

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun –Tiaret-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences de la Nature et de la Vie



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Spécialité : Biodiversité et écologie végétale

Présenté par:

LABECHE Nacéra

Thème

**Effet de stress hydrique sur le développement et la physiologie
de *Lens culinaris***

JURY:

Grade

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| – Président : Dr. MOKHFI F | MAB |
| – Promoteur : Dr. NEHILA AFAF | MCB |
| – Examineur : Pr. HASSANI A | Pr |

Année universitaire 2019/2020

R *emerciements*

Tout d'abord, grâce à ALWAHID qui nous a créé, nous a protégé, qui est toujours avec nous qu'il ne nous laisse jamais seule. Louanges à ALLAH.

Je tiens à remercier du fond du cœur Melle NEHILA Afaf, maître de conférence « B » à l'université de Tiaret IBN KHALDOUN, faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, qui a encadré cette étude au quotidien.

Elle fut toujours présente, en particulier lorsque je suis confrontée au doute, je suis reconnaissante pour sa grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains.

Mes vifs remerciements s'adressent aux membres de jury : Dr. MOKHFI F Maître assistant « B » à l'université de Tiaret IBN KHALDOUN, pour avoir bien voulu présider le jury de soutenance. Pr. HASSANI A professeur à l'université de Tiaret IBN KHALDOUN, d'avoir bien voulu accepter d'examiner ce travail et me faire profiter de leur expérience scientifique.

Mes remerciements s'adressent également au Dr. SARMOUM Mohamed, chef de spécialité Biodiversité et écologie végétale.

Toute ma gratitude à mes enseignants, mes collègues de promotion ainsi qu'aux autres étudiants.

Je tiens à remercier également toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Dédicace

À

Cœur vaillant rien d'impossible, a conscience tranquille tout est accessible. Je dédie ce travail.

À

Ma très chère honorable mère, qui représente pour moi le Symbole de la bonté par excellence, je te dédie ce travail en Témoignage de mon profond d'amour, puisse Dieu le tout puissant, te Préserver et t'accorder santé.

À

Mon très cher père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, L'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour Education et mon bien être. et nuit pour mon Je souhaite de tout mon cœur que Dieu les garde près de moi.

À

Mon très chère mari MOHAMED TAZA qui est partagé mes joies et mes stress durant la période de réalisation de ce travail.

À

Tout ma famille et mes très chères sœurs et frères

À mes amis sont oublié à tous ceux que j'aime

Merci de faire partie de ma vie.

Résumé

La lentille (*Lens culinaris*) est cultivée dans les zones arides et semi arides en Algérie dans des sols à faible humidité. La tolérance à la sécheresse et le rendement grain élevé et stable sont parmi les caractères des variétés appréciées par les agriculteurs. Le déficit hydrique, provoqué lors de la phase de reproduction, réduit le rendement en grains, le poids des graines, l'indice de récolte et la matière sèche et raccourcit la durée de remplissage des graines en accélérant la sénescence et la maturité (Idrissi *et al*, 2012). Donc, il est nécessaire de comprendre le comportement morphologique, biochimique et de rendement des variétés des lentilles au stade de germination et de reproduction afin de sélectionner la variété la plus résistante au déficit hydrique. Les résultats des études montrent que le déficit hydrique a un effet négatif sur la croissance végétal de lentille, il induit une diminution du taux de germination final, de la teneur relative en eau, de la longueur de la partie aérienne et racinaire.

Aussi, ce stress provoque une diminution de nombre de stomates et leur fonctionnement et une diminution de la surface foliaire affectant la photosynthèse et provoquant une diminution du taux des pigments chlorophylliens. Sur le plan biochimique, les études ont montré également une accumulation des sucres solubles, de la proline et parfois des protéines.

Dans d'autres études les protéines sont diminuées en condition de déficit hydrique. Les génotypes de cette plante ont différentes réactions vis à vis le manque d'eau. Les expériences réalisées en conditions contrôlées en Algérie, utilisant différentes variétés de lentille, ont montré que les variétés Balkane et Métropole semblent être plus intéressantes sur le plan de tolérance à la salinité et au manque d'eau respectivement.

Mots clés : Lentille, stress hydrique, génotypes, paramètres morphologiques, paramètres biochimiques.

الملخص

يزرع العدس في المناطق القللة و شبه القللة في لجزائر في تربة منخفضة الرطوبة. يعتبر تحمل الجفاف وإنتاجية عالية ومستقرة من الحبوب من بين سمات الأصناف التي يقدرها المزارعون.

نقص المياه الذي يحدث أثناء مرحلة التكاثر يقلل من محصول لحبوب ووزن البذور ومؤشر الحصاد والمادة الجافة ويقصر مدة ملء البذور عن طريق تسريع النضج (إدريسي وآخرون، (2012). لذلك، من الضروري فهم السلوك الفيزيائي والكيميائي الحيوي وسلوك إنتاج أصناف العدس في مرحلة النمو والتكاثر من أجل اختيار الصنف الأكثر مقاومة لنقص المياه أظهرت نتائج الدراسات أن نقص المياه له تأثير سلبي على نمو نبات لعدس، حيث يؤدي الى انخفاض معدل النمو النهائي والمحتوى المائي النسبي، وطول الجزء العلوي من نبات والجزء السفلي (الجذور) أيضا، يؤدي هذا الإجهاد الى انخفاض في عدد الثغور وعملها وانخفاض مساحة الورقة التي تؤثر على عملية التركيب الضوئي وتتسبب في انخفاض معدل الصبغة الخضراء. من الناحية الكيميائية الحيوية أظهرت الدراسات أيضا تراكم لسكرات القللة للدوبان والبرولين وأحيانا البروتينات. في دراسة أخرى يتم تقليل البروتينات في ظروف نقص المياه. الانماط الجينية لهذا النبات لها ردود فعل مختلفة على نقص المياه. أظهرت النتائج التي أجريت في ظل ظروف مضبوطة في الجزائر، باستخدام أنواع مختلفة من العدس، أن صنفى البلقان والميتروبول هما الأكثر تحملا لنقص المياه والملوحة على التوالي.

الكلمات المفتاحية: العدس؛ الاجهاد المائي؛ الأنماط الجينية؛ التغيرات الفيزيائية و التغيرات الكيميائية.

Abstract

The lentil (*Lens culinaris*) is cultivated in arid and semi-arid areas in Algeria in soils with low humidity. Drought tolerance and a high, stable grain yield are among the traits of varieties appreciated by farmers. The water deficit, caused during the reproduction phase, reduces grain yield, seed weight, harvest index and dry matter and shortens the duration of seed filling by accelerating senescence and maturity (Idrissi et al, 2012). Therefore, it is necessary to understand the morphological, biochemical and yield behavior of varieties of lentils at the germination and reproduction stage in order to select the variety most resistant to water deficit. The results of the studies show that the water deficit has a negative effect on the plant growth of lentils, it induces a decrease in the final germination rate, the relative water content, the length of the aerial and root part. Also, this stress causes a decrease in the number of stomata and their functioning and a decrease in the leaf area affecting photosynthesis and causing a decrease in the rate of chlorophyll pigments. Biochemically, studies have also shown an accumulation of soluble sugars, proline and sometimes proteins. In other studies, proteins are reduced in conditions of water deficit. The genotypes of this plant have different reactions to the lack of water. The experiments carried out under controlled conditions in Algeria, using different varieties of lens, showed that the Balkan and Metropolitan varieties seem to be more interesting in terms of tolerance to salinity and lack of water respectively.

Keywords: Lentil, water stress, genotypes, morphological parameters, biochemical parameters.

Liste des figures

Figure 01	Morphologie d'une plante de lentille.	04
Figure 02	Les périodes de semis de la lentille.	05
Figure 03	Evolution des superficies, des productions et des rendement de la lentille en Algérie durant la période 2000-2016.	06
Figure 04	Zone d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie.	06
Figure 05	Graines germées des variétés Syrie (A) et Balkane (B) après 36 h.	11
Figure 06	Préparation des pots de culture des plants de lentille.	11
Figure 07	Culture des plants de lentille.	12
Figure 08	Plants de lentilles après 15 jours de culture.	12
Figure 09	Effet de déficit hydrique sur la surface foliaire des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir <i>et al</i> , 2019)	19
Figure 10	Effet de déficit hydrique sur la densité stomatique des faces supérieurs et inférieurs de trois variétés de lentille foliaire des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan). (Sehari <i>et al</i> , 2012) ab : avec bentonite, sb : sans bentonite, 0 et 100 : dose en NaCl.	21
Figure 11	Densité stomatique de l'épiderme foliaire de <i>Lens culinaris</i> L. var. Balkan chez le témoin (a) et la plante soumise au stress salin et à la bentonite. (Sehari <i>et al</i> , 2012)	21
Figure 12	Effet de déficit hydrique sur la teneur relative en eau de génotypes de lentille tolérant (PDL-2) (gauche) et sensible (JL-3) (droite). (Singh <i>et al</i> , 2017)	22
Figure 13	Effet de déficit hydrique sur la surface foliaire des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir <i>et al</i> , 2019)	23
Figure 14	Effet de déficit hydrique sur le taux de sucres solubles des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir <i>et al</i> , 2019)	24
Figure 15	Effet de déficit hydrique sur le taux de protéines des graines des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir <i>et al</i> , 2019)	25
Figure 16	Effet de déficit hydrique sur le taux en proline des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir <i>et al</i> , 2019)	27
Figure 17	Effet de déficit hydrique sur la teneur chlorophylles de génotypes de lentille tolérant (PDL-2) (gauche) et sensible (JL-3) (droite). (Singh <i>et al</i> , 2017)	28

Liste des tableaux

Tableau 01	Les variétés en production de semences en Algérie	07
Tableau 02	Effet de déficit hydrique sur le taux de germination, la longueur de radicelle et la teneur relative eau des radicules. (Muscolo <i>et al</i> , 2013)	17
Tableau 03	Effet de déficit hydrique sur les caractéristiques des racines et de la matière sèche des lignées de lentille testées. (Idrissi <i>et al</i> , 2012)	18

Liste des abréviations

%	Pourcentage
C	Degré Celsius
Fig	Figure
g:	Gramme
h	Heure
ha	Hectares
ICARDA	International center for agricultural reasearch in the Dray areas (centre international de la recherche agricole en zones arides)
INRA	Institut national de la recherche agronomiques.
ITGC	Institut technique des grandes cultures
LEA	Late embryogenesis abundant (Les protéines abondantes de l'embryogenèse tardive)
mg	Milligramme
ml	Millilitre
mm	Millimètre
mM	Milli molaire
mmol	Millimol
mn	Minutes
nm	Nanomètres
Tab	Tableau

SOMMAIRE

Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
<u>INTRODUCTION</u>	01
<u>I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE</u>	
I.1. La lentille (<i>Lens culinaris</i>)	03
I.1.1. Description botanique	03
I.1.2. Exigences climatique et édaphiques	04
I.1.3. Culture de la lentille dans le monde	05
I.1.4. La culture de la lentille en Algérie	05
I.1.5. Intérêt de <i>Lens culinaris</i>	07
I.2. Stress hydrique	08
I.2.1. Notion de stress	08
I.2.2. Stress hydrique	08
I.2.3. Effet de stress hydrique sur la croissance des plantes	09
I.2.4. Effet de stress hydrique sur la germination des plantes	09
<u>II. PARTIE EXPÉRIMENTAL</u>	
II.1. Matériel végétal	10
II.2. Effet de stress hydrique sur la germination des graines	10
II.3. Effet de stress hydrique sur le développement des la plante de lentille	11
II.3.1. Culture des plants de lentille	11
II.3.2. Évaluation de la réponse des plants de lentille au stress hydrique	13
III.3.2.1. Poids frais et sec	13
III.3.2.2. Teneur relative en eau	13

III.3.2.3. Dosage de la proline	13
III.3.2.4. Dosage des protéines	13
III.3.2.5. Dosage des sucres totaux	14
III.3.2.6. Dosage des pigments chlorophylliens	14
III.3.2.7. Evaluation de la densité des stomates	14
II.4. Effet de stress hydrique sur la symbiose rhizobienne établie avec les plants de lentille	15

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Effet de stress hydrique sur la germination des plantes de lentille	16
III.2 Effet de stress hydrique sur la croissance et la physiologie des plants de lentille	17
III.2.1.Poids sec et poids frais	17
III.2.2. Les stomates	18
III.2.3. La teneur relative en eau	22
III.3. Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques des plants de lentille	24
III.3.1. Les sucres solubles	24
III.3.2. Les protéines	25
III.3.3. La teneur en proline	26
III.3.4. Les pigments chlorophylliens	28
III.4. Effet de stress hydrique sur la symbiose rhizobienne	29

<u>CONCLUSION</u>	30
-------------------	----

Références bibliographique

Annexes

Introduction générale

Introduction

Les céréales et les légumineuses sont la ressource alimentaire la plus importante dans le monde. Les légumineuses à grains constituent un élément crucial dans l'agriculture et dans l'alimentation humaine grâce à leurs intérêts agronomique, alimentaire et écologique. Elles se trouvent actuellement au centre des préoccupations des instances internationales. Leur importance est due à leur contribution chaque année, à la fixation d'environ 200 millions tonnes d'azote par an (Ferguson *et al*, 2010). Grâce à cette fixation d'azote réalisée en association avec les bactéries du sol appelée "rizhobia ", les légumineuses permettent à la fois d'enrichir le sol en matière organique et d'éviter l'utilisation des engrais azotés.

Parmi les principales légumineuses cultivées, on distingue deux grands groupes : les légumineuses des saisons froides telles que la fève, la lentille et le pois... Et les légumineuses des saisons chaudes telles que le niébé, le haricot et le soja...

En Algérie, les légumineuses occupent une place importante et constituent avec les céréales l'épine dorsale du système alimentaire algérien.

Environ plus de 70% de la superficie destinée à la culture des légumineuses est localisée en zones de plaines de l'intérieur. Ces zones, situées dans leur ensemble dans l'aire semi-aride, se caractérisent par divers contraintes abiotiques dont les paramètres climatiques occupent une place prépondérante.

Le stress abiotique correspond à tout les conditions de l'environnement qui empêchent la plante de réaliser l'expression de son potentiel génétique pour la croissance, le développement et la reproduction (Brahimi, 2001; Richard *et al*, 2002).

Le rendement et la rentabilité des cultures sont faibles et limités par plusieurs contraintes abiotiques. La sécheresse de fin de cycle constitue l'une des contraintes abiotiques qui causent des pertes importantes de rendement. À cause du réchauffement climatique, l'augmentation de la population et le manque des ressources d'eau, le stress hydrique est devenu un facteur limitant de l'agriculture.

