* suivi du nom qui lui a été donné en

1787 par Medikus, un botaniste et physicien allemand (Cubero,1981 ; Zaghouna et al., 2018). Du point de vue taxonomique, selon (Ladizinsky et al., 1984 in Zaghouane et al., 2018), la classification de la lentille est la suivante :

- Règne : plantae ;
- Super- division : Spermatophyta ;
- Division : Magnoliophyta ;
- Classe : Magnoliophyta
- Ordre : Fabales ;
- Famille : Fabaceae ;
- Tribu : Vicieae ;
- Genre : Lens ;
- Espèce : culinaris Medik.

II-7. Description de la plante de lentille

Les caractéristiques botaniques des lentilles cultivées peuvent être décrites comme une plante herbacée buissonnante annuelle diploïde $2n= 14$, autogame possédant un système racinaire pivotant portant des nodules qui apparaissent 15 jours après la levée. Le port de la plante peut être érigé, semi érigé ou prostré selon les variétés et les conditions de semis (densité, date et écartement). C'est une plante très ramifiée, légèrement poilue avec des tiges minces atteignant rarement plus de 45 cm et a une croissance indéfinie (Ereskine et al 2009 ; Hamadache, 2014). Les deux premiers nœuds de la tige sont vestigiaux et se situent au niveau du sol ou sous la surface. Si la dormance apicale est brisée ou si les conditions de croissance sont favorables, la plante peut produire jusqu'à quatre rameaux basilaires à partir des bourgeons dormants du deuxième de ces nœuds et jusqu'à cinq rameaux aériens à partir des nœuds situés immédiatement sous la première fleur (Hamadache, 2014).

Les feuilles d'environ 5 cm de longueur, sont alternes composées pennées avec 4 à 8 paires de folioles présentant de courts pétioles et se terminent par des vrilles qui s'enroulent généralement avant la floraison (Figure 3). La couleur des feuilles varie du vert clair au vert bleuâtre. Les feuilles deviennent pourpres en conditions de stress (froid hivernal par exemple) à cause de la production d'une pigmentation anthocyanique (Saxena, 2009 ; Zaghouane et al., 2018).

Les fleurs sont petites (49 mm de long), portées en grappes axillaires (inflorescence) avec un pédoncule mince, un calice campanulé à 5 lobes étroits, tube d'environ 5.5 mm de long, les lobes d'environ 3 mm de long (Figure 4a). Une seule plante peut produire de 10 à 150 pédoncules portant chacun de 2 à 5 fleurs. Le pétale standard peut être blanc, bleu violacé

clair ou blanc veiné de bleu violacé. La première fleur de la tige principale est située à l'aisselle du 11^{ème}, 12^{ème} et 13^{ème} nœud (Hamadache, 2014). L'androcée est constitué de dix étamines minuscules, dont neuf sont soudées entre elles et 1 libre. Le pistil est constitué d'un stigmate, d'un style infléchi et d'un ovaire et ce dernier renferme habituellement deux ovules. La pollinisation a normalement lieu juste avant l'ouverture de la fleur (Saxena, 2009).

Les gousses (fruits) de la lentille sont oblongues, glabres, aplaties, isolées et disposées par paires apparaissent à l'aisselle du 11^{ème}, 12^{ème} et 13^{ème} nœud et des nœuds suivants. Chaque gousse possède un court pédicelle et renferme une ou deux graines rondes aplaties ou oblongues (lentillon) (figure 4b). Le nombre de gousse par pédoncule varie de 1 à 4. Le nombre de gousse par plante varie en fonction de la densité de semis, du génotype et des conditions environnementales (Saxena, 2009).

Les graines ont typiquement la forme d'une lentille, leur diamètre varie de 2 à 9 mm. En fonction de la taille des graines, les lentilles sont classées en deux grands groupes de grandes graines (macrospermes: plus de 50 g pour 1000 graines, cultivées en zone Méditerranées, en Amérique et en Europe) et de petites graines (microspermes: 40 g ou moins pour 1000 graines généralement cultivées au Proche-Orient, au Sub Continent Indien et en Afrique Orientale). La couleur des téguments des graines varie en fonction des génotypes, on peut trouver des lentilles de couleur vert clair à vert pâle, pourpre foncé, mouchetée, grise, brune ou noire. L'amande constituée de deux cotylédons est le lieu de stockage des réserves nécessaires au développement de l'embryon et indispensable à la germination et au développement de la plantule. La couleur des cotylédons peut être verte, orange ou jaune. Le nombre de grains par plante dépend du nombre de gousse par plante. Le poids de cent grains varie entre 2 et 8 grammes (Saxena et Hawtin, 1981).

Selon Zaghouane et al (2018), les lentilles se distinguent par les caractères suivants :

- hauteur de la plante, couleur de la fleur
- nombre de nœuds sur la tige jusqu'à la première fleur
- couleur de la gousse mûre
- précocité de floraison
- grosseur des graines et type de tégument.



Figure 3 : description d'un plant de lentille
https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_cultiv%C3%A9e



(a)



(b)

Figure 4(a, b) : Fleur et gousse d'un plant de lentille

Source : [http : www. gastronomiac. com/xpwp-content/upload/2017/01/plant-et-gousse-de-lentille-jpg](http://www.gastronomiac.com/xpwp-content/upload/2017/01/plant-et-gousse-de-lentille-jpg)



Figure 5 : Culture de lentille au stade floraison (Tahir, 2016).

II- 8 Cycle biologique de développement de la lentille

Le cycle végétatif de la lentille dure de 120 à 150 jours et comprend deux phases :

- Une période végétative s'étalant du semis jusqu'au début de la floraison ;
- Une période reproductive depuis la floraison jusqu'à la formation de la graine (Figure 6). La description des étapes de la croissance végétative de la lentille est basée sur le comptage des nombre des nœuds visibles sur la tige principale jusqu'à la branche primaire de base qui se développe entre le 1^{er} et le 5^{ème} nœud en incluant la feuille la plus élevée (Erskine et al., 1990).

II-8.1- La phase végétative (VE-Vn)

Le zéro de végétation de la lentille est de 4 à 5 °C. La germination est hypogée et se produit dans les 25-30 jours après semis pour les semis d'hivers lorsque la température est inférieure à 10°C. Pour les semis de printemps, lorsque la température oscille autour de 20°C, la germination se produit dans 7 à 9 jours qui suivent le semis.

Les nœuds sont utilisés durant cette phase pour déterminer le stade de développement. Le 1^{er} et parfois le second nœud sont enfuis dans le sol à partir desquels naissent les premières feuilles dites simples. En cas d'accidents climatiques (gelées,...), la

croissance de la plante redémarre à partir de ces deux nœuds. Les premières feuilles bifoliées sont déployées aux 3èmes et 4èmes nœuds. Les premières feuilles multifoliées apparaissent au cinquième nœud. La fixation biologique de l'azote commence dès la formation du 3^{ème} et 4^{ème} nœud (Erskine et al., 1990 ; Hamadache, 2014).

II-8.2- la Phase Reproductive (R1-R8)

La phase reproductive commence par l'apparition des premières fleurs au niveau des nœuds 10 et 11 chez les variétés précoces et 13 et 14 chez les variétés tardives.

La floraison est indéterminée, se produit à partir des bourgeons axillaires sur la tige principale et les branches et commence depuis les nœuds du bas vers les plus élevés c.à.d. depuis les branches les plus basses en remontant progressivement tout au long de la plante et se poursuit jusqu'à la récolte. Cette période est importante, elle détermine la durée de la phase végétative (semis à la floraison) et dure une courte période (Siddiqui et al , 2015). Les fleurs sont auto pollinisées et donnent de nombreuses gousses portant chacune une ou deux graines en fonction des conditions du milieu.

La maturité physiologique est atteinte lorsque les feuilles commencent à jaunir et 50% des gousses ont jaunis. La phase de fabrication du rendement en grain est très importante et est la résultante de deux composantes qui sont le nombre de grains par plant et le poids du grain.

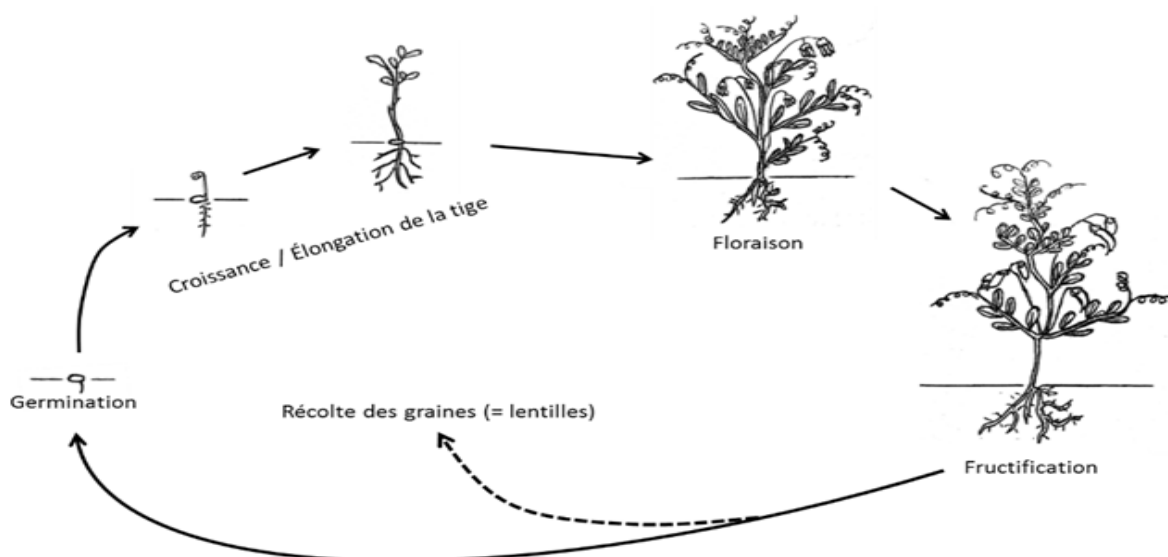


Figure 6: cycle de développement de la culture de Lentille

Source : Atelier DFI-ASTEP : les cycles du vivant : végétaux et animaux. Dfi- astep-grenoble.blogspot.com.

II-9. Les Exigences Ecologiques de la culture de lentille

II-9.1- La température

La lentille est peu exigeante en température, la germination débute à plus de 4°C, la plante pousse à des températures oscillant entre 6 à 26 °C, les semences des variétés à petites graines germent plus vite que les variétés à grosses graines. La floraison nécessite une température comprise entre 14 et 22°C. Elle nécessite des sommes de températures variant de 1500 à 1800°C pour des durées végétatives de 75 à 150 jours (Cammarata, 1997). La lentille craint les basses températures de - 4 et - 5°C et meurt à - 6 ou - 9°C.

Elle est très sensible aux gelées printanières tardives survenant au moment de la floraison et de la formation des grains. Une longue période végétative suivie d'une longue période de floraison garantie souvent un rendement élevé et une qualité supérieure du grain (Shrestha et al., 2006). Une longue période de remplissage du grain assure un poids élevé du grain (Idrissi et al., 2012). La lentille est considérée comme une plante à jours longs (Idrissi et al., 2012).

II-9.2 Sol

La lentille peut se cultiver sur de nombreux types de sol, elle préfère les sols pas trop profonds, perméables et peu calcaires, elle craint les sols lourds alors que les sablo-limoneux sont les plus propices. Les sols à pH de 6,0 à 8,0 sont ceux qui conviennent le mieux à la lentille. La plante ne vit pas dans les sols gorgés d'eau et elle ne tolère ni l'inondation, ni la salinité (Cokkizgin et al., 2013). Les sols trop fertiles sont à éviter car ils favorisent le développement végétatif et la verse de la plante. La lentille a des besoins relativement élevés en phosphore car cet élément favorise le développement d'un système racinaire étendu et d'une plantule vigoureuse et joue en outre un rôle important dans la fixation de l'azote. En général, l'application d'un engrais azoté (N) n'est pas requise, si la fixation de cet élément est optimisée (Cammarata, 1997).

II- 9.3 Humidité

La lentille comme de nombreuses espèces de légumineuses alimentaires sont résistantes à la sécheresse, elles peuvent être cultivées dans les zones arides recevant de faibles pluviométries souvent irrégulières de l'ordre de 300 à 450 mm par an, néanmoins, elle est très sensible à la sécheresse durant la phase de reproduction notamment durant la de rendement. Lorsque la sécheresse parvient à l'état de plantule, elle peut entraîner le nanisme

floraison, la formation des gousses et la formation des grains provoquant une perte importante de rendement. Lorsque la sécheresse parvient à l'état de plantule, elle peut entraîner le nanisme de la plante et une réduction du rendement. Par contre, si la pluie tombe au bon moment, soit juste avant la floraison et durant les trois semaines suivantes, le rendement en grain sera supérieur à la moyenne (Idrissi et al., 2015).

II-10. Conduite et mise en place de la lentille

II-10.1 Place de la lentille dans la rotation

Comme toutes les espèces légumineuses, elle offre des possibilités intéressantes en agriculture biologique en termes de gestion de fertilisation azotée, de l'enherbement et de la structure des sols. Implantée avant un blé, elle permet de réduire la fertilisation grâce à de ses restitutions importantes. Selon Hammadache (2014), trois types de rotations peuvent être pratiqués :

- Rotation biennale : Lentille-blé ;
- Rotation Triennale : Lentille- Blé- orge ou avoine ;
- Rotation quadriennale : Lentille- orge- Jachère-Blé.

II-10 .2 Préparation du sol

Un labour peu profond (15-25cm) est suffisant avec des outils à soc (charrue à soc) ou à dents (cultivateur ou chisel) suivi d'un hersage avant semis afin d'ameublir et d'affiner le lit de semence et d'éviter les cailloux pendant la récolte. Le passage d'un rouleau après semis est conseillé pour assurer une levée homogène (Hamadache, 2014).

II-10.3 Période de semis

La lentille est une culture d'hivers semée en automne et récoltée en été où elle bénéficie des conditions hivernales froides et humides, elle peut être semée au printemps mais les semis tardifs peuvent diminuer les rendements (Idrissi et al., 2012). Les semis précoces nécessitent un matériel végétal bien adapté aux conditions hivernales et une phénologie adapté à ce cycle de culture en particulier le moment de la floraison afin d'éviter les gelées printanières tardives et la sécheresse de fin de cycle (Zaghouane, 2001).

II- 10 .4 Le semis :

Le semis peut être réalisé avec un semoir en ligne ou à la volée à une profondeur de 2 à 3 cm. Le passage d'un rouleau après semis est indispensable pour favoriser un bon contact sol-graine et assurer une levée homogène (Hamadache, 2014).

II-10 .5 La densité de semis

La densité de semis est un facteur important dans la réalisation de rendements potentiels car elle affecte directement la croissance des plantes et leur développement (Saleem et al., 2012). Les densités élevées sont à éviter car elles conduisent à de fortes concurrences entre les plantes et augmentent le risque de maladies et de verse d'où l'intérêt d'augmenter les écartements entre ligne de semis (40 cm). Les faibles densités ne sont pas désirables (utilisation inefficace des ressources) et produisent de faibles rendements. Les doses recommandées sont de 300 à 350 gr/m² soit 60 à 80 kg/ha pour les variétés à petites graines et de 200 gr/m² (140 à 180 kg/ha) pour les variétés à grosses graines (Hamadache, 2014).

II- 10.6 Fertilisation

Les besoins de la lentille en éléments fertilisants pour produire une tonne de produit sont de

- 8 kg d'N
- 16 kg de P₂O₅
- 6 kg de K₂O

La lentille a des besoins relativement élevés en phosphore car cet élément favorise le développement d'un système racinaire étendu et d'une plantule vigoureuse et joue en outre un rôle important dans la fixation de l'azote. L'apport azoté sert seulement pour favoriser la croissance des semis précoces en conditions froides et humides (Cammarata, 1997).

II-10.7 La protection phytosanitaire

II- 10.7.1 Contrôle des mauvaises herbes

Les mauvaises herbes constituent un problème important pour les producteurs de lentille. Les plantules de lentille sont plus courtes et poussent plus lentement que celles de nombreuses mauvaises herbes et ont donc une capacité de compétition très médiocre. Les mauvaises herbes induisent des pertes de rendement atteignant les 84%. Deux moyens de lutte peuvent être utilisés : lutte chimique et lutte intégrée (Thomson et al., 1997).

II- 10.7.2 Protection contre les maladies et les ravageurs

- **Maladies cryptogamiques**

Parmi les principales maladies de la lentille, on cite :

- La rouille (*Uromycesviciae-fabae*) ;
- L'ascochytose (*Ascochytafabaeef.sp.lentis*) ;

- L'ascochytose (*Ascochyta fabae f. sp. lentis*) ;
- La pourriture grise (*Botrytis cinerea*) ;
- La fusariose (*Fusarium oxysporum f. sp. lentis*) ;
- L'antracnose (*Collectotrichum* sp.). (Bejiga, 2006 in Hamadache, 2014).

Les moyens de lutte consistent à l'application de fongicides en végétation, en traitement de semences et l'utilisation de matériel végétal résistant.

- **Les insectes**

Parmi les insectes ravageurs de la lentille on cite l'orobanche et la Cuscute. La lutte chimique constitue le meilleur moyen d'éradiquer ces insectes des champs de lentille (Bejiga, 2006 in Hamadache, 2014).

II-10.8 La récolte

La récolte est l'une des étapes les plus importantes du cycle de la culture. Une récolte précoce est recommandée, tout retard peut entraîner des pertes par la verse, l'égrenage ou la chute des gousses. La récolte est réalisée lorsque les plantes commencent à jaunir et que les gousses inférieures brunissent. Elle peut être manuelle (arrachage) ou mécanique (à la moissonneuse batteuse) (ITGC, 2011).

Partie

Expérimentale

Chapitre 1

Matériels et Méthodes

I- 1Essai en plein champ 2015/2016

I-1-1 Objectif

L'essai en plein champs 2015/2016 a pour objectif **d'évaluer le comportement** de quatre variétés de lentille à la sécheresse terminale de fin de cycle à travers l'étude de certains mécanisme de tolérance en l'occurrence ceux liés à la phénologie, la morphologie et la physiologie de la culture, **d'étudier l'effet du stress hydrique sur l'élaboration du rendement** et de ses composantes en conditions pluviales et irriguées ainsi **d'étudier l'effet de la date de semis et de l'irrigation d'appoint** (irrigation supplémentaire aux précipitations) sur le rendement de la lentille.

I-1-2 Matériel végétal

Le même matériel végétal a été utilisé dans les deux essais conduits en plein champs et l'essai en milieu contrôlé. Il est constitué de quatre (04) variétés de lentille (*Lens culinaris* Medik *culinaris* ssp) sélectionnées au niveau des fermes de démonstration et de production des semences de l'institut technique des grandes cultures ITGC et qui sont produites et commercialisées à travers les différentes zones pédoclimatiques de l'Algérie. Ces variétés diffèrent par leur origine géographique et leur réponse au déficit hydrique. Il s'agit de Syrie 229 et Balkan 745 provenant de l'ICARDA (Syrie), la large blonde Métropole introduite de France durant la période coloniale et Ibela provenant de l'Espagne. Les caractéristiques Agronomiques du matériel végétal testé sont présentées dans le **Tableau 2**.

Tableau 2 : origine du matériel végétal testé

Génotypes	Origines	Caractéristiques Agronomiques	Sensibilité à la sécheresse
Syrie 229	Icarda (syrie)	Précoce, port dressé, grain rond (microsperma), jaune vert à rendement moyen, PCG< 4 g	Moy tolérante
Metropole	France	Semi tardive, port dressé, grain rond (macrosperma) à rendement élevé, PCG>6g	Tolérante
Balkan 755	Icarda (syrie)	Semi tardive à tardive, port dressé, large grain marron à rendement moyen, PCG>6g	Sensible
Ibela	Espagne	Semi précoce, port dressé, grain large vert pale à rendement moyen, PCG>6g	Moy tolérante

PCG : poids de 100 grains

(Source : Hamadache, 2014)

I-1-3 Localisation du site expérimental

La première expérimentation en plein champs a été conduite au niveau de la ferme de démonstration et de production des semences de l'institut technique des grandes cultures ITGC de Sebaine Tiaret localisée au niveau du village agricole Sebaine situé à 35 km de la wilaya de Tiaret ouest de l'Algérie sur le site de coordonnées géographiques 35°27'37''N de Latitude, 1°36'7''E de Longitude et 909 m d'altitude durant la campagne agricole 2015-2016 pendant la période s'étalant de Décembre à Juin.

I-1-4 Caractéristiques pédoclimatiques du site expérimental**I-1-4-1 Caractérisation du sol**

Avant les semis, un échantillonnage du sol a été effectué à l'aide d'une tarière à une profondeur de 0 à 20 cm. Les échantillons de sol ont été séchés et tamisés avec un tamis à mailles de 2 mm pour la détermination des propriétés physiques et chimiques. Les analyses de sol sont réalisées par le laboratoire sol de l'ITGC Alger et les résultats sont présentés dans le Tableau 7.

I-1-4-2 Les conditions climatiques

La campagne 2015-2016 a été caractérisée par un hiver très arrosé avec 155.2 mm de cumul pluviométrique avec absence des pluies durant le mois de Décembre (Tableau 4 et Figure 7) et une baisse des températures minimales atteignant un seuil de 0°C où 29 jours de gelées ont été enregistrées avec 03 jours de neige en Février. Les températures maximales ont été supérieures à la température saisonnière et ont atteint un seuil de 16 °C (Tableau 5). Le printemps a été marqué par un cumul pluviométrique de 85.7 mm et des températures fluctuant entre un minimum de 2.32 °C à 8.56 et un maximum de 13.68°C à 24.27°C. Il est à noter que les gelées survenant la fin Avril début Mai ont coïncidé avec la floraison des cultures et ont causé la coulure des fleurs d'où une perte importante de rendement. La période estivale a été plutôt sèche avec une hausse des températures maximales ce qui a accéléré la maturité des cultures et le déclenchement des récoltes.

Tableau 4 : précipitations enregistrées durant la campagne 2015-2016.

Période	Mois	Cumul pluviométrique (mm)
Période hivernale	21 Décembre-21 mars	155.2
Période printanière	21 Mars - 21 juin	85.7
Période Estivale	21 juin – 21 aout	7.3

Source : Station météorologique IMETOS fdps Sebaine.

Tableau 5 : Températures enregistrées durant la campagne 2015-2016.

Mois	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	juin	Juillet
Tmini °C	0.74	2.25	3.41	2.32	5.63	8.56	12.90	17.60
Tmax °C	16.21	14.79	13.89	13.68	19.90	24.27	30.40	35.65
Tmoy °C	8.98	8.52	8.64	8.00	12.77	16.42	21.65	26.66

Source : Station météorologique IMETOS fdps Sebaine

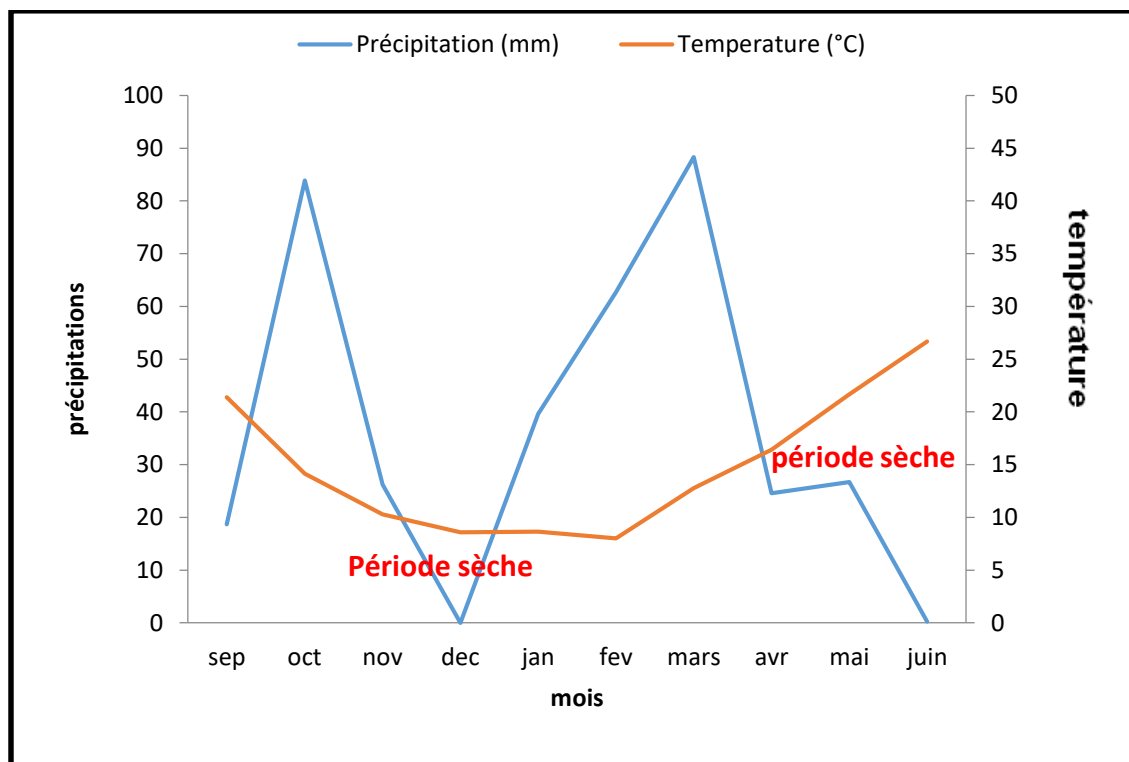


Figure 07: diagramme Ombrothermique de la campagne 2015/2016.

I- 1-4-3 Préparation du sol

Le sol a subi un labour profond (Aout 2015) avec une charrue à disque à une profondeur de 25 cm. Le lit de semence a été nivelé avec un Recroisage au Cover Crop puis un hersage pour détruire les mottes. Une fertilisation de fond a été apportée à la dose de 100 et 50 kg/ha en utilisant du TSP (Triple super phosphate) et du K₂O (Potassium sulfate). Une fertilisation azotée avec de l'Urée 46% a été apportée à la dose de 40 kg/ha au stade ramification. Les dates des différentes opérations culturales pratiquées sont présentées sur le **Tableau 6**.

Tableau 6: Dates de réalisation des opérations culturales

Opérations	Essai date 1	Essai date 2	Essai date 3
Labours profond (Charrue à disque)	03.08.2015	//	//
Recroisage Cover crop	04.12.2015	1 ^{er} 04.12.2015 2 ^{ème} 25.01.2016	15.02.2016
Fertilisation de fond TSP + K ₂ O	04.12.2015	25.01.2016	15.02.2016
Hersage Auto herse	08.12.2015	26.01.2016	-
Roulage Rouleau croskill	10.12.2015	Sol humide	Sol humide
Désherbage post semis au Gesagard 3l/ha	10.12.2015	27.01.2016	16.02.2016
Binage manuel	1 fois /semaine	1 fois /semaine	1 fois /semaine
Fertilisation azotée (Urée 46%)	Stade ramification	Stade ramification	Stade ramification

I-1-4-4 Mise en place et dispositif expérimental

Le même matériel végétal est utilisé dans les trois essais en plein champs et en milieu contrôlé. L'expérimentation a été conduite selon 03 dates de semis afin d'étudier la plasticité de la phénologie des variétés étudiées à éviter les périodes de stress.

Le dispositif expérimental est un factoriel en bloc à 3 facteur avec 3 répétitions (Figure 8a, b) où La date de semis représente le facteur 1 avec 3 niveaux : **Date 1, Date 2 et Date 3**. Le régime hydrique est le deuxième facteur avec 02 niveaux (**pluvial et irrigué**) et le facteur 3 est représenté par les quatre variétés. La semence est préalablement traitée avec un fongicide Apron Star à la dose de 250 g/quintal afin de prévenir toute infestation par les maladies.

Le semis a été réalisé manuellement à une profondeur de 04 cm et à une densité de semis de 200gr/m² le **09.12.2015**, **27.01.2016** et le **16.02.2016** respectivement sur des parcelles élémentaires de 6m² (5x1.2m) avec 04 lignes de semis par variété séparés par 30 cm. Les blocs sont espacés de 1m, les lots irrigués et pluvial par 1.5 m et les essais dates par 2 mètres.

Un roulage a été effectué après semis pour assurer une bonne adhérence sol – graines. Un désherbage en post semis a été pratiqué au Gésagarde (un herbicide double action) à la dose de 3 litre /ha afin de prévenir une infestation précoce par les mauvaises herbes.



(a)

Le mois de Décembre était pratiquement sec, pour assurer une levée homogène dans l'essai date 1, les deux lots irrigués et pluvial ont été irrigués. L'irrigation a été déclenchée dans le lot irrigué dès le début de la floraison (apparition de la 1^{ère} fleur) jusqu'au stade fin remplissage avec 3 apports par semaines en utilisant des asperseurs.



(b)

Figure 08 (a, b) : Dispositif expérimental de l'essai en plein champs (2015/2016)

La récolte a été réalisée manuellement par arrachage le 07, le 08. et le 09.06.2016. Les gerbes ont subi un battage manuel et les grains obtenus de chaque parcelle élémentaire sont pesés pour estimation du rendement en grains puis mis à l'étuve à 65°C pendant 72 heures. Les grains séchés ont été réduits en fine poudre dans un broyeur puis conservés au réfrigérateur pour le dosage du Potassium, du Sodium et du Calcium.

I-1-5 Les paramètres mesurés

I- 1-5-1 Les paramètres liés à la phénologie de la culture, particulièrement ceux liés à la phase de reproduction :

- Nombre de jours à la floraison **NJF** : du semis à la floraison (50% des plantes ont fleuri)
- Nombre de jours à la formation des gousses **NJFG** : du semis à la formation des gousses (50% des plantes sont à ce stade).
- Nombre de jours à la formation des graines **NJFGGr** : du semis à la formation des graines (50% des plantes sont à ce stade).
- Nombre de jours à la maturité **NJM**: du semis à la maturité.

I-1- 5- 2 Les paramètres morphologiques**I-1-5-2-1 La hauteur des plantes HP (cm)**

La hauteur a été mesurée sur 5 plantes prises au hasard au stade pleine floraison début formation des gousses à partir de la base du sol jusqu'à la dernière feuille en utilisant une règle graduée.

I-1-5-2-2 La surface foliaire SF (cm²)

La surface des feuilles a été mesurée directement par un Area meter (AAM-8) avec une résolution de 1 cm².

I-1-5-2-3 Le nombre d'étages foliaires NEF ou NEN

Le nombre d'étages foliaire est déterminé par le comptage des nœuds sur la tige principale à partir de la base jusqu'à la dernière feuille.

I-1-5-2-4 Le diamètre de la tige DT (mm)

Le diamètre de la tige a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse en mm.

I-1- 5-2-5 Le nombre de bouquets floraux par plante NBF/P

Obtenu par le comptage des bouquets floraux de 05 plantes prises au hasard.

I-1-5-2-6 Le nombre de fleurs par plante NF/P

Obtenu par le comptage du nombre des fleurs sur les mêmes plantes utilisées pour le comptage des bouquets floraux.

I-1-5-3 Les paramètres physiologiques**I-1-5-3-1 La teneur relative en eau TRE %**

Mesurée sur les feuilles les plus jeunes au stade fin floraison dans les deux lots pluvial et irrigué pour chaque date de semis. Les feuilles sont prélevées au point d'insertion et immédiatement pesées pour donner le poids initial **Pi**. Elles sont trempées par leur partie sectionnée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée, l'ensemble est placé à l'obscurité à une température de 4 °C pendant 24 heures. Après obtention de la pleine turgescence, les feuilles sont délicatement essuyées avec un papier buvard et pesées à nouveau, c'est le poids de la pleine turgescence **Ppt**. Les feuilles sont enfin placées dans une étuve pendant 48 heures à une température de 80 °C et le poids sec est déterminé (**Ps**). La teneur relative en eau RWC est obtenue par l'équation de **Clarke et Mc Caig (1982)** :

$$TRE \% = ((Pi - Ps) / (Ppt - Ps)) \times 100$$

I-1-5-3-2 Le taux de déperdition RWL

Mesuré sur les mêmes échantillons utilisés pour la détermination de la teneur relative en eau. Les feuilles pesées à pleine turgescence dans la méthode précédente avec un poids **Ppt** sont maintenues dressées aux conditions du laboratoire (22 - 25 °C), puis elles sont pesées après 60 mn afin d'estimer le taux de transpiration stomatique **RWL**. La surface foliaire **SF** a été mesurée en cm². Le taux de déperdition RWL est donné par la formule de **Clarke et al (1982)** :

$$RWL (mgH_2O/cm^2/mn) = \frac{P_{pt} - P_{\text{temps}}}{SF * 60mn}$$
I-1-5-3-3 Le poids spécifique foliaire PSF (g/cm²)

Obtenu par le rapport de la matière sèche des feuilles utilisées dans les méthodes précédentes (TRE et RWL) et la surface foliaire correspondante par la relation suivante :

$$PSF \left(\frac{g}{cm^2} \right) = MS/SF$$

I-1-5-4 Le Rendement et les composantes de rendement**I-1-5-4-1 Le nombre de gousses par plante NGS**

Obtenu par la moyenne des gousses de cinq (05) plantes choisies au hasard.

I-1-5-4-2 Le nombre de grains par plant NGR

Obtenu à partir de la moyenne des graines des cinq plantes.

I-1-5-4-3 Le rendement en grain RDG qx/ha

Obtenu par la pesée des grains issus du battage des gerbes de chaque parcelle élémentaire en g/m² puis convertit en quintaux à l'hectare.

I-5-4-4 Le poids de cents grains PCG (g)

Obtenu par la pesée de 100 graines comptées au Numigral à l'aide d'une balance de précision.

I-1- 5-6 Dosage des cations K⁺, Na⁺ et Ca⁺⁺

Les éléments K⁺, Na⁺ et Ca⁺⁺ ont été déterminés selon la méthode décrite par **Lafon et al (1996)** qui consiste à incinérer 500mg à 1 gramme de la farine des grains de lentille broyés dans un four à moufle à 500 °C pendant 5 heures.

A la fin de l'incinération et après refroidissement, les creusets contenant les cendres sont pesés pour estimation de la matière minérale puis humidifiés avec 2ml d'acide nitrique absolu HNO₃ qui est mis en évaporation sur bain de sable ensuite 1ml d'acide Chloridrique Hcl 6N est ajouté au contenu de chaque capsule qui est rincé à l'eau distillée puis filtré à travers un papier filtre Wattman puis complété au trait de jauge dans des fioles de 50ml avec de l'eau distillée.

Le dosage des 03 cations est réalisé par photométrie à flamme (Photomètre à flamme digital PFP7 JUNWAY). Les densités optiques ont été converties en fonction de la masse de l'échantillon et du volume de dilution, les teneurs en potassium, sodium et calcium ont été exprimées en meq/100mgMS.

I-2 Expérimentation en milieu contrôlé 2016/2017

I-2-1 Objectif

L'expérimentation en milieu contrôlé a pour objectif **d'évaluer le comportement** de quatre variétés de lentilles en conditions de déficit hydrique appliqué à partir du stade floraison et **d'identifier les caractères impliqués** dans la tolérance au stress hydrique de fin de cycle,

I-2-2 Localisation de l'essai et protocole expérimental

L'expérimentation en milieu contrôlé a été menée dans une serre semi-automatique au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'Université IBN KHALDOUN de Tiaret durant la campagne 2016/2017.

Les grains de lentille sont mis en germination dans des boîtes de pétri, après apparition de la racine, les plantules sont repiquées dans des cylindres en PVC de 50 cm de longueur et de 8 cm de diamètre à raison de 04 plantules par cylindre le 17/12/2016. Le substrat utilisé est composé d'un mélange de sable, de sol et de terreau aux proportions : 2 : 1 : 1.

Les cylindres sont disposés en blocs randomisés avec quatre répétitions et deux régimes hydriques sont appliqués (Figure 9):

- * Un irrigué durant tout le cycle (sans déficit hydrique) **SDH**
- * Un stressant dès le début de la floraison (avec déficit hydrique) **ADH**.

A partir de l'apparition de la première fleur, les blocs irrigués continuent d'être arrosés durant tout le cycle et cela 3 fois par semaine à la dose de 250 ml alors que les blocs stressés reçoivent une faible irrigation une fois par semaine à une dose de 210 ml (les doses d'irrigation sont déterminées par pesée des cylindres par rapport à la capacité au champ CC qui est de 36%). L'eau d'irrigation est remplacée par une solution nutritive d'AUGLAND (voir composition tableau 6 annexes).



Figure 9 : Dispositif expérimental de l'essai en milieu contrôlé

I-2-3 Les paramètres mesurés

I-2-3-1 Les paramètres physiologiques

- **La teneur relative en eau TRE ou RWC en %**
- **La perte d'eau par transpiration RWL en mg /cm².60mn**
- **La surface foliaire SF en cm²**
- **Les pigments chlorophylliens**

Les pigments de la chlorophylle a et de la chlorophylle b ont été déterminés par la méthode d'Arnon (1949) utilisée par Chabalah et al., (2005).

100 mg de matière fraîche des feuilles ont été introduites dans des tubes à essai contenant 10 ml d'acétone à 95% et mis à l'obscurité à 4°C pendant 24 heures. L'Absorbance est lue à 663, 645 et 470 nm par un spectrophotomètre OPTIZEN. La teneur en chlorophylle a été exprimée sur la base MF (mg/ml) à l'aide de la formule suivante:

$$Chl a = 9.78 \times Do_{663} - 0.99 \times Do_{645}$$

$$Chl b = 21.42 \times Do_{645} - 4.65 \times Do_{663}$$

I-2-3-2 Paramètres biochimiques de la feuille

Le comportement des génotypes en réponse à la contrainte hydrique a été apprécié par le dosage de certains paramètres biochimiques : l'accumulation de la proline et des sucres solubles dans les feuilles.

I-2-3-2-1 Le dosage de la proline

Le dosage de la proline est réalisé selon la méthode de **Troll et Lindsley (1955)** améliorée par **Lahrer et Magne** cité par **Leport, (1992)**.

L'échantillon végétal (100mg de matière sèche de l'avant dernière feuille) est traité par l'éthanol à 40% puis chauffé au bain marie à 85°C pendant 10 minutes. Puis, 1 ml d'extrait est mélangé à 1ml d'un soluté composé d'eau distillée, d'acide acétique (60%) et de ninhydrine (500mg/100ml), L'ensemble est chauffé au bain marie à 92 °C pendant 25mn, On laisse refroidir puis on ajoute 3 ml de toluène, on agite puis on laisse reposer à l'obscurité pendant deux heures. La densité optique est lue à 528 nm au spectrophotomètre UV 1200. Les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalon construite à partir d'échantillon de proline à quantités connues (100, 200, 300, 400 et 500 mg de proline pure) (Figure10 Annexes).

I-2-3-2-2 Le dosage des sucres solubles

Les sucres solubles sont déterminés selon la méthode de **Schiels et Burnett (1960)** utilisée par **REKIKI (1997)**.