La lentille est particulièrement sensible au stress hydrique lors de la phase de reproduction notamment durant la floraison et la formation des gousses. La croissance de la lentille est souvent assurée par l'eau résiduelle du sol dans les zones arides et semi-arides

caractérisées par des sécheresses de fin de cycle, ce qui causent des pertes de rendement en grains élevées (Mhammedi, 2003 ; Shrestha, 2006).

Le déficit hydrique qui intervient lors de la phase de reproduction affecte négativement le développement de la plante et les composantes de rendement, notamment le nombre de fleurs, le nombre de gousses, le nombre de grains par gousse ainsi que l'indice de récolte (Shrestha *et al*, 2005 ; Shrestha *et al*, 2006).

La lentille est cultivée en rotation avec les céréales et utilisée pour la nutrition humaine grâce à la richesse de ses graines en protéines, en potassium (242 à 290 mg/kg), en phosphore(5,4 à 14,4 g/kg), en Fer (54 à 505 mg/kg), en Zinc (18 à 330 mg/kg) et en β -carotène (200 mg/kg) (Grusak , 2009). La paille de la lentille est importante pour l'alimentation animale grâce à sa richesse en protéines (5 à 7 %) et à la digestibilité de sa matière sèche (El Saleh *et al*,1999).

Vu la sensibilité de la culture de lentille au stress abiotique y compris le stress hydrique, il est nécessaire de sélectionner des variétés ou des génotypes résistants aux conditions de manque d'eau.

De ce qui précède vient l'objectif de notre travail qui consiste à :

- Etudier l'effet du stress hydrique sur la germination de cinq variétés de lentille.
- Etudier l'effet du stress hydrique sur le développement et la physiologie de cinq variétés de lentille.
- Sélectionner la variété la plus résistante au stress hydrique.

Étude bibliographique

I.1. La lentille (*Lens culinaris*)

La lentille, *Lens culinaris*, est une plante de petite taille, appartenant à la famille des fabaceae et la sous famille des faboideae, qui est utilisée pour l'alimentation humaine et animal. Elle nécessite un temps de cuisson plus cours que la majorité de légumineuses, ses graines contiennent 25% de protéines, 1,1% de matière grasses, 59% de glucides et sont également riches en vitamine, minéraux et fibres alimentaire solubles et insolubles (Fageria *et al*, 2002 ; Grusak, 2009). Durant la dernière décennie, on estime que la consommation mondiale de la lentille a augmenté d'environ 3% par année (Saskatchewan, 2000).

I.1.1. Description botanique

La lentille est une plante dressée, semi dressée ou étalée avec beaucoup de branches contenant des poils doux (Sandhu et Singh, 2007 ; Gupta *et al*, 2011). C'est une plante annuelle diploïde. La tige est mince, à une hauteur comprise entre 20 et 40 cm. Cependant, il existe des cultivars qui sont longs de plus de 75 cm (Duke, 1981) et qui ont une croissance indéfinie (Saskatchewan, 2000). Les feuilles sont composées de 8 à 14 folioles/feuilles. Le pédoncule comporte une à trois feuilles (Vandenberg, 1990), qui pouvaient être blanches, roses, violettes ou bleu pâles. Les gousses, aplatis sont isolées ou disposées en paires, chaque gousse possède un couvert pédicelle et renferme 1 ou 2 petites graines en forme de loupes. La couleur de tégument est variable, allant du blanc (absence de tannis) au vert pâle, au gris, au brun et au noir et porte des mouchetures violacées de grandeur variable (Fig. 01) (Vandenberg et Slinked, 1990). Le poids de 100 graines est compris entre 3-6 g (Polphil, 1990). La lentille a des racines pivotantes, minces et une masse de racines latérales fibreuses. Les racines comportent de nombreuses nodules (siège de la symbiose avec les bactéries « rhizobia » et de la fixation d'azote.



Figure 01: Morphologie d'une plante de lentille: (A) Gousses, (B) Fleurs, (C) Plante, (D) Feuilles, (E) Graines

I.1.2. Exigences climatique et édaphiques

Selon Materne et Siddique, 2009, la période et l'endroit de la culture de lentille dans le monde sont déterminés par les températures, la distribution et la qualité des précipitations. La lentille présente un bon comportement sous le climat méditerranéen où l'alternance thermique jour - nuit est marqué. Les variétés cultivées dans ce climat atteignent la période reproductive à des longueurs de jour d'environ 12h. Par contre, celles cultivées dans les climats tempérés se développent végétativement pendant les jours de photo période décroissante et fleurissent pendant les jours beaucoup plus courts (Shrestha *et al*, 2009). La culture tolère la sécheresse que les terres gorgées d'eau (Solanki *et al*, 2007). Elle tolère une température moyenne annuelle qui varie entre 6 et 27°C, mais, la température moyenne optimale est de 24°C (Lim, 2012). Son zéro végétatif (température minimale de développement) est de 6° C environ (Erskine et Ashkar, 1993). Pour la germination, les semences de lentille germent à 15°C avec un optimum de 21°C (Duke, 1981). Durant la période de la floraison jusqu'au remplissage de graines, la lentille devrait persister sous une température modérée, un déficit hydrique faible (Erkine et Ashkar, 1993) et un régime photo périodique particulier pour atteindre le stade de reproduction (Summerfield *et al*, 1984 ; McKenzie et Bill, 1989). Le nombre de jour entre la germination et l'apparition des premières fleurs est influencé par la sensibilité des génotypes à la photo période et à la température (Keating *et al*, 1996). Le cycle végétatif de la plante est très court de 120 à 150 jours (muehlbauer *et al* , 1988). La lentille est cultivée dans les zones de culture de blé tendre, dans les sols légères où la pluviométrie est comprise entre 350 et 450 mm. Elle préfère les sols légers et calcaires (Larousse agricole, 2012). Il est préférable d'éviter les sols trop fertiles (Madr, 2016).

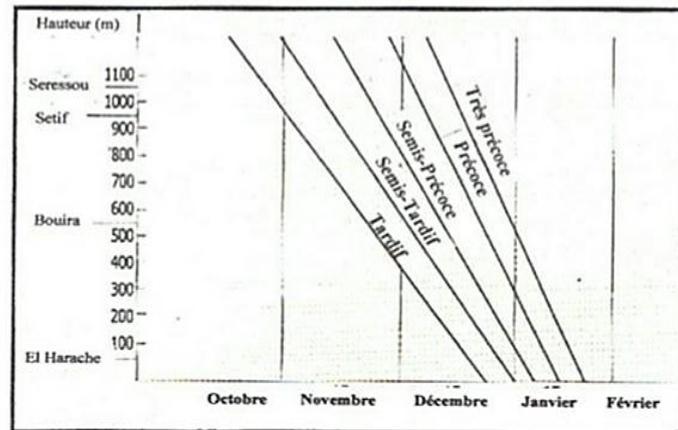


Figure 02: Les périodes de semis de la lentille selon les variétés et l'altitude (Source: Hamadache, 2000).

I.1.3. Culture de la lentille dans le monde

La lentille est cultivée dans le monde sur une superficie qui dépasse 4,5 millions d'hectares (Faqstat, 2016). La production de la lentille est faite dans environ 70 pays et la consommation est enregistrée dans plus de 120 pays (Verma *et al*, 2015). Selon Mebarki, 2018, les principaux pays producteurs sont : le Canada 73,8%, l'Inde 22,8%, la Turquie 8,4% et l'Australie 6,5%. La production mondiale de lentille représente environ 2,8 millions de tonnes par ans (Mebarki, 2018). La lentille est actuellement la 5^{ème} parmi les autres légumineuses à grains en termes de production après le haricot sec, le pois chiche, le pois et le niébé. La consommation de la lentille dans le monde a augmenté plus de 2 fois que le taux de croissance de la population humaine (Fratini *et al*, 2014).

I.1.4. Culture de la lentille en Algérie

En Algérie, la lentille cultivée occupe la quatrième place de point de vue superficie, après la fève, le pois chiche et le pois (Madr, 2016). Durant les 16 années (2000-2016) les superficies consacrées à la lentille ont atteint une augmentation remarquable (Fig. 03) (Madr, 2016). Elle s'étale sur de grande surface dans les hautes plaines (Fig. 04). Selon le bilan du ministère de l'agriculture, l'Algérie n'importera plus de pois chiche et de lentille dans les prochaines années, la superficie réservée à la culture de lentille est passée de 920 hectares en 2001 à plus de 27000 hectares en 2018 et sa production s'est élevée à 3000 000 quintaux en 2018 contre 4580 quintaux en 2001 (Le Watan, 2018). Actuellement, les principales variétés largement cultivées en Algérie sont en production de semence (Tab 01). Aussi, des secteurs

privés (Axium de Constantin, SARL de cheliff et SARL Sersou de Tiaret) se sont impliqués dans le programme national de production de semence. La variété Syrie 229 est la plus dominante (L'ITGC, 2016).

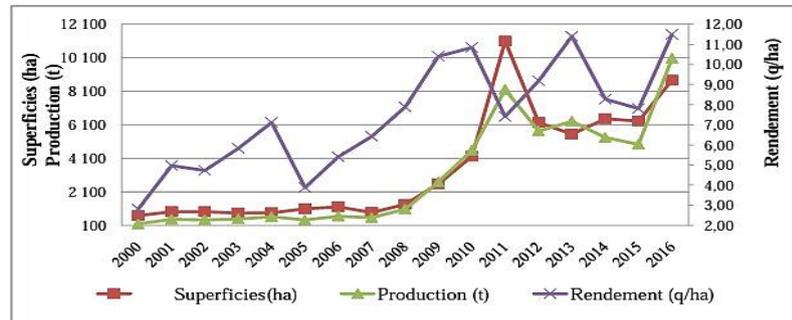


Fig. 3 : Evolution des superficies, des productions et des rendements de la lentille en Algérie durant la période 2000-2016 (MADR, 2016).

11

Figure 03: Evolution des superficies, des productions et des rendements de la lentille en Algérie durant la période 2000-2016 (MADR, 2016)

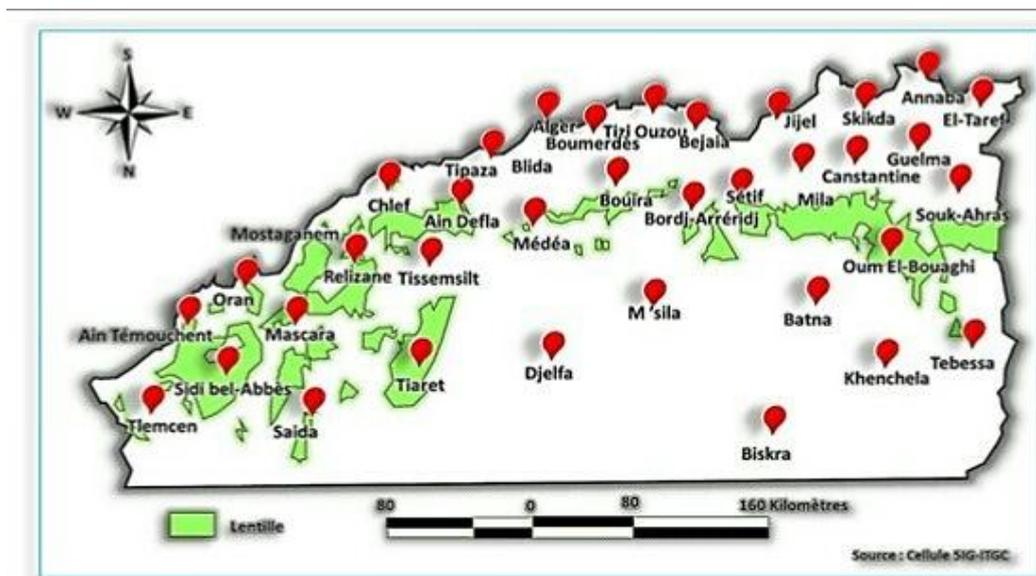


Figure 04: Zone d'aptitude de la culture de la lentille en Algérie (ITGC, 2013)

Tableau 01 : Les variétés en production de semences en Algérie Source : ITCC (2018) : GNCC (2018).

Variété	G ₀ (plants)	G ₁ (ha)	G ₂ (ha)	G ₃ (ha)	G ₄ ** (ha)	R1** (ha)	R2** (ha)
Balkan 755 (sélection locale sur population introduite)	1400	0,165	0,3	0,25	-	-	-
Dahra (sélection locale sur population introduite)	240	-	-	-	-	-	-
Ibla 1 (Seybousse) (ICARDA)	4200	0,35	0,15	-	-	-	-
Idlib 2 (Atlas) (ICARDA)	1200	0,2	0,5	5	38,00	32,00	909,0
Idlib 3 (Tafrent) (ICARDA)	240	-	-	-	-	-	-
ILL99*ILL5588							
ILL 5858	500	0,06	0,25	0,25	-	-	-
ILL 7947	500	0,15	0,25	0,25	-	-	-
Métropole (isolée en 1942 en France), relancée en 2017	2000	-	-	-	-	-	-
Nel 45 R (ICARDA)	3000	0,2	1	-	-	-	-
Syrie 229 (ICARDA)	5200	1,45	16,2	152,5	1241,0	7500,5	4155,5
Djendel							
ILL2126*ILL7946 (nouvellement introduite)	500	-	-	-	-	-	-
Taghit							
ILL4660*ILL10 023 (nouvellement introduite)	219	-	-	-	-	-	-

** : multipliées par la CCLS et les secteurs privés

Source : ITGC (2018) ; CNCC (2018)

I.1.5. Intérêt de *Lens culinaris*

La lentille comme toutes légumineuses a la capacité de fixer l'azote atmosphérique grâce à la symbiose établie avec les bactéries du genre rhizobium, sa culture permet d'enrichir le sol en azote et par conséquent de limiter la pollution des sols et d'eau par l'utilisation des engrais azotés chimiques. Aussi, elle est une source d'énergie (minéraux, fer, vitamines, protéines, sucres, lipides...) (Kesli et Adak, 2012 ; Kalwal *et al*, 2015). L'introduction de la culture de la lentille dans les systèmes de culture a un intérêt sur le rendement de blé (La Rotation lentille- blé) (Hamadach, 2014). De point de vue nutritionnel, la lentille est une source de protéines et d'acides aminés ce qui en fait un bon complément avec les céréales pour équilibrée l'alimentation humaine (Kumar *et al*, 2014). La lentille pouvait aider à réduire le cholestérol. Aussi, bénéfique dans la gestion des troubles de glycémie (Yadav *et al*, 2007). En outre, la partie végétative de la lentille peut être utilisée comme un engrais vert (Quinn, 2009). Les graines sont également réduites en farine qui sert à fabriquer des galettes et des pains, ou à préparer des aliments spéciaux destinés par exemple aux nourrissons. Elles servent également à l'alimentation des animaux, en particulier les volailles, pour leur procurer des protéines. Ainsi, les gousses, les téguments et les tiges feuillées fraîches ou sèches fournissent du fourrage pour le bétail (Yunus et Jackson,

1991). Les graines sont parfois employées comme source d'amidon dans l'industrie textile et dans l'imprimerie.