L'extraction des sucres solubles (glucose, fructose, saccharose) se fait par macération de 100 mg de matière végétale sèche dans 2,5 ml d'éthanol à 80% pendant 12 h (réactif A). Le réactif B est préparé 4h avant le dosage avec un (1g) gramme d'Anthrone dissout dans un (01) litre de H₂SO₄. Le réactif A est dilué 10 fois avec de l'éthanol puis on lui ajoute 4 ml de réactif B, le tout est maintenu dans un récipient d'eau glacée (réaction exergonique). Après agitation, les tubes sont mis dans un bain marie à 92°C pendant 10mn. Après refroidissement à l'obscurité, La densité optique est lue à 580nm de longueur d'onde au spectrophotomètre UV 1200. Les valeurs obtenues sont reportées sur la courbe d'étalon construite à partir

d'échantillon de glucose à quantités connues (20, 40, 60, 80 ,100 et 120 mg de glucose pur) (Figure 11 voir Annexes).

I-3 Expérimentation en plein champs 2016/2017

I-3-1 Objectif

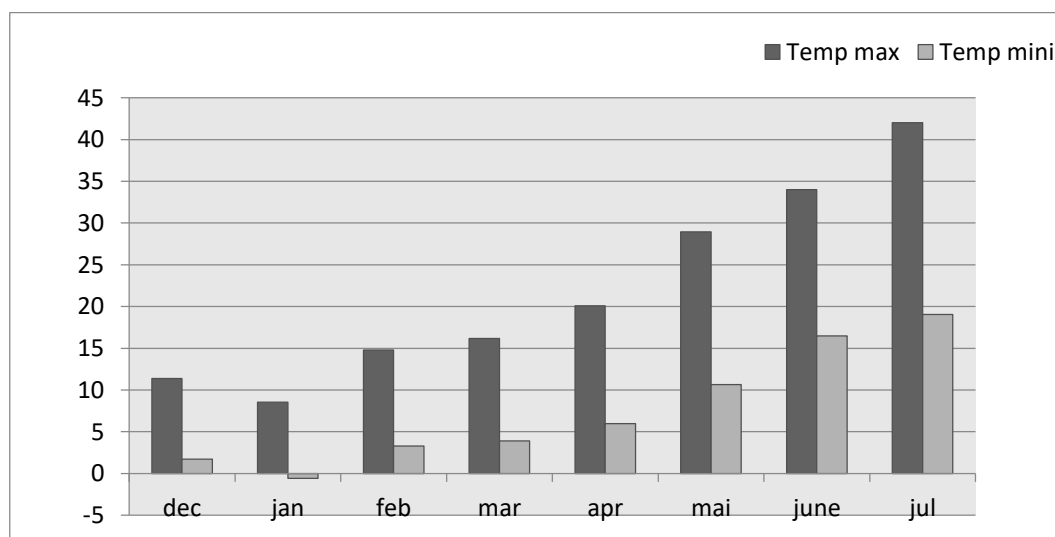
Le deuxième essai en plein champs est **une confirmation des résultats** des essais précédents et vise également l'étude de l'effet du stress hydrique de fin de cycle sur **la remobilisation des réserves vers la graine**, de ce fait, la composition chimique des grains de lentille en protéines, en amidon et en certains minéraux a été étudiée.

I-3-2 Localisation du site expérimental

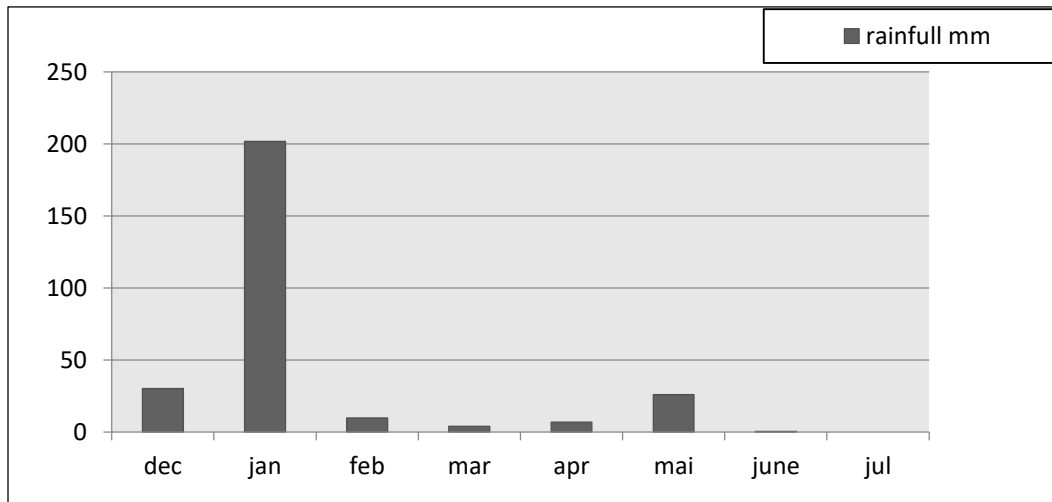
Le deuxième essai en plein champs a été aussi mis en place au niveau de la ferme de démonstration et de production des semence de l'institut technique des grandes cultures ITGC de Sebaine Tiaret sur un autre site avec les coordonnées géographiques 35°27'24.37" Nord de Latitude, 1°36'15.59" Est de Longitude et 907 mètres d'Altitude. Cette zone reçoit annuellement des précipitations inférieures à 400 mm.

I-3-3 Conditions climatiques du site expérimental

La campagne agricole du site expérimental au cours de l'année 2016/2017 a été caractérisée par un hiver humide et froid ; le mois de janvier a été très pluvieux avec un cumul pluviométrique de 201mm et une température moyenne de 3,98°C. Le printemps a été marqué par un déficit hydrique s'étalant de Février à Juillet. Les mois de Mars et Avril ont été presque secs (4mm et 6,8mm respectivement), ensoleillés avec une dominance de vents secs qui ont asséché les sols en surface. Les températures mensuelles, minimales et maximales ainsi que les précipitations (Figure 12a, b et 13) sont suivis par une station météorologique IMETOS située sur le site expérimental.



(a)



(b)

Figure 12 (a, b) : Situation climatique durant la période expérimentale 2016/2017 sur le site de Sebaine

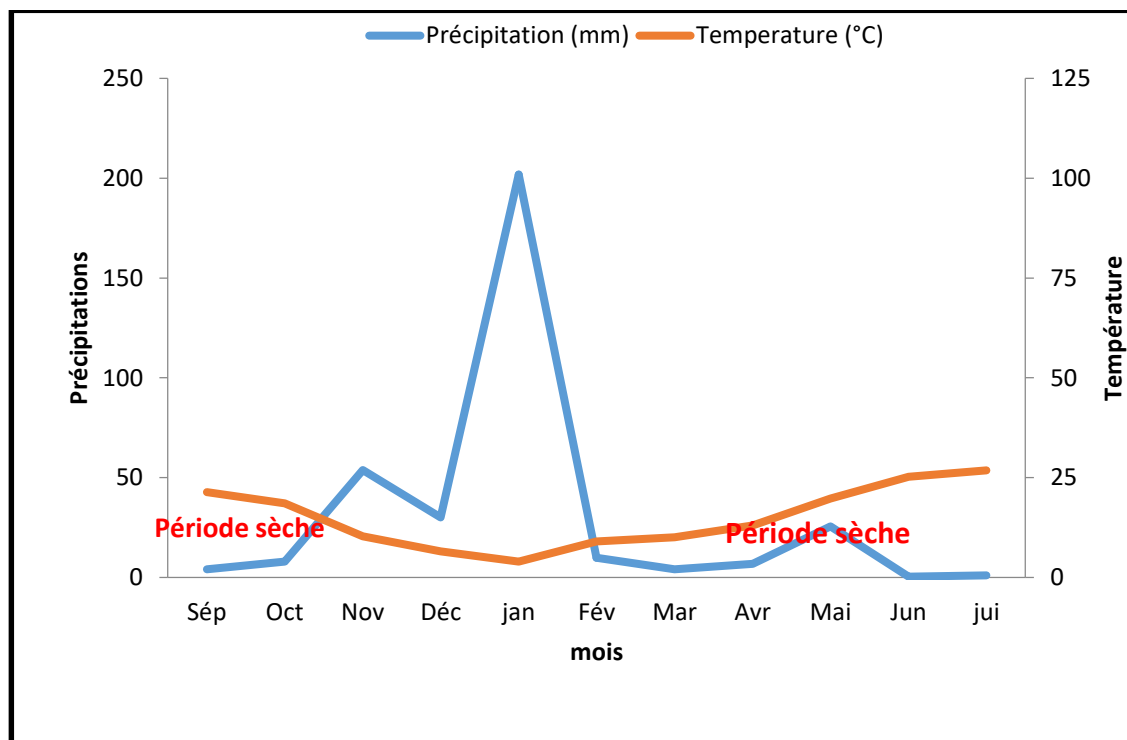


Figure 13 : Diagramme Ombrothermique de la campagne 2016/2017

I-3-4 Caractéristiques du sol

Avant les semis, un échantillonnage du sol a été effectué à l'aide d'une tarière à une profondeur de 0 à 20 cm. Les échantillons de sol ont été séchés et tamisés avec un tamis à

mailles de 2 mm pour la détermination des propriétés physiques et chimiques. Les analyses de sol sont réalisées par le laboratoire sol de l'ITGC Alger. Les résultats d'analyses sont présentés sur le **Tableau 7**.

I-3-5 Préparation du terrain et mise en place

Le sol a été préparé par un labour profond avec une charrue à soc suivi d'un passage de cover crop, nivelé avec une herse rotative. Avant hersage, une fertilisation de fond avec du triple super phosphate (TSP) et du sulfate de potassium (K_2O) a été apportée à la dose de 100 et 50 Kg.ha⁻¹ respectivement. Une fertilisation azotée avec de l'Urée 46% (40 kg.ha⁻¹) a été ajoutée au stade ramification de la culture.

L'expérimentation a été menée selon un dispositif factoriel en bloc complètement randomisés à deux facteurs et à quatre répétitions sur un précédent céréale (blé dur). Les facteurs étudiés comprennent le régime hydrique à deux niveaux (**IRR** : irrigué de la floraison au stade du remplissage des graines, **PL** : pluvial) et les variétés à quatre niveaux (syrie229, Metropole, Balkan 755 et Ibela) (Figure 14a).

La semence des variétés de lentilles a été préalablement traitée avec un fongicide (Apron Star 250 g/100 kg) pour prévenir l'infestation par les parasites et les maladies du sol. Le semis a été réalisé le 15 décembre 2016 à une densité de 200 grains/m² soit 80 kg /ha pour les petites graines (microsperma) et 125 à 140 kg /ha pour les grosses graines (macrosperma) à 4cm de profondeur à l'aide d'un semoir expérimental en ligne. Chaque parcelle élémentaire a 6m² de dimensions (5m de long et 1,2m de large) et quatre lignes de semis séparées par 30 cm (figure 14b).

Chaque variété est répétée quatre fois dans chaque traitement hydrique. Les parcelles et les blocs ont été séparés par des espaces de 1,5 m. Un roulage a été effectué après le semis pour assurer une bonne adhérence sol-graines. Un désherbage en post-semis au Gesagard à la dose de 3l/ha a été effectué pour prévenir l'infestation précoce des mauvaises herbes.

Dans la parcelle irriguée, l'irrigation a été déclenchée au début du mois de Mars, coïncidant avec le début de la floraison, avec trois apports d'eau par semaine maintenant l'humidité du sol à 100 % de sa capacité au champ (l'irrigation a été réalisée par arrosage d'un tuyau branché à une citerne de capacité 1000 litres et muni d'un moteur).

L'irrigation est arrêtée au stade formation des graines et le début de sénescence des feuilles. Un désherbage manuel a été appliqué selon la nécessité.



(a)



(b)

Figure 13 (a, b): Dispositif expérimental de l'essai 2016/2017

I-3-6 Récolte et analyses

A maturité, les plantes de chaque parcelle élémentaire ont été récoltées le 8 juin 2017 manuellement (par arrachage, ce qui a entraîné des pertes par égrenage), puis battues à l'aide

d'une batteuse à épis. Les graines ainsi obtenues ont été pesées pour donner le rendement en grains réel puis mis à l'étuve à 65°C pendant 72 heures puis stockés à 4°C. Avant l'analyse, les grains sont réduits en une fine poudre utilisée par la suite pour l'analyse des protéines totales, de l'amidon et des minéraux.

I-3-7 Les paramètres mesurés

I-3-7-1 Les paramètres physiologiques

- La teneur relative en eau (**TRE**)
- Le taux de déperdition (**RWL**)

I-3-7-2 Les paramètres morphologiques

- La hauteur des plantes **HP**
- Le nombre des entre nœuds **NEN**
- La surface foliaire **SF**

I-3-7-3 Le rendement en grains et les composantes de rendement

- Nombre de gousses/plante **NGS**
- Nombre de grains/plante **NGR**
- Poids de cents grains **PCG**
- Rendement en grains **RDG**

I-3-7-4 La composition chimique des grains de Lentille

I-3-7-4-1 dosage des protéines totales dans les grains

La teneur en protéines totales a été calculée en multipliant le pourcentage d'azote par le facteur 6,25. La teneur totale en azote dans les grains de lentille a été déterminée selon la méthode de Kjeldahl, telle que décrite dans le manuel de l'appareil de Kjeltex 1002, Manuel partie N° 1000 1535, Técator AB.

500 mg de grains finement broyés sont placés dans des matrasses contenant de l'acide sulfurique concentré en présence d'un mélange de catalyseurs (sulfate de cuivre, sulfate de potassium et sélénium 2 : 2 : 0.17) à 400 ° C où l'azote organique est transformé en azote ammoniacale (**la minéralisation**). L'ammoniac généré a été absorbé par une solution d'acide borique 4% et un mélange d'indicateurs (rouge de méthyle et vert de bromocrésol) à travers l'ampoule de distillation (**1002 Distilling Unit**). Les ions ammonium ont été titrés avec de

l'acide chlorhydrique 0.05 N jusqu'au virage de la couleur. Un témoin (sans échantillon) est réalisé dans les mêmes conditions.

Sachant qu'il y a environ 14grammes d'azote dans le tissu végétal pour chaque mole d'acide chlorhydrique. Le % d'azote Total est déterminé par la relation suivante :

$$N\% = 14.01 * (Ve - Vt) * M / P * 10$$

$$P\% = N\% \times 6.25$$

Avec :

Ve = Volume d'acide chloridrique utilisé pour le titrage de l'échantillon

Vt = Volume d'acide chloridrique utilisé pour le titrage du témoin

M = Molarité de l'acide chloridrique

P = Prise d'essai

6.25 : coefficient spécifique pour la matière végétale.

I-3-7-4-2 La teneur en Amidon

L'amidon a été déterminé selon les méthodes de **Thivend et al (1965)**. Un échantillon de 100 mg de la poudre des grains de lentille a été homogénéisé dans des tubes à essai avec 5 ml de KOH 1N puis neutralisé avec 5 ml d'acide chlorhydrique 1N. Le mélange a été mis en ébullition dans un bain-marie pendant 10mn et réajusté à 10ml avec de l'eau distillée, après centrifugation, le surnageant a été recueilli au quel est ajouté 0.1 ml du réactif I₂/KI (0.2g de I₂ dissous dans 100 ml de KI à 2%) pour déterminer l'amidon par spectrométrie UV à 580 nm. Un essai à blanc est préparé en présence d'amidon standard, puis analysé dans les mêmes conditions.

I-3-7-4-3 La teneur en Minéraux

Les ions minéraux ont été analysés selon la méthode utilisée par **McClean et al (2017)**. Un échantillon de 0,5 g de poudre de lentille a été incubé dans des tubes en téflon avec de l'acide nitrique pendant une nuit à température ambiante, puis mis en digestion à température croissante pendant une heure. Après digestion, les tubes sont refroidis et du peroxyde d'hydrogène à 30% a été ajouté puis mis en incubation pendant 2 heure à 125°C . Les échantillons ont été séchés à 200°C puis refroidi et remis en suspension dans du HNO₃ à 2% puis filtré à travers un filtre sans cendres. Le filtrat a été récupéré pour le dosage des minéraux. Les ions : Ca, K, Mg, Na et P ont été analysés par spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES, ICAP 6300 marque Thermo Fisher) (l'analyse des minéraux a été réalisée par le laboratoire du groupe Fertial de Annaba Algérie).

I-4 Analyse statistique

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (logiciel STAT- BOX version 8.40) pour déterminer les différences entre les traitements étudiés. La corrélation de Pearson a été établie pour déterminer les causes à effet entre variables étudiées. L'analyse en composantes principales (ACP) a été également faite pour montrer la dispersion des facteurs et variables étudiées.

Chapitre II : Résultats

II-1 Résultats de l'essai plein champs 2015/2016

II-1-1 Résultats des analyses du sol

Le sol sur lequel l'essai en plein champs 2015/2016 a été installé est nature limono - sableuse (horizon arable de 0-20 cm), légèrement alcalin avec un pH de 7.98, non salin (CE= 0.0145ms/cm), pauvre en matière organique avec une teneur en matière organique de 1.4% et un très faible taux d'azote avec un seuil de 0.07% d'azote total, la teneur en phosphore assimilable est de 6.35ppm et celle du potassium échangeable est de 270ppm (Tableau 7).

Tableau 7 : Caractéristiques du sol des sites expérimental 1 et 2

Propriétés	Horizon 0-20cm (site 1)	Horizon 0-20cm (site 1)
Texture du sol	Limoneux- Sableux	Limoneux- Argileux
pH	7.98	8.1
Conductivité électrique CE ms/cm	0.0145	0.25
Carbone organique %	0.81	0.90
Matière organique%	1.40	1.56
Calcaire total %	5	18
Calcaire actif %	8	5
Azote total%	0.07	0.075
Phosphore Assimilable P2O5 ppm	6.35	4.36
Potassium échangeable K2O ppm	270	272.14

II-1-2 Les paramètres phénologiques

Les résultats de l'analyse de variance illustrés dans le Tableau 8 montrent que la durée du cycle de la lentille est fortement influencée par la date de semis, la situation hydrique adoptée et la nature de la variabilité testée. Une différence hautement significative est observée pour NJF, NJFG, NJFGr et NJM. Les interactions (Date de semis* variétés), (Date de semis*régime hydrique*variétés) sont également responsables de la variation des différentes phases du cycle de la lentille.

Tableau 8 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la durée des phases de développement chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	NJFL		NJFG		NJFG _r		NJM	
	F	P	F	P	F	P	F	P
Date de semis	11.59	0.000***	23.65	0.000***	32.16	0.000***	25.11	0.000***
Régime hydrique	2.59	0.000***	2.75	0.000***	3.39	0.000***	7.66	0.000***
Variétés	32.71	0.000***	11.69	0.000***	199.46	0.005**	299.07	0.000***
Date de semis*régime hydrique	5.86	0.035*	5.16	0.043*	8.54	0.003**	9.36	0.006**
Date de semis * variétés	7.28	0.000***	6.58	0.000***	9.56	0.000***	11.32	0.000***
Régime hydrique *variétés	8.59	0.010*	0.29	0.828 ^{ns}	1.51	0.291 ^{ns}	1.71	0.250ns
Date semis* régime hydrique*variétés	5.12	0.036*	4.32	0.047*	11.62	0.000***	18.69	0.000***

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1% ; * : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 15, 16, 17 et 18) montre que la durée du cycle de l'ensemble des variétés étudiées est raccourcie sous l'effet de la variation de la date de semis et de la situation hydrique adoptée. En effet, pour le semis de Décembre (précoce) et en condition d'irrigation, le NJF est de 114 jours chez la Syrie229 (la plus précoce) et de 124 jours chez Balkan755 (la plus tardive). Cette phase est réduite en conduite pluviale avec des taux de réduction variant de 3% (Syrie229) et 7% (Balkan755) respectivement. Des réductions de l'ordre de 5% (Syrie229, Metropole et Ibela) à 6% (Balkan755) respectivement sont inscrites pour la durée NJFG, 6% (Metropole) à 8% (Balkan755) pour le NJFGr et 8% (Balkan755) à 10% (Syrie229 et Ibela) pour la durée de maturité NJM.

Pour le semis de Janvier, l'ensemble des phases sont réduites par rapport au semis précoce pour l'ensemble des variétés et dans les deux situations hydriques. En irrigué, la Syrie229 a mis 95jrs pour fleurir, 100 jrs pour l'apparition des gousses, 126 jrs pour la formation des graines et a accompli son cycle après 123 jrs. Alors qu'en conditions pluviales, 91jrs sont enregistrés pour NJF, 96jrs pour NJFG, 111jrs NJFGr et 120jrs pour le NJM avec des taux de réduction de 4% pour le NJF et NJFG, 3% pour le NJFGr et 2% pour le NJM. Pour les trois autres variétés (Metropole, Balkan755 et Ibela), les réductions varient de 2%, 4% et 6% pour NJFL, 2%, 5% et 6% pour le NJFG, 3% et 4% pour le NJFGr et de 2%, 5% et 6% pour le NJM.

En ce qui concerne le semis tardif de Février, la durée du cycle de l'ensemble des variétés est fortement raccourcie. La réduction est plus accentuée en pluvial qu'en irrigué. La durée du cycle oscille entre 89 jrs chez la Syrie229 et 108 jrs chez Balkan755. Le nombre de jours des différentes phases de développement de la lentille est réduit significativement sous stress hydrique par rapport à ceux du régime irrigué. Dans ces conditions, La durée de la phase de remplissage est de 11jrs chez les deux variétés Syrie229 et Ibela et 5 et 6 jrs chez Metropole et Balkan755 respectivement. A l'opposé, sous l'effet du stress hydrique, la durée de cette phase est réduite à 4 et 5 jrs après formation des gousses pour la Syrie229 et Ibela respectivement et à 3 jours seulement chez Metropole et Balkan. On a noté un prolongement de la phase remplissage à senescence des feuilles (maturité) en conditions pluviale (9 jours pour l'ensemble des variétés à l'exception de Balkan755 pour laquelle on a enregistré 7 jrs par rapport au lot irrigué où la durée de cette phase oscille entre 5 et 9jrs.

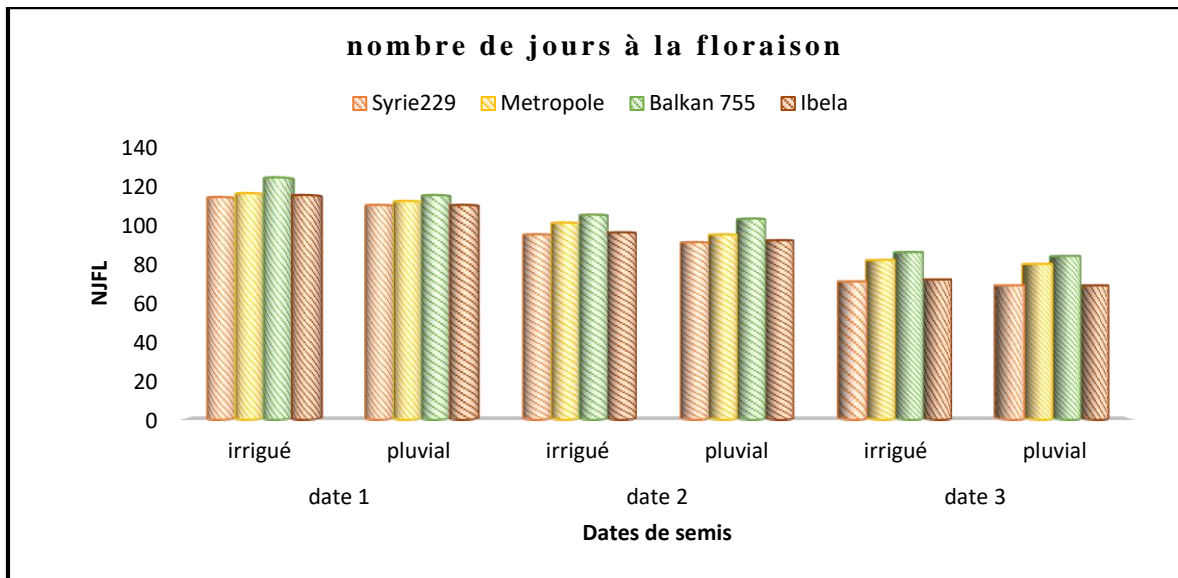


Figure 15 : Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFL

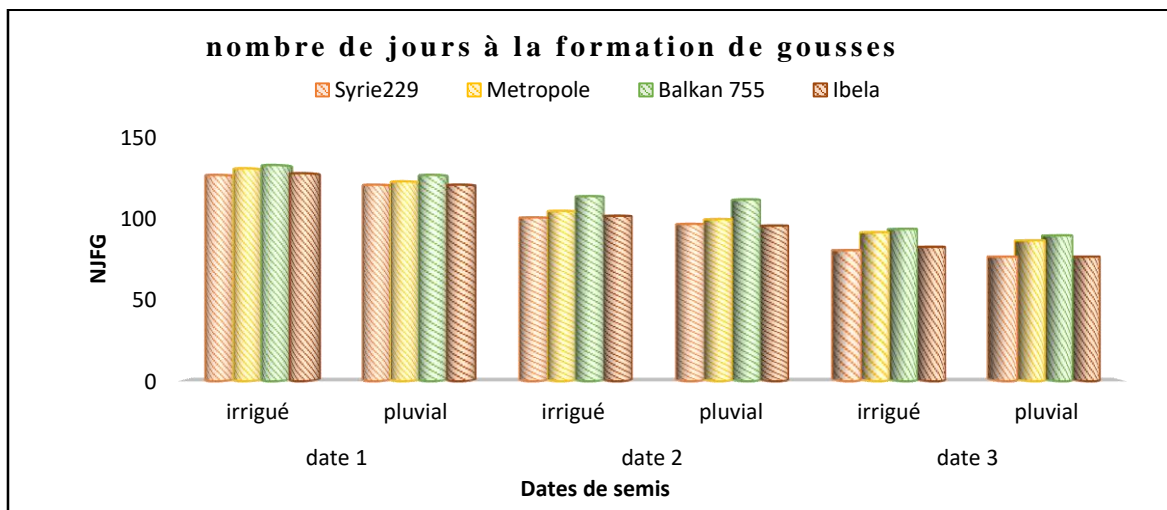


Figure16 : Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFG

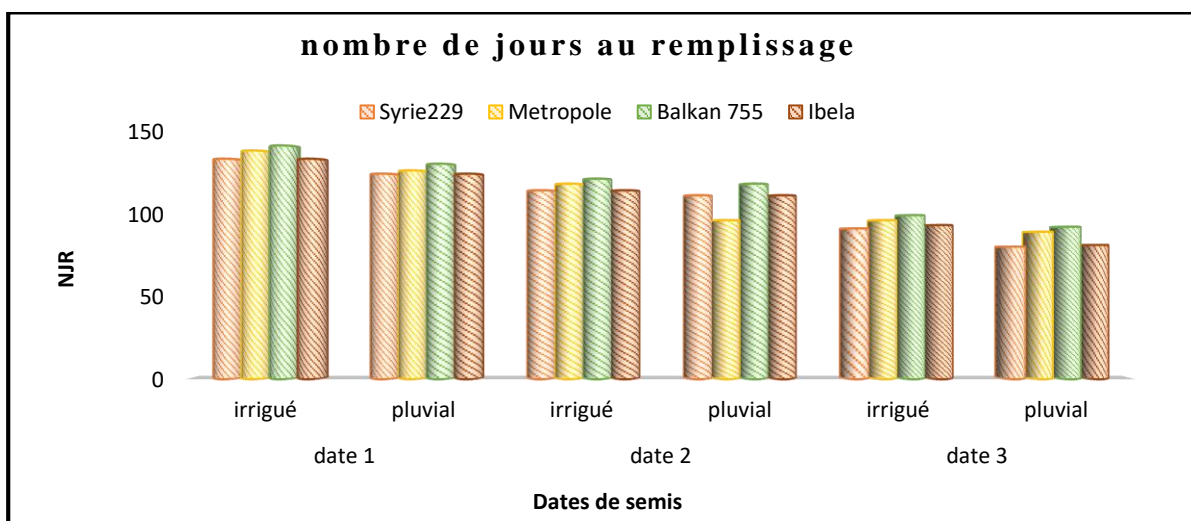


Figure 17 : Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJFGr

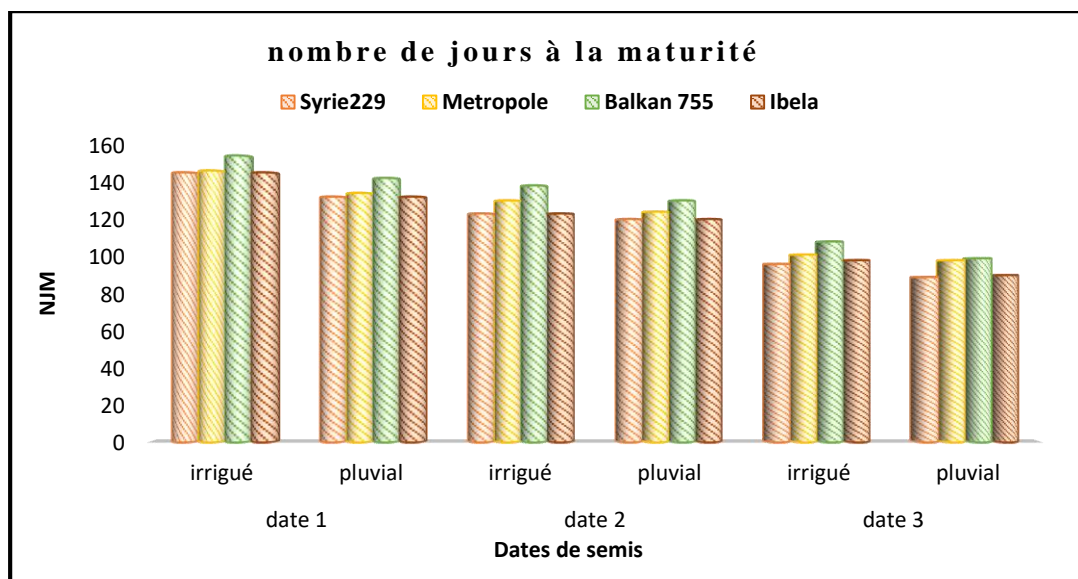


Figure 18 : Effet de la date de semis et du stress hydrique sur la variation du NJM

II-7-2 les paramètres morphologiques

II-7-2-1 Hauteur des plantes HP (cm)

Les résultats obtenus de l'analyse de variance (Tableau 9) de la hauteur des plantes varient significativement sous l'effet de la variation de la date de semis et de la situation hydrique ainsi que de l'interaction (régime hydrique x variétés) que celui de la nature des variétés testées. Les interactions (date de semis x Régime hydrique), (date de semis x variétés) et (date de semis x Régime hydrique x variétés) n'ont aucune influence sur la variation de ce paramètre.

Tableau 9: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la hauteur des plantes chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	11.94	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	52.13	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	1.96	0.1315 ^{ns}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	2.78	0.0705 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	0.60	0.7299 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	3.51	0.0220*
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.42	0.8590 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; * : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif

En situation hydrique irriguée et à la 2^{ème} date de semis (janvier), les plantes ont enregistré les hauteurs les plus élevées fluctuant entre 39.33 cm enregistré chez Balkan 755 et 42.16 cm observé chez la variété Métropole.

A chaque période de semis, le déficit hydrique a provoqué une réduction de la hauteur des plantes. Les réductions restent variables chez les variétés testées où Métropole, Syrie229 et Ibela ont enregistré des taux de réduction assez importants estimés à 24.5%, 19.9% et 13.3% respectivement à l'opposé de la variété Balkan 755 qui a marqué une diminution moins importante de la hauteur avec un taux de 4.12% (Figure 19).

Dans le cas des semis précoces (Décembre) et tardifs (Février), les trois variétés (Metropole, Syrie 229 et Ibela) ont extériorisé des réductions moins importantes de la hauteur estimées à 15.89- 13.29%, 10.11- 8.89% et 7.79- 8.2 % respectivement alors que Balkan 755 a marqué une réduction plus importante de 4.8%.

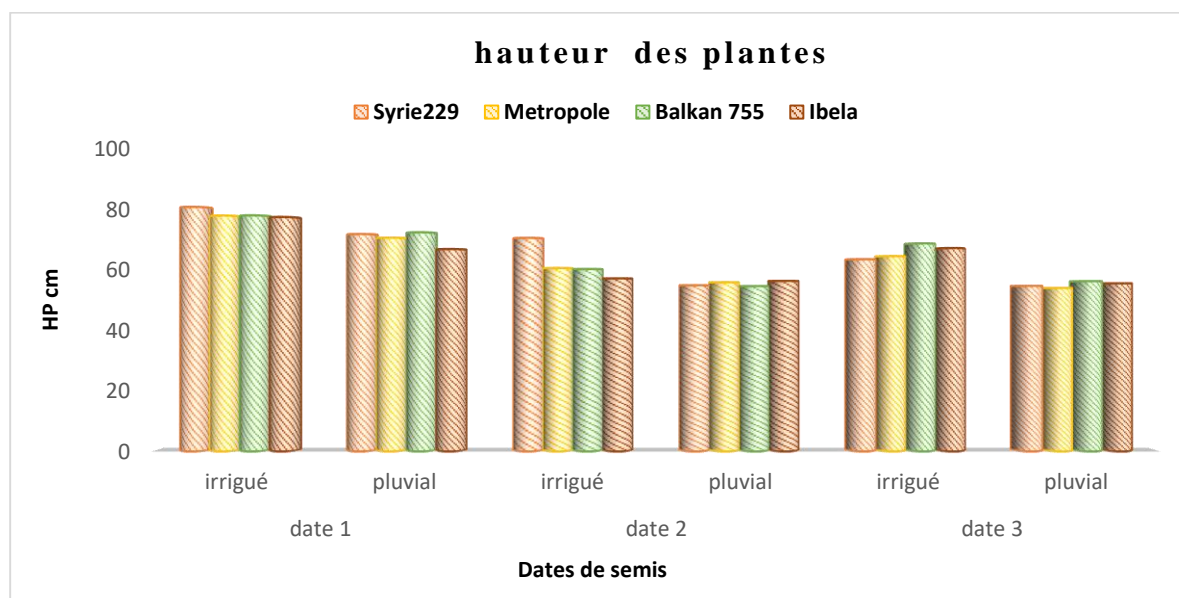


Figure 19: variation de la hauteur des plantes des variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-7-2-2 la surface foliaire SF (cm²)

Les résultats émanant de l'analyse de variance de la surface foliaire présentés dans le Tableau 10 montrent que les variations de ce paramètre sont sous une influence très hautement significative des 3 facteurs étudiés (Date de semis, situation hydrique et variétés). Les interactions (Date de semis * variétés) et (Situation hydrique * variétés) ont aussi affecté significativement l'évolution de la surface des feuilles.

Tableau 10 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la surface foliaire chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	21.41	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	155.20	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	45.98	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	0.47	0.6332 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	2.31	0.0482*
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	5.84	0.0019**
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.43	0.8548 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1%, * : effet significatif à 5% ; ns : effet nom significatif.

La comparaison des résultats moyens (Figure20) montre que la surface foliaire est fortement réduite en conditions de déficit hydrique et sous l'effet de la date de semis.

Sous l'influence du facteur date de semis, les quatre variétés ont montré des réductions importantes de la taille de leurs feuilles, Dans le cas des semis précoces, les valeurs de la surface foliaire sont comprises entre un maximum de 16.54cm² (Metropole) et un minimum de 12.86cm² (Syrie229). Ces valeurs sont réduites avec un taux de 2% (Syrie229), de 3.6%(Metropole), de 4% (Balkan755) et de 4.9% chez la variété Ibela pour le semis de Janvier (Date 2). Les régressions ont été plus importantes en cas de semis tardif (Date3), elles ont été évaluées à 16.87% (syrie229), 12.98%(Metropole), de 3.7% (Balkan755) et de 25.9% chez la variété Ibela respectivement.

Pour le facteur Régime hydrique, les valeurs de la surface foliaire sont plus importantes en irrigué qu'en pluvial. Les réductions induites par le déficit hydrique de fin de cycle sont plus importantes chez les variétés Balkan755 et Ibela qui ont extériorisé des taux de réduction de SF évalués à 25 et 28% respectivement par rapport à celui marqué par les variétés Syrie229 et Metropole dont le niveau de régression est de 15% et 17% respectivement.

Pour le facteur variété, l'analyse des résultats moyens de la surface foliaire a montré que les variétés Metropole et Balkan755 (17.1cm² et 17.9cm²) ont donné des surfaces foliaires plus

élevées que celle affichées par la Syrie229 et Ibela (13cm^2 et 14cm^2) dans les conditions d'irrigation. En pluvial, la variété Metropole a donné la surface foliaire la plus élevée (12.7cm^2) suivie par Balkan755 avec 12.7cm^2 et Syrie 229 avec 11cm^2 . La variété Ibela a marqué la plus faible valeur évaluée à 10cm^2 seulement.

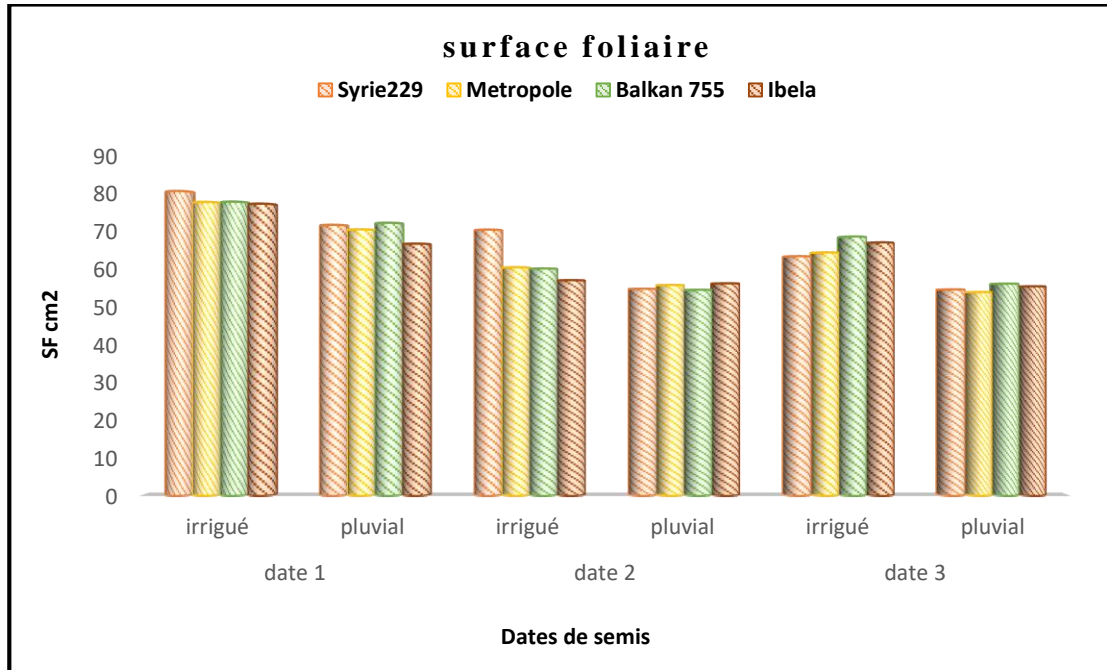


Figure 20: Variation de la surface foliaire des variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-7-2-3 Nombre d'étages foliaires NEF ou entre nœuds NEN

Les résultats de l'analyse de variance (Tableau 11) du nombre d'étages foliaire montre que les variations de ce paramètre est sous la dépendance de l'effet de la variation des 3 facteurs étudiés (Date de semis, situation hydrique et variétés) avec une influence très hautement significative. Les interactions n'ont eu aucun effet sur l'évolution de ce paramètre.

Tableau 11: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre d'étages foliaire chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	10.89	0.0001***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	15.92	0.0003***
Effet facteur F3 (variétés)	11.27	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	0.77	0.4703 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.51	0.1929 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	2.11	0.1095 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.99	0.4400 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ns : effet non significatif ;

En effet, le nombre d'étages foliaire est plus important chez les plantes irriguées par rapport à celui des plantes conduites en pluvial. Le nombre d'étages foliaire chez les quatre variétés testées oscille entre un maximum de 16.55 chez la Syrie 229 et un minimum de 14.77 chez la variété Ibela sous les conditions d'irrigation alors qu'en pluvial, les valeurs du nombre d'étages foliaire sont comprises entre un maximum de 16.33 chez la Syrie229 et un minimum de 14.44 chez Ibela.

En comparant les dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial (Figure 21), nous avons remarqué que le stress hydrique imposé a induit une réduction du nombre d'étages foliaire qui est plus accentué chez les variétés Syrie229, Metropole et Balkan755 lorsqu'elles sont semées tardivement (Janvier et Février) avec des taux de réduction de 13.81%, 16.36% et 3.53% respectivement à la date 2 et de 18.82%, 9.96% et 8.67% respectivement à la Date 3. Pour les semis précoces de Décembre, les variétés testées ont exprimé des réductions moins importantes évaluées à 4.10%, 9.63%, 3.96% et 9.28 % respectivement.

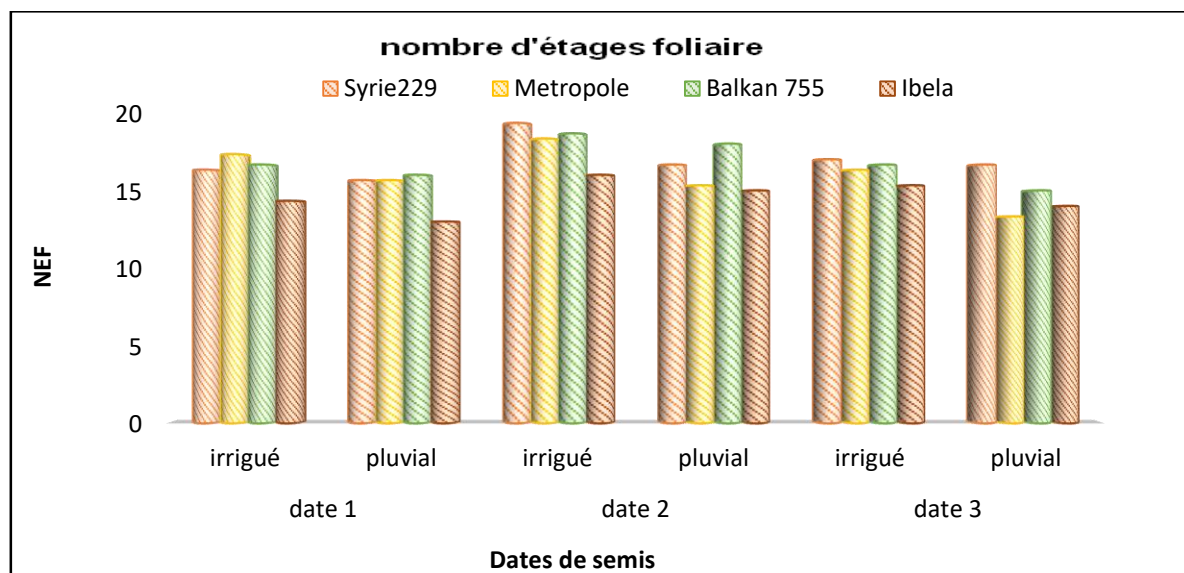


Figure 21: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur le diamètre de la tige des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué

II-7-2-4 Le diamètre de la tige DT mm

L'étude des résultats de l'analyse de variance du diamètre de la tige (Tableau 12) montre que la période de semis a permis des fluctuations très hautement significatives de ce paramètre ($P=0.0000$). Le régime hydrique imposé a permis également des variations importantes sur l'élaboration de ce paramètre ($P= 0.001$). L'origine de la variabilité conduite est aussi responsable des fluctuations de grandeurs importantes du diamètre de la tige. Les interactions (Date de semis* situation hydrique) et (Date de semis * variétés) ont eu un effet de même grandeur sur les variations de ce paramètre.

Tableau 12: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du diamètre de la tige chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	18.22	0.0001***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	12.46	0.0010***
Effet facteur F3 (variétés)	4.94	0.0047***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	3.61	0.0340*
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	2.58	0.0305*
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	0.22	0.8815 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.95	0.4440 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; * : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

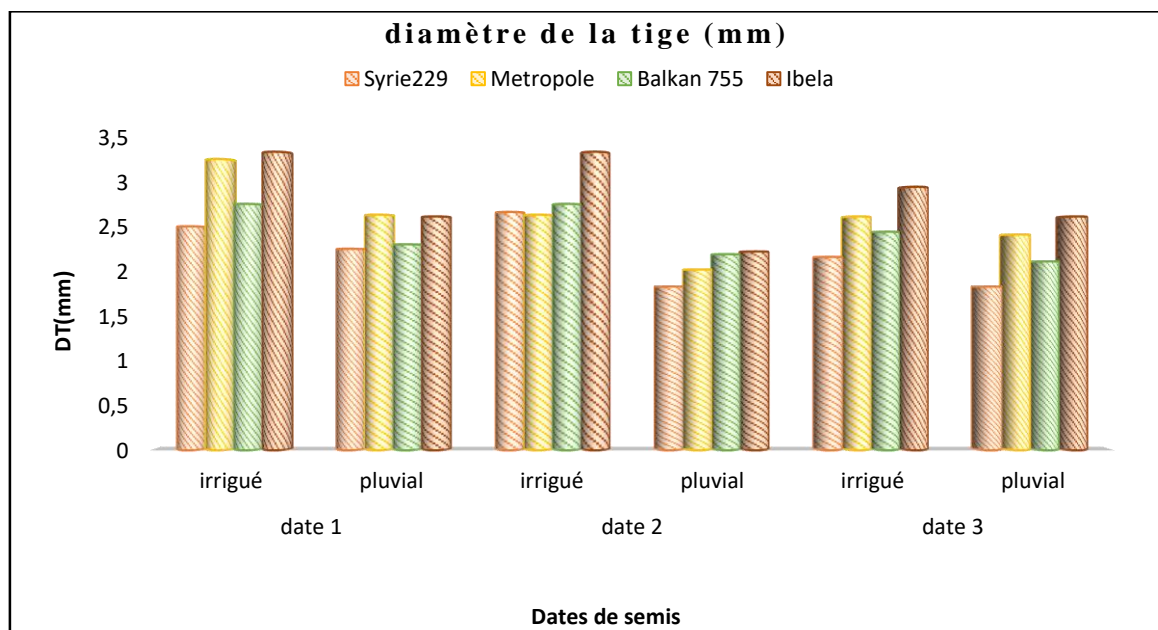


Figure 22: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur le diamètre de la tige des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

Pour le premier facteur (date de semis), la comparaison des moyennes du diamètre de la tige des plantes de lentille (Figure 22) a montré une diminution du diamètre de la tige qui est plus marquée en semis tardif (Février) avec un taux de réduction s'échelonnant entre 26% et 31% par rapport au semis de janvier et de Décembre respectivement.

En ce qui concerne la situation hydrique, dans les conditions d'irrigation, la variété Metropole présente le diamètre de la tige le plus élevé (2.44 mm) alors que la Syrie 229 détient la valeur la plus faible (1.8 mm). En conditions pluviales, les valeurs du diamètre de la tige ont diminué chez l'ensemble des variétés testées, les valeurs obtenues s'étalent entre 1.66mm (Syrei229 et Ibela) et 2mm chez Metropole et Balkan755.

II-7-2-5 La distance entre les nœuds DEN (cm)

Les résultats présentés dans le Tableau 13 montrent que la distance entre les nœuds est fortement influencée par la date de semis, la situation hydrique imposée et la variabilité génétique conduite. Les différentes interactions n'ont eu aucun effet sur l'élaboration de ce paramètre.

Tableau 13: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations de la distance entre les nœuds chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	5.32	0.0083**
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	40.87	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	10.50	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	2.83	0.0672 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	0.92	0.4894 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	0.61	0.6099 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.37	0.8933 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;** : effet significatif à 1% ; ns : effet non significatif

La comparaison des moyennes de l'espace entre les nœuds (Figure 23) à travers les 3 dates de mise en place a montré que la distance la plus élevée est obtenue avec le semis précoce (2.7cm) alors que la plus faible valeur est observée avec les semis tardifs (2.3cm).

L'apport de l'irrigation a permis une élongation de la tige d'où un espacement des entre nœuds, de ce fait, les distances entre les nœuds sont plus importantes chez les plantes irriguées que chez les plantes stressées conduites en pluvial où les valeurs oscillent entre un minimum de 2.4 cm détenu par la variété Syrie 229 et un maximum observé chez la variété Ibela (3.2 cm).

En conditions pluviales, nous avons observé une réduction de la distance entre les nœuds. Ces dernières fluctuent entre un minimum de 1.9 cm (Syie229) et un maximum de 2.48cm (Ibela).

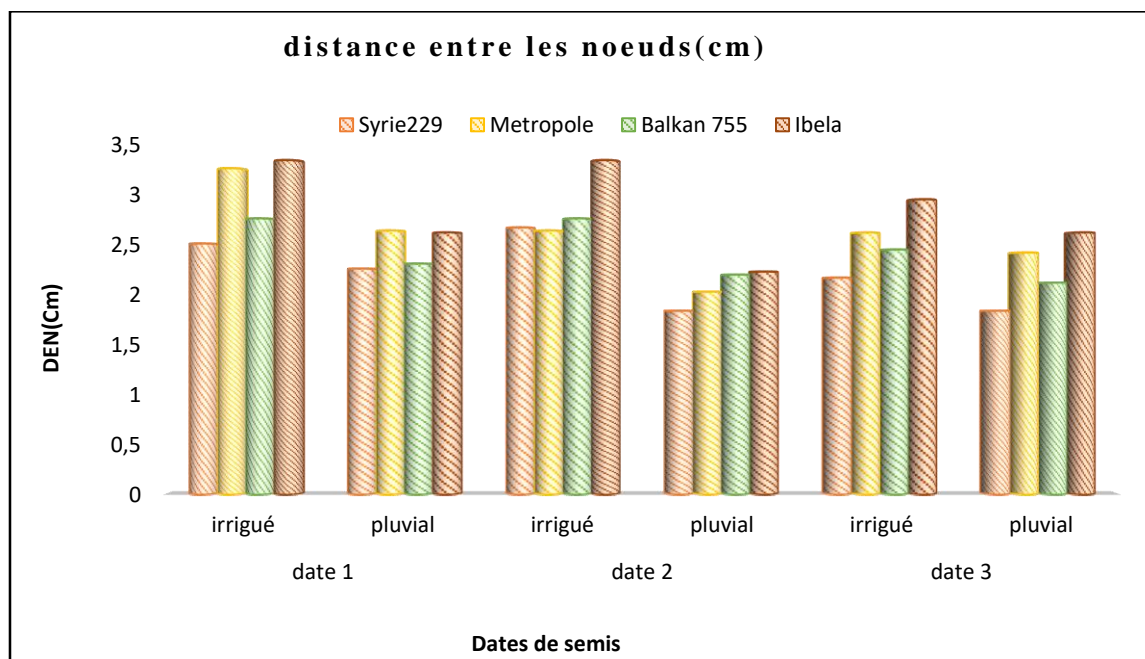


Figure 23: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur la distance entre les nœuds des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué

II-7-2-6 Le nombre de bouquets floraux et du nombre de fleurs par plante NBF/P et NF/P.

L'analyse de la variance des résultats du nombre de bouquets floraux et du nombre de fleurs par plante (Tableau 14) montre que ces deux paramètres sont sous la dépendance de la variation de la date de semis et de la situation hydrique adoptée que de la nature des variétés testées. L'interaction (date de semis* variétés) a exercé une influence de grandeur très importante sur l'élaboration de ces deux paramètres. L'effet des autres interactions est non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 24 et 25) a montré que le NBF/P et NFL/P est plus élevé à la première date de semis (63BF et 188FL/P) en comparaison avec le semis de Janvier (53BF et 159FL/P) et Février (47BF et 140FL/P). L'effet du stress hydrique de fin de cycle a induit une régression du nombre de bouquets floraux et nombre de fleurs par plante avec des taux de réduction de 33% par rapport à la conduite en irrigué.

Lorsque le semis est effectué en Décembre et sous la pratique de l'irrigation, la Syrie229 a fourni le nombre le plus élevé en bouquets floraux et fleurs/plante avec 85BF et 255 FL/P. Le nombre le plus faible est inscrit par Ibela avec respectivement 60BF et 179FL/P. En conditions pluviales, le NBF et NFL/P varient entre un maximum fourni par Balkan755 (64BF et 192FL/P). et un minimum détenu par Ibela de 38BF et 114 FL/P.

Pour le semis de Janvier et sous irrigation, Metropole a donné le NBF et NFL/P les plus élevés avec 91 BF et 274 FL/P respectivement, alors qu'en pluvial, la valeur la plus élevée est détenue par Ibela (55BF et 166FL/P) et la plus faible est enregistrée par Balkan755 avec 27BF et 81FL/P).

Lorsque le semis a été retardé au mois de Février, la Syrie229 s'est montrée plus performante et a donné le NBF et NFL/P les plus élevées dans les deux situations hydriques (irriguée et pluviale) avec des valeurs respectives de 72BF, 216FL/P et 55BF, 160FL/P). A l'opposé, Metropole a été plus sensible pour ces deux paramètres et a donné les valeurs les plus basses avec respectivement (43BF et 130FL/P en irrigué) et (23BF et 69FL/P en pluvial).

Tableau 14: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre du nombre des bouquets floraux et du nombre de fleurs par plante chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	NBF/P		NF/P	
	Test F	P	Test F	P
Effet facteur F1 (Date de semis)	9.71	0.0000***	9.71	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	49.613	0.0000***	49.61	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	1.75	0.1679 ^{ns}	1.75	0.1679 ^{ns}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	1.021	0.3697 ^{ns}	1.02	0.3697 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	6.78	0.0000***	6.78	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Situation hydrique*variétés)	0.63	0.5978 ^{ns}	0.63	0.5978 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	1.54	0.1843 ^{ns}	1.54	0.1843 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1% ; ns : effet non significatif.

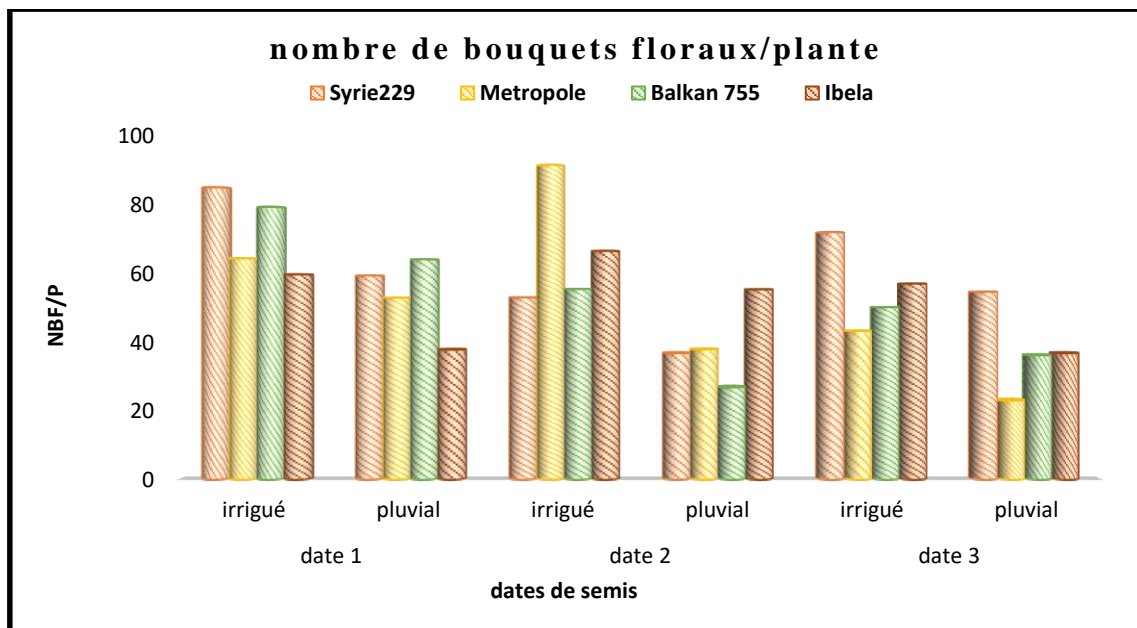


Figure 24: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur le nombre de bouquets floraux /plante des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

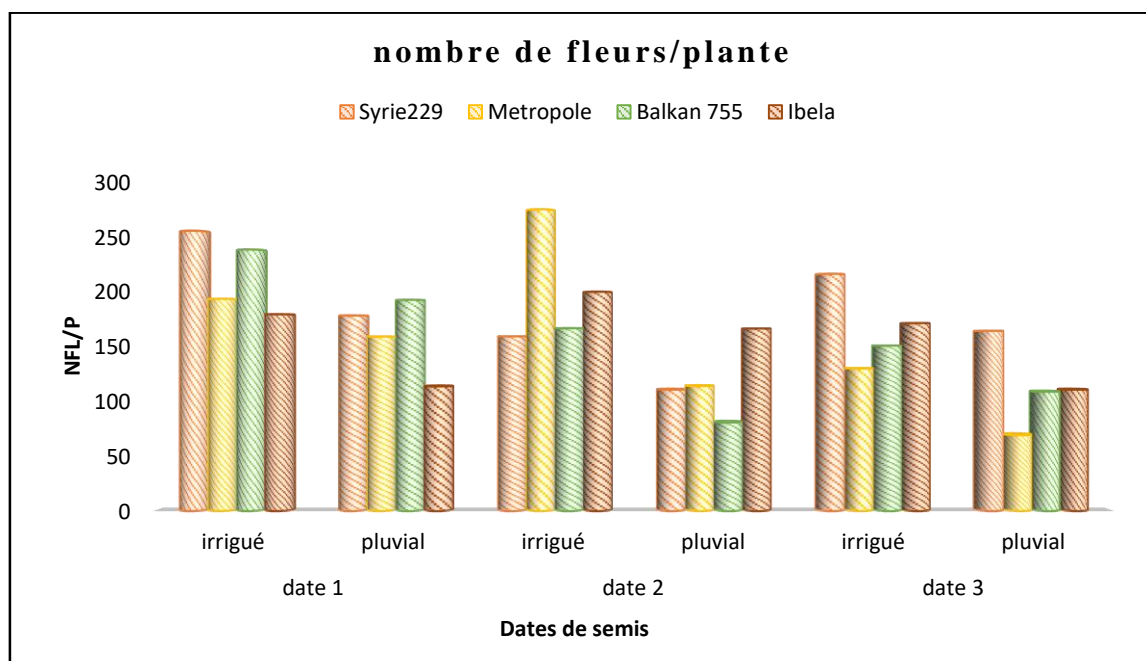


Figure 25: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur le nombre de fleurs /plante des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

II-4-3 Les paramètres physiologiques

II-4-3-1 La teneur relative en eau TRE %

Les résultats obtenus de l'analyse de la teneur relative en eau (Tableau 15) varient significativement sous l'effet des variations de la date de semis, de l'alimentation hydrique que de la nature de la variabilité génétique conduite. L'interaction (date de semis* situation hydrique) a aussi influencé les variations de ce paramètre.

Tableau 15: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations la teneur relative en eau chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	66.59	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	1.15	0.0287*
Effet facteur F3 (variétés)	1.85	0.1491 ^{ns}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	31.57	0.0000***
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.78	0.1223 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	0.27	0.8422 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.12	0.9900 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;* : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

Concernant le facteur Date de semis, la comparaison des moyennes de la teneur relative en eau (Figure 26) a montré que les valeurs de la TRE varient de 55% pour le semis de Janvier à 60% pour le semis de Février à 74 % pour le semis précoce de Décembre.

En ce qui concerne le facteur régime hydrique, la teneur relative en eau est plus importante sous irrigation. Le stress hydrique de fin de cycle a provoqué une réduction de la teneur relative en eau. Le taux de réduction s'évalue à 3% par rapport à la valeur de TRE obtenue en conditions irriguées.

Dans le cas des semis précoces et sous régime irrigué, la Syrie 229 a enregistré la valeur maximale de TRE avec 80%. Les trois autres variétés ont donné les mêmes valeurs soit 77% de TRE. En conditions pluviales les valeurs de TRE sont réduites sous l'effet de la sécheresse terminale et s'échelonnent entre 67% (Ibela) et 72% (Balkan 755).

Pour le semis de Janvier et sous irrigation, les valeurs de TRE varient de 57% (Ibela) à 70% (Syrie229). Ces valeurs ont été réduites en conditions pluviales avec des taux de réduction de l'ordre de 22% (Syrie229), 9%(Balkan755), 8% (Metropole) et de 2% pour la variété Ibela.

En ce qui concerne le semis de Février (D3), les valeurs de la teneur relative en eau s'échelonnent entre un minimum de 63%(Syrie229) et un maximum de 68% (Blkan755) sous régime irrigué, à l'opposé, en conditions pluviales la TRE est moins importante et fluctue entre une valeur minimale de 54% (Metropole et Syrie229) et une valeur maximale de 56% (Balkan755).

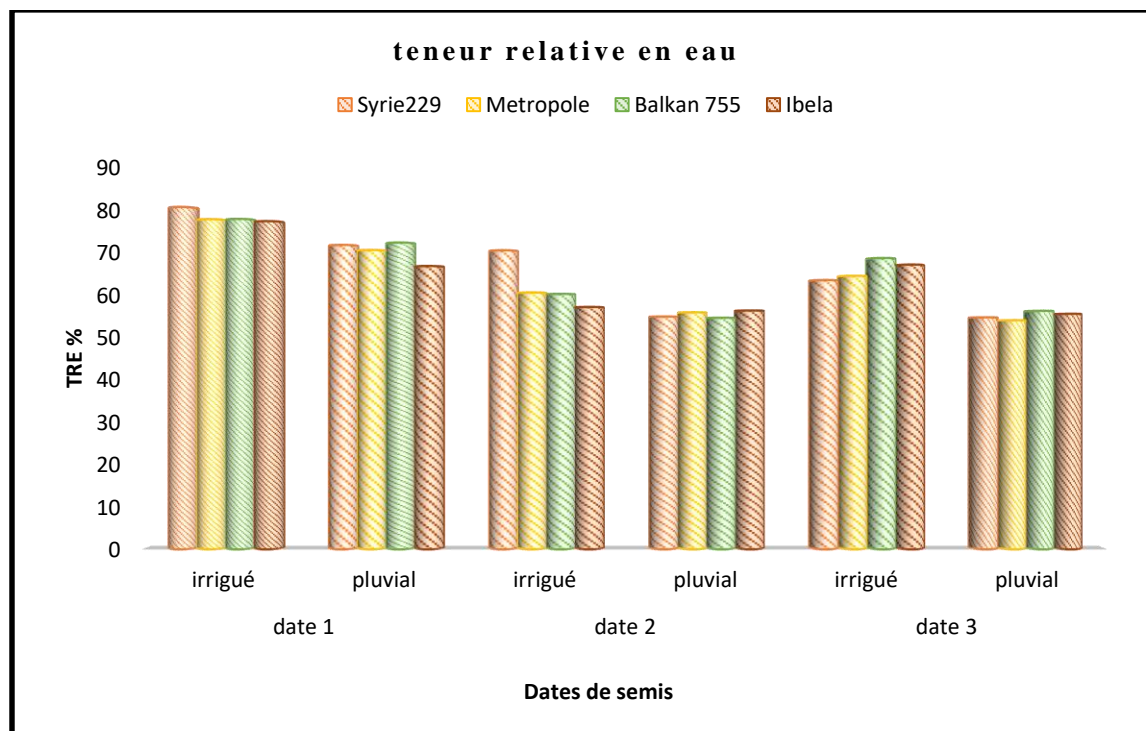


Figure 26: Variation de la teneur relative en eau des variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-1-3-2 Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL (rate of water Loss)

Le taux de déperdition d'eau par la feuille excisée RWL est représenté par une transpiration essentiellement stomatique effectuée avec des pesées après 60 mn.

L'élaboration de la perte d'eau n'a pas été influencée à la fois par la situation hydrique adoptée et la nature de la variabilité génétique testée ni par leur interaction mais elle sous la dépendance significative de la variation de la date de semis et de l'interaction (date de semis*situation hydrique * variétés) (Tableau 16).

Tableau 16 : Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations la perte d'eau par la feuille excisée chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	8.52	0.0008***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	0.803	0.3785ns
Effet facteur F3 (variétés)	0.413	0.7480 ^{ns}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	1.269	0.2906ns
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.397	0.2355 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	0.205	0.8929 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	2.314	0.0487*

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;* : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

Les résultats moyens de la perte d'eau (transpiration stomatique) (Figure27) augmentent suite à l'apport de l'irrigation dans les 3 dates de semis.

Au niveau de la date 1(Décembre) et du traitement irrigué, la perte d'eau fluctue entre 0.128mg d'H₂O/min/cm² inscrite par la variété Syrie229 et 0.091 mg d'H₂O/min/cm² inscrite par la variété Ibela. En conditions pluviales, la transpiration a diminué chez l'ensemble des variétés testées à l'exception de Metropole qui a manifesté une augmentation de la perte d'eau dont la valeur inscrite est évaluée à 0.182 mg d'H₂O/min/cm². Les trois variétés Syrie229, Balkan755 et Ibela ont marqué une régression de leur RWL sous l'effet de la sécheresse terminale, elles ont inscrit les valeurs de 0.079 mg d'H₂O/min/cm², 0.075 mg d'H₂O/min/cm² et 0.074 mg d'H₂O/min/cm² respectivement.

Concernant le semis de Janvier, la perte d'eau est plus élevée au niveau des feuilles issues du dispositif conduit en conditions irriguées chez les variétés Syrie 229 et Metropole qui ont enregistré des valeurs de 0.114 mgd'H₂O/min/cm² et 0.087 mgd'H₂O/min/cm² respectivement alors que les deux autres variétés Balkan755 et Ibela ont manifesté une régression de leur RWL en inscrivant les valeurs de 0.064 mg d'H₂O/min/cm² et 0.065 mg

d'H₂O/min/cm² respectivement. Chez les plantes stressées conduites en pluvial, les deux variétés Syrie 229 et Metropole ont marqué les valeurs les plus faibles de la perte d'eau alors que Balkan755 et Ibela ont enregistré une augmentation de leur RWL avec des valeurs respectives de 0.114 et 0.116 mg d'H₂O/min/cm².

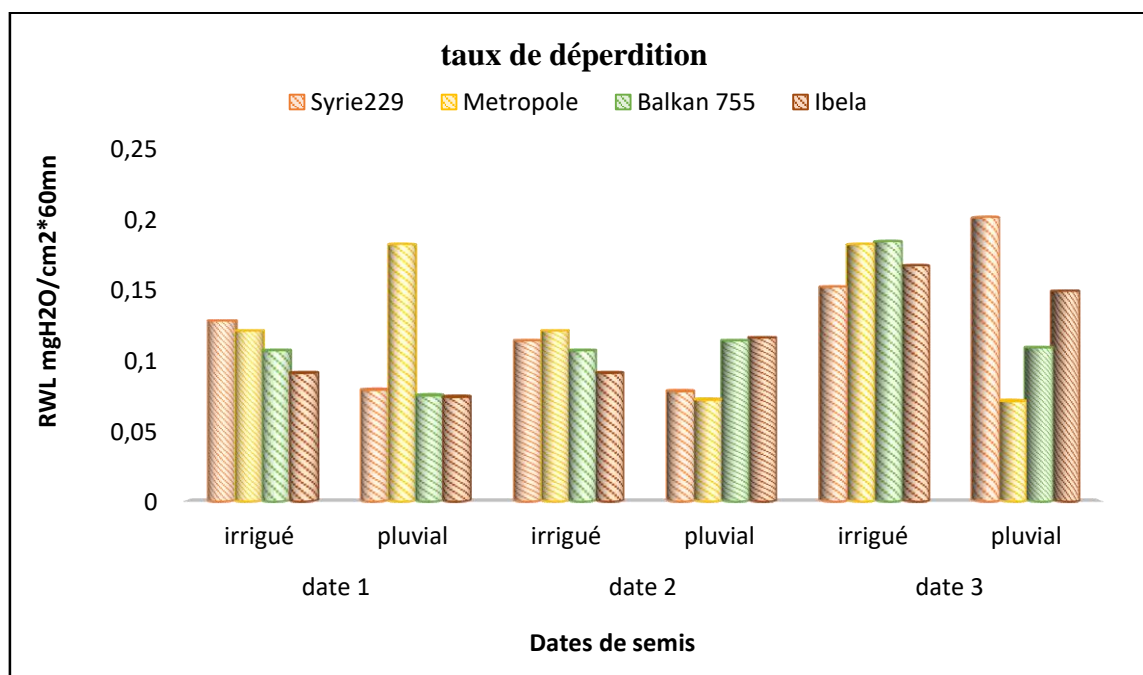


Figure 27: variation de la perte d'eau par la feuille excisée des variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

Pour le semis tardif de Février, la perte d'eau par la feuille excisée est plus importante par rapport aux deux dates D1 et D2 et les trois variétés Metropole, Balkan755 et Ibela ont marqué une forte progression de leur RWL sous l'effet de l'irrigation alors que la valeur inscrite par la Syrie 229 a subi une régression. A l'opposé, en conditions pluviales, la perte d'eau a subi une forte régression chez l'ensemble des variétés expérimentées. Cette régression s'exprime fortement chez la variété Metropole avec un taux de réduction de 60% en comparaison avec la valeur enregistrée en conditions irriguées alors que Ibela a marqué le plus faible taux de 11%. La Syrie 229 a inscrit la valeur la plus élevée de RWL sous stress avec une valeur de 0.201 mg d'H₂O/min/cm².

II-1-3-3 Le poids spécifique Foliaire

Les résultats obtenus de l'analyse de variance du poids spécifique (Tableau 17) indiquent que l'élaboration de cette caractéristique est sous l'influence de la date de semis, de la

situation hydrique, de la nature de la variabilité testée, et des interactions (date de semis*variétés) et (situation hydrique* variétés).

Tableau 17: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du poids spécifique chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	6.19	0.0042**
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	5.31	0.0243*
Effet facteur F3 (variétés)	10.34	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	2.04	0.1395 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	2.86	0.0186*
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	6.34	0.0011**
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	2.07	0.0743 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;** : effet significatif au seuil 1% ; * : effet significatif au seuil 5% ; ns : effet non significatif.

En comparant les moyennes des valeurs du poids spécifique foliaire (Figure 28) nous remarquons que le poids spécifique foliaire a augmenté avec le calage de la date de semis.

Pour le semis 1 et en irrigué, les valeurs du PSF s'échelonnent entre 1.80g/cm², valeur inscrite par Balkan755 et 3.66g/cm² observée chez la variété Ibela. L'application du déficit hydrique a provoqué une augmentation au niveau du lot pluvial. Ces augmentations restent variables chez les variétés étudiées où Balan755 a enregistré un taux de progression important estimé à 113%, à l'opposé, la Syrie229 a inscrit une augmentation moins importante avec une valeur de 9%.

A la 2^{ème} date de semis, la progression du poids spécifique foliaire sous l'effet de la contrainte hydrique s'avère aussi marquante, Ainsi, on a noté que Metropole se distingue parmi la collection variétale testée en inscrivant la progression la plus élevée (107%) alors que la Syrie229 a enregistré la plus faible hausse avec 7%.

Pour le semis tardif, les augmentations sont moins marquantes que dans les deux dates de semis 1 et 2 en conséquence du déficit hydrique, ainsi, la progression la plus élevée est inscrite par Metropole alors que Balkan755 marque la plus faible augmentation avec une valeur de 3%.

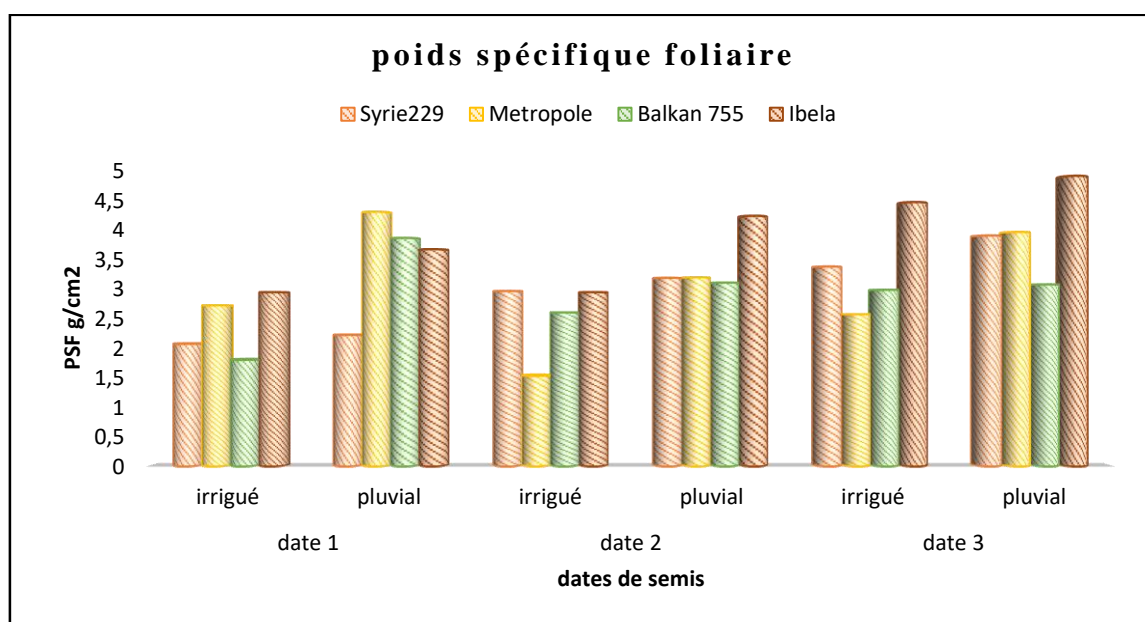


Figure 28: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du poids spécifique foliaire des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

II-1-4 le rendement en grain et les composantes de rendement

II-1-4-1 Le nombre de gousse par plant NGS

A travers l'analyse de la variance à trois facteurs du nombre de gousses par plant (Tableau 18), les effets de la date de semis, de la situation hydrique, de la nature de la variabilité testée ainsi que des interactions (Date de semis * situation hydrique), (Date de semis*variétés) et (Date de semis*situation hydrique*variétés) se sont montrés très hautement significatifs au seuil 5 % de la probabilité.

Tableau 18: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre de gousses par plant chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	48,364	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	79,619	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	8,248	0.0002***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	5,663	0.0064**
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	7,059	0.0000***
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	1,979	0.1288 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	4,357	0.0015**

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 29) a montré que le nombre de gousses par plant le plus élevé a été observé avec les semis de Décembre et de Janvier avec des valeurs de 70 et 68 GS/P respectivement à l'opposé du semis tardif qui a enregistré le nombre de gousses le plus faible avec une valeur de 41 GS/P.

Pour le facteur situation hydrique, le NGS/P est plus important en irrigué qu'en pluvial, la sécheresse terminale a pénalisé la formation des gousses par avortement des fleurs produites. De ce fait, on a enregistré un taux de réduction du NGS/P de 33% par rapport à celui obtenu sous irrigation.

Pour le facteur variétés, dans le cas du semis de Décembre et en conduite irriguée, les deux variétés Metropole et Ibela ont réalisé le NGS/P le plus élevé avec 98 gousses/plant suivies par la variété Balkan755 qui a inscrit une valeur de 85 gousses. La valeur la plus faible est donnée par la variété Syrie 229 soit 70 gousses/plant. A l'opposé et en conditions pluviales, la valeur la plus élevée en NGS/P est inscrite par la variété Metropole (67 GS/P) et la plus faible valeur est donnée par la Syrie229 (54 GS/P).

Dans le cas du semis de Janvier et sous l'effet de l'irrigation, Ibela a réalisé le NGS/P le plus élevé évalué à 101GS/P alors que Metropole n'a donné que 56 gousses. Sous conduite pluviale, le nombre de gousses par plant a été très influencé par la contrainte hydrique de fin de cycle, il a subi une réduction importante évaluée à 13% (Balkan755), 15% (Syrie229), 16% (Metropole) et 32% (Ibela) respectivement.

Le calage de la date de semis vers Février a influencé négativement cette composante de rendement importante, cependant une régression importante du NGS/P a été observée par rapport au semis de Décembre et de Janvier. En conditions d'irrigation, les valeurs s'échelonnent entre 55 GS/P (Syrie229) et 35 GS/P (Ibela), alors qu'en conditions pluviales, ces valeurs sont plus faibles et oscillent entre un maximum de 39 GS/P (Syrie229) et un minimum de 25 GS/P (Metropole et Ibela).