I.2. Stress hydrique

I.2. 1. Notion de stress

Le mot stress est décrit pour la première fois par Chaud Bernard en 1868 comme les réactions déclenchées par le stress visant à maintenir l'équilibre de l'organisme. Le physiologiste américain C.W. Bradford, 1915 a nommé l'ensemble de ces réactions par l'homéostasie. Les mécanismes de régulation de l'homéostasie sont entraînés lorsque le stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental.

Les organismes sont soumis à deux types de stress : le stress biotique et abiotique.

Le stress biotique est due à une agression par un autre organisme tandis que le stress abiotique est due principalement à des facteurs environnementaux (Zhu, 2002), donc toute condition défavorable empêchent la plante de se développer et de se reproduire (Katchoni *et al*, 2006). Ce stress peut être induit par une forte salinité (Lee *et al*, 2004 ; ; Yan *et al*, 2005 ; Kim *et al*, 2005 ; Askari *et al*, 2006), de hautes températures (Mayoul *et al*, 2003, 2004) et de basses températures (Renaut *et al*, 2004; Cim *et al*, 2005 ; Amme *et al*, 2006), du déficit hydrique (Jones, 2004 ; Vincent *et al*, 2005 ; Ali et Komatsu, 2006 ; Gornitla, 2006) de lumière (Nam *et al*, 2006 ; Phee *et al*, 2004) des métaux lourds (Requejo et Tena, 2005 ; Sarry *et al*, 2006) d'un stress oxydatif (Coude *et al*, 2007) de la pollution et de déficit nutritionnel (Munne Bosh et Alegre, 2004) ou de combinaison entre eux (Langridage *et al*, 2006).

I.2.2. Stress hydrique

On parle d'un stress hydrique chez la plante lorsqu'elle perturbe son métabolisme à cause de l'eau. Pour détecter le stress hydrique on ne peut pas se baser uniquement sur le flétrissement du feuillage mais plutôt sur ses effets directs et rapides sur les fonctions métaboliques, la croissance des organes et leur développement.

I.2.3. Effet de stress hydrique sur la croissance des plantes

Le stress hydrique baisse la croissance et la reproduction encore plus que tous les autres stress (kramer, 1983). L'application du stress hydrique aux différentes phases de développement de la plante diminue la taille et la longueur des entre-nœuds des plantes

(Attira, 2007). La croissance de la plante peut être réduite à cause de la réduction de la photosynthèse provoquée par le déficit hydrique ou à cause d'un déficit de la nutrition minérale qui est dû principalement à des diminutions de flux d'éléments vers les racines (Gahoonia *et al*, 1994 ; Dugo, 2002). Lebon, 2006 a montré que la diminution de la surface foliaire sous le régime hydrique limitant est un mécanisme adaptatif des plantes visant à limiter leur transpiration foliaire lorsque les conditions hydriques deviennent défavorables. Pour les organes végétatifs, le nombre et la croissance des jeunes organes reproducteurs (ovules, fleurs puis graines) sont limités en conditions de déficit hydrique. Il en résulte une diminution du nombre de graines qui aura un effet sur le rendement même si les conditions hydrique redeviennent favorables (INRA, 2006).

I.2.4. Effet de stress hydrique sur la germination des plantes

La sécheresse est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie au cours des stades de développement (Faliach *et al*, 2001). En présence de l'agent de stress hydrique PEG la germination, la longueur, le nombre de racines, la surface foliaire développée et le taux de la chlorophylle sont diminués. Manohar, 1966 lie cela au fait que le PEG ne serait pas absorbé par les plantes au contraire du mannitol, ce qui aurait un effet nocif sur la germination. Or, d'autres auteurs ont montré que le PEG est, lui aussi, absorbé par les cellules (Lawlor, 1970 ; Newton *et al*, 1990). De plus il faut tenir compte des poids moléculaire des PEG utilisé (4000 pour manohar, 1966; 8000 pour Zrkri, 1993) dont la pénétrabilité cellulaire et la toxicité sont différentes, ce qui empêche toute généralisation.

Méthodologie expérimentale

II.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé sont les graines de cinq variétés de lentille : Sersou 229, Belkane, Idlep, Métropole et Syrie fournies par ITGC de Tiaret.

II.2. Effet de stress hydrique sur la germination des graines

Afin d'évaluer la germination des graines de cinq variétés de lentille en condition de déficit hydrique pour une sélection ultérieure, une expérience est réalisée où les cinq variétés cités sont mises à germées en présence de concentrations croissantes en Polyéthylène glycol (PEG) 5%, 10%, 15%, 20% et 25%. Pour cela, 5g de PEG ont été dissous dans 100 ml d'eau pour préparer une solution à 5% de PEG. De même 10 g, 15 g, 20 g et 25 g de PEG ont été dissous dans 100ml d'eau pour préparer une solution à 10%, 15%, 20%, et 25% de PEG respectivement. Les graines des cinq variétés de lentille sont désinfectées à l'aide d'une solution de H₂O₂ (10 V) pendant 3 minutes, rincées plusieurs fois à l'aide de l'eau distillée stérile puis séchées dans un papier filtre stérile. Ensuite, les graines désinfectées et séchées sont mises à germées dans des boîtes Pétri contenant l'eau gélosée 1% avec ou non des concentrations croissantes de PEG (5%, 10%, 15%, 20% et 25%) en raison de trois répétitions pour chaque variétés et chaque concentration. Après 12h, 24 h, 48 h d'incubation dans l'obscurité à 25°C, les paramètres suivants sont mesurés comme suit :

- **Taux (pourcentage) de germination**

Consiste à compter le total des graines germées ×100 par rapport au nombre de départ.

- **Longueur des racinelles**

Après avoir compté les graines germées, chaque racine de ces dernières est séparée puis mesurée avec une règle graduée (en cm).

- **La teneur relative en eau des racinelles**

C'est un indicateur très utilisé pour mettre en évidence l'état de la balance hydrique de plante. Après avoir les comptées, les racinelles sont séchés par passage à l'étuve pendant 48 heures à une température de 80 °C. Il est calculé comme suit :

$$\text{TRE \%} = (\text{poids frais} - \text{poids sec}) / \text{poids sec} \times 100$$

II.3. Effet de stress hydrique sur le développement des plants de lentille

II.3. 1. Culture des plants de lentille

Pour chaque variété, 50 graines de la même taille sont choisies, désinfectées par traitement à l'hypochlorite de sodium pendant 3 minutes, rincées avec l'eau distillée 10 fois et enfin mises à germer dans du cotons immergés dans l'eau distillée pendant 36 h (Fig. 05)

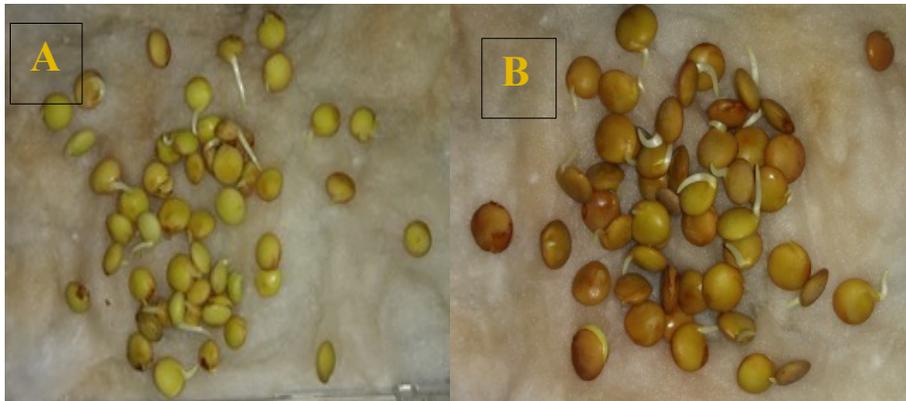


Figure 05: Graines germées des variétés Syrie (A) et Balkane (B) après 36 h.

Avant de transplanter les graines germées, un substrat de culture est préparé par un mélange sol- sable tamisés pour l'élimination des débris des végétaux et des animaux et toutes les pierres ; puis les pots de 2 kg sont remplis, avec le substrat, dont le fond est tapissé par le gravier pour assurer un bon drainage (Fig. 06).



Figure 06: Préparation des pots de culture des plants de lentille.

La culture de lentille est lancée en 22/01/2020 où cinq graines germées sont déposées par pot, en raison de 6 répétitions pour chaque variété de lentille (3 répétitions pour appliquer les stress et 3 répétitions pour les plants témoins). Après un mois de culture, le stress hydrique

est appliqué en limitant l'arrosage à une fois par 15 jours (Fig. 07). La culture est conduite dans des conditions naturelles.



Figure 07: Culture des plants de lentille.



Figure 08 : Plants de lentille après 15 jours de culture.

II.3.2. Évaluation de la réponse des plants de lentille au stress hydrique

II.3.2.1. Poids frais et sec

Le poids frais est réalisé immédiatement après la récolte, les plants sont pesés à l'aide d'une balance analytique et le poids sec est quantifié après le séchage des plants à l'étuve à 70°C pendant 5h.

II.3.2.2. Teneur relative en eau (TRE)

La TRE est estimée par la différence entre le poids frais et le poids sec suivant cette formule :

$$\text{TRE}\% = (\text{Poids frais} - \text{poids sec}) / \text{poids sec} \times 100$$

II.3.2.3. Dosage de la proline

La proline est dosée suivant la méthode colorimétrique de Bathes *et al*, 1973. 100 mg de matériel végétal broyés sont homogénéisés avec 1 ml de l'acide sulfosalicylique 3%. L'homogénat est centrifugé pendant 5 min à 10000 rpm à température ambiante. 1 ml du surnageant est additionné de 2 ml de réactif (1,25 g ninhydrine, 30ml acide acétique, 20ml acide orthophosphorique 6M). La réaction est incubée à 100°C pendant 1h puis arrêté dans la glace pendant 1h. Après refroidissement, 1ml de toluène est ajouté au mélange, le tout est vortexé puis laissé à décanter pendant 1h. L'absorbance de la partie toluène (surnageant) est mesurée à 520 nm en utilisant le toluène comme référence.

La courbe étalon est réalisée avec des concentration croissante en proline pure (annexe 01).

II.3.2.4. Dosage des protéines

Suivant la méthode de Bradford *et al*, 1976. 0,5g de matière végétale fraîche sont broyées dans 5 ml d'eau distillée. Puis le broyat est centrifugé à 4000 tour/ minutes pendant 25 minutes. 0,1 ml du surnageant est collecté, auquel est ajouté 5 ml du réactif de Bradford (100 mg de bleu de Coomassie dissolu dans 50ml d'éthanol à 96% plus 100 ml d'acide ortho phosphorique à 85% ajuster avec 11 de l'eau distillée). Après incubation de 30 minutes a l'obscurité, l'échantillon est lu à 595nm. Le Spectrophotomètre est étalonné avec 5ml du réactif de Bradford auquel est ajouté 0,1 ml d'eau distillée. La gamme étalon est établie en utilisant des concentrations de sérum d'albumine bovine (Annexe 02).

II.3.2.5. Dosage des sucres totaux

Les sucres totaux sont dosés selon la méthode de Dubois *et al*, (1956). 1g de matière végétale fraîche et broyée est homogénéisé avec 600 µl d'éthanol 80°. Après 48h d'incubation, l'éthanol est évaporé dans l'étuve à 80°C puis 1ml d'eau distillée est incorporée, c'est la solution à analyser. 300 µl de cette solution est additionné de 300 µl de phénol 5%. La mixture est soigneusement agitée puis additionnée de 1,6 ml d'acide sulfurique 96%. Après un séjour de 30 min à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 485nm. Le blanc servant à étalonner le spectrophotomètre est préparé de la même manière à partir de l'eau distillée jusqu'à l'ajout de l'acide sulfurique.

La gamme étalon est réalisée avec des concentrations croissantes en glucose pure (annexe 03).

II.3.2.6. Dosage des pigments chlorophylliens

Les pigments chlorophylliens sont extraits dans un dissolvant tel que l'acétone. 20mg de matière végétale est broyé dans 2 ml d'acétone 80 % puis le broyat est centrifugé à 3000 tours pendant 3 minute. Le surnagent est récupéré et lu à 645 et 663 nm. À chaque longueur d'onde, le spectromètre est taré avec de l'acétone 80%. Les concentrations en chlorophylles a et b sont déterminées comme suit (Mc Kinney *et al*, 1941) :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/ mg MVF}) = (12,25 * \text{Do}_{6663}) (2,79 * \text{Do}_{645})$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/ mg MVF}) = (21,5 * \text{Do}_{645}) (5,1 * \text{Do}_{663})$$

II.3.2.7. Evaluation de la densité des stomates

Les stomates sont évalués sur les faces dorsales et ventrales de la partie médiane de l'avant dernière feuille. On nettoie la poussière par l'application d'un ruban adhésif puis on applique une fine couche de vernis à ongles transparent sur chacune des faces foliaires. Après séchage pendant 2 min la fine couche de vernis est retirée par un second ruban adhésif de type scotch qui est collée sur une lame de microscope. L'observation et le comptage des stomates sont réalisés à l'aide d'un microscope optique.

II.4. Effet de stress hydrique sur la symbiose rhizobienne établie avec les plants de lentille

La présence ou l'absence de nodules et leur nombre sont notés directement après le déterrement des plantes de lentilles.

Résultats et discussion

III. 1. Effet de stress hydrique sur la germination des plants de lentille

Le stress hydrique entraîne de sérieuses limitations de rendement des cultures selon la plante, le stade de croissance, la durée et la sévérité du stress. La germination est l'étape la plus critique et la plus sensible du cycle de vie des plantes (Ahmed *et al*, 2010). Les graines exposées à des conditions environnementales défavorables telles que la sécheresse peuvent compromettre l'établissement ultérieur de semis (Albuquerque et Carvalho, 2003 ; Soleymain *et al*, 2012). Plusieurs études ont rapportés l'effet néfaste du stress hydrique sur la germination des graines de lentille qui peut varier entre les variétés (Muscolo *et al*, 2013; Younis *et al*, 1993).

Manohar (1966) lie cela au fait que le PEG ne serait pas absorbé par les plantes au contraire du mannitol, ce qui aurait un effet nocif sur la germination. Or, d'autres auteurs ont montré que le PEG est, lui aussi, absorbé par les cellules (Lawlor, 1970 ; Newton *et al*, 1990).