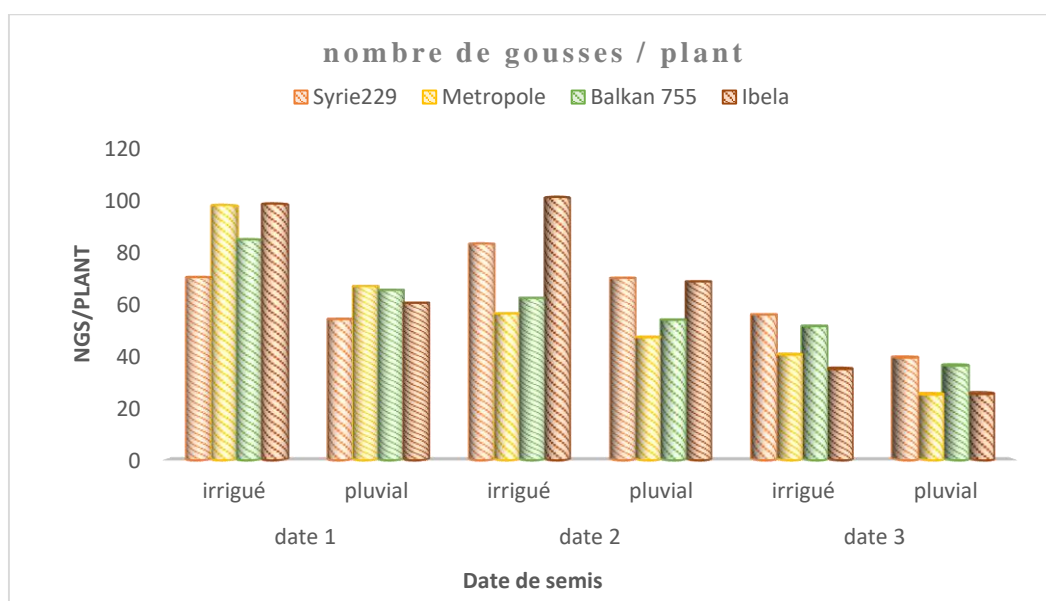


Figure 29: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur nombre de gousse /plant des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

II-1-4-2 Le nombre de grains par plant NGR/P

L'analyse de variance du nombre de grains/plant (Tableau 19) montre une très haute à haute différence significative dans la variation de ce paramètre sous l'effet la variation de la date de semis, du régime hydrique imposé, de la nature de la variabilité génétique testée, de l'interaction (Date de semis*situation hydrique), (Date de semis variétés) et (Date de semis*situation hydrique*variétés).

Tableau 19: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du nombre de grains par plant chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	46.78	0.0000***
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	68.62	0.0000***
Effet facteur F3 (variétés)	6.46	0.0010**
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	7.96	0.0011**
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	3.51	0.0061**
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	1.23	0.3081 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	3.03	0.0138*

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 30) montre que le nombre de grains/plant est plus important en semis précoce. Cependant 60 NGR/P a été obtenu avec le semis de Décembre et 32 NGR/P enregistrés lorsque la date de semis est retardé jusqu'à Février.

A l'échelle du traitement hydrique, le NGR/P le plus élevé est obtenu sous irrigation (59NGR/P). En pluvial, le stress hydrique de fin de cycle a agi négativement sur la formation et le remplissage des grains d'où une régression de 34%.

Pour le facteur variétés, une distinction notable du comportement des géotypes à l'égard de la date de semis et des régimes hydriques a été observée. En cas de semis précoce et dans le lot irrigué, les valeurs de NGR/P d'échelonnent entre 63NGR/P (Syrie229) et 85NGR/P (Metropole), A l'opposé et dans les conditions pluviales, ces valeurs sont plus faibles et varient entre un minimum inscrit par la variété Metropole (22NGR/P) et un maximum enregistré par la variété Ibela (56 NGR/P). Pour le semis de Janvier et sous l'effet de l'irrigation, le NGR/P est de 77NGR/P (Ibela), 61(Syrie229), 56 (Balkan755) et 46 GR/P inscrit par la variété Metropole. Une régression importante du NGR/P a été observé dans le lot pluvial évaluée à 11% (Syrie229), 13% (Metropole), 19% et 20% chez les variétés Balkan755 et Ibela respectivement. Dans le cas du semis tardif et dans le lot irrigué, les valeurs du NGR/P varient entre un minimum de 32 GR/P (Ibela) et un maximum de 60GR/P(Syrie229). Ces valeurs sont fortement réduites en absence d'irrigation avec un taux de régression évalué à 30% (Ibela), 36% (Balkan755), 49% chez la variété Metropole et 53 % chez la variété Syrie229.

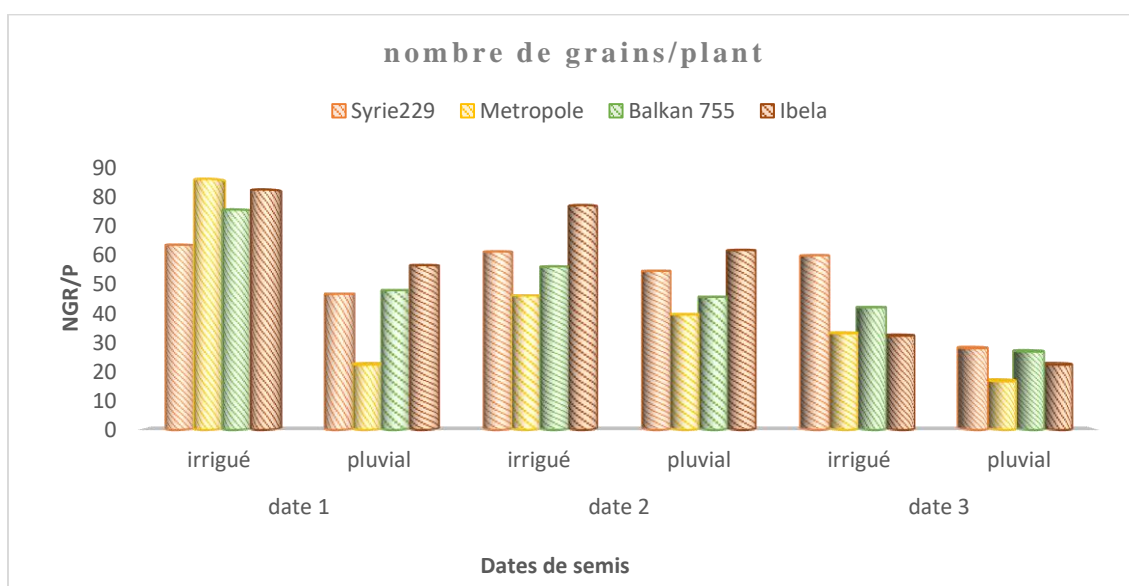


Figure 30: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre de grains /plant des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

II-1-4-3 Le poids de cents grains PCG

Les résultats dégagés de l'analyse de la variance et présentés dans le Tableau 20 révèlent que l'expression du poids de cents grains est indépendante de la variation de la date de semis. Les variations du régime hydrique et de la nature des génotypes testés provoquent par contre des différences significative ($P < 0.05$) à très hautement significatives ($p < 0.001$). L'effet des interactions est non significatif.

Tableau 20: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du poids de cents grains des 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	0.52	0.6003 ^{ns}
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	4.20	0.0434*
Effet facteur F3 (variétés)	88.55	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	0.04	0.9525 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.38	0.2421 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	1.77	0.1635 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	1.39	0.2377 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;* : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des résultats moyens (Figure 31) montre qu'à l'échelle du lot irrigué, la valeur de PCG la plus importante est de 6.19g inscrite par la variété Ibela et la plus petite de 3.92g enregistrée par la Syrie229.

Dans le lot pluvial, l'effet du déficit hydrique terminal a induit une réduction du poids de cents grains de l'ensemble des variétés étudiées. Dans le cas du semis précoce, ces réductions sont de l'ordre de 0.5% (Ibela) à 2% (Metropole) et de 3% (Syrie et Balkan755). Pour le semis de Janvier et Février, Le poids de cents grains de certaines variétés a subit une progression et pour d'autres une régression en conséquence de la contrainte hydrique. Parmi les variétés ayant extériorisé un accroissement de leur PCG on retient Balkan755 et Ibela avec des taux respectifs de 4% et 2%. Les deux autres variétés concernées par la régression (Syrie229et Metropole) ont marqué des taux de réduction de l'ordre de 3% et 4% respectivement.

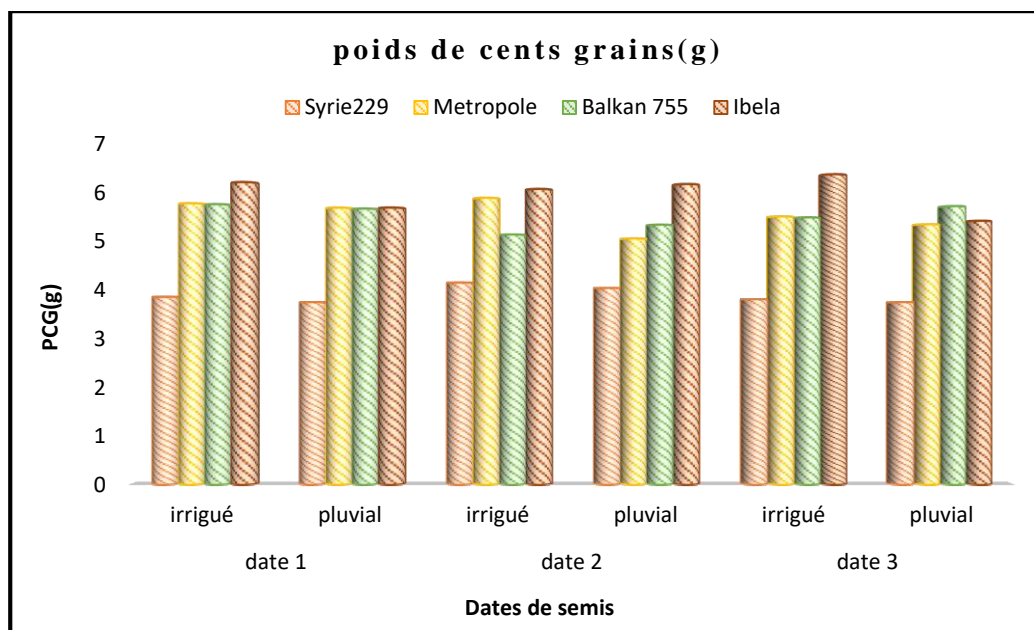


Figure 31: Effet de la date de semis, du régime hydrique sur les variations du nombre du poids de cent grains des quatre variétés conduites en pluvial et en irrigué.

II-1-4-4 Le rendement en grains RDG

L'analyse de variance du rendement (Tableau 21) indique que le rendement de la lentille est sous la dépendance de la variation de la date de semis, de la situation hydrique adoptée, de la nature des variétés testées et des interactions (Date de semis* situation hydrique), (Date de semis*variétés) et (Date de semis*situation hydrique*variétés).

Tableau 21: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du rendement en grains des 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	0.52	0.6003 ^{ns}
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	4.20	0.0434*
Effet facteur F3 (variétés)	88.55	0.0000***
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	0.04	0.9525 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.38	0.2421 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	1.77	0.1635 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	1.39	0.2377 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;* : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

En comparant les moyennes de rendements en grains (Figure 32) à travers les 3 dates de semis, nous observons que le rendement de l'ensemble des variétés conduites en irrigué des semis précoces est plus élevé que celui des semis tardifs. En effet, le rendement est de 6 quintaux/ha lorsque le semis est réalisé précocement et est réduit à moitié soit 3 qx/ha lorsque la lentille est semée tardivement.

Dans le cas des semis précoces et en conduite irriguée, la variété Métropole a réalisé le meilleur rendement avec 9qx/ha suivie de Balkan755 avec 8.75qx/ha, les deux variétés Ibela et Syrie229 ont fourni des rendements voisins de 6.5qx/ha. A l'opposé, sous conduite Pluviale, les rendements fluctuent entre un maximum de 4qx/ha enregistré par la variété Ibela et un minimum de 2qx/ha marqué par la Syrie229.

Pour le semis de Janvier sous irrigation, les variétés Balkan755 et Metropole ont inscrit les meilleurs rendements de 8qx/ha et 7 qx/ha respectivement alors que la Syrie229 n'a donné que 2 qx/ha. En pluvial, le stress hydrique a réduit les rendements de la lentille où seulement Metropole s'est montrée performante et a fourni le rendement le plus élevé soit 6qx/ha, les trois variétés Ibela, Balkan755 et Syrie229 ont inscrit des valeurs plus basse avec 4qx/ha, 2.8qx/ha et 1.5qx/ha respectivement.

En ce qui concerne le semis tardif de Février et en conduite irriguée, les rendements oscillent entre un maximum inscrit par la variété Ibela soit 7.7qx/ha et un minimum enregistré par Balkan755 soit 2.5qx/ha. L'effet de la sécheresse terminale a été plus néfaste sur le rendement car en conduite pluviale, les rendements ont été fortement réduits avec des taux de réduction évalués à 63%(Ibela), 24%(Syrie 229 et Metropole) et 20% (Balkan755).

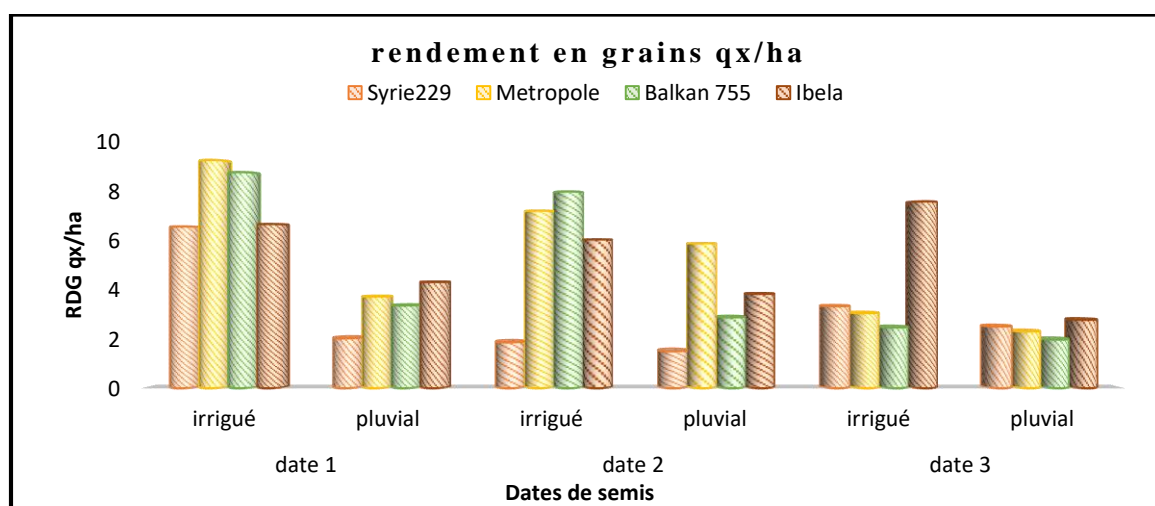


Figure 32: rendements en grains des quatre variétés de lentille aux 3 dates de semis sous les deux traitements irrigué et pluvial.

II-1-5 Les minéraux (K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺)**II-1-5-1 Le Potassium**

L'étude statistique des résultats du taux de Potassium illustré dans le Tableau 22 révèlent que l'expression de ce paramètre est fortement influencée par l'alimentation hydrique imposée ($P < 0.001$). Le déficit hydrique de fin de cycle a provoqué une nette progression des taux de Potassium chez l'ensemble des variétés étudiées. Ce comportement est conditionné par la nature de la variabilité testée ($P < 0.05$). La date de semis ainsi que les interactions n'ont eu aucun effet sur la variation de ce paramètre.

Tableau 22: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de Potassium chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	0.94	0.3968 ^{ns}
Effet facteur F2 (Situation hydrique)	22.49	0.0000 ^{***}
Effet facteur F3 (variétés)	6.29	0.0012 ^{**}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	0.43	0.6565 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	0.79	0.5774 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	2.66	0.0582 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.103	0.99 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ; ** : effet significatif à 1% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes du taux de potassium (Figure 33) montre que dans le lot irrigué, les teneurs en potassium varient entre un minimum de 667meq/100mg.MS (Balkan755) et un maximum de 709 meq/100mgMS (Syrie229). En conditions pluviales, l'accumulation du potassium est plus marquée chez l'ensemble des variétés avec des taux de progression évalués à 7%(Syrie229), 9%(Metropole et Ibela) et 26%(Balkan755).

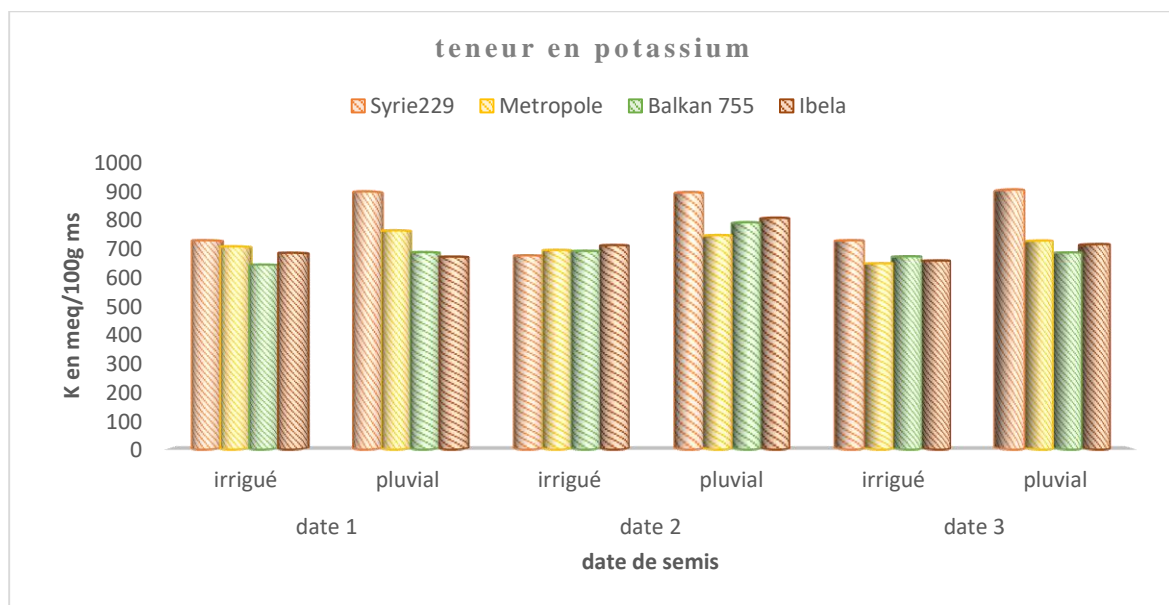


Figure 33: Variation des taux de potassium, chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-1-5-2 Taux du Sodium

Les résultats illustrés dans le Tableau 23 démontrent que la variation du taux de sodium est sous la dépendance de la variation de la date de semis, du régime hydrique et de la nature de la variabilité testée ainsi que de l'interaction (Date de semis*variétés). L'effet des autres interactions est non significatif.

Tableau 23: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de sodium chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	4.91	0.0116*
Effet Facteur F2 (Situation hydrique)	38.28	0.0000***
Effet Facteur F3 (variétés)	3.54	0.0214*
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	1.44	0.2454 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	3.06	0.0131*
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	0.201	0.8953 ^{ns}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	0.516	0.7948 ^{ns}

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;* : effet significatif à 5% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 34) montre que le taux de sodium est plus important dans les semis tardifs que les semis précoces et est plus élevé en irrigué qu'en pluvial.

Dans le cas des semis précoces et dans le lot irrigué, le taux de sodium varie entre 250meq/100mgMS (Syrie229) et 291meq/100mgMS (Métropole). Ces taux sont réduits en conditions pluviales à des seuils de 4% et 27% respectivement.

Pour le semis de Janvier, le taux de sodium est plus important et varie en irrigué entre 225 meq/100mgMS (Ibela) et 261meq/100mgMS (Metropole) alors qu'en pluvial, les valeurs oscillent entre 166meq/100mgMS (Ibela) et 217meq/100mgMS (Metropole).

Pour le semis tardif de Février et sous irrigation, la variété Ibela détient la valeur la plus élevée en Sodium (303 meq/100mgMS) alors que la valeur la plus faible est inscrite par la Syrie229 (224 meq/100mgMS). Ces taux ont régressé sous conduite pluviale et varient entre une valeur maximale de 263 meq/100mgMS détenue par la variété Balkan755 et une valeur minimale enregistrée par la variété Metropole.

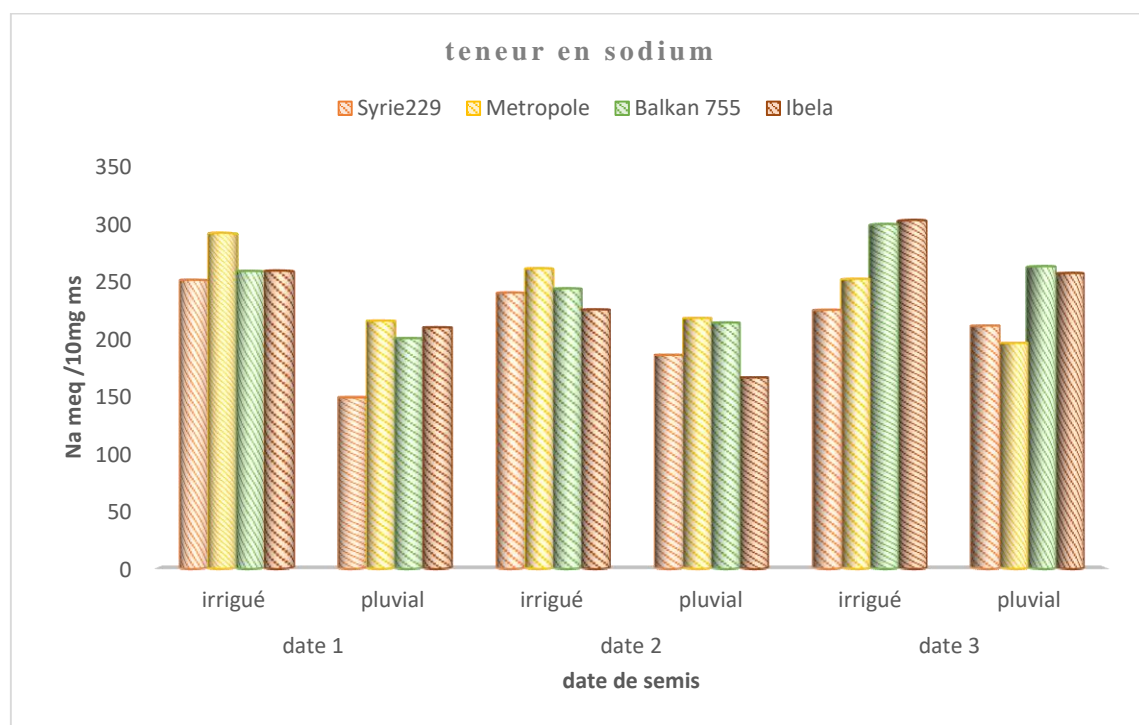


Figure 34 : Variation des taux de sodium chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-1-5-3 Le Calcium

L'analyse de la variance du taux de calcium (Tableau 24) montre que la variation de ce paramètre est influencée par la variation de la situation hydrique adoptée et des interactions

(situation hydrique* variété) et (Date de semis*Situation hydrique*Variétés). La date de semis ainsi que la nature de la variabilité génétique testée n'exercent aucun effet significatif sur les fluctuations de ce paramètre.

Tableau 24: Résultats de l'analyse de variance à trois facteurs de l'effet de la date de semis, du régime hydrique, de la variété et de leur interaction sur les variations du taux de Calcium chez les 04 variétés de lentille testées.

Source de variation	Test F	Probabilité P
Effet facteur F1 (Date de semis)	1.32	0.2769 ^{ns}
Effet F2 (Situation hydrique)	371.19	0.0000 ^{***}
Effet F3 (variétés)	0.99	0.4043 ^{ns}
Effet interaction F1*F2 (Date de semis*situation hydrique)	2.80	0.0690 ^{ns}
Effet interaction F1*F3 (Date de semis*variétés)	1.80	0.1186 ^{ns}
Effet interaction F2*F3 (Situation hydrique*variétés)	4.59	0.0068 ^{**}
Effet interaction F1*F2*F3 (Date de semis* Situation hydrique* variétés)	2.57	0.0309 [*]

*** : effet significatif au seuil de 0.1% ;** : effet significatif à 1% ; * : significatif au seuil 5% ; ns : effet non significatif.

La comparaison des moyennes (Figure 35) montre que le taux de calcium est plus important en irrigué qu'en pluvial. En effet, dans les 3 dates de semis et sous conduite irriguée, le taux de calcium est plus élevé et fluctue entre des valeurs extrêmes de 126meq/100mgMS (Metropole) et 139 meq/100mg.MS pour le semis de décembre et entre 120meq/100mg.MS (Ibela et 154 meq/100mgMS (Balkan755) pour le semis de Janvier. pour le semis de Février les valeurs fluctuent entre 108meq/100mgMS (Metropole) et 134 meq/100mgMS.

En conduite pluviale, le contenu en calcium a subi une régression et varie entre des valeurs extrêmes de 62meq/100mgMS (Balkan755) et 86meq/100mgMS (Ibela) (Date1), entre 57meq/100mgMS (Balkan755) et 85 meq/100mgMS (Ibela) (Date 2) et entre 65meq/100mgMS (Balkan 755) et 83meq/100mgMS (Metropole).

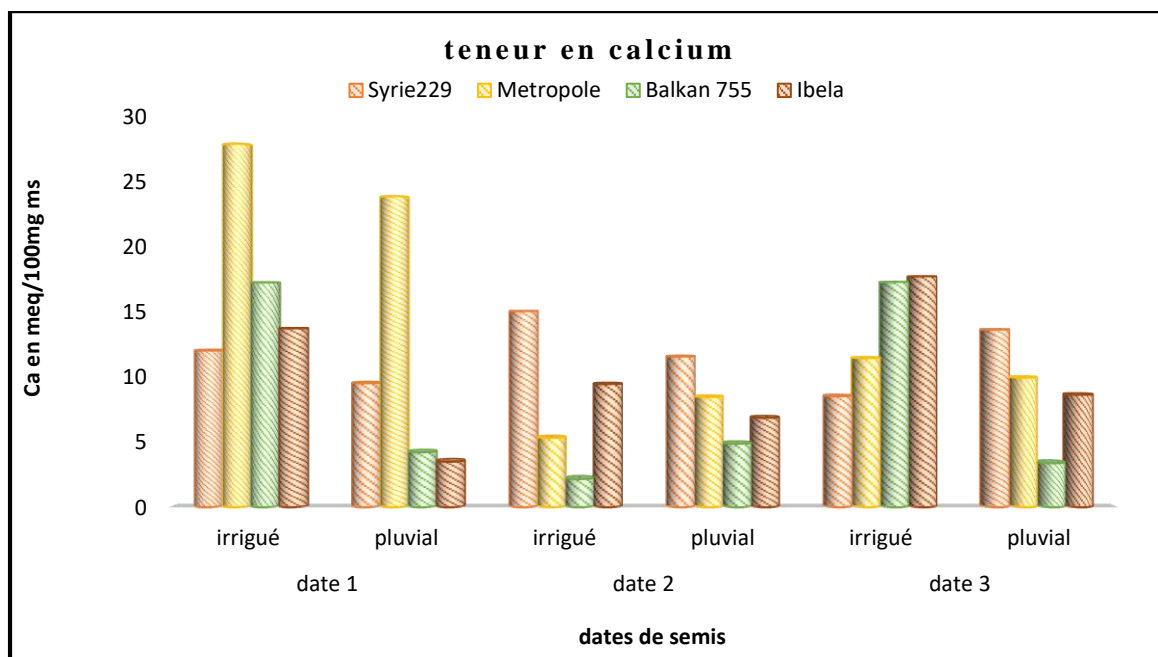


Figure 35 : Variation des taux de Calcium chez les variétés de lentille testées aux trois dates de semis sous les deux régimes hydriques irrigué et pluvial.

II-2 Résultats de l'expérimentation en milieu contrôlé

II-2- 1 Les paramètres physiologiques

II-2- 1 -1 La teneur relative en eau TRE ou RWC en %

Les résultats obtenus de l'analyse de variance (Tableau 25) ont révélé une différence hautement significative du régime hydrique appliqué sur l'évolution de la teneur relative en eau, l'effet de la variabilité génétique et de l'interaction (régime hydrique* géotypes) est non significatif, les quatre géotypes ont eu le même comportement vis-à-vis du stress pour ce paramètre au seuil 5 %.

Tableau 25 : Effet du déficit hydrique sur les variations des paramètres physiologiques.

Source de variation	TRE %	RWL mgH ₂ O/cm ² *60mn	SF cm ²	Chll a	Chll b	PSF mg/cm ²
Régime Hydrique (E)	0.0030**	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***	0.0000***
Variétés (G)	0.2106 ^{ns}	0.03237 ^{ns}	0.0000***	0.050 ^{ns}	0.076 ^{ns}	0.6680 ^{ns}
Interaction (E*G)	0.8032 ^{ns}	0.6613 ^{ns}	0.0125*	0.077 ^{ns}	0.0361*	0.05667 ^{ns}

TRE: teneur relative en eau, **RWL**: perte d'eau par la feuille excisée, **SF**: surface foliaire, **Chll a**: chlorophylle a, **Chllb**: Chlorophylle b. **PSF** : Poids spécifique foliaire.

La comparaison des moyennes de TRE (Figure 36) montre que la contrainte hydrique de fin de cycle s'est accompagnée d'une importante diminution de la teneur relative en eau chez l'ensemble des variétés testées, les valeurs moyennes de TRE sont plus importantes sous le régime irrigué SDH avec **75.29 %**. Sous le régime stressant la moyenne de TRE est de **70.71 %**.

Pour le facteur variétés, nous remarquons qu'en condition de stress hydrique, la variété Métropole présente le contenu relatif en eau le plus élevé avec **74.31 %**, la valeur de TRE la plus faible est fournie par le génotype BALKAN 755 avec une moyenne de **66.12 %**. Les deux autres variétés (Syrie 229 et Ibla) ont donné des valeurs de TRE voisines avec **71.22%** et **71.19 %** respectivement. En condition d'irrigation, les variétés Métropole et Syrie 229 représentent le contenu relatif en eau le plus élevé avec des moyennes de **77.85%** et **76.36 %** respectivement. Les deux autres génotypes ont fourni des valeurs proches de **73.69** et **73.28 %** respectivement.

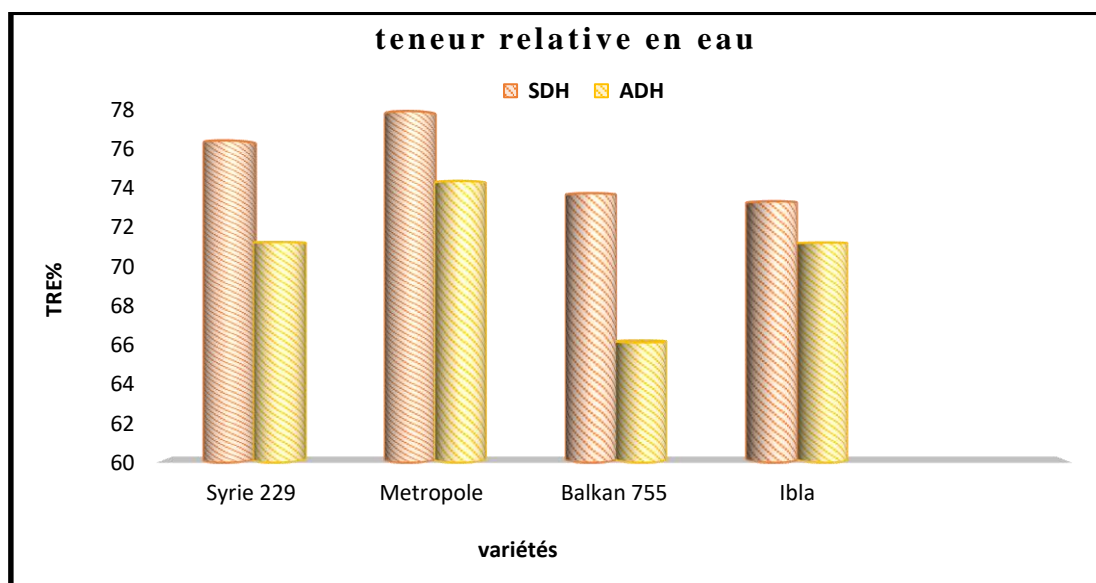


Figure 36 : Variation du contenu relatif en eau des quatre variétés de lentille sous régime irrigué et stressant.

II-2- 1 -2 Le taux de déperdition RWL en mg/cm²*60mn

L'analyse statistique des résultats du taux de déperdition **RWL** (Tableau 25) montre une différence très hautement significative du régime hydrique sur ce paramètre. La perte d'eau représentée par une transpiration essentiellement stomatique est fortement influencée par le déficit hydrique. La variabilité génétique testée ainsi que l'interaction (régime

hydrique*Génotype) n'exercent aucun effet sur l'élaboration de cette caractéristique ($P>0.05$), les génotypes testés ont réagi de manière similaire vis-à-vis du stress hydrique.

La comparaison des moyennes des deux traitements démontre que la valeur de RWL est plus élevée en condition SDH et est de $0.195 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$ alors qu'en conditions stressantes ADH, la valeur de RWL est de $0.138 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$.

La comparaison des moyennes des quatre génotypes (Figure 37) montre qu'en irrigué, le taux de déperdition le plus élevé est obtenu chez la variété Métropole avec une valeur de RWL de $0.207 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$ alors que le taux le plus faible est fourni par la variété Balkan 755 avec une valeur de $0.18 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$. En condition de contrainte hydrique, les valeurs de RWL oscillent entre un minimum de $0.126 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$ donné par le génotype Syrie 229 et un maximum de $0.151 \text{ mg/cm}^2 \cdot 60 \text{ mn}$ observé chez la variété Métropole.

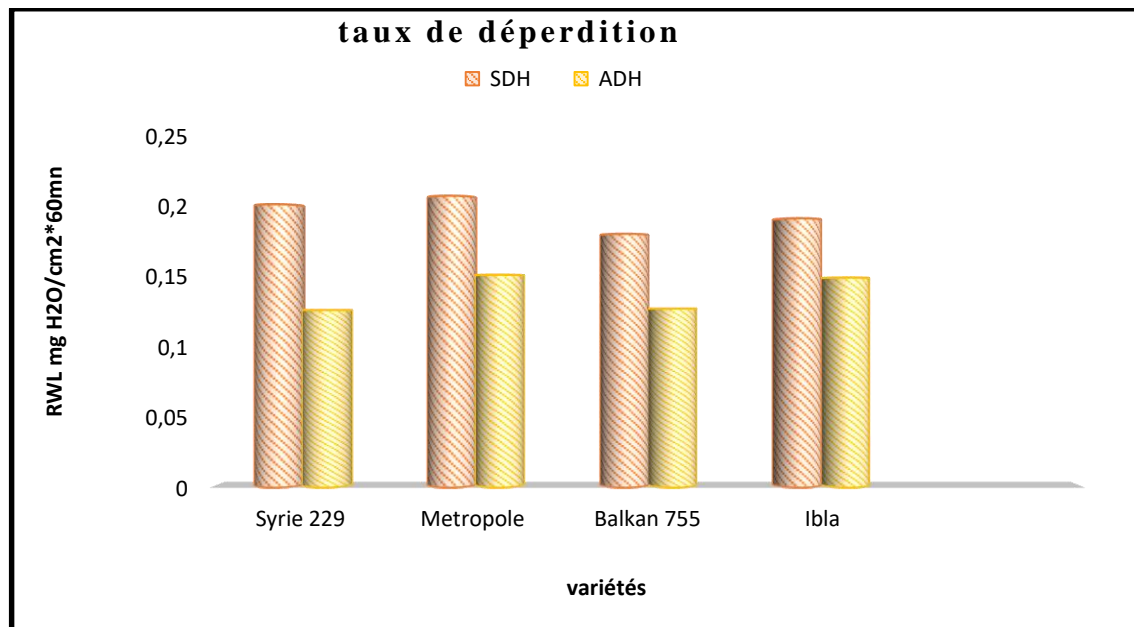


Figure 37: Evolution du taux de déperdition RWL en $\text{mg/cm}^2 \cdot 60\text{mn}$ sous l'effet du stress hydrique des quatre variétés de lentille.

II-2- 1 -3 la surface foliaire (cm^2)

L'analyse statistique des résultats de la surface foliaire (Tableau 25) montre un effet très hautement significatif du régime hydrique imposé et de la variabilité génétique testée sur l'expression de cette caractéristique ($P<0.01$). L'interaction entre les deux facteurs (régime hydrique* génotype) a également exercé un effet hautement significatif sur les fluctuations de ce paramètre ($P<0.05$), les génotypes testés ont perçu de manière divergente l'effet de la contrainte hydrique.

La comparaison des moyennes de surface foliaire (Figure 38) pour le facteur régime hydrique a montré que les plantes irriguées ont des SF plus élevées évaluées à 16.76 cm² et celle des plantes stressées est de 13.63 cm².

En comparant les moyennes génotypiques nous remarquons que la Syrie755 a donné une surface foliaire de 13.17 cm² en irrigué contre 11.92 cm² en condition de stress avec un % de réduction de 9%, le taux de réduction est plus élevé chez Métropole soit 19 %, la surface foliaire de la variété Balkan 755 est passée de 17.11cm² pour le régime SDH à 14.81 cm² pour le régime ADH d'où un taux de réduction de 13.4 %. On observe également une nette réduction de la surface foliaire chez la variété Ibela qui a donné 17.82 cm² en irrigué contre 12.43 cm² en conditions de stress hydrique, le % de réduction est de 30.2 %.

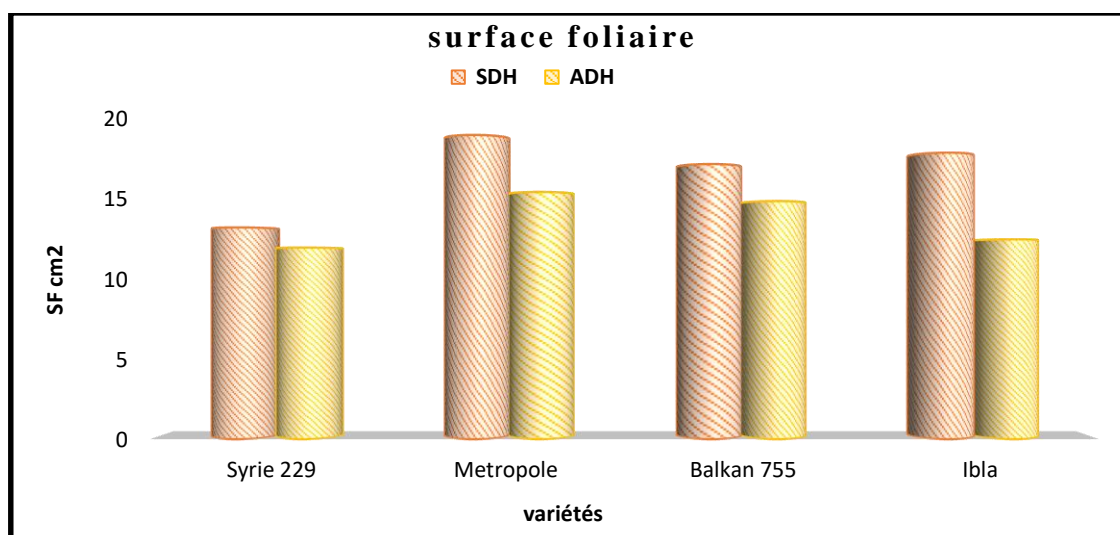


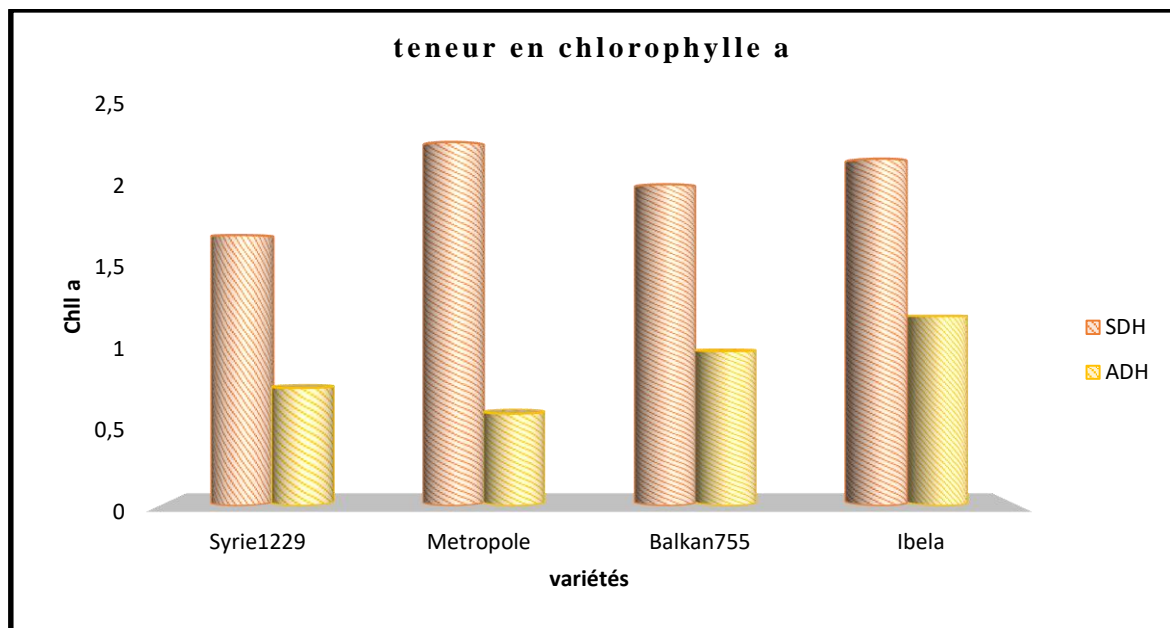
Figure 38: Effet du déficit hydrique sur l'évolution de la surface foliaire en cm² des quatre variétés de lentille testées.