Muscolo *et al*, 2013 ont noté une réduction du pourcentage de germination, de la longueur de la radicule et de la teneur relative en eau des quatre cultivars de lentille mises à germer en présence de polyéthylène glycol (PEG) avec une différence significative entre les variétés (Tab. 02). Ces résultats sont confirmés par d'autres chercheurs rapportant que des concentrations élevées en PEG réduisent le pourcentage de germination (Siahrar *et al*, 2010; Jamaati-e- Somarin et Zabihi - e- Mahmoodabad, 2011). Cet effet pourrait être dû à la réduction de la division et de l'élongation cellulaire durant la germination (Frazer *et al*, 1990).

Ainsi, pour la germination, les graines nécessitent un certain niveau d'hydratation pour la synthèse des enzymes responsables de l'hydrolyse des substrats stockés. Les produits hydrolysés sont utilisés dans la synthèse des plantes et l'allongement des radicules (Canas *et al*, 2006).

Dans les graines de lentille, c'est l'amylase qui est responsable d'hydrolyse des substrats. Selon Haouari *et al*, 2013 l'inhibition de la germination est directement liée à la disponibilité des réserves, la production d'énergie par la dilution du protoplasme pour augmenter le métabolisme pour une croissance embryonnaire réussie (Mc Donald, 2007).

Muscolo *et al*, 2013 ont conclu que l'activité des amylases dans les graines de lentille diminue sous l'effet de PEG suite à la diminution de la teneur relative en eau qui affecte l'activité des enzymes hydrolitiques particulièrement l'Alpha- amylase et la bêta- glucosidase.

En Algérie, au stade germination, le géotype Balkan est le plus tolérant à la salinité avec un retard de germination pour les quatre variétés (Teggar, 2015).

Tableau 02 : Effet de déficit hydrique sur le taux de germination, la longueur de radicule et la teneur relative eau des radicules. (Muscolo *et al*, 2013)

Variété	PEG %	Taux de germination%	Longueur de radicule cm	Teneur relative en eau %
Eston	0	100	4,31	40
	10	100	2,22	34
	15	93	1,74	30
	18	91	1,02	24
	21	76	0,83	24
Castelluccio	0	100	3,94	42
	10	71	1,60	26
	15	64	1,35	25
	18	61	0,74	25
	21	47	0,53	22
Ustica	0	100	4,15	35
	10	81	1,49	31
	15	61	1,12	14
	18	51	0,42	12
	21	25	0,22	10
Pantelleria	0	100	4,95	45
	10	81	1,53	35
	15	64	0,87	13
	18	52	0,33	7
	21	28	0,21	7

III.2. Effet de stress hydrique sur la croissance et la physiologie des plants de lentille

III.2.1. Poids sec et poids frais

Les plantes répondent au déficit hydrique par des modifications morphologique physiologique et métabolique (Ouvrard *et al*, 1996). Plusieurs auteurs ont rapportés l'effet néfaste du stress hydrique sur la morphologie des plants de lentille qui peut varier entre les variétés. Une diminution importante de la taille et de la longueur des entre-nœuds des plants sous stress hydrique est rapportée (INRA, 2006 ; Lebon, 2006 ; Attia, 2007).

Selon Idrissi *et al*, (2012), le déficit hydrique réduit la hauteur des plants de lentille de 20%, la surface foliaire de 48 à 81% et la matière sèche totale de 60%. Le déficit hydrique de fin de cycle affect les composants de rendement, la matière sèche totale et la durée de remplissage des graines (Tab. 03). Ces auteurs ont montré que la formation des gousses et le remplissage des graines chez la lentille sont affectés et limités par le manque d'eau dans le sol. Ils rapportent également que le déficit hydrique conduit à l'avortement des fleurs et des gousses. Ils ont lié la réduction du nombre de gousses par pot à la réduction de la production des fleurs qui aboutissent aux gousses et à la chute des jeunes fleurs et des jeunes gousses avant la formation et le remplissage des graines.

Tableau 03 : Effet de déficit hydrique sur les caractéristiques des racines et de la matière sèche des lignées de lentille testées. (Idrissi *et al*, 2012)

Lignées	Longueur de la racine principale (cm)		Nombre de racines latérales (/ plante)		Poids sec racinaire (g/plante)		Poids sec aérien (g/plante)	
	Irrigué	Stressé	Irrigué	Stressé	Irrigué	Stressé	Irrigué	Stressé
F86 16	17.25 ^a	11.25 ^a	24 ^a	19 ^a	1.07 ^a	0.35 ^a	20.55 ^a	8 ^a
F87 9	19 ^a	21.25 ^b	34.75 ^b	23.5 ^b	2.61 ^b	1.03 ^b	25.84 ^b	14.83 ^b
F95 41	13.87 ^b	17.75 ^c	24.75 ^a	18 ^a	0.4 ^c	0.40 ^a	19.19 ^a	10.28 ^a
F97 29	14.62 ^b	16.06 ^c	20.75 ^a	24.5 ^b	0.56 ^c	0.49 ^a	17.01 ^a	9.69 ^a
F00 24	13.12 ^b	15.87 ^c	18.75 ^a	19 ^a	0.43 ^c	0.48 ^a	20.57 ^a	9.73 ^a
ILL81S15 19	11 ^b	14 ^a	20 ^a	17 ^a	0.65 ^c	0.46 ^a	16.71 ^a	8.55 ^a
ILL 7217	17.06 ^a	11.12 ^a	17 ^c	14.25 ^c	0.32 ^c	0.34 ^a	15.53 ^a	9.57 ^a
L8PS05 5 13	15 ^a	10.81 ^a	22 ^a	16.5 ^a	0.51 ^c	0.48 ^a	17.57 ^a	7.49 ^c
ILL8094	12.25 ^b	13.81 ^a	16.5 ^c	23.25 ^b	0.44 ^c	0.51 ^a	18.80 ^a	10.06 ^a
F2003 7	17.25 ^a	17.68 ^c	21 ^a	24.5 ^b	0.64 ^c	0.51 ^a	19.33 ^a	9.91 ^a
L8PS05 5 7	13.12 ^b	15.43 ^c	18.25 ^a	27.25 ^b	0.52 ^c	0.39 ^a	19.06 ^a	10.61 ^a
BAKRIA	10.31 ^b	11.62 ^a	16 ^c	16.75 ^a	0.57 ^c	0.29 ^a	16.99 ^a	8.39 ^a

Pour chaque colonne : mêmes lettres pour deux lignées : pas de différence significative ; lettres différentes : différence significative.

Selon Thakur *et al*, (1982), le déficit hydrique entraîne un retard dans la croissance végétale, qui se traduit par une réduction de la hauteur et du diamètre de la tige, un raccourcissement des entres- nœud et une diminution du nombre de feuilles et de la surface foliaire.

Leps, (2000), a remarqué que le déficit hydrique long provoque des changements progressifs de la plante qui visent à réduire sa surface transpirante, mais qui provoque également une baisse de sa production.

Selon Tahir *et al*, (2019), le déficit hydrique a réduit la surface foliaire de 16,76 cm² pour les plants de lentille non stressés au 13,63 cm² pour les plans stressés. La surface foliaire la plus élevée a été observée chez le cultivar Métropole avec une valeur de 17,15 cm², tandis que la plus faible a été observée chez la variété Syrie 229 avec une valeur de 12,54 cm² (Fig. 09).

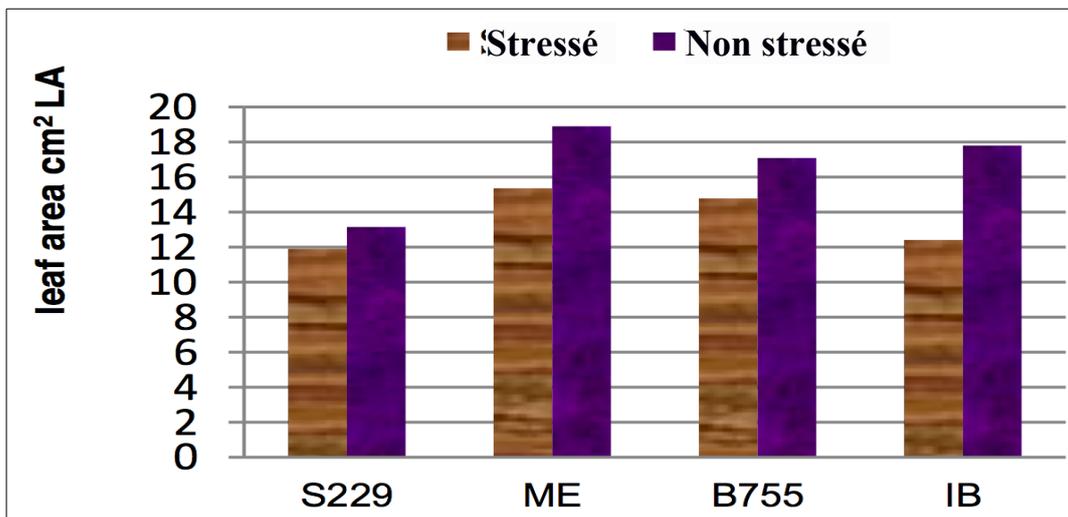


Figure 09: Effet de déficit hydrique sur la surface foliaire des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME: Métropole, B775: Balkan, IB: Ibela). (Tahir *et al*, 2019)

La diminution de la biomasse sèche des plants de lentille sous l'effet de stress hydrique peut être corrélée à la réduction de développement racinaire et aérien. Elle résulte également de diverses modifications morphologique et physiologique tels que :

- 1) La diminution de l'épaisseur de l'épiderme, du mésophylle et des espaces intercellulaires (Parida *et al*, 2004).
- 2) La diminution de la taille cellulaire (Khedr *et al*, 2003 ; Menesah *et al*, 2006).
- 3) La réduction du nombre de chloroplastes de la surface foliaire et la densité stomatique (Bruns et Hecht- Buchholz, 1990 ; Remerosranda *et al*, 2001).

La croissance de la plante est réduite à cause de la réduction de la photosynthèse provoquée par le stress hydrique. Le déficit hydrique induit aussi un déficit de la nutrition minérale (azotée et phosphatée) qui est dû principalement à des réductions de flux d'éléments vers les racines ce qui a pour conséquence une réduction de la croissance des plants (Gahoonia *et al*, 1994 ; Dugo, 2002).

Le poids de la semence d'origine détermine la capacité de résistance du végétal à des conditions adverses. En effet, les plantules issues de petite semence montreront une plus grande fragilité vis à vis de conditions environnementale défavorables (Derieux *et al*, 1989). Selon Siddiq *et al*, (2007) les caractères liés à la taille des semences sont importants à considérer en agronomie.

III.2.2. Les stomates

Les stomates jouent un rôle primordial dans la régulation de la balance hydrique de la plante. La réduction de la perte en eau par la fermeture des stomates est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse (Stama *et al*, 2005).

En conditions de déficit hydrique, les plantes doivent réagir rapidement, la plus importante et rapide réponse est la fermeture des stomates. Les feuilles ferment leurs stomates pour limiter la perte d'eau et l'influx de CO₂.

Trejo et Davies, (1991), ont observé chez les plantules de deux cultivars de *Phaseolus vulgaris* L. (cv. Cacahuate-72 et Michoacan-12A3) soumis à un déficit hydrique, que les stomates commencent à se fermer avant la détection de stress hydrique chez les feuilles.

En conditions de stress hydrique, la fermeture des stomates est souvent accompagnée par une diminution du nombre de stomate par unité de surface de feuille (Younis *et al*, 1993). Les feuilles prennent une couleur plus foncée en conditions de manque d'eau (Rengasamy et Ried, 1993 ; Younis *et al*, 1993). Cependant, selon Slama (2002), l'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique.

Sehari *et al*, 2012 ont noté une forte relation positive entre le stress salin et la densité des stomates au niveau des deux épidermes de la feuille supérieure ($r = 0,3355^*$) et inférieur ($r = 0,1257$) des plants de lentilles (Fig. 10). Ces résultats sont en concordance avec ceux de Parcevaux (1964), Erchidi *et al* (2000) rapportant que la présence de stomates de petites tailles et en grand nombre permet une régulation beaucoup plus efficace dans la transpiration que la présence de stomates de taille importante et en nombre faible. Le nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et a fermeture rapide (Slama *et al*, 2005). Ces auteurs suggèrent également que l'augmentation du nombre de stomates par unité de surface pourrait être un des facteurs de résistance au déficit hydrique si elle est accompagnée par une bonne activité physiologique.

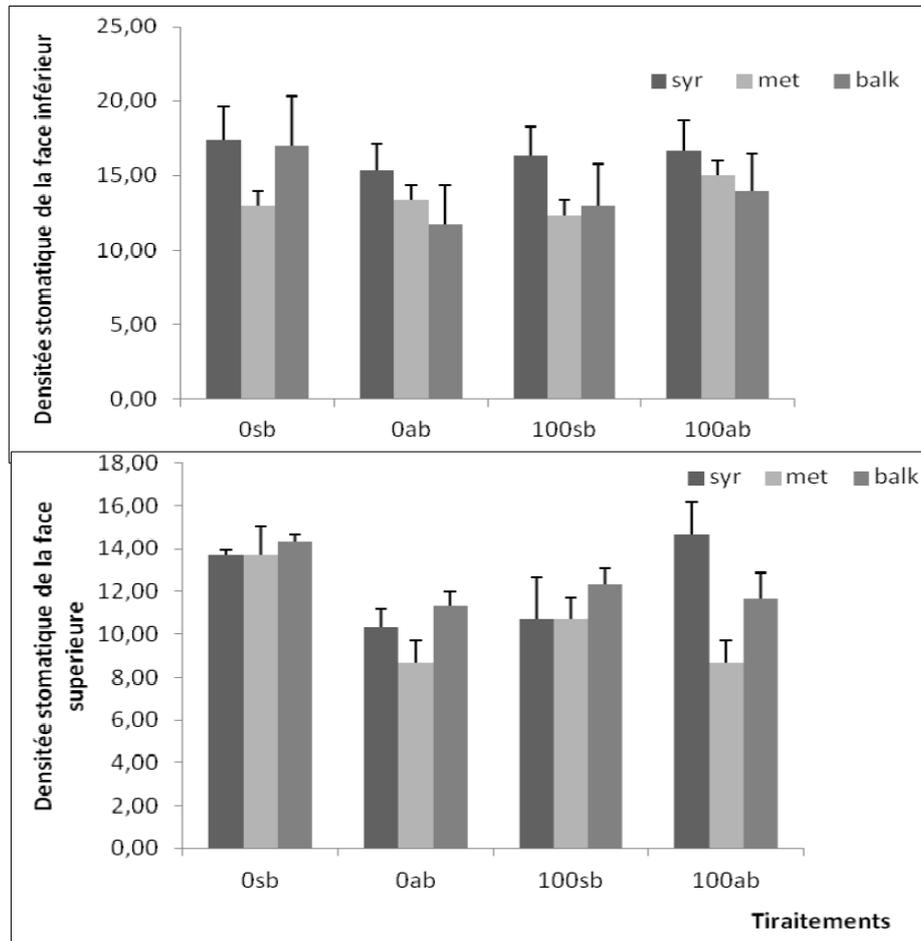


Figure 10: Effet de déficit hydrique sur la densité stomatique des faces supérieures et inférieures de trois variétés de lentille foliaire des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME: Métropole, B775: Balkan). (Sehari *et al*, 2012) ab: avec bentonite, sb: sans bentonite, 0 et 100: dose en NaCl.

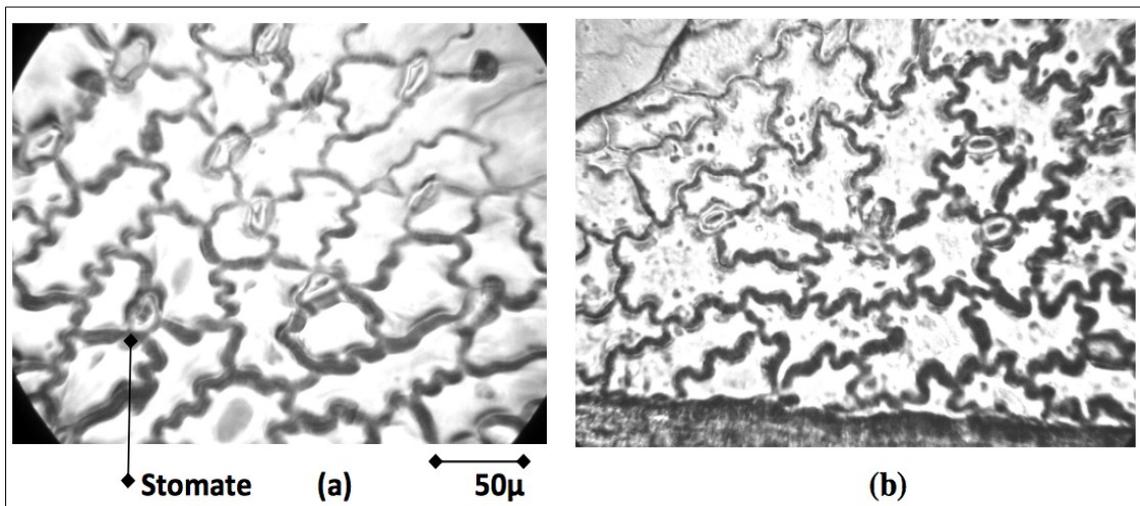


Figure 11: Densité stomatique de l'épiderme foliaire de *Lens culinaris* L. var. Balkan chez le témoin (a) et la plante soumise au stress salin et à la bentonite. (Sehari *et al*, 2012)

III.2. 3. La teneur relative en eau

L'analyse de la teneur relative en eau, permet de décrire d'une manière globale le statut hydrique de la plante et d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (El Djaafari *et al*, 2000).

En conditions de déficit hydrique, plusieurs études ont rapporté une forte diminution de la TRE et du potentiel hydrique des feuilles des plantes (Kyparissis *et al*, 1995 ; Nayyar, Gupta, 2006).

Sehari *et al*, 2012 rapportent également cette diminution chez les génotypes de lentilles, ils ont noté également que la variété Balkan maintien, en condition de stress salin, un potentiel hydrique et une teneur relative en eau des feuilles supérieur à ceux des autres variétés suggérant que moins il y'a d'eau dans le sol et plus la plante accumule de l'eau en réduisant sa transpiration.

Selon Singh *et al*, (2017), le stress hydrique a induit une diminution de la teneur relative en eau des deux génotypes de lentilles, sensitif (JL-3) et tolérant (PDL-2), mais, ce dernier a maintenu significativement un taux de TRE plus important (Fig. 12). Ceci montre qu'une forte TRE permet au génotype tolérant une meilleure performance en termes de processus physicochimiques en conditions de déficit hydrique.

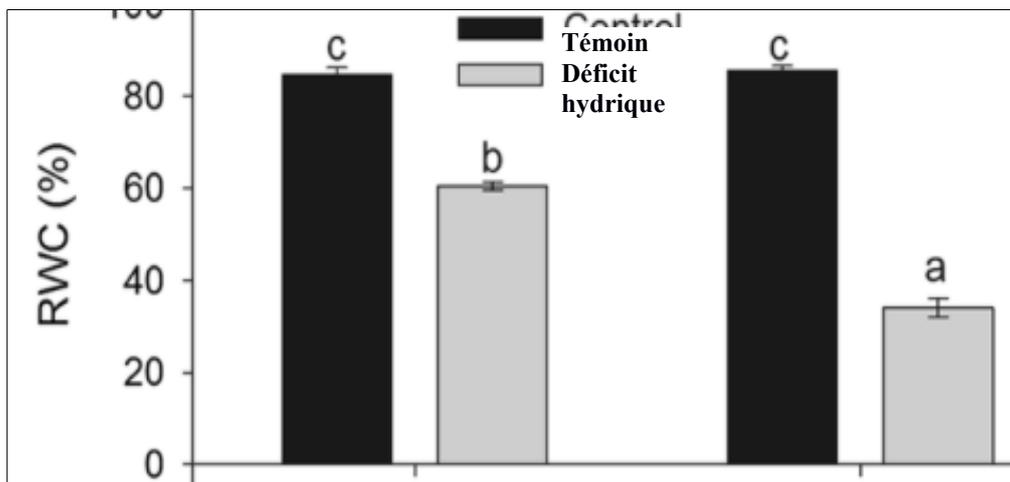


Figure 12: Effet de déficit hydrique sur la teneur relative en eau de génotypes de lentille tolérant (PDL-2) (gauche) et sensitif (JL-3) (droite). (Singh *et al*, 2017)

Les bars avec la même lettre ne sont pas significativement différents $p < 0,05$.

Les génotypes tolérants peuvent maintenir un niveau plus élevé en TRE dans leurs feuilles grâce à la fermeture des stomates et par conséquent la réduction des échanges gazeuses dans les feuilles (Thameur *et al*, 2012).

Tahir *et al*, (2019), ont observé une réduction des taux de la teneur relative en eau des génotypes (SYRIE 229, Metropole, Balkane 775 et Ibela) étudiés de 2,8 % à 9,7 % en comparaison avec le témoin non stressé. Mais aucune différence significative de ce paramètre n'a été enregistrée entre les quatre génotypes (Fig. 13).

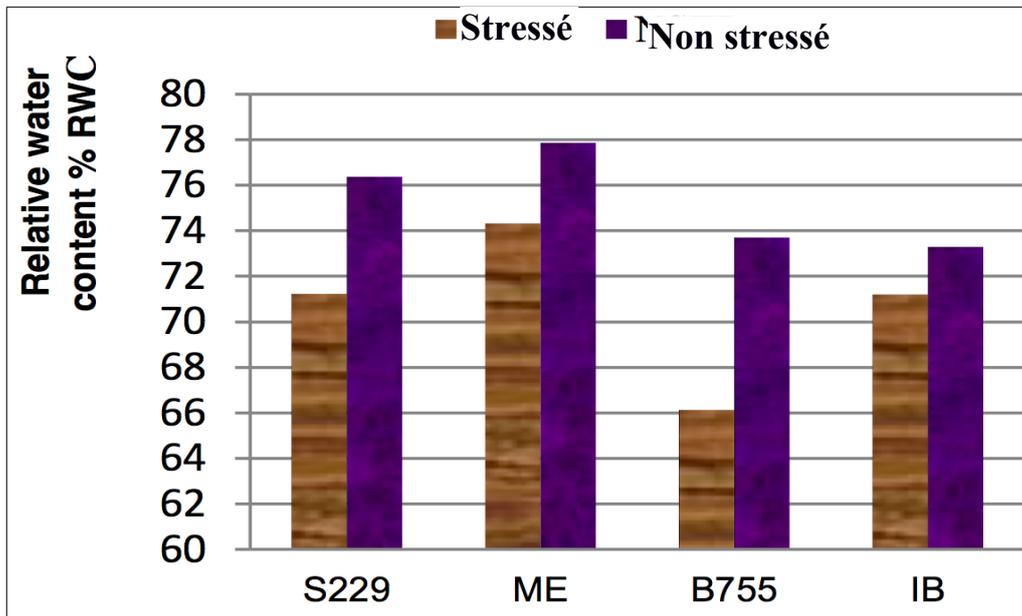


Figure 13: Effet de déficit hydrique sur la teneur relative en eau des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME: Métropole, B775: Balkan, IB: Ibela). (Tahir *et al*, 2019)

La capacité de retenir l'eau dans les plantes est l'une des composantes de mécanisme de tolérance (Singh *et al*, 2016). Il est rapporté qu'une TRE élevée est associée avec des taux plus élevés de pigments photosynthétiques, de l'index de la stabilité membranaire, des osmolytes et de l'activité antioxydante chez les plantes de maïs (Moussa et Abdelaziz, 2008).

Les plantes équilibrent leur état hydrique en ajustant la conductibilité de l'eau de leurs tissus, les tissus vasculaires et les cellules de garde jouent un rôle important dans ce processus (Maurel et Chrispeels, 2001).

Selon Kameli et Losel, (1996), la croissance s'arrête avant qu'aucun abaissement notable ne soit perceptible dans le contenu relatif en eau. Le premier effet du déficit hydrique est de réduire la vitesse de croissance des cellules et de la tige. Toutes les pertes hydriques de plante se font alors à travers les voies non somatiques (cuticule).

III.3 Effet de stress hydrique sur les paramètres biochimiques des plants de lentille

III.3.1. Les sucres solubles

Les sucres solubles sont considérés comme bioindicateurs du degré de tolérance à la salinité chez plusieurs espèces (Rathert, 1984). En effet, ils jouent un rôle essentiel dans la protection des membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986).

La sécheresse conduit généralement à une diminution de la teneur en amidon et à l'accumulation des sucres solubles notamment dans les feuilles (Tadaka *et al*, 2000 ; Kaplam et Guy, 2004 ; Basu *et al*, 2007 ; Kemp *et al*, 2008).

Sehari *et al*, 2012, ont obtenus des résultats qui montrent que les plants soumis à la salinité ont réagi par une forte accumulation de sucres dans les feuilles. Bien que, les comportements des plantes paraissent identiques pour les trois génotypes.

Tahir *et al*, (2019), ont rapporté une forte augmentation de l'accumulation des sucres dans les quatre génotypes en condition de déficit hydrique. Cette augmentation est plus marquée chez le génotype Métropole (252,77%) par rapport aux génotypes Balkan755 (185,50%) et Syrie 229 (134,02%). La plus faible accumulation a été notée chez le génotype Ibela (110,03%) (Fig. 14).

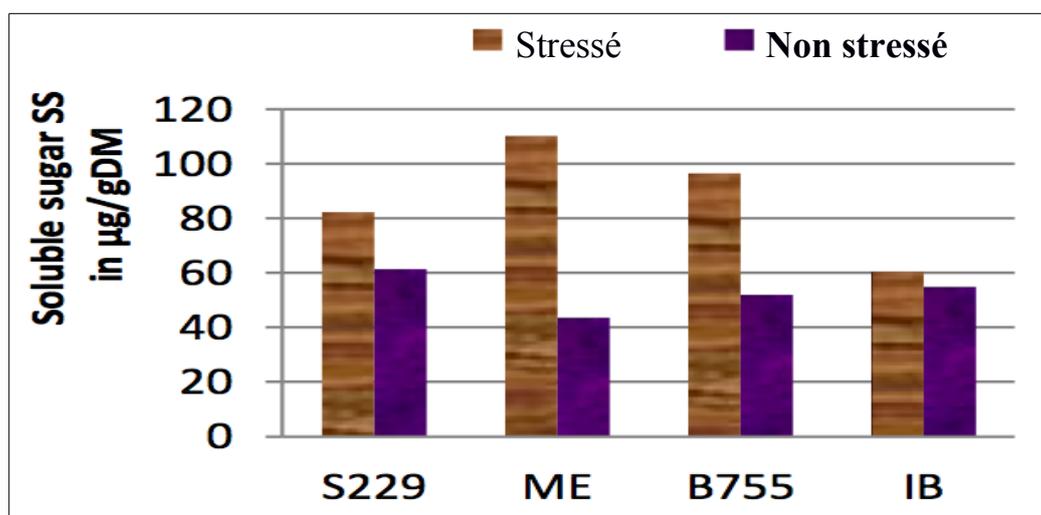


Figure 14: Effet de déficit hydrique sur le taux de sucres solubles des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME: Métropole, B775: Balkan, IB: Ibela). (Tahir *et al*, 2019)

Selon Munns *et al* ,2006 l'augmentation des sucres solubles est due à la dégradation des réserves amyloses par leur conversion rapide en saccharose suite a une inhibition de la synthèse de l'amidon.

La turgescence des cellules, la stabilisation des membranes et des enzymes déshydratés et la protection des structures biologiques des dommages stress abiotique sont assurés par l'accumulation des sucres solubles à cause de stress hydrique dans ce cas elles peuvent fonctionner comme osmolyte (Madden *et al*, 1985; Kaplan et Guy, 2004; Solinan, 2008).

III.3.2. Les protéines

Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante et de ce fait de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Campalans *et al*, 1999).

Tahir *et al*, (2019), ont observé une augmentation du taux des protéines dans les graines de quatre génotypes de lentille stressés, avec une moyenne de 26,84 %, par rapport à celui des plants non stressés (20,29%). Parmi les quatre génotypes, Métropole présente la plus haute concentration en protéines des graines (24,84 %) en condition de déficit hydrique, tandis que la plus faible concentration a été enregistrée chez les génotypes Syrie 229 avec une moyenne 22,08% (Fig. 15) .