II-2- 1 -4 Les pigments chlorophylliens

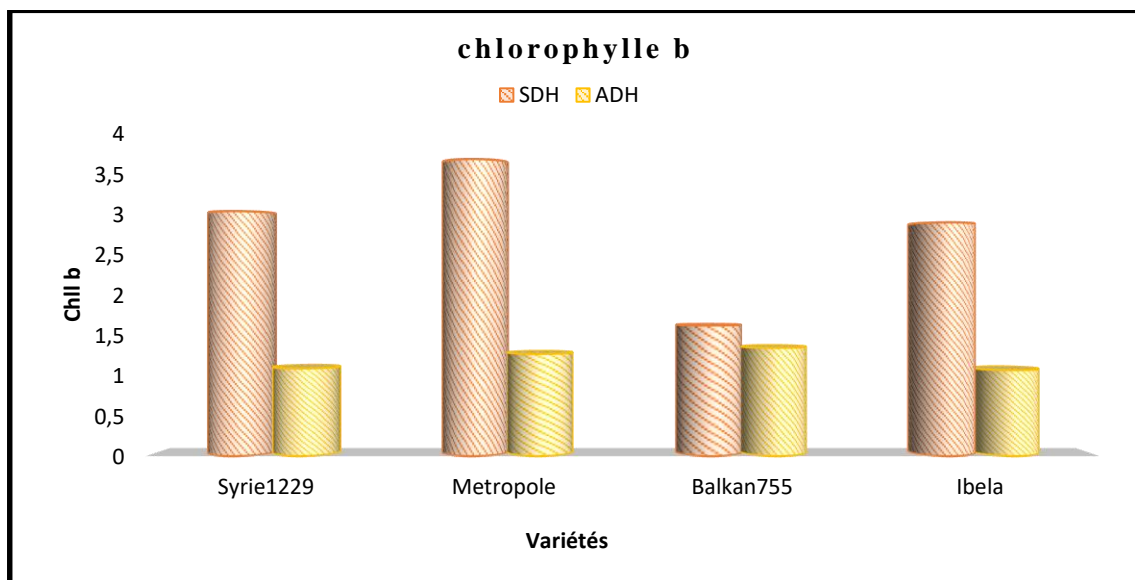
L'analyse statistique de la chlorophylle a (Tableau 25) a montré une influence très hautement significative pour les régimes hydriques à un niveau de probabilité de 5%, les génotypes et l'interaction (régimes hydriques x génotypes) n'exercent aucun effet sur les variations de la teneur en chlorophylle a.

La teneur en chlorophylle a diminué dans tous les génotypes stressés avec des taux de réduction fluctuant entre 45 % et 74 % par rapport aux plantes non stressées (Figure 39a), en effet, le niveau le plus élevé de chlorophylle a est affiché par la variété Ibela (1,192 mg/ml) et la valeur la plus faible est enregistrée par le cultivar Métropole (0,578 mg/ml).

Le même effet a été observé lors de l'analyse de la variance de la chlorophylle b. Les données statistiques de cette variable (Tableau 25) ont montré un effet très hautement significatif pour le facteur régime Hydrique et une influence significative pour l'interaction, un effet non significatif a été observé pour le facteur génotype. En effet, le stress hydrique induit de la floraison jusqu'au stade remplissage des graines a réduit le taux de chlorophylle b (Figure 39 b) avec des niveaux variant entre 16% et 65%.



(a)



(b)

Figure 39 (a, b): Effet du déficit hydrique sur l'évolution de la teneur en chlorophylle a et b des quatre variétés de lentille testées.

II-2- 1 –5 Le poids spécifique foliaire PSF

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 25) montrent que ce paramètre a été fortement influencé par le facteur régime hydrique. La variabilité génétique et l'interaction n'ont pas eu d'effet significatif sur la variation du poids spécifique foliaire.

La comparaison des moyennes (Figure 40) montre que l'effet du déficit hydrique appliqué à partir du stade floraison de la lentille a induit une forte progression du poids spécifique foliaire évaluée à 140 % chez les plantes stressées par rapport à celui des plantes irriguées.

En condition d'alimentation hydrique favorable, le PSF varie de 2.45 g/cm² inscrite par la variété Balkan et 4g/cm² marquée par la Syrie229 alors qu'en condition de stress ces valeurs ont progressé chez l'ensemble des variétés conduites, le seuil d'accroissement s'échelonne entre 100% et 360%.

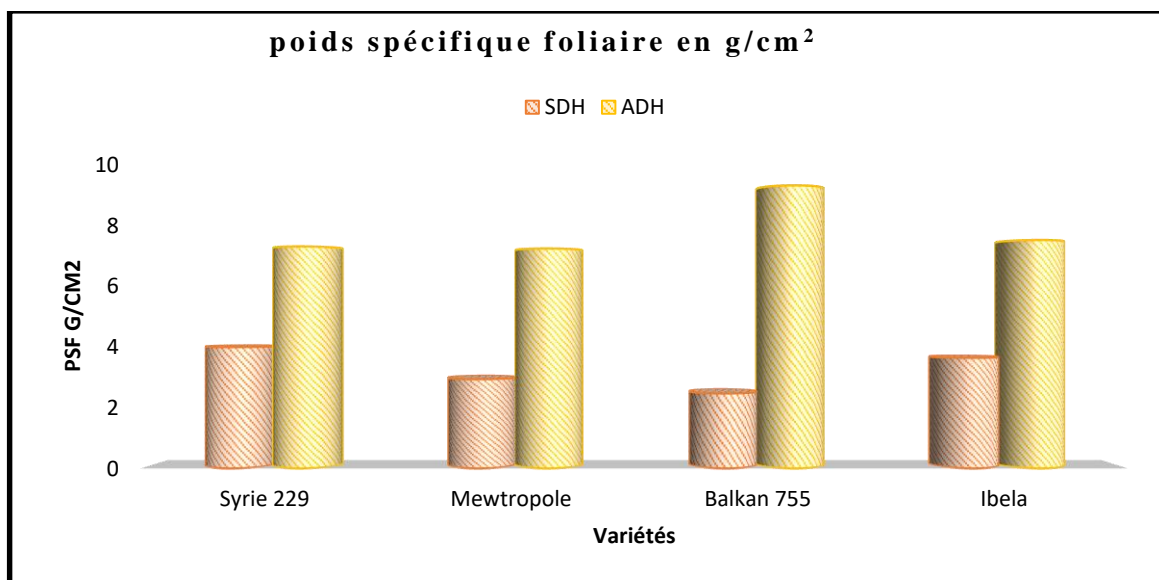


Figure 40: Effet du déficit hydrique sur l'évolution du poids spécifique foliaire des quatre variétés de lentille testées.

II-2-2 Les paramètres biochimiques

II-2-2 -1 Accumulation de la proline dans les feuilles en µg /g.ms

L'analyse statistique des résultats de la proline (Tableau 26) révèle un effet très hautement significatif à significatif du régime hydrique et de l'interaction (régime hydrique* génotype) sur les fluctuations de ce paramètre, les génotypes testés ont perçu la contrainte hydrique d'une manière divergente. L'accumulation de la proline est indépendante de la nature génotypique ($P > 0.05$).

Tableau 26 : Résultats de l'analyse statistique des paramètres biochimiques

Source de variation	Proline en $\mu\text{g/g}$ de matière sèche	Sucres solubles en $\mu\text{g/g}$ de matière sèche
Régime hydrique (E)	0.0000***	0.0000***
Variétés (V)	0.6224 ^{ns}	0.0895 ^{ns}
Interaction (E*V)	0.0372*	0.0041**

***: Très hautement significatif at $P < 0.05$, **: hautement significatif, * significatif, ns: non significatif.

Le stress hydrique de fin de cycle s'est traduit par une forte accumulation de Proline chez l'ensemble des plantes stressées ADH. La comparaison des résultats moyens (Figure 41) montre que le taux de proline le plus élevé est obtenu en situation de déficit hydrique avec un maximum de $229.59 \mu\text{g/g.ms}$ chez la variété Métropole et un minimum de $175.39 \mu\text{g/g.ms}$ accumulé chez la Syrie 229.

En Conditions d'irrigation SDH, le taux de proline accumulé oscille entre une valeur maximale de $166.98 \mu\text{g/g.ms}$ chez la Syrie 229 et une valeur minimale de $132.85 \mu\text{g/g.ms}$ chez la variété Balkan 755 (Figure 35).

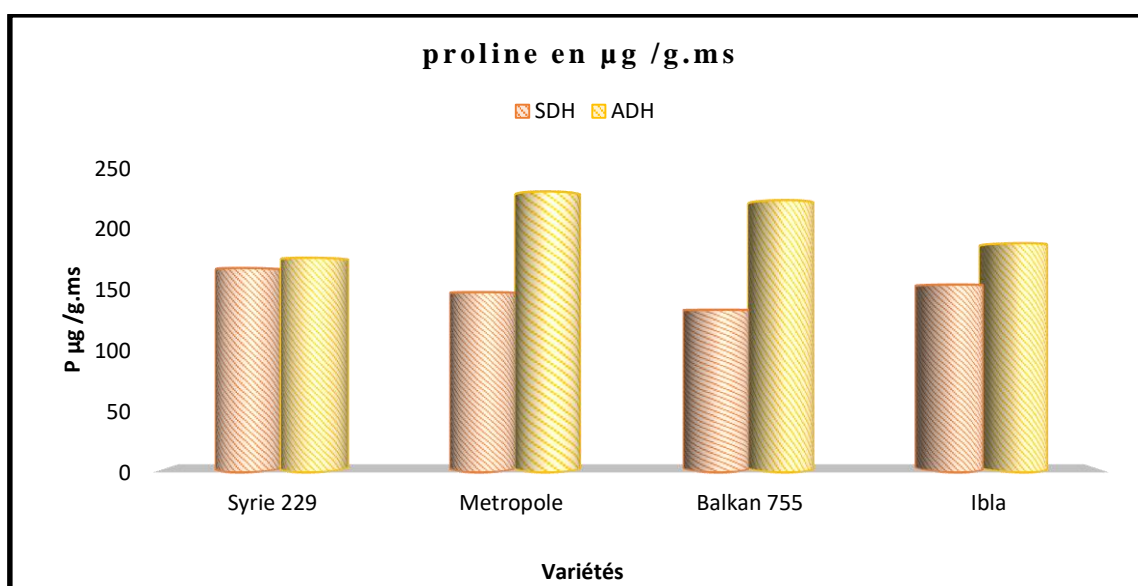


Figure 41 : Effet du déficit hydrique sur l'évolution du taux de proline en $\mu\text{g/g.ms}$ des quatre variétés de lentille testées.

II-2-2 -2 Accumulation des sucres solubles dans les feuilles en $\mu\text{g}/\text{g.ms}$

Un effet très hautement significatif du traitement hydrique et de l'interaction (régime hydrique*génotype) a été décelée de l'analyse de variance du taux d'accumulation des sucres soluble dans les feuilles ($P < 0.01$). La variabilité génétique testée n'a eu aucun effet sur les fluctuations de ce paramètre ($P > 0.05$) (Tableau 26).

La comparaison des moyennes (Figure 42) a montré une forte accumulation des sucres solubles sous régime stressant ADH chez l'ensemble des génotypes testés avec un maximum inscrit par Metropole avec une valeur de $110.21 \mu\text{g}/\text{g.ms}$ et un minimum accumulé par Ibela soit $60.42 \mu\text{g}/\text{g.ms}$. Dans les conditions d'irrigation, le taux de sucre le plus élevé est accumulé chez la Syrie 229 avec $61.43 \mu\text{g}/\text{g.ms}$ alors que la valeur la plus faible est observée chez la variété Métropole avec $44 \mu\text{g}/\text{g.ms}$. Ibela et Balkan ont accumulé des taux de sucres proches de 54.19 et $52.03 \mu\text{g}/\text{g.ms}$ respectivement.

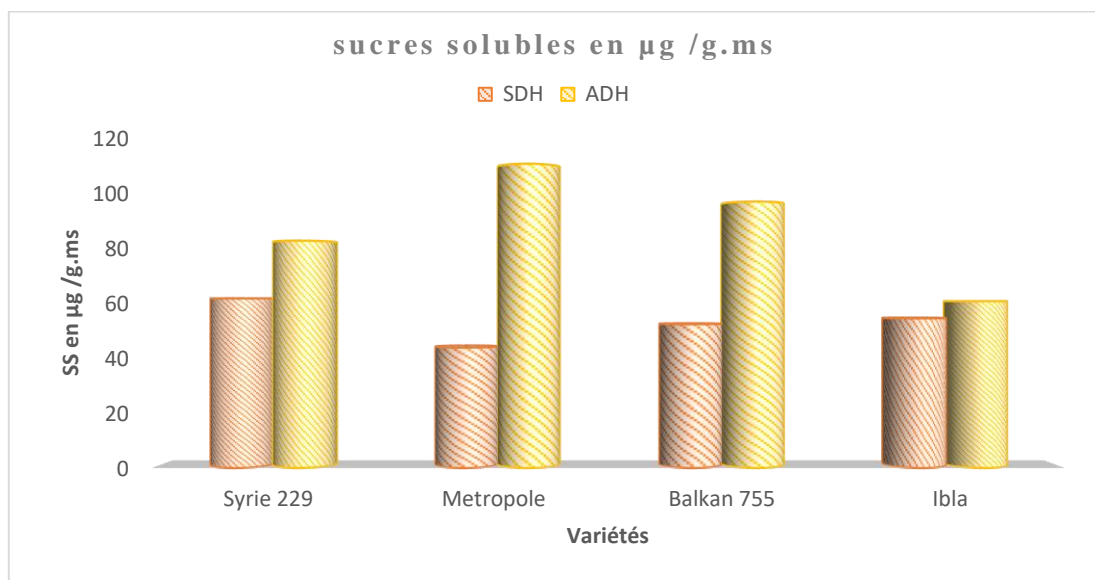


Figure 42: Effet du déficit hydrique sur l'évolution du taux de sucres solubles en $\mu\text{g}/\text{g.ms}$ des quatre variétés de lentille testées.

II-3 Résultats de l'expérimentation en plein champs 2016/2017.**II-3-1 Résultats de l'analyse de sol**

L'essai en plein champs 2016/2017 a été mis en place sur un sol de nature limono argileuse (horizon arable de 0-20 cm), légèrement alcalin avec un pH de 8.1, non salin (CE= 0.25ms/cm), pauvre en matière organique avec une teneur en matière organique de 1.56% et un très faible taux d'azote avec un seuil de 0.075% d'azote total, la teneur en phosphore assimilable est de 4.36ppm et celle du potassium échangeable est de 272.14ppm (Tableau 7).

II-3-2 Les paramètres physiologiques**II-3-2-1 La teneur relative en eau TRE%**

Les résultats obtenus à partir de la teneur relative en eau varient sensiblement sous l'effet de la variation des traitements hydriques que de celui de la variabilité génétique testée et de l'interaction (régimes hydriques* variétés) (Tableau 27).

Tableau 27 : Résultats de l'analyse de variance des paramètres physiologiques des variétés de lentille sous l'effet des conditions pluviales et irriguées.

Source de variation	TRE%	RWL mgH ₂ O/cm ² *60mn
Régime hydrique (E)	0.0000***	0.1139 ^{ns}
Variétés (V)	0.2036 ^{ns}	0.5880 ^{ns}
Interaction (E*V)	0.4830 ^{ns}	0.4561 ^{ns}

Le déficit hydrique de fin de cycle (régime pluvial) s'est accompagné d'une diminution significative des valeurs de TRE. La teneur relative en eau diminue différemment selon les génotypes testés, ainsi, Balkan 755 et Ibela ont été les plus touchés par le stress hydrique ; ils ont enregistré un taux de diminution significatif estimé à 17,32% et 14% avec respectivement 67,93% et 65,87% de TRE. La réduction en Syrie229 a été de 11,61 % (71,07 %) tandis que la variété Métropole a enregistré la plus faible régression avec un taux de 10,23 % (69,76 %). Dans les conditions d'irrigation (irrigation + pluie), les valeurs de TRE se situaient entre 76,91 % pour Ibela et 82,17 % pour Balkan755 (Figure 43).

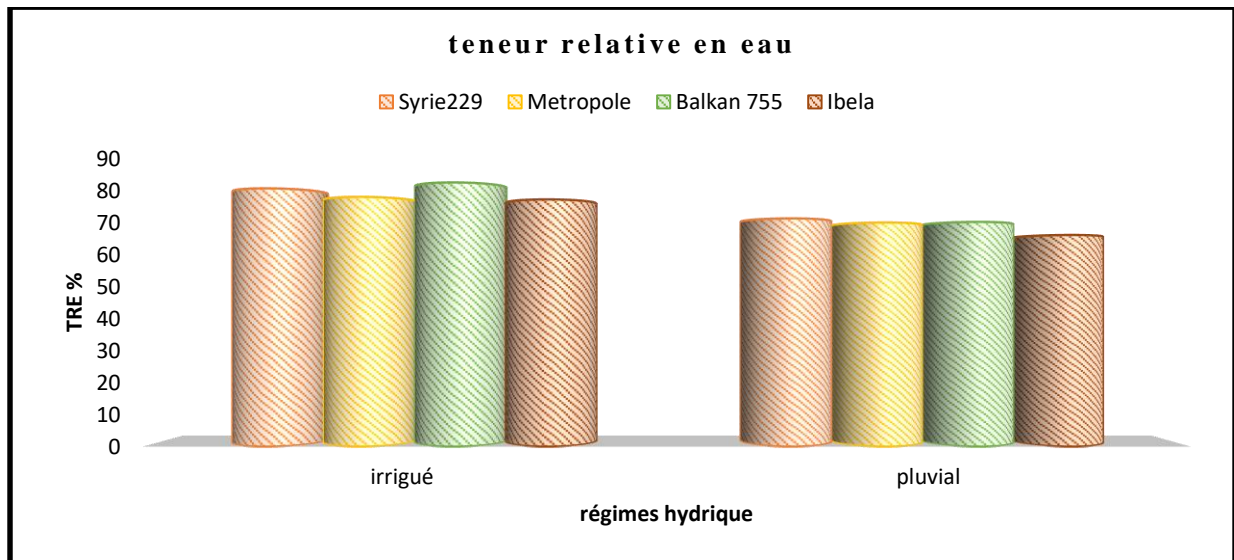


Figure 43: variation de la teneur relative en eau chez les quatre variétés de lentille sous les conditions pluviales et irriguées.

II-3-2-2 Le taux de déperdition RWL

L'analyse de variance de la perte d'eau par la feuille excisée RWL (Tableau 27) montre que l'élaboration de cette caractéristique est indépendante de la variation de la situation hydrique, de la nature de la variabilité génétique et de leur interaction. L'ensemble des variétés conduites ont réagi de manière similaire vis-à-vis la contrainte hydrique.

Les résultats moyens (Figure 44) démontrent qu'à l'échelle du lot irrigué, la perte d'eau fluctue entre des valeurs extrêmes de $0.311 \text{ mgH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot 60 \text{ mn}$ (Ibela) et $0.111 \text{ mgH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot 60 \text{ mn}$ (Balkan755). En conditions pluviales, la perte d'eau a diminué et varie entre un maximum de $0.105 \text{ mgH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot 60 \text{ mn}$ (Metropole) et un minimum de $0.076 \text{ mgH}_2\text{O}/\text{cm}^2 \cdot 60 \text{ mn}$ (Ibela).

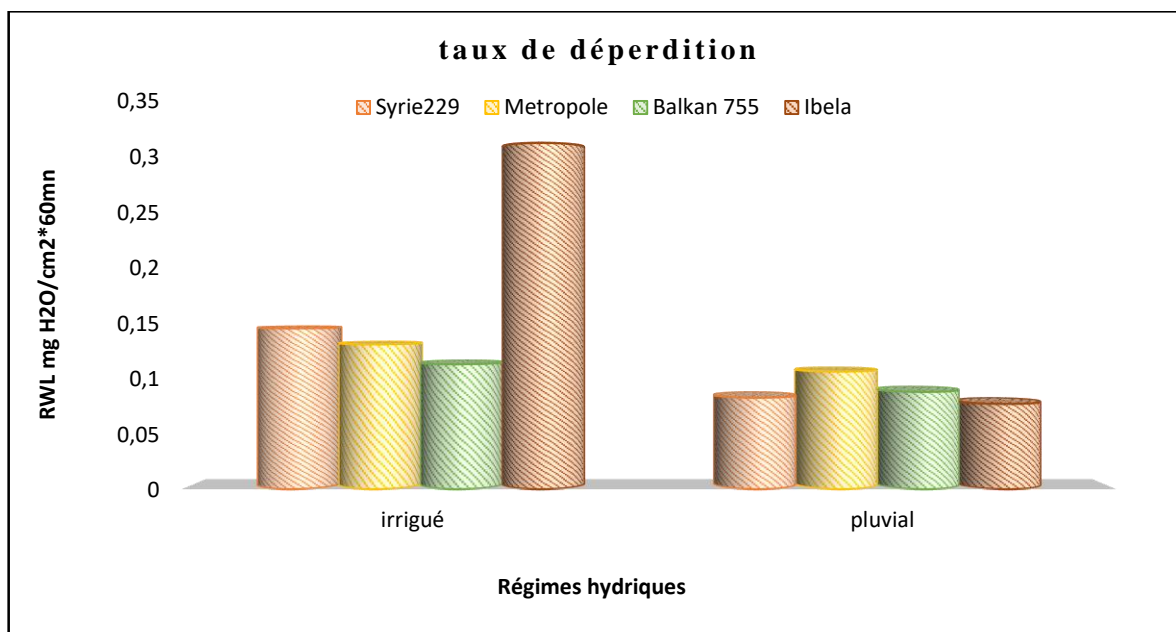


Figure 44: Variation du taux de déperdition chez les quatre variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

II-3-3 Les paramètres morphologiques

II-3-3-1 La hauteur des plantes HP (cm)

L'analyse de la variance des résultats de la hauteur des plantes de la lentille (Tableau 28) démontre que la variation de la HP est sous la dépendance de la variation de la situation hydrique que de la nature de variétés testées ou de leur interaction.

Tableau 28 : Résultats de l'analyse de la variance des paramètres morphologiques des variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Source de variation	HP (cm)	NEN	SF (cm ²)
Régime hydrique (E)	0.0000***	0.0002***	0.0000***
Variétés (V)	0.0699 ^{ns}	0.6444 ^{ns}	0.0000***
Interaction (E*V)	0.1187 ^{ns}	0.3258 ^{ns}	0.0082**

La comparaison des moyennes de la hauteur (Figure 45) a montré une forte régression de la hauteur des plantes soumises au stress et conduites en pluvial en comparaison avec celle des plantes irriguées avec un seuil de régression de 8%.

A l'échelle du lot irrigué, la hauteur des plantes s'échelonne entre un minimum de 23cm (Balkan755) et un maximum de 26 cm inscrit par la Syrie229. En conditions pluviales,

les valeurs de la hauteur des plantes sont réduites avec des seuils variant de 5% (Balkan 755 et Ibla) à 14% (Syrie229).

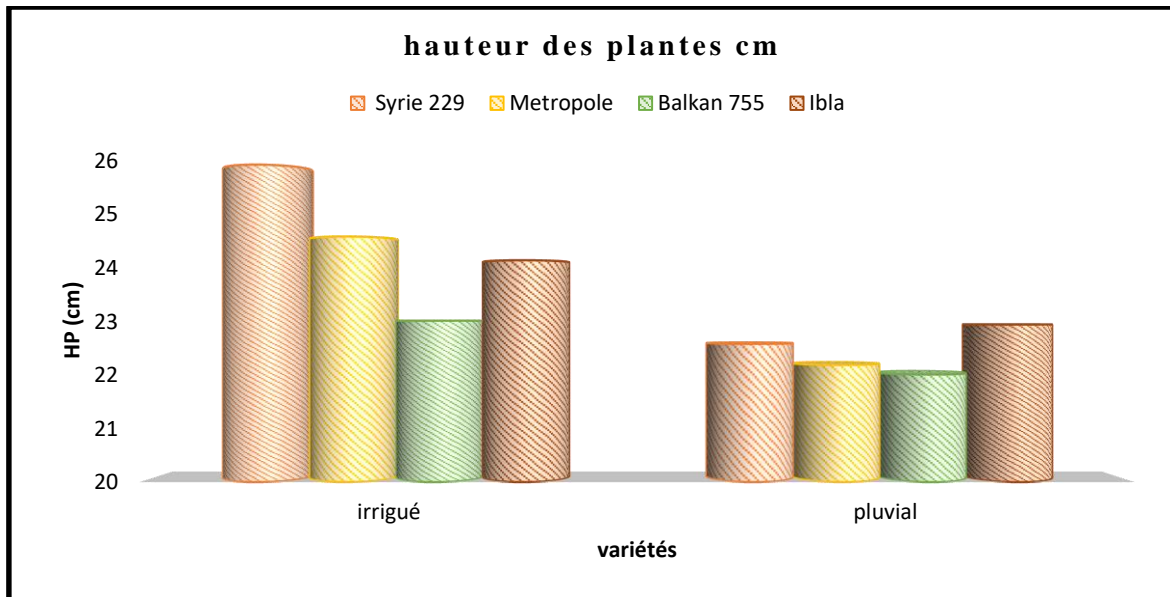


Figure 45: Evolution de la hauteur des plantes des quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-3-2 Le nombre des entre nœuds NEN

Les résultats dégagés de l'analyse de variance illustrés dans le Tableau 28 montrent que la variation du nombre des entre nœuds est sous l'influence significative du régime hydrique adopté. La nature de la variabilité conduite ainsi que l'interaction n'ont aucune influence sur l'élaboration de ce paramètre.

Les résultats moyens du NEN présentés dans la Figure 46 montrent que le nombre des entre nœuds est plus élevé en conduite irriguée où les valeurs oscillent entre 13.65 (Balkan755) à 14.5 (Syrie229) alors qu'en conduite pluviale, le NEN a diminué et fluctue entre un maximum de 13.16 (Metropole) et un minimum de 11.9 inscrit par la Syrie229.

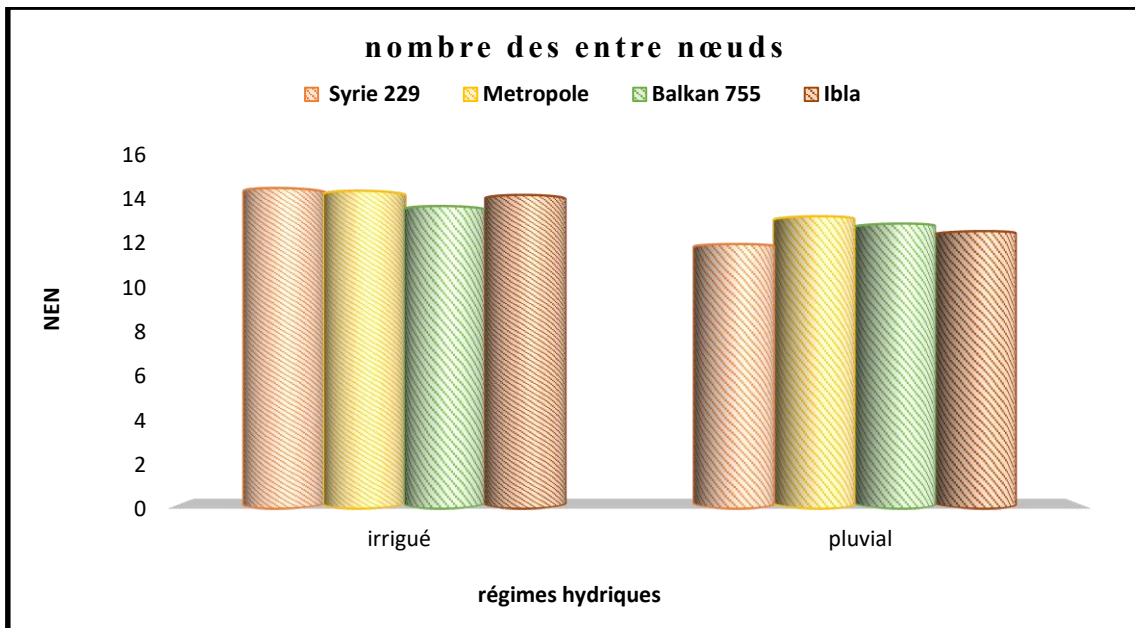


Figure 46 : Evolution du nombre des entre nœuds chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-3-3 La surface des feuilles SF (cm²)

L'analyse de la valeur du paramètre de la surface foliaire, illustrée dans le Tableau 29, a montré un effet très hautement significatif à la fois de la situation hydrique adoptée, du facteur variété et de leur interaction.

La comparaison des moyennes (Figure 47) démontre que la surface foliaire a régressé sous l'effet du stress hydrique, Ainsi, la variété Balkan755 a enregistré la plus forte réduction avec un taux de 24,6% et la plus faible a été marquée par la Syrie229 (12,83%). Dans les conditions bien arrosées (irrigation + pluie), Balkan 755 et Metropole ont enregistré la valeur la plus élevée de surface foliaire (18cm² et 17,75cm² respectivement), Ibela a marqué 15,80cm² tandis que la valeur la plus faible de surface foliaire (13,56cm²) a été inscrite par la Syrie229.

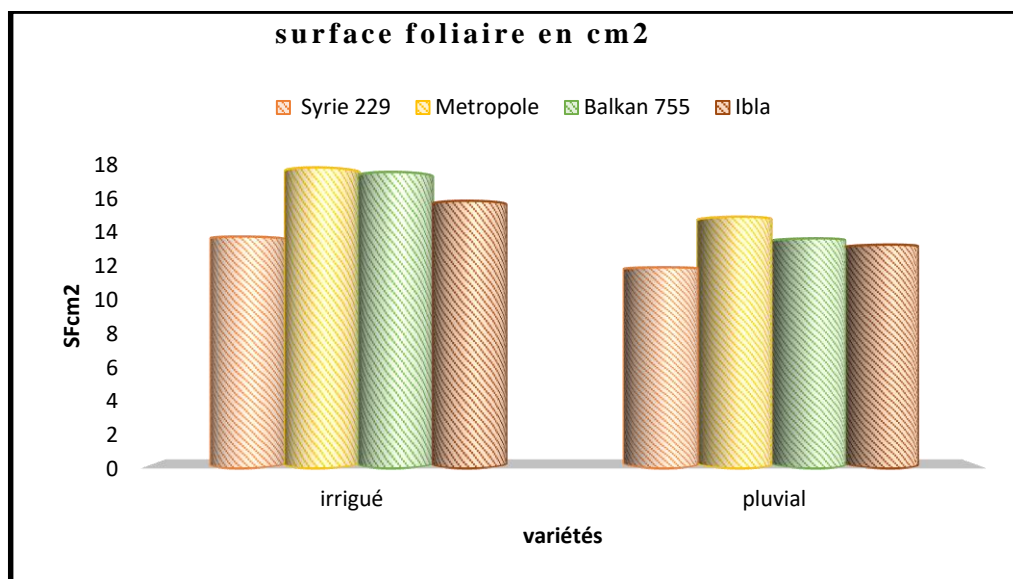


Figure 47: Evolution de la surface foliaire chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-4 Rendement et composantes de Rendement

II-3-4-1 Nombre de gousses /plant

Les résultats obtenus de l'analyse statistique des données du nombre de gousse (Tableau 29) a montré que l'élaboration de cette composante de rendement importante est sous l'influence très hautement significative à significative de la situation hydrique imposée, de la nature de la variabilité génétique testée et de leur interaction.

Tableau 29: Résultats de l'analyse de la variance du RDG et des composantes de rendement des variétés de lentilles dans les conditions d'irrigation et pluviales.

Source de variation	NGS/P	NGR/P	PCG (g)	RDG (qx/ha)
Effet facteur1 (Régime hydrique) (E)	0.0000***	0.0000***	0.99 _{ns}	0.0000***
Effet facteur 2 (Variétés) (V)	0.0314*	0.0990 _{ns}	0.0000***	0.0022**
Effet de l'interaction (régime hydrique*variétés) (E*V)	0.0485*	0.1196 _{ns}	0.6437 _{ns}	0.0168*

Les résultats moyens (Figure 48) montrent que le NGS par plant est plus élevé sous conduite irriguée qu'en pluvial, la sécheresse de fin de cycle a fortement réduit le NGS avec un taux de régression estimé à 41%.

Dans le cas du lot conduit en irrigué (irrigation + pluie), les valeurs de NGS /P s'échelonnent entre des valeurs extrêmes de 64 GS (Ibela) et 104GS (Metropole). A l'échelle du lot conduit en pluvial, le NGS varie entre un minimum de 29 GS détenu par la Syrie 229 et un maximum de 40GS inscrit par Balkan755.

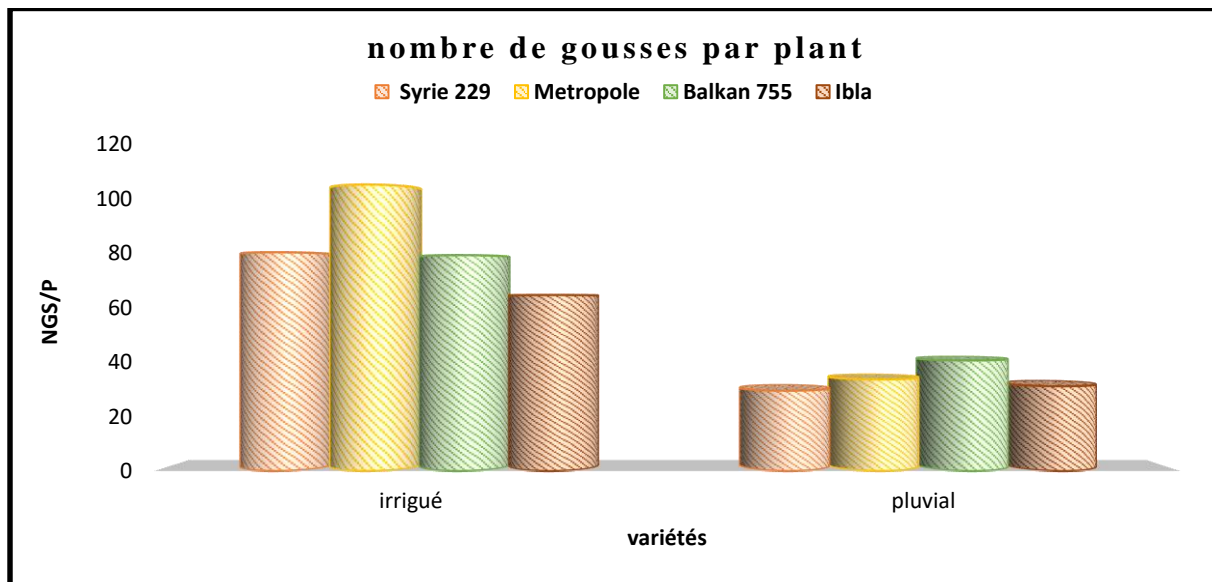


Figure 48 : Evolution du nombre des gousses / plant chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-4-2 Nombre de grains/plant

Les résultats obtenus de l'analyse de variance du NGR par plant (Tableau 28) montrent que ce paramètre dépend fortement de la variation de l'alimentation hydrique que de la nature génotypique ou de leur interaction.

La comparaison des moyennes (Figure 49) montre que l'apport de l'irrigation a permis un accroissement du NGR (80GR) par rapport à la conduite pluviale (32 GR).

Dans le cas du régime irrigué, le nombre de grains par plant oscille entre des valeurs extrêmes de 100 GR/P (Metropole) et 68 GR/P (Ibela). A l'opposé et sous conduite pluviale, le nombre de grains/plant a subi une nette régression chez l'ensemble des variétés testées avec des seuils variant de 49% (Balkan) à 68% (Metropole).

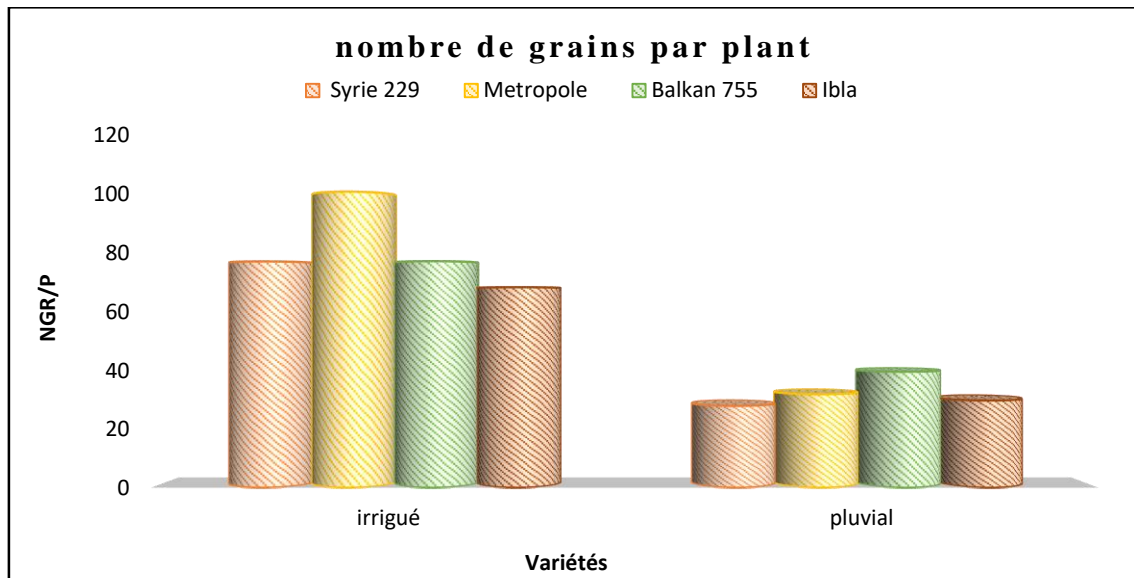


Figure 49: Evolution du nombre des grains/plant chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-4-3 Poids de cents grains

Les résultats de l'analyse de variance (Tableau 29) montrent que le PCG dépend fortement de la nature de la variabilité génétique. La variation de situation hydrique ainsi que l'interaction (régime hydrique* variétés) n'exercent aucune influence sur les fluctuations de ce paramètre.