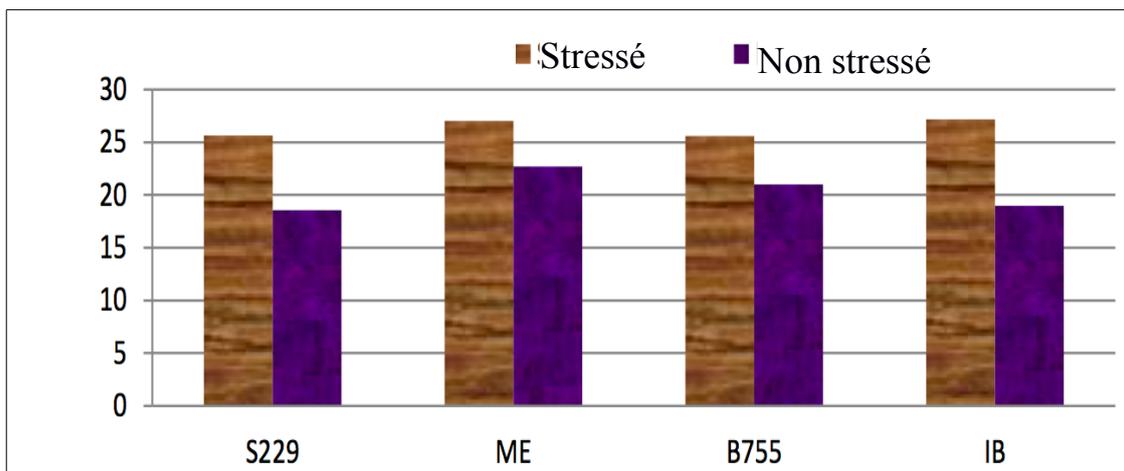


Figure 15 : Effet de déficit hydrique sur le taux de protéines des graines des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir *et al*, 2019)

Cette augmentation est observée également par (Sial *et al.*, 2005 et Ardakani *et al.*, 2013 ; Pierre *et al.*, 2014 ; Abid *et al.*, 2015) chez les graines du blé, de la fève (*Vicia faba* L) et du soja respectivement sous stress hydrique.

Selon Alireza et Sevil, (2016), le stress hydrique (irrigation à 50 % de la capacité au champ) diminue significativement la concentration des feuilles en protéines.

En conditions de stress, la diminution du taux des protéines dans les plantes peut être due à l'augmentation de l'activité photolytique. Les protéines sont hydrolysées par les protéases pour libérer les acides aminés utilisés dans le stockage, le transport, la production des macromolécules cellulaires, le maintien du pH cellulaire, la détoxification des cellules et pour l'ajustement osmotique (ex : proline) durant le stress osmotique (Parida *et al.*, 2007).

Des études ont permis de classer les protéines identifiées en différentes catégories selon leur fonction. Le premier groupe de protéines intègre une grande famille de protéines qui sont les LEA (late embryogenesis abundant). Ces polypeptides sont synthétisés à la fin de l'embryogenèse, ce qui confère leur nom, leur nature est hydrophile. Elles sont fortement exprimées dans les tissus des plantes en réponse à des facteurs de stress environnemental (Wong, 2009).

Les aquaporines sont des protéines qui sont incluses dans les membranes dont elles accroissent la perméabilité à l'eau. Elles peuvent réguler la conductivité hydraulique et augmenter de 10 à 20 fois la perméabilité à l'eau des membranes (Maurel et Chrispeels, 2001). L'expression et l'activité des aquaporines sont modulées par la déshydratation. Smart *et al.*, (2001) ont montré que la répression de gènes d'aquaporines diminue la perméabilité à l'eau des membranes et peut conduire à la conservation cellulaire de l'eau pendant des périodes de contrainte hydrique.

Le changement dans l'expression des protéines est l'un des résultats de la modification du métabolisme lors d'un stress chez les plantes (Jangpromma, 2007). La synthèse des protéines de stress est due à une activation d'un ensemble de gènes permettant la synthèse des protéines spécifiques associées aux stress telles que les LEA notamment les déhydrines qui assurent une protection de l'ensemble vital des protéines cellulaire (David et Grongnet, 2001), ces protéines s'accumulent en cas de stress et en association avec la tolérance à la sécheresse dans de nombreuses plantules, surtout pour le cas des cultures annuelles tels que les céréales (Longxing *et al.*, 2010).

III.3.3. La teneur en proline

Le stress perturbe le statut hydrique des plantes ce qui peut induire une accumulation de la proline, qui joue un rôle dans l'ajustement osmotique (Barnet et Neylor, 1966 ; Sigh *et al*, 1972; Stewart et Lee,1974; Ashraf,1989 ; Ighilhariz, 1990 et Hasegawa *et al*, 2000).

La capacité d'accumuler la proline semble être le meilleur indicateur de la résistance au stress pour certains mécanismes (Jampeetoung et brix, 2009). Le stress osmotique induit une augmentation progressive de la teneur en proline par l'augmentation de l'activité enzymatique du proline 5 carbosuylate synthétase (p5cs) qui est induit durant le déficit hydrique (Lei *et al*, 2007).

Plusieurs auteurs ont noté une corrélation positive entre l'accumulation de la proline et différents stress abiotiques chez plusieurs espèces des plantes (Dasilva, 1979 ; Ottow *et al*, 2005, Sehari *et al*, 2012, Nehila *et al*, 2016).

Tahir *et al*, (2019), ont enregistré une accumulation importante de la proline chez les quatre génotypes de lentille stressés avec une moyenne de 203.69 $\mu\text{g/g}$ de matière sèche par rapport aux plants témoins non stressés où la teneur moyenne en proline était de 150.14 $\mu\text{g/g}$ DM. La plus forte accumulation a été noté chez le génotype Balkan 755 (167.5%) et Métropole (155.88%), cependant la plus faible accumulation est observée chez le génotype Syrie 229 (105.03%) (Fig. 16).

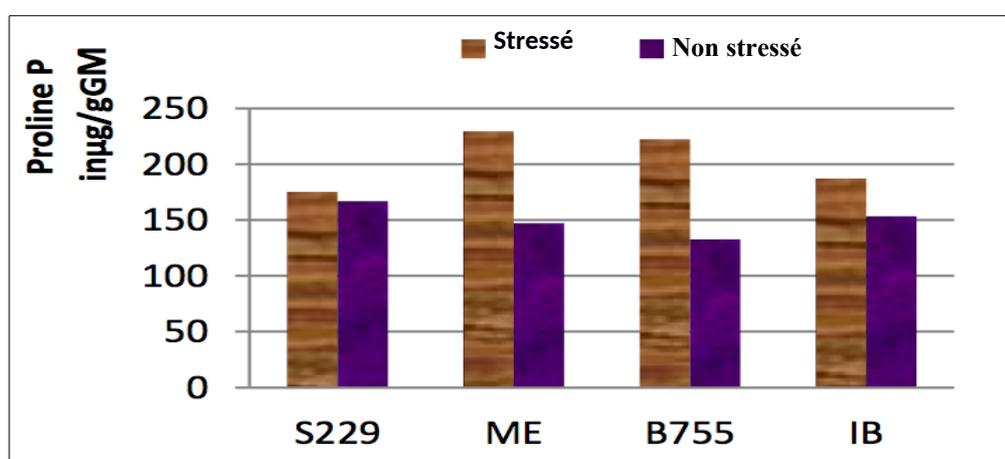


Figure 16 : Effet de déficit hydrique sur le taux en proline des quatre génotypes de lentille (S229:Syrie 229, ME : Métropole, B775 : Balkan, IB : Ibela). (Tahir *et al*, 2019)

Cette accumulation pourrait être liée à la tolérance au stress (Singh *et al*, 1973), peut jouer un rôle d'ostmoticum (Stewart et Lee, 1974 ; Kauss, 1977), intervenir dans la régulation

du pH cytoplasmique (Pesci et Beffagna, 1984) ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante après la période de stress (Tal et Rosenthal, 1979).

L'accumulation de cet acide aminé est un phénomène d'adaptation au déficit hydrique permettant aux plantes de maintenir leur turgescence par la réduction de leur potentiel hydrique (Mefti *et al*, 2001), ce qui permet aux plantes d'effectuer ses fonctions physiologiques normalement. Hassani *et al*, (2008) ont rapporté que l'accumulation de la proline en conditions de stress salin, procure une protection cellulaire et contribue à l'ajustement osmotique. Autres auteurs indiquent que cette accumulation, en condition de stress abiotique, confèrent la tolérance des plantes par le développement d'un système antioxydant jouant un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Nourri *et al*, 2002 ; Azzouz, 2009).

III.3.4. Les pigments chlorophylliens

Selon Singh *et al*, (2017), le stress hydrique appliqué aux plantules de deux génotypes de lentille (sensitif JL-3 et tolérant PDL-2) a diminué significativement le contenu en chlorophylle des plantes. Bien que, le génotype PDL-2 a montré une réduction de taux de chlorophylle moins importante (20.5%) par rapport au génotype JL-3 (57.7%) (Fig. 17).

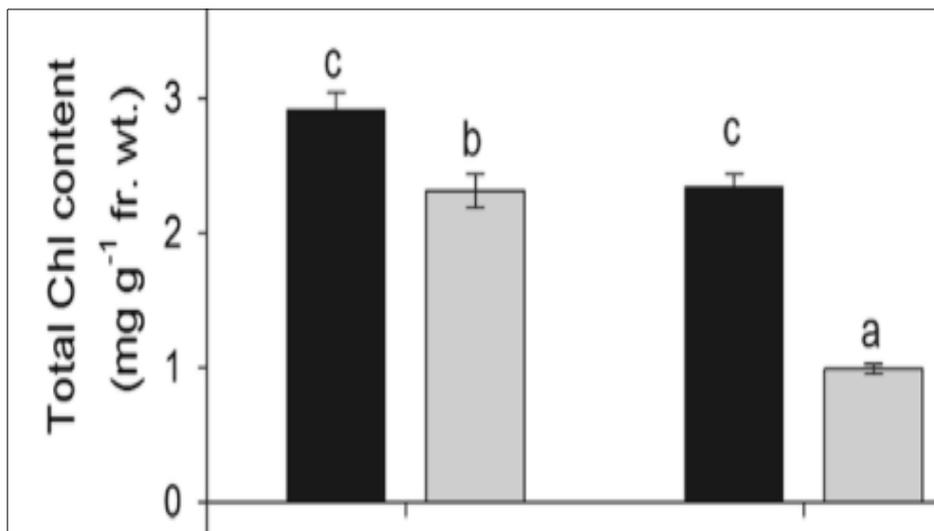


Figure 17: Effet de déficit hydrique sur la teneur chlorophylles de génotypes de lentille tolérant (PDL-2) (gauche) et sensible (JL-3) (droite). (Singh *et al*, 2017)

Noir : Témoin – Gris : Stressé. Les bars avec la même lettre ne sont pas significativement différents $p < 0,05$.

Selon Sehari *et al*, (2012), la teneur en chlorophylle a été affectée par le manque d'eau induit par le stress appliqué de manière significative et proportionnelle à l'intensité du stress appliqué chez les trois variétés de lentille testées.

Al-Quraan *et al*, 2014, ont noté une diminution du contenu en chlorophylle a et b chez les deux cultivars de lentilles (Jorda 1 et Jordan 2) soumis au stress thermique et osmotique.

La diminution du taux des pigments chlorophylliens peut être due indirectement à la fermeture de stomates et donc la réduction de l'influx du CO₂ qui affecte négativement la photosynthèse.

La teneur en pigments chlorophylliens affecté par le manque d'eau est concomitante d'une diminution de la teneur des protéines thylacoïdales associé aux chlorophylles a et b (Alberta et tomber ,1977 ; Bhardway et signal, 1981). Ces auteurs considèrent que la réduction de la teneur en pigments chlorophylliens est peut être due à une diminution de la synthèse de ces protéines où à l'activation de leur dégradation.

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 proposition de la lumière incident. Dès que les conditions de croissance devient moins favorable avec l'installation de stress, la plante reconvertis une partie fait une couleur moins foncé (vert clair) permettant de réfléchir la luminosité reçue et par conséquence de réduire la température foliaire et la transpiration (Reynolds *et al*, 2005).

III.4. Effet de stress hydrique sur la symbiose rhizobienne

L'effet de stress hydrique sur la nodulation dépend de son intensité et de la période de son application. Ainsi, un stress appliqué au stade de développement végétatif affect la nodulation, mais cette dernière peut reprendre normalement, et même mieux que le témoin après reirrigation par contre un stress appliqué pendant la période de reproduction affect définitivement le nombre et le poids de nodules (Pena- Cabriaes et Castallonas, 1993; Sangakkara, 1994).

Conclusion

Conclusion

Le manque d'eau est un élément déterminant pour la croissance des plantes, particulièrement en région arides et semi arides. Le déficit hydrique est le principal facteur environnemental, responsable des faibles rendements et leurs irrégularités chez la lentille.

Le stress hydrique a été défini comme un manque de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype.

Pour éviter la sécheresse, la plante doit être capable de maintenir un état hydrique satisfaisant. La stratégie de l'évitement est principalement liée, d'une part, à la réduction de la transpiration et d'autre part, à une optimisation de l'absorption d'eau par les racines. La réduction de la transpiration est liée à la fermeture de stomates, la réduction de la conductance stomatique et à la réduction de la surface foliaire.

La plante peut également tolérer la sécheresse, elle doit être capable d'assurer ses fonctions physiologiques malgré une dégradation de son état hydrique. La stratégie de tolérance est liée au maintien de la turgescence, à l'accumulation des osmolytes et à un système antioxydant efficace.

D'après les résultats obtenus par les chercheurs, l'adaptation de la lentille est favorisée par les différentes réponses physiologiques, morphologiques et biochimiques dans les conditions de stress hydrique.

Les chercheurs observèrent que le déficit hydrique cause, chez les plants de lentille, une diminution du taux de germination final, de la teneur relative en eau, de la longueur de la partie aérienne, racinaire, cette diminution est plus importante chez les plantes fortement stressées.

Aussi le manque d'eau provoque une diminution au niveau de nombre de stomates et leur fonctionnement et une diminution de la surface foliaire. Par conséquent, cette diminution influe sur la photosynthèse provoquant une diminution du taux des pigments chlorophylliens.

Sur le plan biochimique, les études ont montré une accumulation des sucres solubles, de la proline et parfois des protéines. Dans d'autres études les protéines sont diminuées en condition de déficit hydrique.