Au niveau du lot irrigué, la moyenne du PCG la plus importante est de l'ordre de 6.57g inscrite par la variété Metropole et la valeur la plus faible de 4.22g est obtenue par la Syrie229 (Figure 50).

L'effet du déficit hydrique s'est traduit par un comportement distinct entre les variétés étudiées, certaines d'entre elles ont réagi par un accroissement de leur PCG cas de Metropole (7%), Ibela (5%) et la Syrie229 (1%) alors que la variété Balkan755 a réagi à la contrainte hydrique par une réduction de 9% de son PCG (Figure 50).

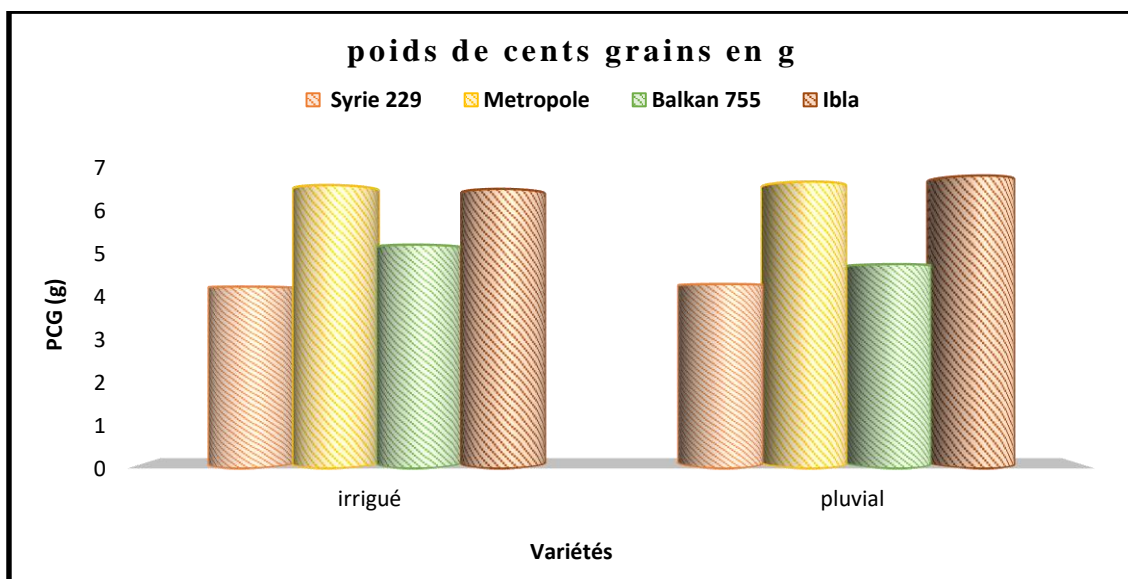


Figure 50: Evolution du poids de cents grains chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-3-4 Rendement en grain qx/ha

L'analyse de la variance du paramètre de rendement en grains illustrée dans le Tableau 29 a indiqué que les traitements hydriques, La nature de la variabilité génétique ainsi que leur interaction ont eu un effet significatif sur le rendement en grains des lentilles. Ainsi, le rendement en grains a été réduit dans les conditions pluviales (seulement 10,8 mm de pluie reçus pendant la période de reproduction), le taux de réduction étant de 59 % par rapport à celui obtenu sous irrigation.

La sécheresse de fin de cycle a été très néfaste et a diminué le rendement en grains chez l'ensemble des variétés testées (Figure 51), la réduction la plus faible a été observée dans les variétés les plus précoces et elle a été de 49 % et 59 % (Ibela et Syrie229) respectivement. Metropole a enregistré un taux de réduction de 60,5 %, tandis que la plus forte réduction, de 66,36 %, a été observée chez la variété Balkan755. En conditions d'irrigation, Metropole a obtenu le rendement en grains le plus élevé avec 9.37 qx.ha-1 ; le plus faible a été enregistré par la Syrie229 avec une valeur de 6.55 qx/ha.

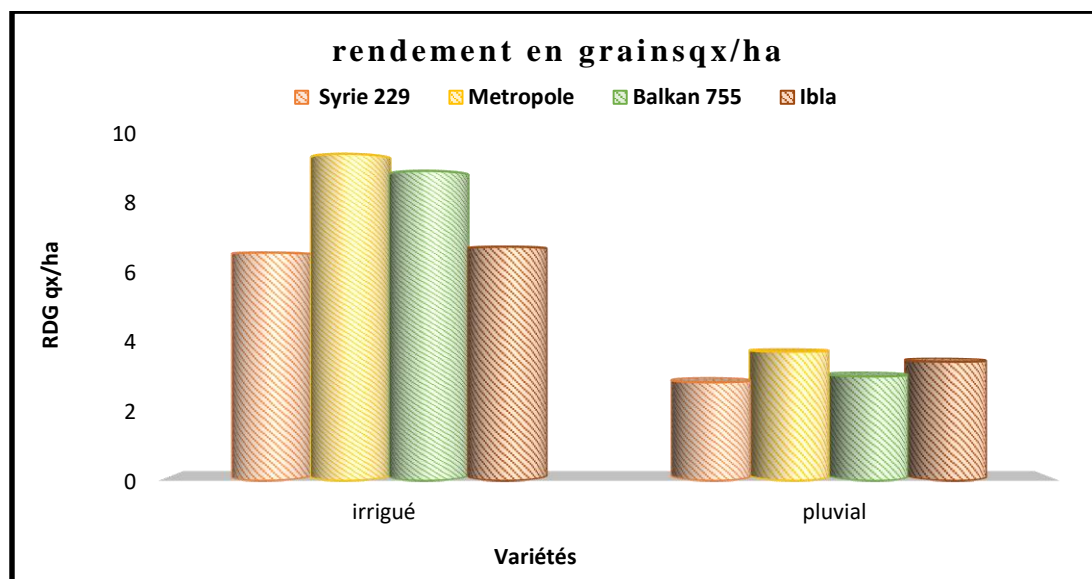


Figure 51: Evolution du Rendement en grains chez les quatre variétés de lentille conduites en pluvial et en irrigué.

II-3-5 Composition chimique des grains de Lentille

II-3-5-1 Teneur en protéines totales

Sur la base des données illustrées dans la Figure 52, toutes les variétés évaluées ont montré des réponses similaires en ce qui concerne la teneur en protéines totales. L'effet de la sécheresse terminale sur la variation de ce paramètre est très hautement significatif au seuil de 5% de probabilité. La nature des génotypes et l'interaction (régime hydrique*variétés) sont aussi responsables des fluctuations de cette composante (Tableau 30). Par rapport aux plantes irriguées, la teneur en protéines des plantes stressées (conditions pluviales) a augmenté de manière significative ($P < 0,0001$) dans l'ensemble des variétés. La valeur moyenne des PT est passée de 20,30 % à 26,84 %. Le taux d'accroissement maximal de 43,12 % est observé chez la variété Ibela et le plus faible de 18,89% est enregistré par la variété Metropole.

Tableau 30: Résultats de l'analyse de la variance du taux des protéines totales et de l'amidon chez les quatre variétés de lentille.

Source de variation	PT%	Amidon%
Effet facteur1 (Régime hydrique) (E)	0.0000***	0.0000***
Effet facteur 2 (Variétés) (V)	0.0004***	0.4762 ^{ns}
Effet de l'interaction (régime hydrique*variétés) (E*V)	0.0202*	0.6161 ^{ns}

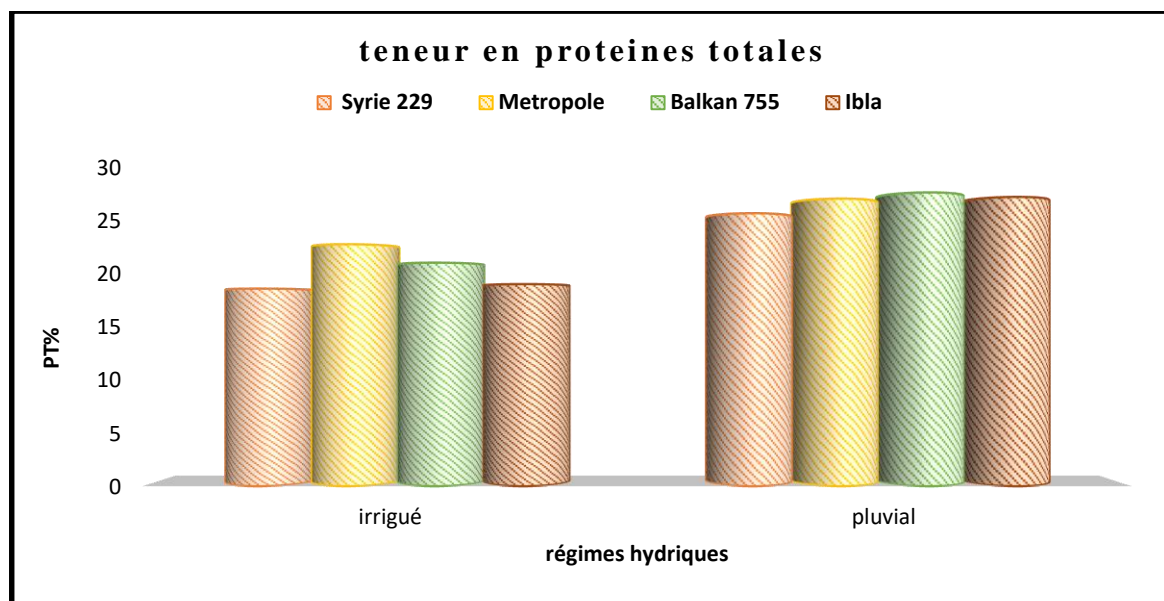


Figure 52 : variation du taux des protéines totales des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

II-3-5-2 Teneur en Amidon

Les résultats de l'analyse de la variance (Tableau 30) montrent que les variétés de lentille conduites présentent des concentrations d'amidon voisines ; l'effet variétal sur la variation de ce paramètre semble insignifiant. Cependant, l'ensemble des variétés ont montré une réduction de leur teneur en amidon dans les conditions de sécheresse terminale (pluviales). La valeur moyenne de la teneur en amidon a diminué de 41,94 % à 40,09 %. La plus forte diminution a été de 5,43 % cas de la variété Metropole et la plus faible régression de 3,29 % est marquée par la variété Balkan 755 (Figure 53).

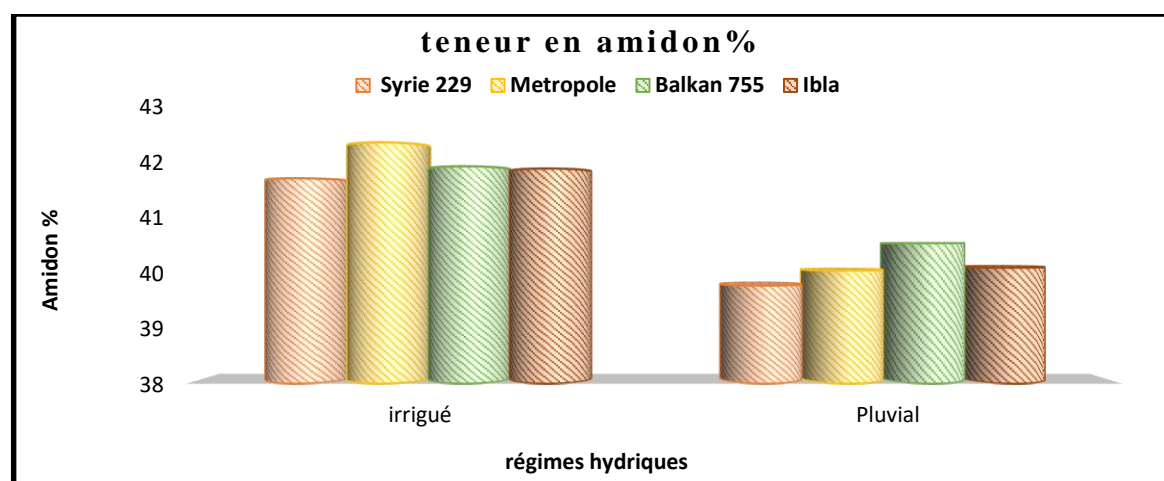


Figure 53: variation des taux d'amidon des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

II-3-5-3 Composition minérale

L'analyse de variance de la composition minérale des variétés de *lens culinaris* Medik (Tableau 31) a montré une augmentation dans l'accumulation de potassium sous l'effet de la sécheresse terminale. Les seuils d'accroissement du taux de K^+ varient de 6,40 % (Balkans 755) à 17,40 % (Syrie 229). L'augmentation maximale est de 102,75 ppm pour la Syrie 229 et l'augmentation la plus faible de 46,02 ppm est inscrite par la variété Metropole conduite en pluvial (Figure 54).

Tableau 31: Résultats de l'analyse de la variance des minéraux dans les variétés de lentilles en conditions d'irrigation et pluviales.

Source de variation	Potassium	Calcium	Magnésium	Sodium	Phosphore
Effet facteur1 (Régime hydrique) (E)	0.0000***	0.7919 ^{ns}	0.6824 ^{ns}	0.0003***	0.2888 ^{ns}
Effet facteur 2 (Variétés) (V)	0.0001***	0.0043**	0.8599 ^{ns}	0.0000***	0.9636 ^{ns}
Effet de l'interaction (régime hydrique*variétés) (E*V)	0.5853 ^{ns}	0.3713 ^{ns}	0.5289 ^{ns}	0.0340*	0.3067 ^{ns}

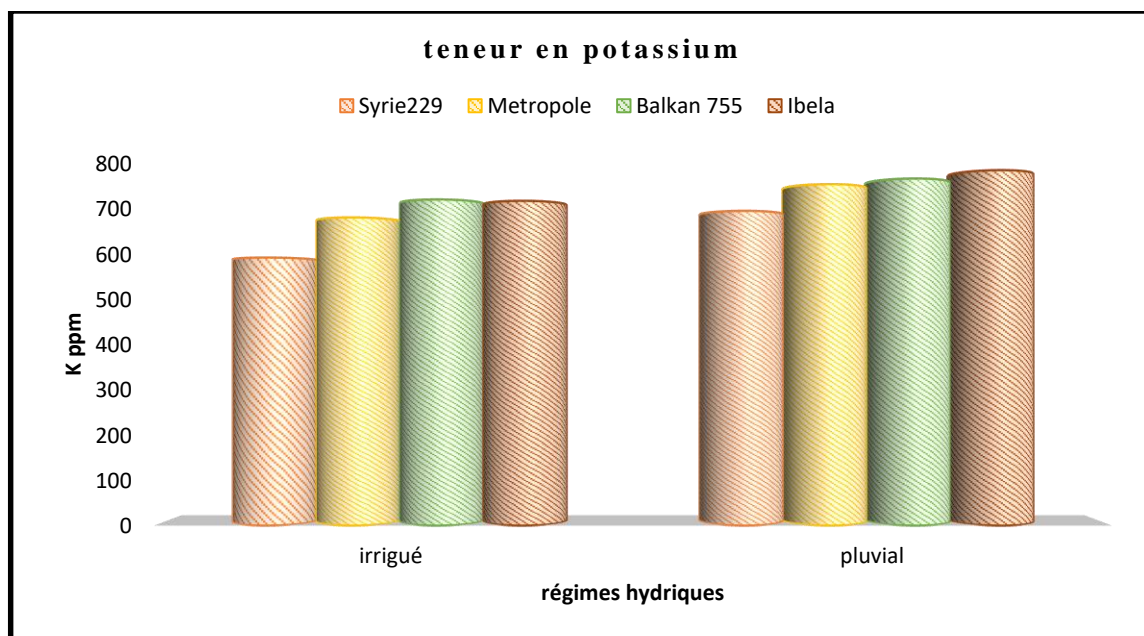
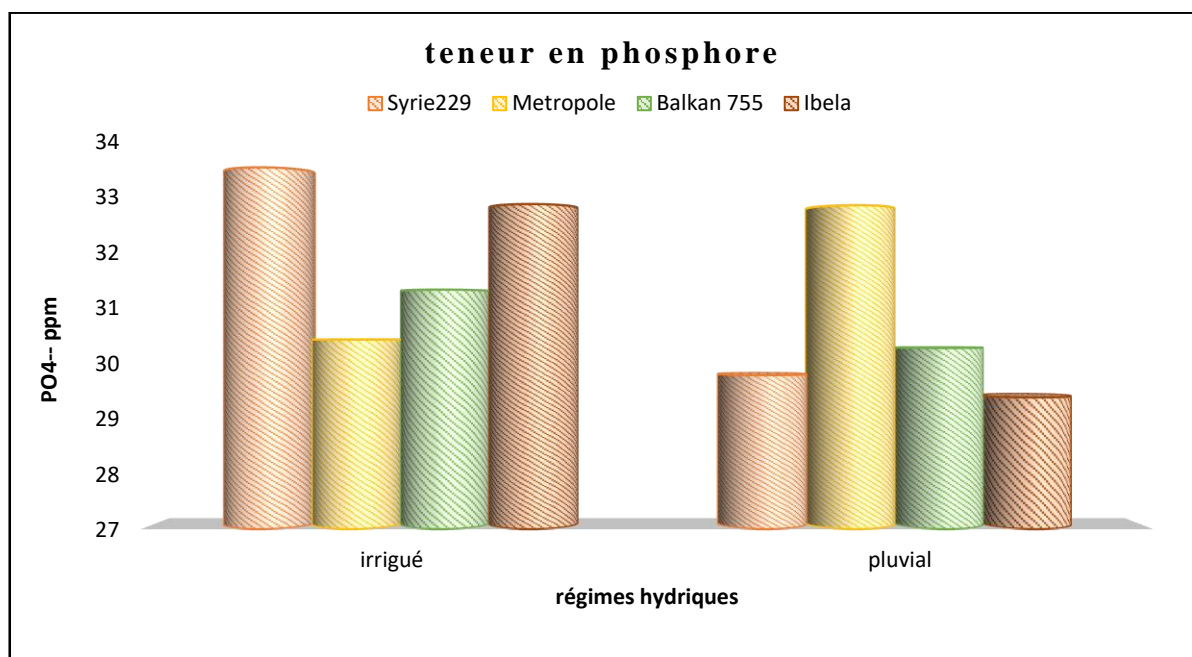
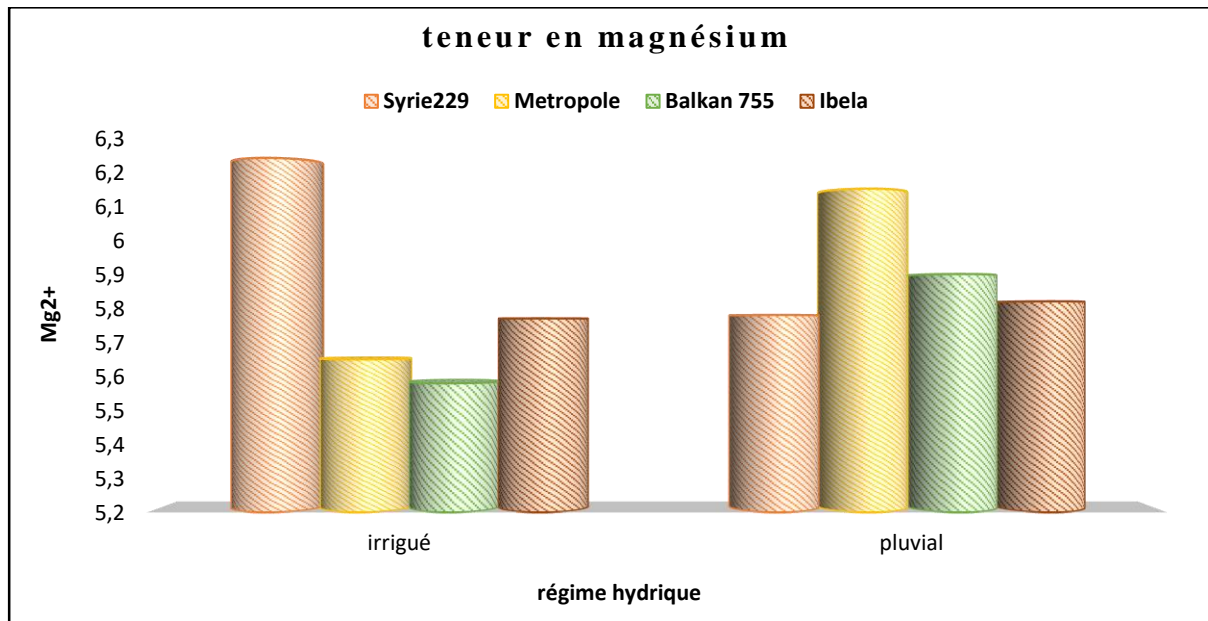


Figure 54: Variation du taux de potassium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

En ce qui concerne la teneur en ions P et Mg, ils n'ont pas été affectés par les deux facteurs étudiés (régimes hydriques, variétés et leur interaction) (Tableau 31). Sous irrigation, la teneur en Phosphore total la plus élevée est enregistrée par la Syrie 229 avec une concentration de 33,50ppm et la valeur la plus faible de 30,21ppm a été marquée par la variété Metropole. En revanche, dans les conditions pluviales, la teneur en phosphore varie entre 29,36 ppm (Ibela) à 32,82 ppm (Metropole) (Figure 55 a). D'autre part, les échantillons de grains prélevés sur les plantes irriguées présentent une teneur en Mg oscillant entre 5,58ppm (Balkan755) et 6,24ppm (Syrie) tandis que ceux provenant de plantes stressées (conduites en pluvial), présentent une teneur en Mg variant de 5,78ppm (Syrie229) et 6,15ppm marqué par la variété Metropole (Figure 55 b).



(a)



(b)

Figure 55 (a, b): variation des taux de phosphore et de magnésium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

L'accumulation de l'ion calcium dans les graines de lentilles n'a pas été influencée par la pratique de l'irrigation (facteur du régime hydrique non significatif), alors que l'effet du facteur variétés a été hautement significatif ($P < 0,001$) (Tableau 31). Les valeurs oscillent entre un maximum atteint par Balkan755 de 8,68ppm et un minimum marqué par la variété Ibela de 7,12ppm (Figure 56).

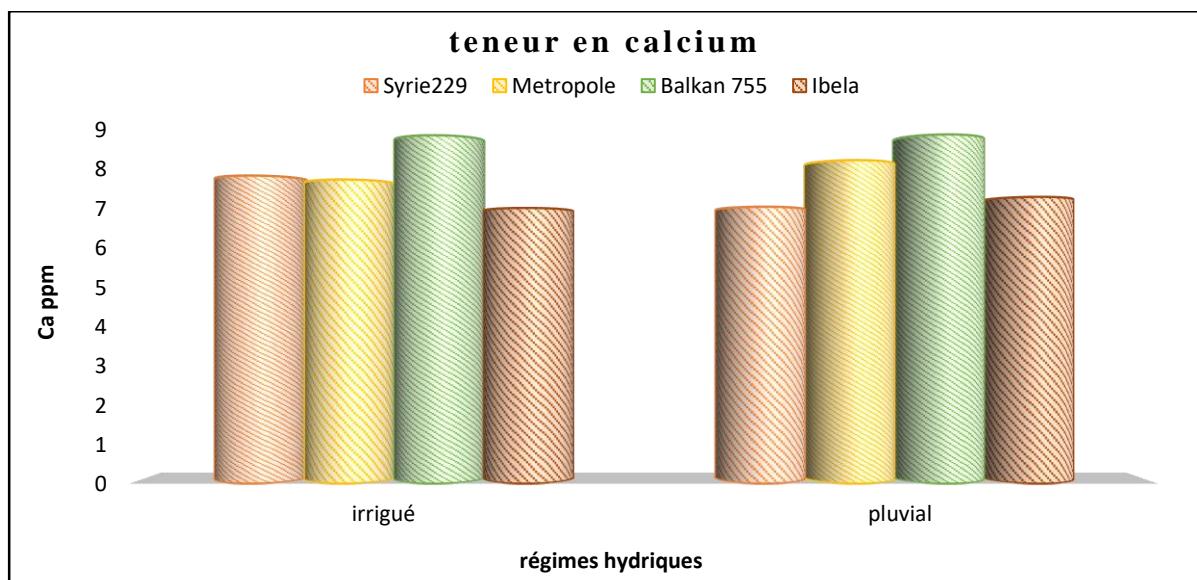


Figure 56: variation des taux de calcium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

En ce qui concerne la teneur en sodium, les grains collectés sur les plantes conduites en pluviale sont plus pauvres en cet élément. L'ion Na a été influencé par le facteur régimes hydriques, le facteur variétés et leur interaction, ce qui est confirmé par l'analyse de variance illustrée dans le tableau 31. En l'absence d'irrigation, la concentration en Na a diminué, elle a montré une diminution moyenne de 5,91ppm à 4,50ppm avec une réduction maximale de 3,35ppm (Ibela) et une diminution minimale de 0,69ppm enregistrée par la variété Metropole. Les teneurs en sodium varient entre 3,76 ppm (Syrie229) et 8,15 ppm chez la variété Ibela (Figure 57).

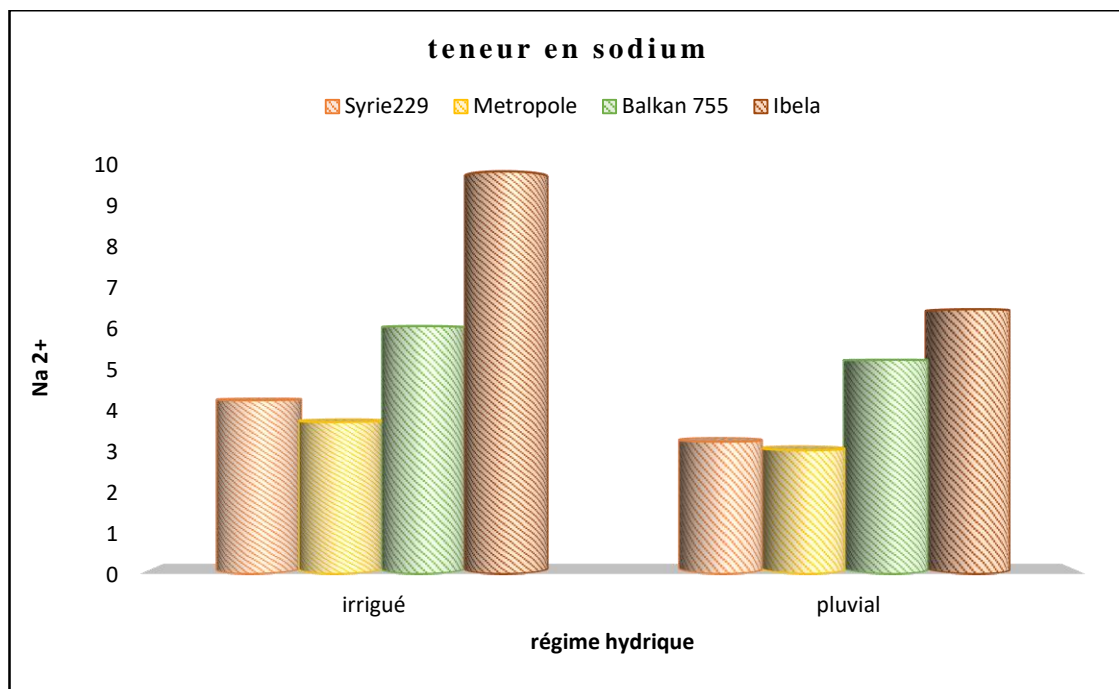


Figure 57: variation des taux de sodium des quatre variétés de lentille sous les conditions irriguées et pluviales.

Chapitre III :

Discussion Générale

Discussions Générale

Les résultats obtenus à travers notre étude en plein champs (2015/2016) dont l'objectif est de voir l'implication de la précocité comme stratégie d'esquive à la contrainte hydrique de fin de cycle en plus des indices de tolérance chez quatre variétés de lentille, montrent que le calage de la date de semis a influencé l'ensemble des paramètres phénologiques, morphologiques (à l'exception de la HP), agronomiques (à l'exception du PCG) et physiologiques étudiés. En effet, l'effet de **la date de semis** s'est traduit par **un raccourcissement de la durée des stades** phénologiques expliqué par les corrélations significatives et négatives entre les différents stades et la date de semis (Tableau 32) (NJF, $r = -0.94^{**}$), NJFG, $r = -0.94^{**}$), NJFGr, $r = -0.94^{**}$) et NJM, $r = -0.93^{**}$). Plus le semis est recalé et plus la durée des stades phénologiques est réduite. Ce raccourcissement est plus accentué en conditions pluviales qu'en irrigué. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Blum, (1998), Idrissi et al (2012) et Semcheddine (2015) qui ont suggéré qu'une courte durée de la phase de remplissage des grains constitue un caractère d'esquive du stress terminal. D'autre part, Maamri (2011) a signalé que les géotypes tolérants au stress hydrique sont ceux qui se caractérisent par un cycle de croissance court, une longue phase de floraison et de remplissage des grains et une maturité précoce. Cependant, les variétés Ibela, la Syrie 229 et Metropole ont une durée de remplissage (16, 15 et 14 jours respectivement) plus longue par rapport à la variété Balkan755 (7 jours).

L'effet de la date de semis sur les variations des paramètres morphologiques et agronomiques (Tableau 32) s'explique par les corrélations négatives significatives entre la date de semis et DT ($r = -0.39^{**}$), DEN($r = -0.25^{**}$), NF/P($r = -0.33^{**}$), le NGS($r = -0.48^{**}$), le NGR($r = -0.53^{**}$) et le RGR($r = -0.88^{**}$). Ces résultats se consolident avec les travaux de Gauache (2011) et Lecoœur et al (2010).

Les résultats dégagés des deux essais en plein champs montrent un effet significatif de la sécheresse terminale sur l'élaboration des paramètres morphologiques et agronomiques (à l'exception du PCG) qui ont subi une forte régression en conduite pluviale. Ces résultats se justifient par les corrélations significatives et négatives illustrées dans les Tableaux 32 et 33 entre le régime hydrique et HP ($r = -0.58^{**}$, $r = -0.61^{**}$) ; NEF ($r = -0.34^{**}$, $r = -0.56^{**}$); DT ($r = -0.30^{**}$) ; DEN ($r = -0.51^{**}$) ; NF/P ($r = -0.53^{**}$) ; SF ($r = -0.61^{**}$, $r = -0.69^{**}$) ; NGS ($r = -0.49^{**}$, $r = -0.83^{**}$) ; NGR ($r = -0.49^{**}$, $r = -0.84^{**}$) et le RDG ($r = -0.55^{**}$, $r = -0.89^{**}$).

Relation entre le rendement et ses composantes, la phénologie, la morphologie et la physiologie de la culture.

La précocité est l'une des stratégies les plus recherchées dans les zones semi-arides afin d'éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement des cultures. L'avancée de la date de semis pourrait être d'après Gauache (2011), un levier d'esquive des contraintes abiotiques en l'occurrence le déficit hydrique et les températures élevées.

D'après les résultats de l'essai en plein champs 2015/2016, le positionnement calendaire des stades de développement vis-à-vis du stress hydrique de fin de cycle a influencé le rendement et l'ensemble des composantes de rendement de la culture de lentille à l'exception du poids de cents grains. Le Tableau 32 montre des corrélations positives et significatives entre NJF et NGS($r=+0.48^{**}$), NJF et le NGR($=+0.53^{**}$), NJF et RDG ($r=+0.44^{**}$), entre le NJFG et NGS ($r=+0.48^{**}$), NJFG et NGR ($r=+0.54^{**}$) et le NJFG et RDG ($r=+0.54^{**}$), entre le NJFGr et NGS ($r=+0.56^{**}$), NJFGr et NGR ($r=+0.62^{**}$) et NJFGr et RDG ($r=+0.51^{**}$) et enfin la relation entre le NJM et NGS ($r=+0.56^{**}$), NJM et NGR ($r=+0.62^{**}$) et NJM et RDG ($r=+0.51^{**}$). Ces relations affirment qu'en conduite pluviale, les meilleurs rendements, NGS et NGR sont obtenus avec les semis précoces de Décembre. Ces résultats sont en accord avec ceux de Bensaleh et al (1997); Witcombe et al (2009) ; Lecoeur et al (2010) et Idrissi et al(2012) qui ont mis en évidence une corrélation positive entre la longueur du cycle et le rendement potentiel.

Les faibles précipitations enregistrées durant les deux années d'étude associées à des températures relativement élevées ont accéléré **la réduction du nombre de fleurs fertiles** induisant ainsi une sensible **réduction du nombre de gousses** et du **nombre de grains** formés en conduite pluviale. Le Tableau 32 montre une nette relation établie entre le NF/P et le NGS, le NGR et le RDG ($r=0.42^{**}$, $r=0.47^{**}$ et $r=0.47^{**}$) ce qui démontre que la diminution du nombre de grains et du rendement est une conséquence de l'augmentation du taux d'avortement des fleurs fertiles dont le nombre a été fortement réduit sous l'effet de la sécheresse de fin de cycle. Morteza et al (2014) ; Erchidi et al (2000) et Houasli et al (2013) relie directement **la réduction des rendements** en cas de déficit hydrique coïncidant avec la période de reproduction, **à l'avortement des fleurs** qui conduisent aux gousses entraînant ainsi une réduction du nombre de gousses et du nombre de graines ceci se confirme par la nette corrélation établie (Tableau 32 et 33) entre le rendement en grain, le NGS, le NGR et le PCG ($r=+0.40^{**}$, $r=+0.81^{**}$; $r=+0.48$, $r=+0.82^{**}$ et $r=+0.39^{**}$) et qui indique que le rendement est la résultante des trois composantes de rendements avec une compensation entre

eux. L'existence d'une telle compensation est nécessaire pour l'amélioration des rendements et leur stabilité.

De plus l'établissement d'une corrélation significative entre la teneur relative en eau et le NGR ($r=+0.35^{**}$, $r=+0.69^{**}$) et entre la TRE et le RDG ($r= +0.33^{**}$, $r=+0.67^{**}$) indique que le nombre de grain par plant est la composante la plus importante responsable de l'élaboration du rendement. De ce fait de nombreux auteurs comme Shrestha et al (2006) ; Morteza et al (2013) et Sehgal et al (2019) ont montré **l'intérêt de la technique d'irrigation** d'appoint pour corriger le manque en eau et **améliorer les rendements** en garantissant une production minimale. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par Abid et al (2015) et Hossaina et al (2014) sur d'autres espèces de légumineuses.

De plus, des corrélations très étroites sont notées en conditions de déficit hydrique entre la surface foliaire, le rendement et les composantes de rendement des variétés de lentille RDG ($r=+0.52^{**}$, $r=+0.81^{**}$) ; NGS ($r=+0.35^{**}$, $r=+0.69^{**}$) ; NGR ($r=+0.37^{**}$, $r=+0.70^{**}$) et PCG($r=+0.29^{**}$, $r=+0.36^{**}$) ce qui montre d'après Shrestha et al (2006) que **la réduction de la surface foliaire** en réponse adaptative à la contrainte hydrique diminue la capacité photosynthétique de la plante ce qui a pour conséquence **une diminution des rendements**. Ces résultats sont en accord avec ceux de Hassani et al (2008) ; Morgil et al (2017) et Sehgal et al (2019).

Effet du déficit hydriques sur les variations des paramètres morphologiques

Le stress hydrique appliqué durant la période de reproduction (floraison jusqu'au remplissage des grains) a induit chez l'ensemble des variétés testées **une réduction** de l'ensemble **des paramètres morphologiques** étudiés en l'occurrence la HP, NEF, DT, DEN, NF/P et la SF. Ces résultats se confirment à travers les deux essais en plein champs (2015/2016 et 2016/2017) et à travers les corrélations significatives établies entre ces caractères et la contrainte hydrique (Tableau 32 et 33). Les résultats obtenus par Kumar et al (2008) ; Sarker et al (2005) ; Shrestha et al (2005); Talukda (2013) et Tahir et al (2019) sur la culture de lentille le consolident vivement.

De plus, Kiani, (2007), Gosgrove (2005) et Mishra et al (2014) indiquent que **la réduction des paramètres morphologiques** sous l'effet de la contrainte hydrique est **une réponse programmée** par la plante afin d'anticiper les effets sévères du stress hydrique, elle est due à une diminution de la vitesse de la division et d'expansion des cellules constituant les tissus végétaux par perte de turgescence et à une modification des propriétés physicochimiques des

parois entourant les cellules qui deviennent plus rigides ce qui empêche leur croissance. D'autres comme Wu et Cosgrove, (2000), Ferryra et al (2004), Abid et al (2015) et Lahouel et al (2019) ont montré que le déficit hydrique entraîne **un retard dans la croissance** végétative qui se traduit par une réduction de la **hauteur** et du **diamètre de la tige**, par un raccourcissement des **entre-nœuds** et une diminution du **nombre de feuilles et de leur surface**. Selon ces mêmes auteurs, la **réduction de la surface foliaire** est la première réponse des plantes à la déshydratation permettant la réduction des **pertes d'eau** par transpiration et la conservation des ressources en eau permettant ainsi la survie de la plante. D'autre part, Hassani et al (2008) et Gharabi et al (2018) ont montré que la réduction de la surface foliaire influe négativement sur la **capacité photosynthétique** de la plante et entraîne une **diminution des rendements** ce qui confirme nos résultats illustrés par les corrélations établies en conditions de déficit hydrique entre la surface foliaire, le rendement et les composantes de rendement des variétés de lentille RDG ($r=+0.52^{**}$, $r=+0.81^{**}$); NGS ($r=+0.35^{**}$, $r=+0.69^{**}$); NGR ($r=+0.37^{**}$, $r=+0.70^{**}$) et PCG($r=+0.29^{**}$, $r=+0.36^{**}$) (Tableau 32 et 33).

Effet du déficit hydrique sur les paramètres physiologiques et biochimiques.