Enfin, les expériences réalisées en conditions contrôlées en Algérie, utilisant différentes variétés de lentille, ont montré que la variété Balkane semble être plus intéressante sur le plan de tolérance à la salinité, par contre c'est la variété Métropole qui semble être plus intéressante sur le plan de tolérance au déficit hydrique.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. 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, pp 1755; 1767.
2. Ahmed S.K., Imtiaz M., Agrawal S.K., Malhotra R., Maalouf F. (2010). Impact of climate change and variability on diseases of food legumes in the dry areas. In: Solh M., Saxena M.C., (eds), *International Conference on Food security and Climate Change in Dry Areas*, Amman, Jordan.
3. Albuquerque F M C, Carvalho N. M. (2003). Effect of type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus L.*), soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) and maize (*Zea mays L.*) seeds with different levels of vigor. *Seed Sci. Technol.* 31, pp 465;467.
4. Albuquerque F M C D, Carvalho N M D. (2003). Effect of type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus L.*), soybean (*Glycine max (L.) Merrill*) and maize (*Zea mays L.*) seeds with different levels of vigor. *Seed Sci Technol.* 31, pp 65; 67.
5. Alireza P Sevil. (2016). Zeolite use Efficiency Variation under Water Deficit Stress in Grass Pea and Lentil *Journal of Siberian Federal University. Biology* 3- 9, pp 291;303.
6. Ardakani, L. G., Hooshang, F., Kelidari, A. (2013). The effect of water stress on grain and protein of spotted bean (*Phaseolus Vulgaris L*) cultivar, *international journal*, 1 (9), pp 940;949.
7. Ashraf M. (1989). The effect of Nacl on water relations. Chlorophyll and protein and proline contents of two cultivars of blackhgram. *Plant soil.* 199, pp 205;210.
8. AttiaF. (,2007).Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne(*VitisviniferaL.*):Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrenées Thèse INP, Toulouse(France), pp194.
9. Azzouz, F. (2009). Réponses morphologiques et biochimiques chez l'haricot soumis à un stress hydrique; thèses de Magister pp 60.
10. Basu P. S. Ali. M. Chaturvdi S. K. (2007). Osmotic abjustemenet and maintains photosynthesis in chickpea of assimilates *indian journal of experimental biology* 45, pp 261;267.

Références bibliographiques

11. Bates LS, Waldren RP, Teare ID. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil*. 39, pp 205;207.
12. Bathes L.waldren RP, tear ID. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies plant and d'oïl. 39, pp 205;207.
13. Bradford M M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annal Biochem*.76, pp 248;254.
14. Brahimi chikhaoui N (2001). Étude de l'effet de l'application du stress hydrique sur le comportement de quelques variétés de féverole (*Vicia faba minor* L) de différents origines. Magister le Harrach Algérie pp142.
15. Bruns S. Hecht-Buchlolz C. (1990). Light and electron- microscope studies on the leaves of several potato cultivars after application of salt at various developmental stages. *Potato Reste* 33, pp 33;41.
16. Buchenauer H. (1998). Biological control of soil-borne diseases by rhizobacteria. *Journal of Plant Disease and Protection* 105, pp 329 ;348.
17. Campalans A.; Messeguer R., Goday A. Pagès M. (1999). Plant responses to drought, from ABA signal transduction events to the action of the induced proteins. *Plant Physiol. Biochem*. 37. 5, pp 327;340 .
18. Canas RA, Canovas FM, Canton FR. (2006). High levels of asparagines synthetase in hypocotyls of pine seedlings suggest a role of the enzyme in re-allocation of seed scord nitrogen. *Planta*. 224, pp 8395.
19. Chaturvedi, S., D. S. Gupta et R. Jain . (2011). *Biology of Food Legumes*. In: Aditya P. et Kumar J.: *Biology and Breeding of Food Legumes*. Cabi, Oxford, pp 35 ;48.
20. Chaturvedi, S., D. S. Gupta et R. Jain . (2011). *Biology of Food Legumes*. In: Aditya P. et Kumar J.: *Biology and Breeding of Food Legumes*. Cabi, Oxford, pp 35;48.
21. 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 Chem* 94, 32;37.
22. Cubero, J., M. Pérez de la Vega, R. Fratini, W. Erskine, F. Muehlbauer, A. Sarker et B. Sharma. (2009). Origin, phylogeny, domestication and spread. In:

Références bibliographiques

- W. Erskine, F. J. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 13 ;33.
23. David-schwartz R. bodani H wininger s Levy A.A Galili G Kapulnik Y (2001) . Identification of a novel genetically controlled step in mycorrhizal colonisation. Plant resistance to infection by Fungal spores but not to extraradical hyphae plant J 27, pp 561;569.
24. Derieux, M. ; Bourdu, R. ; Duburcq, J.B. ; Boizard, H. (1989). La crise de croissance de la plantule de maïs à basse température. Agronomie, 9, pp 207;212.
25. Desilva R A. Varrier R L. Lown B (1979). Repetitive extrasystole threshold as an index of vulnérabilité to ventricular fibrillation durring psychological stress. Clin Reste 27pp 562.
26. Dour P N danth P . Gueye M, Hamoun S ,(1996) effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacia africain pp 15.
27. Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, Rebers P A, Smith F. (1956), Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal Chem. 28, pp 350 ;356.
28. Dugo MVG. (2002). Effet du déficit hydrique sur l'état de nutrition azotée chez les graminées fourragères. Thèse Université de Poitiers (France), pp 189 .
29. Duke, J. (1981). Handbook of legumes of world economic importance. Springer, Netherlands, Dordrecht, pp 345 .
30. El Djaafari S. (2000). Durum wheat bending for abiotic stresses résistance de finin physiological traits and criteria . option mditerreanean 40, pp 251;256 .
31. El Saleh, T. Ozcan and W. Erskine. (1999). Factors affecting lentil harvest mechanisation. International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, May, Adana- Turkie pp 26;27 .
32. El Watan. Hocine Lamriben. (2018). Céréales : L'Algérie a produit plus de 60 millions de quintaux.
33. 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, pp 279 ; 282 .

Références bibliographiques

34. Erskine, W. (2009). Global Production, Supply and Demand. In: W. Erskine, F. J. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 4;12.
35. Erskine, W. et F. El Ashkar. (1993). Rainfall and temperature effects on lentil (*Lens culinaris*) seed yield in Mediterranean environments. The Journal of Agricultural Science 121, pp 347;354.
36. Erskine, W., S. Rihawi et B. Capper. (1990). Variation in lentil straw quality. Animal Feed Science and Technology 28, pp 61;69.
37. Fatima, K., M. A. Khan, M. M. Raza, M. Yaseen, M. A. Iqbal et M. U. Shahbaz. (2015). Identification of resistant source in lentil germplasm against fusarium wilt in relation to environmental factors. Academic Research Journal of Agricultural Science and Research 3, pp 60;70.
38. Ferguson BJ, Indrasumunar A, Hayashi S, Lin MH, Lin YH, Reid DE, Gresshoff PM. (2010). Molecular analysis of legume nodule development and autoregulation. Journal of Integrative Plant Biology. 52, pp 61;76.
39. Fratini, R. M., M. P. de la Vega et M. L. R. Sánchez. (2014). Lentil. In Singh, M., I.S. Bisht et M. Dutta. Broadening the Genetic Base of Grain Legumes. Springer, New Delhi, pp 115;147.
40. Frazer TE, Silk WK, Rost TL. (1990). Effect of low water potential on cortical cell length in growing region of maize roots. Plant Physiol. 93, pp 648 ; 651.
41. Gahoonia TS, Raza S, Nielsen NE, (1994). Phosphorus depletion in the rhizosphere as influenced by soil moisture. Plant and Soil 159, pp 213;218.
42. Gamme.S, matros A schlesier B and mock HP, (2006). protéine DIGE technologie j exp. Bot 57, pp 1537;1546.
43. Grusak Michael. Nutritional and health-beneficial quality. In: Erskine et al. (2009). The Lentil: Botany, Production and Uses, CAB International, pp 368;390.
44. Gupta, D., R. Ford et P. W. Taylor. (2011). *Lens*. In: Kole, C. Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources. Springer, Berlin Heidelberg, pp 127;139.
45. Hamadache, A. (2014). Grandes culture : Principaux itinéraires techniques des principales espèces de grandes cultures pluviales cultivées en Algérie et en Afrique du Nord (agriculture conventionnelle) légumineuses alimentaires (pois chiche, fèves, lentilles). ITGC. pp 188 .

Références bibliographiques

46. Haouari CC, Nasraoui AH, Carrayol E, Gouia H. (2013). Variations in a-, b-amylase and a-glycosidase activities in two genotypes of wheat under NaCl salinity stress. *Afr J Agricult Res.* 8, pp 2038;2043.
47. Hasegawa P M Bressan R kang zhu J Bohnet H J (2000). Plant cellular and molecular responses high salinity *Ann Rev plant physiol plant mol biol* 51, pp 463; 499.
48. Hassani A Dallal A Belkhdja M kaid-Harch .(2008). Effet de la salinité sur l'eau et certain osmolytes chez l'orge. *European journal of scientific research* 23, pp 61;69.
49. Ighilharig z. (1999). Étude de comportement physiologique, biochimiques et structurel du retama retam (R tem) vis à vis du chlorure de sodium. Mémoire de magister.universités d'Oran Algérie.
50. INRA,(2006). Sécheresse et agriculture:réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau.Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, pp76.
51. ITGC (Institut Technique des Grandes cultures). (2018). Service production de semences.
52. . ITGC (Institut Technique des Grandes cultures). (2011). La lentille et le pois chiche pour une conduite mécanisée. pp28.
53. Jamaati-e-Somarin S, Zabihi-e-Mahmoodabad R. 2011. Evaluation of drought tolerance indices of lentil varieties. *Adv Environ Biol.* 5:581 584.
54. Jampeetong A Brix H (2009). Nitrogen nutrition of (*salvinia natans*) effect of inorganic nitrogen form on growth morphology, nitrate reductase activity and uptake kinetics of ammonium and nitrate. *Aquat bot* 90, pp 67;73.
55. Jangpromma N., Kitthaisong S., Daduang S., Jaisil P. Thammassirirak S. (2007). Protein accumulation in sugarcane leaves under drought stress conditions. *kmitl .Sci. Tech. J.* 7, pp 27; 44 .
56. Kameli A., Losel DM., (1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132, pp 57;62.
57. Kameli A., Losel DM.,(1996). Growth and sugar accumulation in durum wheat plants under water stress. *New Phytol.*, 132 pp 57;62.
58. Kaplan F. Kopra J. Haskell D. W, Zhao W Schiller K C Gatzke N Sung D. Y Guy C L. (2004). Exploring the temperature. Stress metabolome of *Arabidopsis*- plant physiology 136, pp 4159; 4168.

Références bibliographiques

59. Kauss, H. (1977). Biochemistry of regulation. In NORTHCOPE (Ed) International Review of Biochemistry, II, pp 119;139.
60. Keatinge, J., A. Qi, I. Kusmenoglu, R. Ellis, R. Summerfield, W. Erskine et S. Beniwal. (1996). Using genotypic variation in flowering responses to temperature and photoperiod to select lentil for the west Asian highlands. Agricultural and forest meteorology 78, pp 53;65.
61. Kemp S. Krasensky J. Dal santo S kopka J. Jonak C. (2008). A central role of abscisic acid in stress regulated carbohydrate metabolism plus zone 3.e, pp 39;35.
62. Kesli, Y. et M. S. Adak. (2012). Effects of different harvest time and sulfur fertilization on amino acid composition of lentil. Journal of plant nutrition 35, pp 1693;1704.
63. Khedr A. A. Abbas. M. A Abdelwahid A. A Paul. Q W Gaber M A (2003). Proline induces the expression of salt stress responsive proteins and may improve the adaptation of (*pancratium maritimum* L) to salt stress. Journal of experimental botany 392, pp 2553;2562.
64. Kramer. Drought stress and origine of adaptation, In: N.C. Turner and P.J. Kramer (1980) Adaptation of plants to water and high temperature stress. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, pp 482, 6-20.
65. Kramer.j.(1983). Effet de stress hydrique sur les caractéristiques d'enracinement du blé dur (*triticum durum*) académique presse , New-York USA pp 120;186
66. Kumar, J., E. Srivastava, M. Singh, D. Mahto, A. Pratap, et S. Kumar. (2014). Lentil. In: Aditya P. et J. Kumar. Alien Gene Transfer in Crop Plants, New Delhi, 2, pp 191 ;205.
67. Kyparissis A setropoulou Y and menetas Y (1995). Summer survival of leaves in a soft leaved shrub (*phlomis fruticosa* L *Labiatae*) under mediterranean field condition : aviodance of photoinhibitory damage trough decreased chlorophyll contents. Journal of expérimental botany 293, pp 1825; 1831.
68. Kyparissis, A., Petropoulou, Y., Manetas, Y., (1995). Summer survival of leaves in a soft-leaved shrub (*Phlomis fruticosa* L., *Labiatae*) under Mediterranean field conditions: avoidance of photoinhibitory damage through decreased chlorophyll contents. Journal of Experimental Botany 46, pp 1825;1831.

Références bibliographiques

69. Ladizinsky, G. and S. Abbo. (2015). The *Lens* Genus. In: 70. Ladizinsky, G. and S. Abbo. The Search for Wild Relatives of Cool Season Legumes. Springer, London, pp 1;28.
70. Larousse agricole(2012). encyclopédie illustrée. Librairie Larousse, pp 1184 .
71. Lawlor D. W., (1970). Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. New Phytol., 69 , pp 501 ;513.
72. Lebon E.,(2006). .Effet du déficit hydrique de la vigne sur le fonctionnement du couvert,l'élaboration du rendement et la qualité.INERA SupAgro, UMR,Laboratoire d'Ecophysiologie des plantes sous stress environnementaux, pp 4.
73. LEPS. (Laboratoire d'Ecophysiologie des Plantes sous stress environnementaux). (2000). La résistance des plantes à la sécheresse. INRA. Montpellier.
74. Levitt J ,(1980). Responses of plants to environmental stresses. vol 2, 2nd New Yourk Acadimic press.
75. Lie Y YINC Ren J Li C (2007). Effect of osmotic stress and sodium nitoprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedings Boil plant 51, pp 386;390.
76. Lim, T. K. (2012). Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits. Springer Netherlands, Dordrecht. Pp 440 .
77. Madden T.D.Bally M.B Hope M J cullis PR schieren H.P Janoff A.S. (1985). Protection large unilamellar vesicley by trehalose during dehydration retention of vesicl contents biochimica et biophysica Acta 817 pp 67;74.
78. MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. (2016). Série B : Statistiques.
79. Manohar M. S, (1966). Effects of osmotic systems on germination of peas (*Pisum sativum L.*). Planta, 71, pp 81;86.
80. Materne, M. et K. Siddique. (2009). Agroecology and Crop Adaptation. In: W. Erskine, F. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 47; 63.
81. Maurel C. & Chrispeels M.J. (2001). Aquaporins: a molecular entry into plant water relations. Plant Physiol. 125, pp 135 ;138 .
82. Mc kenney G (1941). Absorption of light by chlorophyll solutions. J boil chem .140, pp 315; 322.
83. McDonald MB. (2007). Seed moisture and the equilibrium seed moisture content curve. J Seed Technol. 29, pp 718.