Les résultats émanant des deux essais en plein champs (2015/2016 et 2016/2017) et de l'essai en milieu contrôlé, montrent que le déficit hydrique imposé durant la période de reproduction des variétés de lentille a affecté l'état hydrique de la plante exprimé par la teneur relative en eau de son système foliaire expliqué par la corrélation négative significative entre la TRE et la situation hydrique ($r= -0.57^{**}$, $r= -0.83^{**}$ et $r= -0.36^{**}$). La teneur relative en eau s'avère le principal paramètre précoce de la prédiction du déficit hydrique. Cette tendance se confirme par les résultats obtenus. Ainsi, l'absence de l'irrigation chez les plantes de lentilles menées en pluvial et stressées s'est soldée par une diminution sensible de la TRE. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Idrissi et al (2012); Morgil et al (2017); Mishra et al (2016) et Tahir et al (2019) sur la lentille qui ont montré que toute déficience de l'approvisionnement en eau perceptible par la plante est exprimé par une diminution de la TRE de son système foliaire. D'autre part, Nourri (2002) et Bajji et al (2001) considèrent la **teneur relative** en eau comme un critère efficace pour **l'adaptation** des plantes aux contraintes environnementales, il indique l'état de turgescence des tissus végétaux et leur capacités à maintenir un niveau d'hydratation pour garantir la continuité de son métabolisme. Durand (2007) et Fikiru et al (2011) signalent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que chez les variétés résistantes et les génotypes qui maintiennent

une TRE élevée plus longtemps en présence de stress hydrique sont en général des géotypes tolérants. Ces constatations se confirment avec les travaux de nombreux auteurs comme Mefti et al (2001) et Shahmoradi et al (2019).

La régulation des échanges entre les organes végétatifs et l'environnement est d'une importance cruciale dans la préservation des niveaux d'hydratation de ces derniers ceci se confirme par la nette relation établie entre la transpiration estimée à travers la feuille excisée RWL et la TRE ($r=+0.38^{**}$ Tableau 33) et ($r=+0.58^{**}$ Tableau 34) ce qui indique que la **transpiration** est à l'origine d'une **perte excessive de TRE** de la feuille. Les résultats obtenus des deux essais en plein champs montrent que la transpiration stomatique s'avère insensible au régime hydrique appliqué ($r= -0.09$ et $r= -0.29$) ce qui indique d'après Adda, (2006) et Tahir et Zerrouki (2014) que le mouvement des stomates et la régulation de la transpiration stomatique se réalise indifféremment des antécédents de développement de la plante. Elle dépend de la surface de l'organe transpirant, plus large est la feuille et plus importante est la transpiration.

Le **poids spécifique** foliaire constitue également un paramètre déterminant dans le statut hydrique de la plante. Il est fortement **augmenté** chez les plantes stressées. Ce résultat s'exprime essentiellement à travers la **réduction** de la **surface foliaire** constaté en absence de la pratique de l'irrigation avec **épaississement** de la feuille. Ces constatations sont en concordance avec les travaux Morgil et al (2017) et Mishra et al (2016) sur de nombreux géotypes de lentille et qui indiquent que la sélection des géotypes tolérants au déficit hydrique est plus efficace avec l'augmentation du poids spécifique des organes transpirants de la plante.

Le déficit hydrique a également influencé la teneur en pigments chlorophylliens. En effet, les résultats de l'expérimentation en milieu contrôlé ont montré une **chute des teneurs** en chlorophylle **a et b** sous l'effet du stress hydrique de fin de cycle chez l'ensemble des variétés testées. Ce résultat se confirme par la relation négative et significative établie entre la contrainte hydrique et les taux de chlorophylle a et b ($r= -0.88^{**}$) et ($r= -0.8^{**}$) respectivement (Tableau 34). De tel résultats sont similaires à ceux de Shrestha et al (2006) et Tavakoli et al (2010) qui ont expliqué la dégradation du taux de chlorophylle chez la lentille et la fève comme le résultat de l'inhibition de la chaîne de transport d'électrons par photosynthèse et des enzymes de biosynthèse de la chlorophylle. D'autre part, Bousba et al (2009) ; Hirreche (2006) et Abid et al (2015) rapportent la **dégradation de la chlorophylle** en conditions de stress hydrique à la combinaison de nombreux facteurs : réduction de

l'ouverture des stomates afin de limiter les pertes en eau par évapotranspiration et l'augmentation de la résistance à l'entrée du CO₂ atmosphérique nécessaire à la photosynthèse.

Les résultats de notre expérimentation en milieu contrôlé ont montré une **accumulation** considérable de **proline** chez les plantes stressées ADH de l'ensemble des variétés testées en comparaison avec celles irriguées SDH ($r=+0.64^{**}$ Tableau 34). Les variétés Metropole et Balkan755 ont enregistré un taux en proline plus élevé que les deux autres variétés. Ces résultats sont consistants avec ceux de Azzouz (2009) ; Abid et al (2015) et Mishra et al (2016) qui ont affirmé que les génotypes tolérants à la sécheresse accumulent plus de proline que les génotypes sensibles. A leur tour, Monneveux et al (1986) et Siddiqui et al (2015) considèrent l'accumulation de la proline comme un phénomène d'adaptation au déficit hydrique permettant à la plante de maintenir sa turgescence par la diminution du potentiel hydrique, c'est une forme d'ajustement du potentiel osmotique. Nourri (2002); Hassani et al (2008); Gharabi et al (2018) et Hassani et al (2014) confirment cette tendance par le fait que la proline peut conférer la tolérance aux plantes en conditions de stress salin et cela par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique.

Le taux des **sucres solubles** a augmenté d'une manière considérable chez les plantes stressées de lentille. La relation significative le confirme ($r=+0.66^{**}$ Tableau 34). L'accumulation d'un taux élevé en sucres solubles en conditions de déficit hydrique est selon Muuns et al (2006) ; Dien et al (2019) , le résultat de la dégradation des réserves amylacées et leur reconversion rapide en saccharose suite à une inhibition de la synthèse d'amidon. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Mishra et al (2016) et Tahir et al (2019) dans leur étude sur l'adaptation physiologique et biochimique de la lentille en conditions de stress hydrique et qui ont considéré l'accumulation des sucres solubles comme paramètre d'adaptation aux conditions de stress, ils contribuent à l'abaissement du potentiel osmotique et à la protection des membranes contre la déshydratation.

Effet du stress hydrique de fin de cycle sur la composition chimique et la remobilisation des réserves vers la graine de Lentille.

La sécheresse au moment du remplissage des graines est cruciale pour déterminer le poids des graines, leur composition et donc le rendement quantitatif et qualitatif. La sécheresse peut entraver l'accumulation de divers constituants des graines, principalement les

protéines et l'amidon, critères majeurs de la qualité (Urbano et al 2007). En effet, Les résultats illustrés dans la présente étude (essai en plein champs 2016/2017) montrent une **augmentation de la teneur en protéines** dans les graines issus du lot conduit en pluvial. Toutes les variétés évaluées ont donné des réponses similaires. La teneur en protéines totales dans les grains a augmenté sous l'effet du déficit hydrique, la corrélation positive le confirme ($r=+0.99^{**}$ Tableau 33). Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par Wang et al (2006) sur de nombreux géotypes de lentille. Cette hypothèse converge vers les résultats des travaux de nombreux chercheurs, cas de Abid et al (2015) qui ont montré une augmentation de la teneur en proline, en sucres solubles et en protéines chez la fève (*Vicia faba* L) en condition de stress hydrique, Ardakani et al (2013) ont signalé une augmentation de la teneur en protéines chez le Soja en conditions de sécheresse et Gharib et al (2013) chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L). Pierre et al (2014) et Sial et al (2005) de leur part, ont montré que le stress hydrique induit aux stades floraison et formation des grains entraîne une réduction du rendement, du poids de mille grains et une augmentation du taux des protéines chez le blé en raison du raccourcissement de la période de remplissage.

La teneur des grains en **amidon** a été diminuée chez l'ensemble des variétés conduites en pluvial ($r = -0.82^{**}$ Tableau 33). Sehgal et al (2019) confirment nos résultats et attribuent cette régression à une insuffisance dans la remobilisation des photo-assimilats ou à un effet direct sur la synthèse de l'amidon. Ces résultats soutiennent ceux de Chandana et al (2013) et Jajillian et al (2005) qui ont montré une réduction dans l'accumulation de l'amidon dans les grains de pois chiche et Bing et al (2014) dans les grains de Sorgho. Selon ces mêmes auteurs, la diminution du taux d'amidon dans les grains est due à une réduction de la durée de la phase de remplissage suite à une sénescence accélérée des feuilles.

D'autre part, Liliane et al (2017) attribuent la diminution de la quantité des composés stockés dans les grains à la réduction de la taille des organes (tiges et feuilles). Cette hypothèse se confirme par la nette **relation** établies entre la teneur en **protéine** et les paramètres **morphologiques** (HP $r= -0.62^{**}$, NEN $r= -0.42^{**}$ et SFr $= -0.41^{**}$) et entre **l'amidon** et ces mêmes paramètres (HP $r=+0.57^{**}$, NEN $r=+0.59^{**}$ et SF $r=+0.68^{**}$). Gooding et al (2003) et Triboi et al (2003) expliquent cette tendance par le fait, quand le stress hydrique se déclare, il raccourcit la phase de remplissage suite à une sénescence accéléré des feuilles et diminue la disponibilité en carbone pour le grain affectant les teneurs en amidon qui diminuent alors que les teneurs en protéines sont souvent augmentées car le métabolisme lié aux protéines est moins affecté que celui du carbone. Gate (2010), à son tour indique que les protéines du grain

proviennent de l'accumulation de l'azote dans les grains. Ce dernier provient de la migration ou la remobilisation de l'azote stocké dans les parties végétatives (tiges et feuille) à la floraison.

L'effet du stress hydrique de fin de cycle sur **la composition** des grains de lentille en **minéraux** apparait à travers les résultats de nos essais en plein champs (2015/2016 et 2016/2017) qui montrent que les concentrations en potassium et en sodium sont fortement influencés par la contrainte hydrique (K^+ $r=+0.46^{**}$, $r=+0.51^{**}$ et Na^+ , $r=-0.54^{**}$, $r=-0.0.32^{**}$ Tableau 32 et 34). En effet, les teneurs en **K+** **ont augmenté** (11% de progression) et celles du **sodium** ont **diminué** (25% de réduction) dans les grains de lentille conduites en pluviales. Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par Zerrouki et al (2019) qui ont rendu compte l'importance de l'accumulation du K^+ dans l'ajustement osmotique chez l'orge sous stress hydrique. De même Sun et al (2015) ont observé un accroissement du taux de K^+ et une réduction en Na^+ chez l'Arabidopsis en réponse au stress salin. Ces auteurs ont évoqué le rôle du potassium dans l'ajustement osmotique, le maintien d'une turgescence élevée, d'une TRE élevée et un faible potentiel osmotique en relation avec l'amélioration de la tolérance des plantes au stress hydrique et salin. Nos résultats se confirment également par les travaux de Nabipour et al (2007) sur les variétés de blé où il ont démontré une accumulation élevée en K^+ et faible en Na^+ en réponse à des niveaux élevés en sels. A l'opposé de ces ions, la concentration en **phosphore** total et en **magnésium** n'a **pas** été **modifiée** sous l'effet des traitements hydriques imposés alors que le contenu en **calcium** a **diminué** en conditions pluviale et dépend fortement de la variabilité testée. A l'opposé, certains auteurs comme Samarah et al (2004) ont détecté une forte accumulation en K^+ , Ca^{++} et en phosphore totale en réponse au stress hydrique chez les variétés d'haricot commun et ont évoqué le rôle important du potassium dans la régulation des mouvements des cellules de garde, dans les échanges gazeux et dans la photosynthèse et par conséquent son effet sur le rendement et ses composantes ce qui confirme nos résultats indiquant une corrélation négative entre le K^+ et le rendement ($r=-0.31^{**}$, $r=-0.59^{**}$), et le PCG ($r=-0.36^{**}$, $r=-0.56^{**}$) qui sont en accord avec les résultats de Sehgal et al (2019) et Ceyhan et al (2011).

Relation entre les paramètres étudiés

La sécheresse terminale affecte de nombreux paramètres morphologiques, physiologiques, agronomiques et la composition chimique des grains. Ces derniers sont liés les uns aux autres et induisent des réponses et des modifications différentes pour atténuer l'effet induit par le stress hydrique de fin de cycle. En utilisant l'analyse des composantes principales (ACP) basée sur la matrice de corrélation (figure 58), on a observé une relation positive entre la TRE et la HP ($r = +0.41^{**}$), la TRE et le NEF ($r = +0.39^{**}$), la réduction de la hauteur en conditions de stress est recherchée pour assurer un bon développement du système racinaire afin de puiser l'eau des profondeurs mais dans le cas des lentilles présente un inconvénient lors de la récolte mécanique, la relation entre la TRE et la surface foliaire ($r = +0.49^{**}$) suggère que, sous l'effet du stress hydrique, une surface foliaire importante entraîne une transpiration élevée et par conséquent, une diminution de la teneur relative en eau. Les résultats de cette étude indiquent qu'une surface foliaire plus faible chez les variétés de lentilles est souhaitable en cas de stress. Une autre relation est établie entre la TRE et le Nombre de grains/plant ($r = +0.69^{**}$) et le rendement en grains ($r = +0.67^{**}$) ce qui met en évidence l'importance du nombre de grains dans l'élaboration des rendements. De plus des corrélations sont observées entre le rendement en grain et la teneur en protéines totales des graines ($r = -0.67^{**}$), entre la TRE et la teneur en protéines des graines ($r = -0.81^{**}$), entre la TRE et la teneur en amidon ($r = +0.67^{**}$), entre la TRE et la teneur en potassium ($r = -0.59^{**}$). La réduction de la TRE a un effet drastique sur le rendement en grains en raison des altérations métaboliques des composants photosynthétiques (métabolisme de l'amidon, synthèse des protéines,...), une teneur plus élevée en protéines totale et une teneur plus faible en amidon ont été observées dans les conditions pluviales avec une augmentation de la teneur en K et une réduction de la teneur en Na. Les autres minéraux analysés (P, Ca et Mg) n'ont pas été affectés par la sécheresse pendant la période de reproduction des lentilles.

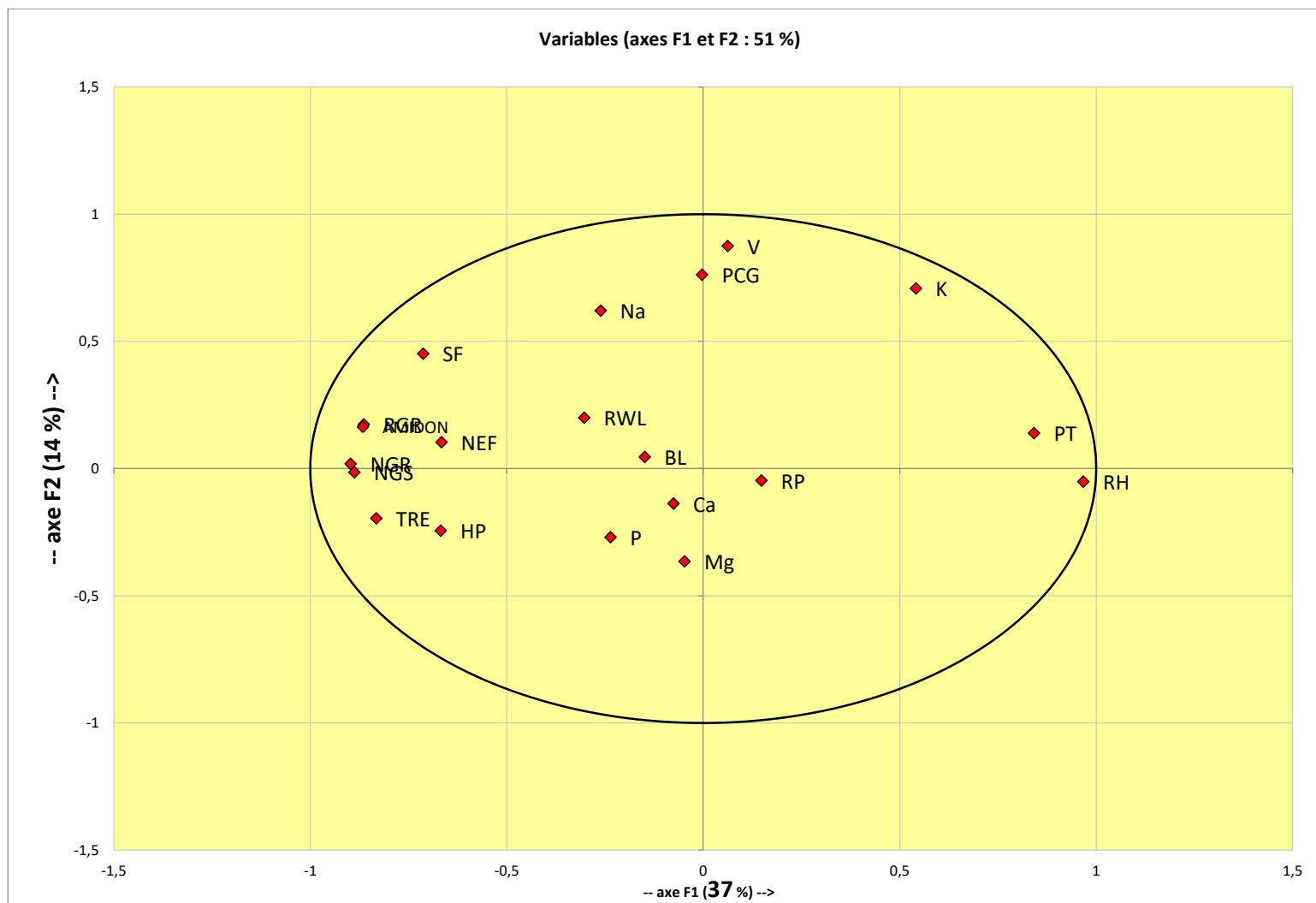


Figure 58 : Analyse des composantes principales ACP des paramètres morphologiques, physiologiques, Agronomiques et qualitatifs.

Tableau 32 : Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés (Essai plein champs 2015/2016).

	DS	RH	V	NJFL	NJFG	NJFGr	NJM	HP	NEN	D T	DEN cm	NB/P	NF/P	NGS	NGR	RGR	PCG	TRE	SF	RWL	PSF	K	Na	Ca	
DS	1																								
RH	0,00	1																							
V	0,00	0,00	1																						
NJFL	-0,94	-0,12	0,05	1																					
NJFG	-0,94	-0,15	0,04	0,98	1																				
	-0,94	-0,22	0,03	0,97	0,97	1																			
NJM	-0,93	-0,21	0,05	0,97	0,96	0,99	1																		
HP	0,15	-0,58	-0,04	0,00	-0,03	0,04	0,07	1																	
NEF	-0,02	-0,34	-0,37	0,11	0,08	0,15	0,18	0,55	1																
D T	-0,39	-0,30	0,04	0,48	0,45	0,50	0,50	0,39	0,35	1															
DEN	-0,25	-0,51	0,37	0,29	0,32	0,32	0,31	0,27	-0,04	0,15	1														
NB/P	-0,33	-0,53	-0,13	0,32	0,33	0,38	0,39	0,36	0,31	0,37	0,23	1													
NF/P	-0,33	-0,53	-0,13	0,32	0,33	0,38	0,39	0,36	0,31	0,37	0,23	1,00	1												
NGS	-0,48	-0,49	0,04	0,48	0,48	0,57	0,56	0,27	0,26	0,28	0,28	0,42	0,42	1											
NGR	-0,53	-0,49	0,09	0,53	0,54	0,62	0,62	0,23	0,24	0,31	0,29	0,47	0,47	0,95	1										
RGR	-0,88	-0,55	0,27	0,44	0,45	0,51	0,51	0,26	0,06	0,50	0,48	0,47	0,47	0,40	0,48	1									
PCG	-0,06	-0,11	0,77	0,16	0,15	0,15	0,13	0,05	-0,31	0,20	0,44	-0,04	-0,04	0,03	0,06	0,39	1								
TRE	-0,49	-0,07	-0,11	0,43	0,50	0,44	0,40	-0,34	-0,21	-0,04	0,03	0,10	0,10	0,19	0,35	0,33	-0,06	1							
SF	-0,31	-0,61	0,04	0,53	0,50	0,53	0,53	0,40	0,28	0,52	0,39	0,35	0,35	0,35	0,37	0,52	0,29	0,12	1						
RWL	0,28	-0,09	-0,10	-0,31	-0,26	-0,29	-0,32	-0,08	0,02	-0,16	0,11	-0,01	0,35	-0,25	-0,22	-0,13	-0,01	0,03	-0,19	1					
PSF	0,22	-0,19	0,34	-0,28	-0,23	-0,21	-0,25	-0,01	-0,09	-0,11	0,22	0,03	0,03	0,05	0,14	0,15	0,31	-0,07	-0,18	0,42	1				
K	-0,05	0,46	-0,31	-0,09	-0,09	-0,09	-0,08	-0,22	-0,06	-0,06	-0,47	0,03	0,03	-0,07	-0,06	-0,31	-0,36	-0,04	-0,36	-0,08	0,00	1			
Ma	0,18	-0,54	0,20	-0,07	-0,03	-0,03	-0,05	0,33	0,10	0,04	0,40	0,17	0,17	0,04	0,05	0,38	0,27	0,04	0,37	0,23	0,25	-0,51	1		
Ca	-0,02	-0,89	-0,03	0,12	0,12	0,20	0,21	0,47	0,33	0,32	0,36	0,53	0,53	0,44	0,47	0,54	0,04	-0,02	0,52	0,00	0,12	-0,39	0,39	1	

Tableau 33 : Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés (Essai plein champs 2016/2017).

	SH	V	HP	NEN	SF	TRE	RWL	NGS	NGR	PCG	RDG	PT%	amidon	K ppm	P ppm	Ca ppm	Na ppm	Mg ppm
SH	1																	
V	0,00	1																
HP	-0,61	-0,18	1															
NEN	-0,56	-0,01	0,45	1														
SF	-0,69	0,24	0,22	0,51	1													
TRE	-0,83	-0,24	0,41	0,39	0,49	1												
RWL	-0,29	0,17	0,21	0,09	0,21	0,38	1											
NGS	-0,83	-0,12	0,53	0,54	0,69	0,69	0,08	1										
NGR	-0,84	-0,07	0,53	0,56	0,70	0,69	0,08	0,99	1									
PCG	0,00	0,53	-0,15	0,15	0,36	-0,11	0,14	0,00	0,02	1								
RDG	-0,89	0,02	0,50	0,51	0,81	0,67	0,06	0,81	0,82	0,14	1							
PT%	0,90	0,07	-0,62	-0,42	-0,41	-0,81	-0,34	-0,60	-0,63	0,17	-0,67	1						
amidon	-0,82	0,08	0,57	0,59	0,68	0,67	0,41	0,72	0,75	0,12	0,73	-0,67	1					
Kppm	0,51	0,62	-0,55	-0,34	0,08	-0,59	-0,07	-0,44	-0,43	0,56	-0,29	0,66	-0,26	1				
Pppm	-0,21	-0,08	0,17	-0,02	0,08	0,34	0,17	0,10	0,11	-0,05	0,05	-0,30	0,17	-0,19	1			
Ca ppm	0,04	-0,01	-0,12	0,14	0,19	0,05	-0,25	0,15	0,13	-0,11	0,03	0,14	0,18	0,07	0,40	1		
Na ppm	-0,32	0,76	0,08	0,22	0,20	0,11	0,27	0,11	0,15	0,31	0,18	-0,33	0,24	0,11	0,10	-0,08	1	
Mg ppm	0,08	-0,15	0,19	0,17	-0,12	0,06	0,04	0,00	-0,01	-0,06	-0,19	0,00	0,03	-0,17	0,64	0,52	-0,06	1

Tableau 34 : Matrice de corrélation entre les paramètres étudiés (Essai en milieu contrôlé 2016/2017)

	Régime hydrique	Génotypes	TRE %	SF cm ²	Rwl	PSF g/cm ²	SS (µg/g.ms)	Pr (µg/g.ms)	chl a mg/ml	chl b mg/ml
Régime hydrique	1									
Génotypes	0,00	1								
TRE %	-0,36	-0,19	1							
SF cm ²	-0,59	0,28	0,21	1						
Rwl	-0,73	-0,02	0,53	0,48	1					
PSF g/cm ²	0,07	0,31	-0,03	-0,72	0,03	1				
SS (µg/g.ms)	0,66	-0,20	-0,30	-0,28	-0,45	-0,03	1			
Pr (µg/g.ms)	0,64	-0,04	-0,23	-0,34	-0,61	0,28	0,50	1		
chl a mg/ml	-0,86	0,24	0,39	0,56	0,64	-0,56	-0,73	-0,65	1	
chl b mg/ml	-0,71	-0,12	0,49	0,39	0,62	-0,75	-0,48	-0,42	0,68	1

Conclusion Générale

Conclusion générale

La sécheresse de fin de cycle est des stress abiotiques les plus vulnérables affectant la croissance, le développement et le métabolisme de toutes les cultures ; elle affecte tous leurs processus physiologiques et biochimiques, leur productivité et leur qualité nutritionnelle.

L'effet de la sécheresse durant la période de reproduction des lentilles offre un large choix de critères phenologiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques, agronomiques et nutritionnels impliqués dans la tolérance au stress hydrique de fin de cycle qui peut servir de base dans la sélection rapide des génotypes résistants.

Les résultats dégagés de cette étude portant sur quatre variétés de lentille conduites sous des conditions contrôlées pour une année et en plein champs durant deux campagnes successives sous régime pluvial et irrigué, montrent que le déficit hydrique de fin de cycle a affecté l'ensemble des paramètres étudiés. En effet, l'implication de la précocité (stratégie d'esquive par raccourcissement de la durée du cycle de développement) et des mécanismes de tolérance ont significativement réduit l'ensemble des caractères morphologiques (HP, NEN, DT, DEN, SF et NF/P), physiologiques (TRE, RWL) et agronomiques (NGS, NGR, RGR) étudiés. En outre, l'impact du déficit hydrique sur la phénologie de la culture de lentille apparaît par réduction de la durée du cycle de développement et des stades phenologiques et sur l'ensemble des caractères morphologiques en l'occurrence la HP, le NEN, DT, DEN et le NF/P qui ont régressés suite à une inhibition de la croissance cellulaire par perte de turgescence cellulaire.

L'abaissement de la teneur relative en eau s'est accompagné d'une nette accumulation de proline et de sucres solubles avec une diminution sensible des teneurs en chlorophylle a et b et une diminution des pertes par transpiration stomatiques suite à la diminution de la surface évaporatrice. La variété Metropole a montré le contenu relatif en eau le plus élevé en conditions de stress dans l'essai conduit en milieu contrôlé.

Le maintien d'une TRE élevée en conditions d'alimentation hydrique limitée constitue un critère efficace de tolérance des plantes à la sécheresse, dans notre essai 2015/16, ce maintien est assuré par une réduction de la durée des stades phenologiques, la réduction de la hauteur des plantes et la réduction du nombre de grains par plant. Dans ces conditions, les plantes de lentille ont combiné les deux stratégies : l'esquive et la tolérance pour s'adapter à la contrainte hydrique de fin de cycle.

A partir des deux essais en plein champs et à travers l'analyse des corrélations entre le rendement et les autres paramètres, il ressort que l'irrigation d'appoint contribue significativement dans l'amélioration des rendements de la lentille du moment que les

Conclusion générale

meilleurs rendements sont obtenus en irrigué avec la variété Metropole. Le déficit hydrique a influé négativement sur le NGS par plant, le NGR par plant et sur le rendement en grains qui sont fortement réduits en conditions pluviales. Le PCG a montré un comportement divergeant et dépend fortement de la variabilité génotypique pour lesquelles il peut être augmenté ou diminué.

L'effet du déficit hydrique sur la remobilisation des réserves stockés dans les parties végétatives vers les grains a montré une diminution de la teneur en amidon avec augmentation du contenu des grains en protéines totales, une augmentation de la concentration du potassium alors que celle du sodium est réduite. Le phosphore total et le magnésium sont restés inchangés.

Le déficit hydrique de fin de cycle (floraison – remplissage des grains) a un effet detrimental sur les aspects quantitatifs (rendement et ses composantes) et les aspects nutritionnels des grains de lentille (amidon, certains minéraux).

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abid G, Hessini K, Aouida M, Aroua I, Baudoin J.P, Muhovski Y, Mergeai G, Sassi K, Machraoui M, Souissi F, Jebara M. (2017).** Agro-physiological and biochemical responses of faba bean (*Vicia faba* L var “minor”) genotypes to water deficit stress. *Biotechnol .Agron Soc Environ* 21:146–159.
- Abid G, Hessini, K, Aouida M. (2015).** Genetic relationship and diversity analysis of faba bean (*Vicia faba* L. var. minor) genetic resources using morphological and micro satellite molecular markers. *Plant Mol. Biol. Rep*, 33, 1755-1767.
- Adda A, Sahnoune M, Kaid-Harche M, Merah O, (2005).** .Impact of water deficit intensity on durum wheat seminal root .C.R. Biologies III. Edit .Plant .Path .VOL .328, Pp918.
- Adda A (2006).**: Etude des mécanismes d’adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf) . Thèse de Doctorat : P197.
- Adda A, Soualem B, Labdelli A, Sahnoune M, Merah O. (2013).** Effet du déficit hydrique sur la structure de la zone pilifère des racines séminales du blé dur .Revue Ecologie –Environnement, 9.ISSN : 1112-5888
- Aguirrezábal L, GustavoPereyra P.M, IrujoM,NataliaIzquierdo M.E. (2015).** Improving grain quality: Ecophysiological and modeling tools to develop management and breeding strategies. *Crop physiology* 2nd edit. 2015. App for Gen Impro and Agro: 423-465.
- Ahmadi A et Baker D. (2001).**The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation* 35, 81–91. <https://doi.org/10.1023/A:1013827600528>
- Ahmedi R et Lanez T. (2015).** Calculation of octanol/water partition coefficient of ferrocene derivatives. *Int. J. PharmTech Res.* 8(3), 408-414.
- Ali Dib T, Monneveux P, Araus J. (1991). Dovidio R, Oronzo A, Tanzarella E.P. (1991).** Adaptation à la sécheresse et Notion d’idiotype chez le blé dur. II: Caractères physiologiques d’adaptation. *Agronomie.* 12: 381-393.
- Almeida P, Boer G, Boer A. (2014).** Difference in shoot Na⁺ accumulation between two tomato species are due to differences in ion affinity if HKTA1,2.J.Plant Physiol.171: 438-447.
- Almi H. (2016).** Etude des myco-pathogènes de *Lens culinaris* et évaluation de l’effet de deux souches de *Trichoderma barzianum*: cas de la fusariose et de la cylindrosporiose.

Références bibliographiques

Thèse de doctorat, sciences en biotechnologie, biologie et environnement. Option : bio procédés et

biotechnologies, applications mycologique. Université des frères Mentouri. 139p.
Amigues J, Debacke P, Itier B, Lemaire G, Seguin B, Taerdieu F. (2006). Sècheresse et agriculture, réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise collective scientifique. INRA.

Araus J.L, Amaro T, Voltas J, Nakkoul H, Nachit M.M. (1998). Chlorophyll fluorescence as a selection criterion for grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Field Crops Res.* 55,209-223.

Ardakani L.G, Hooshang F, Kelidari A. (2013). The effect of water stress on grain and protein of spotted bean (*Phaseolus Vulgaris* L) cultivar, *Inter J of Adv Biolo and Biom Res.* 1(9):940-949.

Arnon D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplast. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24, 1–15.

Assmann SM, Snyder JA, Lee YJ (2000). ABA-deficient (*aba1*) and ABA-insensitive (*abi1-1*, *abi2-1*) mutants of Arabidopsis have a wild-type stomatal reponse to humidity. *Plant Cell Environ.* 23:387-395. Available online at [www.ijagcs.com IJACS/2013/5-11/1228-1231](http://www.ijagcs.com/IJACS/2013/5-11/1228-1231)

Azzi G, (1954): Ecologie agricole – Encyclopédie agricole - Ed. Ballière – Paris in Mouellef A.2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118p.

Azzouz F. (2009): Réponses morpho- physiologiques et Biochimiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*.L.) soumis à un stress hydrique. Thèse de magistère.Université d'Es Senia Oran.82p.

Bahlouli F, Bouzarzour H, Benmohammed A. (2006). Selection of stable and hight yielding cultivar of durum wheat under semi- arid conditions. *Pakistan Journal of Agronomy.*4: 360-365.

Bajji M, Lutts S, Kinet J.M. (2001). Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum Durum* Desf) cultivars performing differently in arid conditions. *Plant science* 60(4): 669-681. Doi: 10.1016/S0168-9452(00)00443-x.

Bammoun A. (1997). Contribution à l'étude de quelque caractères morpho physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur, *Triticum Turigidum* esp. durum pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'ouest

Références bibliographiques

Algérien. Thèse de Magistère. 1-33 in Azzouz F. (2009). Réponses morpho- physiologiques et Biochimiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*.L.) soumis à un stress hydrique. Thèse de magistère. Université d'Oran es SeniaAlgeria. ; 82p.

Barrs HD, Weatherley PE. (1962). A re - examination of the relative turgidity technique of estimating water deficit in leaves. J. BIOL. Sci. 15: 412- 428.

Baudoin JP. (2001). Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétales de légumineuses alimentaires tropicales. Biotech. Agr. Soc. Envir. 5(4) : 221-230.

Bazzaz MM, Hossain A, Khaliq Q.A, Abdul Karim M, FAROOQ M, Jaime A, Da Silva T. (2019). Assessment of Tolerance to Drought Stress of Thirty five of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Using Boxplots and Custer Analysis. Agric. conspec. sci. Vol. 84 (4): 346-360.

Bejiga G. (2006). *Lens culinaris* Medik.. Record from Protabase. Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands.

Bellinger Y, Larher F (1989). Proline accumulation higher plants: a redox buffer? Life sciadv Plant Physiol 6, 23-27.in Azzouz F (2009) Réponses morpho- physiologiques et Biochimiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*.L.) soumis à un stress hydrique. Thèse de magistère. Université Es Senia Oran.82p.

Belout M. (2000). Contribution à l'étude de certains mécanismes d'adaptation au déficit hydrique aux premiers stades de développement de la plante chez le blé dur (*Triticum durum* Desf). DES biologie. ISA, Tiaret p. 62.

Benjamaa A. (2010). La composition chimique des feuilles et des graines de deux variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) cultivées sous les conditions du stress hydrique en appliquant un régulateur de croissance (AIA) par trempage et pulvérisation. Thèse de magister. Univ Mantouri Constantine. 105p.

Ben Salem M., Boussen H, Slama A. (1997). Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech.-Génie Génétique des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF /U R E F). Orsay. Sécheresse. 2 : 75- 83 p in in Mouellef A. (2010).Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118P.

Benbelkacem A. (1997). Etude de l'adaptation variétale des céréales cultivées en Algérie sous différentes condition agro-écologique. Céréaliculture; 31, 17-22.

Références bibliographiques

- Benlaribi M, Monneveux PH, Grignac P. (1990).** Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Agronomie* 10, 305-322.
- Benlloch-González M, Manuel Quintero J, García-Mateo MJ, Fournier JM, Benlloch M (2015).** Effect of water stress and subsequent re-watering on K⁺ and water flows in sunflower roots. A possible mechanism to tolerate water stress. *Environmental and Experimental Botany*. 118: 78–84.
- Bidinger.F, Witcombe JR. (1989):** Evaluation of specific deshydration tolerance trait for improvement of drought resistance dans **Mefiti.M, Abdelgharfi.A, 2001:** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Médicago Transculata*. Thèse de Magester.
- Bing YI, Zhou Y, Gao M, Zhang Z, Han Y, Yang G, XU W, Huang R. (2014).** Effect of Drought Stress during Flowering Stage on Starch Accumulation and Starch Synthesis Enzymes in Sorghum Grains. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(11): 2399-2406 *Science Alert*.
- Blum A. (1996).** Crop responses to drought and the interpretation of adaptation plant growth regulation. **20:** 135 - 148 p.
- Bousba R, Ykhlef N, Djekoun A. (2009).** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum* Desf). *World Journal of agricultural Sciences* 5:609-616.
- Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S.H. (2010).** Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, Vol 43 (2), pp. 537-546.
- Boyer JS. (1968).** Relationships of water potential to growth of leaves. *Plant Physiology* 43: 1056- 1062.
- Cechin I, Rossi SC, Oliveira VC, Fumis TF (2006).** Photosynthetic responses and proline content of mature and young leaves of sunflower plants under water deficit. *Photosynthetica*. 44(1):143-146.
- Ceyhan E, Kahraman A, Onder M. (2011).** Environmental Effects on Quality Parameters of Plant Products. *Int.Conf on Biolo , Environment and Chemistry. IPCBEE* vol .24.
- Chabalah S, Shabalah L, Vlkrenburg V, Newman J. (2005)** Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J.Experimental Botany*. 56(415):1369-1378.

Références bibliographiques

- Chandana J, Pratinsa J. (2013).** Chemical composition of Kabuli Chickpea Collections under water stress and non-stress. Available Online at: [WWW.isca.in/Research Journal of Chemical Sciences](http://WWW.isca.in/Research%20Journal%20of%20Chemical%20Sciences). 3 (4): 25-28.
- Chields R, Burnett W. (1960)** Determination of protein bound carbohydrate in serum by a modification of anthrone method. *Anal Chem* 32, 885-886.
- Clark j. M, Romagosa I, Jana .S, Srivastava .J.P, Mc Caig .T.N. (1989).** Relationship of excised leaf loss rate and yield of durum wheat in divers environment edit .can.plac.Scivol69.pp 1075-1081 **in Azzouz.f, (2009):** Réponses morphologiques et biochimiques chez l'haricot soumis à un stress hydrique, thèse de magister p60.
- Cokkizgin A, Shataya M.J.T. (2013).** Lentil: origin, cultivation techniques, utilization and advances in transformation. *Agricultural science*. 1(1): 55-62.
- Costa, G.E., Queiroz-Monici, K., Reis, S., Oliveira, A.C. (2006).** Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes, *Food Chemistry*, 94, pp. 327-330.
- Cubero, J. I. (1981).** Origin, taxonomy and domestication. In C. Webb and G. Hawtin, Ed. *Lentils*. Commonwealth Agricultural Bureaux, London, UK.p 15-38.
- Dekkiche N, Chaou L. (2016).** Légumineuses alimentaires : situation et zones d'adaptations. Institut technique des grandes cultures. 12 p.
- De Raissac M. (1992).** Mécanismes d'adaptations à la sécheresse et maintien de la productivité des plantes cultivées. *Agronomie tropicale* ,46 (1) : 29-37
- Dien DC, Mochizuki T, Yamakawa T. (2019)** Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryzasativa*L.) varieties, *Plant Production Science*, 22:4, 530-545, DOI:10.1080/1343943X.2019.1647787.
- Djekoun A, Yeklef N. (1996).** Déficit hydrique : effets stomatiques et non stomatiques et activités photosynthétiques de quelques génotypes de blé tétraploïdes : 3ème réunion du réseau Sewana de blé dur – Hassen II - 6.7 .doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.277>
- DSASI/MADRP. (2016).** Statistiques Agricoles "serie B" (2011-2016). Direction des statistiques Agricoles et systèmes d'informations (DSASI). Sous-direction des statistiques. Ministère de l'Agriculture, du Développement rural et de la Pêche.
- Durand J.L. (2007).** Les effets du déficit hydrique sur la plante : Aspects physiologiques. *Fourrages*.190 : 181-195.

Références bibliographiques

- EL Jaafari SR.P, Lepoivre P, Semal J, Laitat E. (1993)**, Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de Résistance à la sécheresse et réponses à l'acide abscissique. Analyse d'une approche synthétique. Chiers Agric. 2, 256-263.
- Erbas Kose OD, Bozoglu H, Mut Z. (2018)**. Quality Traits of green Lentil (*Lens culinaris* Medik) cultivars and lines. YYU Jour AgrScien. 28(1): 55-61.
- Erchidi A.E, Benbella M, Talouizte A. (2000)**. Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes. Série A (Séminaires méditerranéens). 40 : 279 - 82 p
- Ereskine W, Ellis RH, Summerfield RJ, Roberts EH, Hossain A. (1990)**. Characterization of responses to temperature and photoperiod for time to flowering in a world lentil collection. Theo.Appl.Gene.80: 193-199.doi: 10.1007/BF0022438.
- Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (2009)**.Introduction. In: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B (eds) The lentil: botany, production and uses. CAB International, Oxfordshire pp. 1–3
- FAO. 2007**. Perspective alimentaires. Analyse des marchés mondiales. <http://www.fao.org/010/ah864f/ah864f00.htm>. (31.5.2008/13:28).
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Li, Y. C. (2002)** .The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. Journal of Plant Nutrition, 31:6, 1121 — 1157.
- Farooq M, Basra S.MA, Wahid, A, Cheema Z.A, Cheema M.A, Khaliq A. (2008)**. Physiological role of exogenously applied glycine betaine in improving drought tolerance of fine grain aromatic rice (*Oryza. sativa* L.). *J. Agron. CropSci.* 194, 325–333.
- Fellah A, Benmohammed A, Djekoun A, Bouzerzour H. (2002)**. Sélection pour améliorer le tolerance aux stress abiotiques chez le blé dur (*Triticum Durum* Desf).Actes de l'IAV. Hassan II (maroc) 22 : 161-171.
- Ferryra R, Sellés G, Ruiz R.S, Sellés I.M. (2004)**. Effect of water stress induced at different growth stages on grapevine cv. Chardonnay on production and wine quality. Acta Hort.664: 233- 236p.
- Fikiru E, Tesfaye Bekele E. (2011)**. Morphological and molecular variation in Ethiopian lentil (*Lens culinaris* Medikus) varieties. International Journal Genetic Molecular and Biology: 60–67.
- Gate P. (2010)**. L'élaboration de la teneur en protéines du grain. Une remobilisation de l'azote dans le grain. Perspectives Agricoles N°367. Arvalis- Institut du végétal.

Références bibliographiques

- Gaufichon L, Prioul JL, Bachelier B. (2010).** Quelles sont les perspectives d'amélioration génétiques des plantes cultivées tolérantes à la sécheresse? Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde .<http://www.Fondation-farm.org>.
- Geigenberger P, Reimholz R, Geiger M, Merlo L, Canale V, Stitt M. (1997).** Resolution of sucrose and starch metabolism in potato tubers in response to short-term water deficit. *Planta*. 201: 502-518 in Mouellef A 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118P.
- Gharabi D, Hellal B, Hassani A. (2018).** Foliar behavior of olive trees (*Olea europaea* L.) grafted and cut under the effect of salt stress. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8(1), 578-584 doi: 10.15421/2017_252.
- Gharib A, Farajee .H, Kelidari .A (2013).** The effect of water stress on grain and protein of Spotted (*Phaseolus Vulgaris* L), cultivar Talash. *Int Journal of advanced biological and biomedical research* .Vol 1:940-949
- Gnofam N , Tozo K, Bonfoh B , Akantetou KP , Kolani L , Amouzouvi K. (2014).** Effets d'un déficit hydrique sur certains paramètres morphologiques, physiologiques et de rendement chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* l. cv *stam129a*) cultivé au Togo. *Agronomie Africaine* 26 (2): 113 - 125.
- Gooding M.J, Gooding R.H, Ellis P, Shewry R, Schofield J.D. (2003).** Effects of Restricted Water Availability and Increased Temperature on the Grain Filling, Drying and Quality of Winter Wheat. *Journal of cereal science*. 3(37): 295-309.
- Gosgrove DJ (1993).** Water uptake by growing cells: An assessment of the controlling roles of wall relaxation, solute uptake, and hydraulic conductance. *International Journal of Plant Sciences*. 154: 10- 20.
- Graam T, Boyer JS (1990).** Very high CO₂ partially restores photosynthesis in sunflower at low water potentials. *Planta*. 181: 378-384. in Lahouel et al (2019). Water Deficit Effect on Sunflower (*Helianthus annuus*L.) Morphological Parameters, Yield and Yield Components under Algeria Conditions. *Adv. Biores.*, Vol 10 [4] July 2019. 19-24.
- Granier C, Inzé D, Tardieu F. (2000).** Spatial distribution cell division rate can be deduced from that of P34 cdc2 kinase activity in maize leaves grown in contrasting conditions of temperature and water status. *Plant Physiol*. 124:1393-1402 p.
- Hamadache A. (2014).** Eléments de phytotechnie générale .Tome II Légumineuses Alimentaire (pois chiche- fèves –Lentilles) 188 p.

Références bibliographiques

- Hassani A, Dellal A, Belkhouja M, Kaid Harch M. (2008).** Salt effect on water and some osmolytes in Barley (*Hordeum vulgare*). European Journal of Scientific Research. 23(1):61-69.
- Hassani A, (2009).** L'influence du stress salin et hydrique sur la morphologie, l'anatomie, la physiologie et la biochimie de l'orge (*Hordeum Vulgare*) et du triticale (*Triticosecale Witt*). Thèse Doctorat d'état es-science ; Spécialité : Biologie végétale ; Option : Amélioration des plantes, Es Sénia, Université d'Oran.
- Hassani A, Seddiki D, Kouadria M, Bouchenafa N, Negadi M, Larbaoui Dj. (2014).** Effet de la salinité sur le comportement physiologique et biochimique de l'Oléastre (Olivier spontané) et l'olivier cultivé (variété Sigoise). Revue Ecologie-Environnement (10). <http://fsnv.univ-tiaret.dz/revues.php> .
- Hikosaka K, Ishikawa K, Borjigidai A, Muller O, Onoda Y (2006).** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. J. Exp. Bot. 57: 291-302
- Hireche Y. (2006).** Repense de la luzerne *Médicago sativa* (L) au stress hydrique et à la profondeur du semis. Thèse de Magister. Univ. EL Hadj Lakhdar. Batna : 83 p
- Hoagland D.R, Arnon D.I. (1950).** The water culture method for growing plant without soil. Circular 347. Berkeley, CA, USA: University of California, The College of Agriculture, California Agricultural Experiment Station.
- Hopkins WG. (2003).** Physiologie végétale, traduction de la 2^{ème} édition par Serge Ranbour. révision scientifique de Charle – Marie Evard , Ed , DEBOEK, Université Bruxelles. p 515.
- Hossaina M.M. et al., 2014.** Differences between soy bean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. *Crop J.*, 2, 366-380 <http://digitalcommons.unl.edu/panhandleresext/105>
- Idrissi O, Houasli CH, Nasserlhaq N. (2012).** Comparaison de lignées avancées de lentilles sous stress hydrique durant la phase de floraison et de formation des gousses. Revue "Nature et technologie". B.Sciences Agronomiques et biologiques, N08/janvier 2013.page 53-61.
- Idrissi O, Houasli C, Udupa SM, De Keyser E, De Riek J, Van Damme P. (2015).** Genetic variability for root and shoot traits in a Lentil (*Lens culinaris* Medik.) recombinant inbred line population. Food Chemistry. 95: 493-502.
- ITGC. (2011).** La lentille et le pois chiche pour une conduite mécanisée. Institut technique

Références bibliographiques

des grandes cultures. Direction de la formation, de la recherche et de la vulgarisation. Ministère de l'agriculture et du développement rural. 27 p.

Jaleel CA, Gopi R, Sankar B, Gomathinayagam M, Panneerselvam R. (2008). Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comp. Rend. Biol.* 331: 42–47.

Jajillian J, Modarres- Sanavy S.AM, Sabaghpour S.H. (2005). Effect of plant density and supplemental irrigation on yield, yield components and protein content of four chickpea (*Cicera rietinum*) cultivars under dry land conditions. *J Agric Sci Natur Resour.* 12(5):1-9.

Journet EP, Carreau V, Gouzy J, Thoquet P, Rosenberg C, Baker D, Huguet T, Denarie J, Gamas P. (2001). Génomique de la légumineuse. Modèle *Mégicago trunculata*: état des lieux et perspectives: oleagineux, corps gras, lipids. 8(5): 478- 484.

Kebbadj A, Makoudi B, Mouradi M, Pauly N, Frendo P, Ghoulam C .(2017). Physiological and biochemical responses involved in water deficit tolerance of nitrogen-fixing *Vicia faba*. *PLoS ONE* 12(12): e0190284. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190284>.

Kameli A, Losel .DM. (1996). Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress .*Journal .Plant .Physiology* 145: 363-366.

Kaya F (2010). Determination of the composition of some lentil varieties grown in our country. Cukurova University, Graduate School of Natural and Applied Science, MSC Thesis, Adana-Turkey.

Kiani SP (2007). Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.) soumis à la sécheresse. Thèse doctorat : Institut National Polytechnique de Toulouse. 229p.

Kramer P.J. (1983). Water relations of plants. New York, USA: ICRISAT, Academic Press Inc in Gnofam et al. (2014). Effets d'un déficit hydrique sur certains paramètres morphologiques, physiologiques et de rendement chez le cotonnier (*Gossypium hirsutum* l. cv stam129a) cultivé au Togo. *Agronomie Africaine* 26 (2): 113 - 125.

Kumar N, Singh S, Nandwal AS, Waldia RS, Sharma MK. (2008). Genotypic differences in water status, membrane integrity, ionic content, N₂-fixing efficiency and dry matter of mung bean nodules under saline irrigation. *Physiol Mol Biol Plants.* 2008; 14: 363– 368.

Labdelli A. (2011). Etude des effets des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*Triticum durum* Desf.), thèse de Magister, Université d'ORAN ES-SENIA, pp 09.

- Ladizinsky, G., Braun, D., Goshen, D. and Muehlbauer, F. J. (1984).** The biological species in the genus *Lens* L. Bot. Gaz. 145:253-261 in Zaghouane et al ., (2018) **La lentille:** Un atout stratégique pour la sécurité alimentaire et le développement durable. Edition ITGC.ISBN 978-9961-881-29-3.
- Lahoual H, Rezzoug W, Boukirat D, Berrabeh H, Rebat N. (2019).** Water stress effect on physiological, morphological parameters and the yield of five sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.) under green house. Bionature. 2019; 39(1):48-58.
- Lahouel H, Rezzoug W, Adda A. (2019).** Water Deficit Effect on Sunflower (*Helianthus annuus*L.) Morphological Parameters, Yield and Yield Components under Algeria Conditions. Adv. Biores.10 (4) July 2019. 19-24.
- Lamaze T, Tousch D, Sarda X, Grignon C, Depigny-This D, Monneveu P, Belhassen E. (1994).** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. Le sélectionneur Français, 45, 75-85 in Lahouel et al (2019). Water Deficit Effect on Sunflower (*Helianthus annuus*L.) Morphological Parameters, Yield and Yield Components under Algeria Conditions. Adv. Biores., Vol 10 [4] July 2019. 19-24.
- Lebon E, Pellegrino A, Tardieu F, Lecoeur J. (2004).**Shoot development in grapevine is affected by the modular branching pattern of the stem and intra and inter-shoot trophic competition. Annals of Botany. 93: 263 -274.
- Leport L. (1992).** Accumulation de proline associée aux contraintes environnementales et à la floraison chez le colza (*Brassica nappus* L), thèse d'état 156 p .Rennes.
- Levitt J. (1980).** Responses of plants to environmental stresses. I-Chilling, freezing and high temperature, Academic Press., New York, USA, 607 pages.
- Liliane M. MH, Leonardo C. F , Fernando A. H , José M. G , , Elizeu D. S , Maria C. N. D. O, Alexandre L. N, José R. B. F, Norman N. (2017).** Effect of Water Deficit-Induced at Vegetative and Reproductive Stages on Protein and Oil Content in Soybean Grains. Agronomy, 8(3), doi: 10.3390/Agronomy8010003
- Maamri K. (2011).** Stabilité du critère de la discrémiation du carbone isotopique en relation avec le poids spécifique de la feuille drapeau chez quelques variétés de blé dur cultivées en milieu semi-aride. Thèse de magister. Université Ferhat Abbes Setif .75p.
- Maatougui M.E.H. (2016).** Fabuleuses légumineuses. Actes du forum regional pour le développement des légumineuses alimentaires du 28au 30 novembre 2016. Année internationale des légumineuses (AIN 2016), ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche/ organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)/ université Abdelhamid ibn Badis. Mostaganem .176 p.

Références bibliographiques

- Madhava R.K.V, Raghavendra A.S, Janardhan R.K. (2006).** Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer: 1-14 p.in Molle A.2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118p.
- McClellan P E, Moghaddam S M, Lopéz-Millán, AF, Brick, MA, Kelly JD, Miklas PN, Osorno J M, Porch TG, Urrea CA, Soltani Ali, Grusak M A. (2017).** Phenotypic Diversity for Seed Mineral Concentration in North American Dry Bean Germplasm of Middle American Ancestry. Panhandle Research and Extension Center. 105. Agricultural Research Division of IANR at Digital Commons@University of Nebraska -Lincoln.
- McLean LA, Sosulski FW, Young CG. (1974).** Effects of Nitrogen and moisture on yield and protein in field peas. Canadian Journal of Plant Science. 1974. 5:301-305.
- Mefti M, Abdelguerfi A, Chebouti A. (2001).** Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn. Zaragoza: CIHEAM, Mediterranean option A. serie. mediteranian Seminar. 45.
- Mishra B.K, Srivastava J.P, Lal J.P. (2014).** Drought stress resistance in two diverse genotypes of lentil (*Lens culinaris* Medik.) imposed at different phenophases. Journal of Food Legumes. 27(4): 307- 314.
- Mishra B.K, Srivastava J.P, Lal J.P, Sheshshayee M.S. (2016).** Physiological and biochemical adaptations in lentil genotypes under drought stress. Russian Journal of Plant Physiology. 63(5): 695-708.
- Mishra B.K, Srivastava J.P, Lal J.P. (2018).** Drought Resistance in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in Relation to Morphological, Physiological Parameters and Phenological Developments. Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci. 7(01): 2288-2304.doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.277>
- Monneveux PH and Nemmar M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie. 6 (6) : 583-590.
- Monneveux PH. (1991).** Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver ? L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp. 165-186.
- Moradi M, Shirvany A, Matinzadeh M, Etemad V, Naji HR, Abdul-Hamid H, Sayah S. (2015).** Arbuscul armycorrhizal fungal symbiosis with *Sorbus torminalis* does not vary

Références bibliographiques

with soil nutrients and enzyme activities across different sites. *iForest* 8: 308-313 [online 2014- 09-03] URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor1236-008>.

Morgil H., Gercek YC., Caliskan M, Cevahir OZ. (2017). Investigation of the Mechanism of Physiological Tolerance in Lentil (*Lens culinaris Medik.*) Cultivars under Drought Stress Conditions. *Eur J Biol*; 76(1): 31-5.

Morteza A.M, Rouhollah A, Adel Dabbagh M.J,Shafaghkhalvanegh A.A, Javad E. P .(2013). Yield and yield components of Lentil (*Lens Culinaris Medik.*) affected by drought stress and mulch. *Inter Joul of Agric and Crop Scs*, 5-11.1228-1231. [www.ijagcs.com IJACS/2013/5-11/1228-1231](http://www.ijagcs.com/IJACS/2013/5-11/1228-1231)

Mouellef A. (2010), Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Thèse de magister. Université Mantouri. Constantine 118P.

Munns R. (2002).Comparative physiology of salt water stress .*plant. Cell and environment* 25: 293-250.

Muuns R, Richard AJ, Lauchli A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025-1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>.

Nabipour M., Meskarbashee M., Farzad S. (2007). Sodium and potassium accumulation in different parts of Wheat under salinity levels. *Asian journal of Agricultural Research* .1(3):97-104.

Nouri L. (2002). Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf), en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ *Mentouri*. Constantine. 77p.

Nouri L. (2003). Caractérisation physiologique de génotypes de tournesol (*Heliantus annus* L.) Rapport de stage. Toulouse in Azzouz 2009. Réponses morpho- physiologiques et Biochimiques chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*.L.) soumis à un stress hydrique. Thèse de magistère. Université Es Senia Oran.82p.

Nouri L, Ykhlef N, Djekoun A. (2002). Ajustement osmotique et comportement hydrique chez certaines variétés de blé dur : relation avec la tolérance à la sécheresse. Actes de séminaire' IIIème journées Scientifiques sur le blé.(éd). Univ. Mentouri., Constantine.

Oukarroum A. (2007). Vitalité des plantes d'orge (*Hordeum vulgare* L.) en conditions de stress hydrique et thermique analysée par la fluorescence chlorophyllienne. Thèse Doctorat à l'université de Genève, 195p.

Références bibliographiques

- Passioura J. (2004).** Increasing crop productivity when water is scarce: from breeding to field management. In proceedings of the 4th international Crop Scienc Congress "New directions for a diverse planet" Brisbane, Australia. 12p, n www. Regional. Orgau/au/cs.
- Pierre C.S , Petersona J , Rossa A , Ohma J , Verhoevena M , Larsona.M , Hoefera B.O. (2008).** white wheat grain quality changes with genotypes, nitrogen fertilization and drought stress Journal Agron.100:414-420.
- Prathap V, Kishwar A, Archana S, Chandrapal V, Veda K, Viswanathan C, Aruna T. 2019.** Starch accumulation in rice grains subjected to drought during grain filling stage, Plant Physiology and Biochemistry .142 : 440–451
- Quirino BF, Yoo-Sun NH, RM Amasino RM. (2000).** Molecular aspects of leaf senescence. Trends in plant sciences. 7(5): 278-282.
- Rekika D, 1997 :** Identification et analyse des caractères physiologiques liés au rendement en conditions de sècheresse chez le blé dur .Intérêt potentiel des espèces sauvages apparentées pour l'amélioration de ces caractères. Thèse de Doctorat, ENSAM France : p160.
- Reynolds M, Dreccer F, Trethowan R. (2007).** Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. J. Exp. Bot, 58: 177- 186
- Richards RA, Rebetzke GJ, CONDON AG, Herwaarden A.G.V. (2002).** Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. Crop Sci., 42, 111-121.
- Richards R.A, Passioura J.B. (1981).** Seminal root morphology and water use of wheat. II. Genetic variation crop. *Cr.Sci*21, 253 – 255.
- Rozan P, HaeyKuo Y, Lamein F. (2001).** Amino acids in seeds and seedlings of the genus *Lens*. Photochemistry.58 (2): 281-289.
- Samarah N., Mullen R. and Cianzio S. (2004).** Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress, J. Plant Nutr, **27**, 815–835
- Samars Y, Bresson R.A, Csonka L.N, Garcia-Rios M.G, Paino Urzo M, Rhodes D. (1995).** Proline accumulation during drought and salinity. In: Mouellef A. (2010). Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Constantine 118P.
- Sarker A, Erskin W, Singh M. (2005).** Variation in shoot and root characteristics and their association with drought tolerance in lentil landraces. Genetic resources and crop evolution 52(1): 89-97.

- Sarrafi A, Menteweb A, Monneveux PH. (1993).** Variabilité génétique de la fluorescence chlorophyllienne chez les haploïdes double d'orge et son utilisation dans la sélection pour la résistance au stress hydrique. Les colloques n064, INRA. France. 397-402.
- Saxena MC (2009)** Plant morphology, anatomy and growth habit. In: Erskine W, Muehlbauer FJ, Sarker A, Sharma B(eds) The lentil: botany, production and uses. CAB International, Oxford shire, pp 1–3
- Saxena MC, Hawtin GC. (1981).** Morphology and growth patterns in Lentil. Chapter 4 Edits. Webb C and Hawtin G C. Cabi. The international center for agricultural research in the dry areas (ICARDA), 39-52.
- Sehali N H. (2000).** Effet du stress salin (Nacl) sur le comportement Eco physiologique d'une légumineuse cultivée (*Lens culinaris*) en sol à Bentonite. Thèse de magister.
- Sehgal A, Sita K, Bhandari K. (2019).** Influence of drought and heat stress, applied independently or in combination during seed development, on qualitative and quantitative aspects of seeds of Lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes, differing in drought sensitivity. Plant Cell Environ. 42:198–211. <https://doi.org/10.1111/pce.13328>
- Semcheddine N. (2015).** Evaluation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) par l'étude du bilan hydrique et des paramètres phéno- morphologiques. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas Setif.
- Shahmoradi M, Shekafandeh A, Eshghi S (2019).** Physiological and Biochemical Changes of Some Grapevine Cultivars under Different irrigation regimes. Agric. conspec. Sci.Vol. 84 No.4.371-382.
- Shrestha R, Siddique N.C, Turner D, Turner W, Berger J.D. (2005).** Growth and seed yield of lentil (*Lens culinaris* Medicus) genotypes of west Asian and south Asian origin and crossberds between the two genotypes under rainfed conditions in Nepal. Australian Journal of Agricultural Research 56: 971-981.
- Shrestha R, Turner NC, Turner DW, Speijers JA. (2006).** Water deficit during pod development in lentils reduces flowers and pod number but not seed size. Australian Journal of Agricultural Research 57:427-438.
- Sial M. A, Arain S.K, Naqavi I. (2005).** Yield and quality parameters of wheat genotypes as affected by sowing dates and high temperature stress. Pak. J Bot, 37 (3): 575-584.
- Siddique M.R.B, Hamid A, Islam M.S. (2000).** Drought stress effect on water relations of Wheat. Bot. Bull. Acad. Sin, 41(1):35-39.
- Siddiqui MH, Al-Khaishany MY, Al-Qutami MA, Al-Whaibi MH, Grover A, Ali HM. (2015).** Response of different genotypes of Faba bean plant to drought stress. Int J Mol Sci

- 16:10214–10227. <https://doi.org/10.3390/ijms160510214> PMID: 25950766.
- Silva EN, Ferreie - Silva SL, Viegas RA, Silveira JAG. (2010).** The role of organic and inorganic solutes in the osmotic adjustment of drought-stressed *Jatropha curcas* plants, *Env. And Exp Botany*. 69(3):279-285.
- Singh AK, Srivastava JP, Singh RM, Singh MN, Kumar M. (2013).** Selection parameters for pigeon pea (*Cajanus Cajan* L. Millsp.) genotypes at early growth stages against soil moisture stress. *Journal of Food Legumes*. 26 (3- 4): 97-102.
- Singh T.P. (1977).** Harvest index in lentil. *Euphytica*, 26,833-839.
- Slama A, Ben Salem M, Ben naceur M, Zid E. (2005).** Les céréales en Tunisie, Production, Effet de la sècheresse et Mécanismes de Résistances. *Sciences et Changements Planétaires .Sècheresse*. 16(3) : 225-229.
- Sun Y, Kong X, Li C, Liu Y, Ding Z. (2015).** Potassium Retention under Salt Stress Is Associated with Natural Variation in Salinity Tolerance among Arabidopsis Accessions. *PLOS ONE*, 10(5): e0124032. doi:10.1371/journal.pone.0124032.
- Suza GM, Cardoso JM, Goncalves AN. (2004).** Proline content and protein patterns in *Eucalyptus grandis* shoot submitted too high and low temperature shocks .*Brazilian archives of Biology and Technology* .47(3):355-362 in **Gharib A , Farajee .H , Kelidari .A (2013).** The effect of water stress on grain and protein of Spotted (*Phaseolus Vulgaris* L), cultivar Talash. *Int Journal of advanced biological and biomedical research* .Vol 1:940-949.
- Tahir F, Zerrouki M. (2014).** Effet de la micro morphologie et de la structure de la feuille sur la transpiration chez le blé dur (*Triticum durum* Desf) en zone semi-aride. Master Thesis. University Ibn Khaldoun Tiaret Algeria.; 85 p.
- Tahir F., Hassani A., Kouadria M., Rezzoug W. (2019).** Study of Morpho-Physiological and Biochemical Behavior of Cultivated Legume (*Lens culinaris* Medik sp culinaris) in Dry Area of Algeria. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9 (4), 535-541.
- Tardieu F, Lafarge T. (1996).** Stomatal control by fed endogenous xylem ABA in sunflower: interpretation of correlation between leaf water potential and stomatal conductance in anisohydric species. *Plant, cell and Environment*.19: 75-84.
- Tardieu F. (2005).** Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress 337, Issues 1-2: 57-67 in Lahouel et al (2019). Water Deficit Effect on Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Morphological Parameters, Yield and Yield Components under Algeria Conditions. *Adv. Biores*.10 (4) July 2019. 19-24.

Références bibliographiques

- Tardieu E, Davis W. (1993).** Integration of hydraulic and chemical signalling in the control of stomatal conductance and water status of droughted plants. *Plant, Cell and Environment*, 16: 341- 349.
- Tavakkoli E, Rengasamy P, McDonald G.K. (2010).** High concentrations of Na⁺ and Cl⁻ ions in soil solution have simultaneous detrimental effects on growth of faba bean under salinity stress. *J. Exp. Bot.*, **61** : 4449- 4459.
- Teggar N. (2015).** Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la lentille (*Lens culinaris* Medik). Thèse de magister. Université Es Senia Oran 98p.
- Thivend P., Mercier C., Guilbot A. (1965).** Dosage de l'amidon dans les milieux complexes ». *Ann. Bil. Anim, Bioch, Biophys.* 5 (4), 513-526, 1965.
- Thomson, B. D., K. H. M. Siddique, M. D. Barr and J. M. Wilson. (1997).** Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments I. Phenology and seed yield. *Field Crops Res.* 54: 173-187.
- Triboi, E., Martre, P., Triboi A.M. (2003).** Environmentally – induced changes of proteins composition for developing grain of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of experimental botany*, 84. 388, 1731-1742.
- Troll W, Lindsley J (1955).** A photometric method for the determination of proline. *J Biol Chem* 215: 655- 660.
- Turner N C. (1979).** Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. In stress physiology. *Crop Sci.* 53, 648-654.
- Turner NC, Jones MM (1980).** Turgor maintenance by osmotic adjustment; a review and evaluation. In: Turner N, Kramer PJ (eds) *Adaptation of plants to water and high temperature under well-watered and water stressed conditions.* *Genetika.* 46(2):369-384.
- Turner NC (1986).** Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Aust J Plant Physiol* 13, 175-190.
- Urbano G, Porres JM, Frias J, Concepeio VV (2007).** Nutritional value. Lentil: an Ancient Crop for Moder Times. Yadav S, Mc Neil DL and Stevenson PC (eds) Springer, Heidelberg, pp, 47-93.
- Wang N, Daun JK. (2006).** Effect of variety and crude protein content on nutrients and anti-nutrients in lentils (*Lens Culinaris*). *Food Chemistry.* 95:493-502.
- Wang W, Vinour B, Altman A. (2003).** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta.* 218: 1–14.

Références bibliographiques

- Witcombe J.R, Hollington PA, Howarth CJ, Reader S. (2009).** Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 363: 703-716.
- Wu YJ, Cosgrove DJ. (2000).** Adaptation of roots to low water potentials by changes in cell wall extensibility and cell wall proteins. *Journal of Experimental Botany.* 51(350): 1543-1153. Doi: 10.1093/jexbox/51.350.1543.
- Yusuf M, Singh N.P and Dastane N.G. (1979).** Effect of frequency and timings of irrigation on grain yield and water use efficiency of lentil. *Annals of Arid Zone.* 18: 127-134 in Mishra et al (2018). Drought Resistance in Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in Relation to Morphological, Physiological Parameters and Phenological Developments. *Int. J. Curr. Microbiol. App.Sci.* 7(01): 2288-2304.doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.277>
- Yokota A, Takahara K, Akashi K, (2006).** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Ed. Springer. 15–39.
- Zaghouane O. (2001).** Plan national de développement agricole et programme de développement des légumineuses alimentaires. Actes de l'atelier national sur le développement des légumineuses alimentaires. Alger du 23 au 25 Avril 2001. Programme d'intensification et de modernisation des filières. Institut technique des grandes cultures – Ministère de l'Agriculture.p8-13.
- Zaghouane O, Akkouche A, Djeddou R, Abed N, Gjennadi R, Amiali S,Rouag L, Touati S. (2016).** Le développement et l'amélioration de la production des légumineuses alimentaires : un enjeu stratégique pour l'Algérie. Actes du forum régional pour le développement des légumineuses alimentaires du 28 au 30 nov 2016. Année internationale des légumineuses (AIL 2016). Ministère de l'agriculture, du développement rural et de la pêche (Madrp)/ Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (Fao)/ Université Abdelhamid ben badis , mostaganem.176p.
- Zaghouane O, Yousfi M, Boufnar Zaghouane F. (2018) .**La lentille: Un atout stratégique pour la sécurité alimentaire et le développement durable. Edition ITGC.ISBN 978-9961-881-29-3
- Zerrouki M, Regagba Z, Adda A. (2019).** Study of some mechanisms of tolerance and avoidance of water deficit in barley (*Hordeum Vulgare* L.) *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 67(6): 1503-1512.
- Zohary, D. and Hopf, M. (1973).** Domestication of pulses in the Old World. *Science* 182:887-894.

Annexes

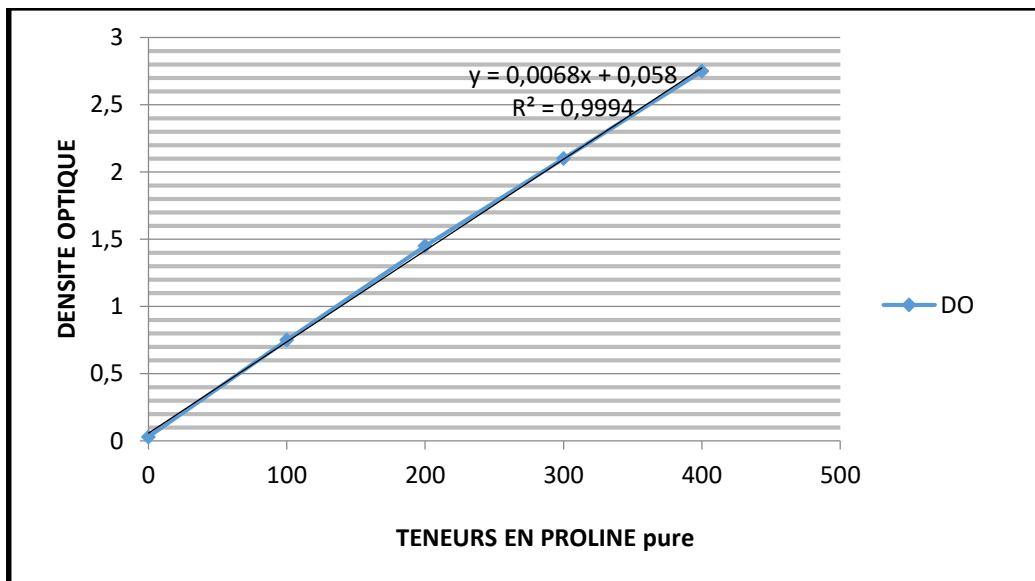


Figure 10 : Courbe étalon de la proline

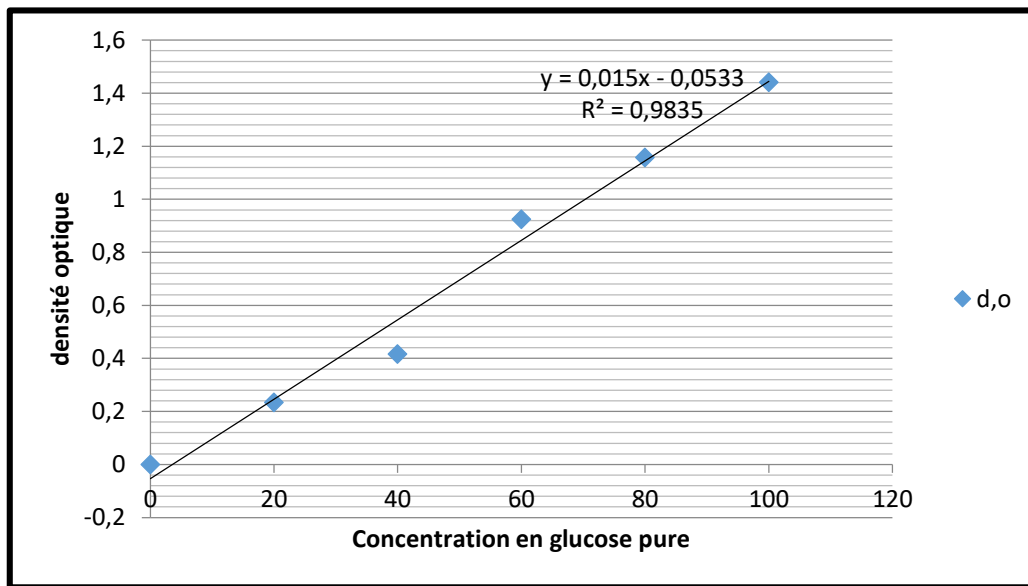


Figure 11 : Courbe étalon du glucose.

Tableau 35: compositions de la solution nutritive d'Hoagland (1950)

Compositions	Eléments	Teneurs
Eléments majeurs	N	20%
	P ₂ O ₅	20%
	K ₂ O	20%
Oligo-éléments	MgO	0.4%
	Fe	650 ppm
	Mn	650 ppm
	Mo	50 ppm
	SO ₃	0.8%
	Cu	60ppm
	Zn	300ppm
	B	300ppm

Publication

Résumé

La lentille (*Lens culinaris* Medik) constitue un atout stratégique pour la sécurité alimentaire et le développement durable grâce à sa richesse en protéines de qualité (25 à 30%). En Algérie, elle couvre une grande partie des zones semi-arides des plaines intérieures et des hauts plateaux soumises très fréquemment à des sécheresses terminales entraînant des pertes importantes de rendements.

Dans ce contexte, 3 expérimentations ont été installées, l'une menée sous serre dans des conditions bien contrôlée et les deux autres en plein champs sous deux traitements hydriques irrigué et stressant du début de la floraison jusqu'au stade du remplissage des graines et ont pour objectif l'évaluation de l'effet du stress hydrique de fin de cycle sur le comportement de quatre variétés de lentilles (Syrie 229, Métropole, Balkans 75 et Ibela) et à élucider l'implication de la précocité comme stratégie d'esquive et de mettre en évidence les indices de tolérances d'ordre morphologiques, physiologiques, biochimiques et leur impact sur la productivité et la composition chimique des semences de lentille.

Les résultats obtenus montrent que le calage de la date de semis en condition de stress entraîne un raccourcissement significatif de la durée du cycle et des stades phénologiques, Une nette diminution de la croissance et du rendement et de ses composantes a été observée sous l'effet du déficit hydrique avec une augmentation en proline, en sucres solubles et du poids spécifique foliaire, une diminution en chlorophylle au niveau des feuilles et une augmentation du contenu protéique et de certains minéraux des graines tout en diminuant leur teneur en Amidon. La teneur relative en eau est un indicateur de référence efficace dans l'évaluation de la tolérance et des réponses adoptées par les plantes.

Mots clés : déficit hydrique de fin de cycle, lentille (*Lens culinaris* Medik), Précocité, tolérance, composition chimique.

Abstract

Lentil (*Lens culinaris* Medik) is a strategic asset for food security and sustainable development based on its high quality protein content (25 to 30%). In Algeria, it covers a large part of the semi-arid regions of the interior plains and highlands which are very frequently subjected to terminal droughts leading to significant yield losses every year.

In this context, 3 experiments have been set up, one conducted in greenhouses under well-controlled conditions and the two others in field trials under irrigated and stressful water treatments from the beginning of flowering to the seed filling stages with the objective of evaluating the effect of end-of-cycle water stress on the behavior of four varieties of lentils (Syria 229), Métropole, Balkans 75 and Ibela) and to elucidate the involvement of earliness as an avoidance strategy and to highlight tolerance indices related to morphological, physiological and biochemical factors and their impact on the productivity and chemical composition of lentil seeds.

The achieved results showed that the adjustment of the sowing date in stressful conditions leads to a significant shortening of the duration of the cycle and the phenological stages. A clear decrease in growth, yield and yield components was observed under the effect of the water deficit with an increase in proline, soluble sugars and leaf specific weight, a decrease in chlorophyll and an increase in seeds protein content and minerals while decreasing their starch content. The relative water content is an effective reference indicator in evaluating the tolerance and responses adopted by plants.

Key words: Terminal drought, Lentil (*Lens culinaris* Medik), earliness, Tolerance, chemical composition.

ملخص :

يعتبر العدس إستراتيجية هامة في الزراعة المستدامة وتوفير الأمن الغذائي لاحتوائه على كمية معتبرة من البروتينات ذات الجودة العالية (25-30%) و تغطي زراعة العدس في الجزائر مساحات واسعة من المناطق الداخلية و الهضاب العليا ما يجعلها عرضة للجفاف المتأخر الذي يتسبب في خسائر فادحة في المحاصيل كل سنة.

في هذا السياق وضعت ثلاث تجارب إحداهن تحت ظروف اصطناعية و الأخرى تحت ظروف طبيعية تحت تأثير مستويين مائيين (مسقي و غير مسقي) من بداية الإزهار إلى طور امتلاء الحبة و تهدف إلى تقييم تحمل اربع أصناف من العدس للإجهاد المائي و كذا اثر فعاليات استراتيجيات التبريد و مؤشرات التأقلم المورفولوجية الفيزيولوجية و البيوكيميائية على الإنتاجية و المكونات الكيميائية لبذور العدس.

النتائج المتحصل عليها بينت أن تقديم تاريخ البذر في ظروف الإجهاد المائي أدى إلى تقصير أطوار و فترة النمو كما اثر الجفاف سلبا على نمو و مردود العدس و كذا مكونات المردود مع زيادة الوزن الورقي و تراكم كميات معتبرة من البر و لين و السكريات الذائبة و

تدني نسبة الكارولوفيل في الأوراق بالإضافة إلى زيادة في محتوى الحبوب من البروتينات و بعض المعادن مع تناقص كميات النشا. يعتبر المحتوى المائي للأنسجة النباتية مؤشر هام لتقييم درجة الإجهاد المائي والتفاعلات التي تنتهجها النباتات للتكيف مع العجز المائي.

الكلمات المفتاحية : إجهاد مائي متأخر، عدس، التنبير، التأقلم، المكونات الكيميائية.