Références bibliographiques

84. Mefti, M., Abdelguerfi, A., Chebouti, A. (2001). Etude de la tolérance à la sécheresse chez quelques populations de *Medicago truncatula* (L.) Gaertn. Zaragoza: CIHEAM, mediteranian option A serie. mediteranian Seminar. pp 45.
85. Mensah JK, Obadoni BO, Eroutor PG, Onome-Irieguna F (2006) Simulated flooding and drought effects on germination, growth and yield parameters of Sesame (*Seasamum indicum* L.). Afr J Biotechnol. 5, pp 1249;1253.
86. Mhammedi.(2003). Evaluation of ground cover, grain filling and seed germination of two lentil (*Lens culinaris Medick.*) varieties under normal and drought stress conditions. Plant Breeding 122 , pp 542 ;548.
87. Moussa H. R Abdel Aziz S. M. (2008). Comparative repousse of drought tolerance and drought sensitive maïse genotypes to water stress. Journal of crop science Australie pp 31; 36.
88. Muehlbauer, F., R. Redden, A. Nassib, L. Robertson, et J. Smithson. (1988). Population improvement in pulse crops: an assessment of methods and techniques. In: Summerfield R.J. World crops: Cool season food legumes. Springer. New York, pp 943;966.
89. Munns.R. James R.A Lauchi A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cerels J EXP BOT. 57, pp 1025;1043.
90. Muscolo A. (2013). Effect of PEG induced drought stress on seed germination of four lentil genotype Journal of plant interactions 8, pp 354;363.
91. Naylor W Barnett N. M (1966). Amino acid and protein metabolism in bermuda grass during water stress American society of plant biologistes 41, pp 1104; 1222.
92. Nayyar, H., Gupta, D., (2006). Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. Environmental and Experimental Botany 58, pp 106; 113.
93. Newton R. J. PURYEAR J. D. BHASKARAN S., SMITH RH., (1990). Polyethylene glycol content of osmotically callus cultures. J. Plant. Physiol., 135 , pp 646;652.
94. Nehilla A. (2016) symbioses telluriques : rôle et mécanisme de tolérance au stress abiotique. Thèse de doctorat pp 104; 112.
95. Nourri, L. (2002). Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum Durum Desf*) en conditions de déficit hydrique. Magister thesis in plant biology, 4 ;16

Références bibliographiques

96. Idrissi O, Houasli C et Nasserlhaq N. (2013). Comparaison de lignées avancées de lentille sous stress hydrique durant la phase de floraison et formation des gousses. *B-Sciences Agronomiques et Biologiques*. 08, pp 53-;61.
97. Ottow E Brinker M Fritz E Teichmam T kaiser W Brosche M Kangasjarvi J Jiang X polle A (2005). *Populus euphratic* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates and develops leaf succulence under salt stress. *Plant physiology* 139, pp 1762; 1772.
98. Ouvrard O, Cellier F, Ferrare K, Tusch D, Lamaze T, Dupuis JM, Casse-Delbart F (1996) Identification and expression of water stress-and abscisic acid-regulated genes in a droughttolerant sunflower genotype. *Plant Mol Biol* 31, pp 819;829
99. Parida A.K., Dagaonkar V.S., Phalak M.S., Umalkar G.V., Aurangabadkar L.P. (2007) Alterations in photosynthetic pigments, protein and osmotic components in cotton genotypes subjected to shortterm drought stress followed by recovery. *Plant Biotechnology Report*, 1, pp 37;48
100. Pesci, P. et Beffagna, A. (1984). Inhibiting effect of fusaric acid on abscisic acid induced proline accumulation in barley leaves. *Plant Sci. Letters*, 37, pp 7;12.
101. Phillips J M, Hayman D S. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi rapid assessment of infection. 5, pp 158 ;161.
102. Pierre, C. S., Peterson, J., Rossa, A. (2008). White wheat grain quality changes with genotypes, nitrogen fertilization and drought stress. *Journal Agron.* 100, pp 414 ;420
103. Pindard A., (2000). La relation stress hydrique--rendement du maïs en Bresse:qu'elle perspective de spatialisation Utilisation d'un simulateur de culture. Mémoire d'ingénieur. Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon pp 61.
104. Prida AK Dans AB Mittra B Mohanty P (2004). salt stress induced alterations in protein profile and protease activity in the mangrove *Bruguiera parviflora* z *Naturforsch* 59, pp 408;414.
105. Quinn, M. A. (2009). Biological Nitrogen Fixation and Soil Health Improvement. In: W. Erskine, F. J. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. *The lentil: Botany, production and uses*. CABI, Oxford, pp 229;247.

Références bibliographiques

106. Rahman, M. M., A. Sarker, S. Kumar, A. Ali, N. Yadav et M. L. Rahman. (2009). Breeding for Short Season Environments. In: W. Erskine, F. J. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 121 ; 136.
107. Rashid, M. H., Young, J. P. W., Everall, I., Clercx, P., Willems, A., Santhosh Braun, M. and Wink, M. (2015). Average nucleotide identity of genome sequences supports the description of *Rhizobium lentis* sp. nov., *Rhizobium bangladeshense* sp. nov. and *Rhizobium binae* sp. nov. from lentil (*Lens culinaris*) nodules. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 65, pp 3037; 3045
108. Rathert G., (1984). Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol*, 5, pp 491;495.
109. Rengasamy J. I et Reid J B. (1993). Root system modification of faba beans (*Vicia faba*) and its effect on crop performance in role of water stress field crop research 33, pp 197;215.
110. Rethert G. (1984). Sucrose and starch content of plant parts as possible indicateurs for salt tolerance. *Aust. J plant physiol* 5, pp 491;495.
111. Reynolds MP., Mujeeb-Kazi A., Sawkins M.. (2005). Prospects for utilizing plant-adaptive mechanisms to improve wheat and other crops in drought- and salinity prone environments. *Ann. Appl. Biol.*, 146, pp 239;259.
112. Richards RA., Rebetzke GJ., Condon AG., van Herwaarden AF. (2002). Breeding opportunities for increasing the efficiency of water use and crop yield in temperate cereals. *Crop Sci.*, 42 pp 111;121.
113. Sandhu, J. et S. Singh. (2007). History and origin. In: S.S. Yadav, D. McNeil, et P.C. Stevenson. *Lentil : An ancien crop for modern times*. Springer, Dordrecht, pp 1;9.
114. Saskatchewan PG. (2000). Pulse production manual. Saskatchewan Pulse.
115. Saskatchewan.(2002). Lentil in Saskatchewan. Saskatchewan Agriculture and Food.
116. Saxena, M. C. (2009). Plant morphology, anatomy and growth habit. In: W. Erskine, F. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 34;45.
117. Schwab K. B. Gaff D. F (1986). Sugar and ion content in leaf tissue of several drought tolerant plants under water stress. *J plant physiol* 125, pp 257; 265.

Références bibliographiques

118. Sehari N H et al, (2012). Etude de l'effet du stress salin (NaCl) sur le comportement écophysologique d'une légumineuse cultivée "*Lens culinaris* L" en sol à bentonite . Thèse de magister, Université Oran 1 Ahmed Ben Bella.
119. Shrestha, R., K. Siddique, D. W. Turner et N. C. Turner. (2009). Breeding and Management to Minimize the Effects of Drought and Improve Water Use Efficiency. In: Erskine, F. J. Muehlbauer, A. Sarker and B. Sharma. The lentil: Botany, production and uses. CABI, Oxford, pp 172;193.
120. Shrestha, Kh. M. Siddique, N. C. Tuner, D. W. Tuner and J. D. Berger.(2005). Growth and seed yield of lentil (*Lens culinaris Medikus*) genotypes of West Asian and South Asian origin and crossberds between the two under rainfed conditions in Nepal. Australian Journal of Agricultural Research 56 ; pp 971;981
121. Shrestha, N. C. Turner, Kh. M. Siddique and D. W. Turner.(2006). Physiological and seed yield responses to water deficits among lentil genotypes from diverse origins. Australian Journal of Agricultural Research 57, pp 903;915.
122. Shrestha, N. C. Turner, Kh. M. Siddique, D. W. Turner and J. A. Speijers. (2006). Water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not seed size. Australian Journal of Agricultural Research 57 , pp 427;438.
123. Siahisar BA, Ganjali S, Allahdoo M. (2010). Evaluation of drought tolerance indices and their relationship with grain yield of lentil lines in drought-stressed and irrigated environments. Aust J Basic Appl Sci. 4, pp 4336; 4346.
124. 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 , pp 575;584
125. Singh T N. Aspina D. Paleg L. G. (1972). Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: potential metabolic measure of drought resistance. Nature. New biology 236, pp 188; 190.
126. Slama A. (2002). Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie. Tunis.
127. Smart L.B., Moskal W.A., Cameron K.D. & Bennett A.B. (2001). MIP Genes are downregulated under drought stress in *Nicotiana glauca*. Plant Cell Physiol. 42, pp 686 ;693 .

Références bibliographiques

128. Solanki, I., S. S. Yadav, et P. Bahl. (2007). Varietal adaptation, participatory breeding and plant type. In: S.S. Yadav, D. McNeil, et P.C. Stevenson. Lentil : An ancien crop for modern times. Springer, Dordrecht, pp 255;274
129. Soleymani A, Hesam M, Shahrajabian H. (2012). Study of cold stress on the germination and seedling stage and determination of recovery in rice varieties. Int J Biol. 4, pp 2330.
130. Soliman A. S Shanon N.T Massoud O. N. Swelim D. M. 2012. Improving salinity tolerance of (*Acacia saligna*) Llabil plant by arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium inoculation. African journal of biotechnology. 11, pp 1259; 1266.
131. Stewart GR Lee JA (1974). Role of proline accumulation in halophytes. Plants 120, pp 279;289.
132. Summerfield, R., F. Muehlbauer et E. Roberts. (1984). Controlled environments as an adjunct to field research on lentils (*Lens culinaris*). Photoperiodic lighting and consequences for flowering. Experimental Agriculture 20, pp 1;18.
133. Tahir f. A Hassani, M Kouadria, w Rezzoug. (2019). Study of Morpho-Physiological and Biochemical Behavior of Cultivated Legume (*Lens culinaris*) in Dry Area of Algeria Ukrainian Journal of Ecology 535;541
134. Tal M. & Rosenthal I. (1979). Salt tolerance in *Simmondsia chenensis* water balance and accumulation of chloride sodium and proline under low and high salinity. Annals of Botany. 34, pp 701;708.
135. Teggat N *et al.*, (2015). Étude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la lentille. Thèse de magister Université Oran 1 Ahmed Ben Bella.
136. Thakur P.S. & Rai V.K. (1982). Effect of water stress on protein content in two maize cultivars differing in drought resistance. Biologia Plant 24, pp 96 ;100 .
137. Thameur A., Lachiheb B, Ferchichi A. (2012). Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhaoui, under water deficit conditions in southern Tunisia. Science direct. Journal of Environmental Management 113., pp 495; 500.
138. Todaka D Matsushima H. Morohashi. Y. (2000). Water stress enhances beta-amylase activity in cucumber cotyledons. Journal of experimental botany. 51, pp 739; 745.

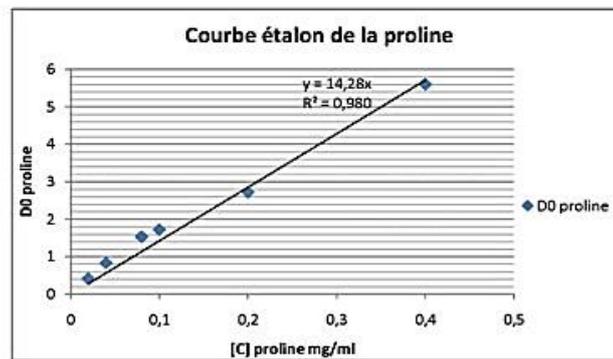
Références bibliographiques

139. Trejo C.L. & Davies W.J. (1991) Drought-induced closure of (*Phaseolus vulgaris* L). stomata precedes leaf water deficit and any increase in xylem ABA concentration. *Journal of Experimental Botany* 42, 1507; pp 1515.
140. Vandenberg A, Slinkard A. (1990). Genetics of Seed Coat Color and Pattern in Lentil, 81, pp 484;488.
141. Verma, P., R. Goyal, R. Chahota, T. R. Sharma, M. Abdin et S. Bhatia. (2015). Construction of a Genetic Linkage Map and Identification of QTLs for Seed Weight and Seed Size Traits in Lentil (*Lens culinaris*). *PloS one* 10, pp 1;17.
142. Yadav, S. S., A. Rizvi, M. Manohar, A. Verma, R. Shrestha, C. Chen, G. Bejiga, W. Chen, M. Yadav et P. Bahl. (2007)a. Lentil growers and production systems around the world. In: S.S. Yadav, D. McNeil, et P.C. Stevenson. *Lentil: An ancient crop for modern times*. Springer, Dordrecht, pp 415;442.
143. Younis M E Le chahaby O A. Hasaneen M N. A Gaber M A (1993). Plant growth. Metabolism and adaptation in relation to stress condition : influence of different water treatment on stomatal apparatus pigments and photosynthetic capacity in (*Vicia faba*) *journal of arid environment* 25, pp 221; 232.
144. ZEKRI M., (1993). Osmotic and toxic ion effects on seedling emergence and nutrition of (*citrus rootstocks*). *J. Plant. Nutr.*, 16 , pp 201 3;2028.
145. Zhu, J. k., (2002). salt and drought stress signal transduction in plants. *Annual, Rev. Plant. Biol.* 53, pp 247;273.

Annexes

ANNEXE: 01

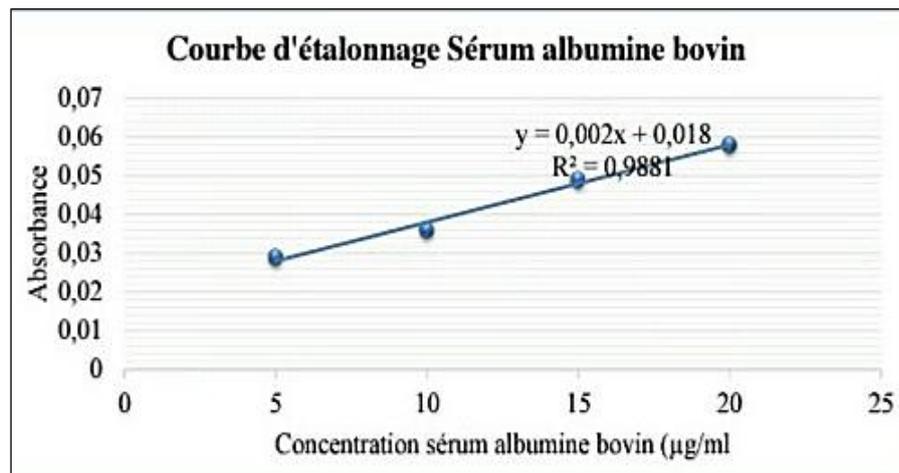
■ Courbe étalon de la proline



[C] de la proline mg/ml	0,02	0,04	0,08	0,1	0,2	0,4
D0 proline	0,41	0,82	1,53	1,72	2,72	5,6

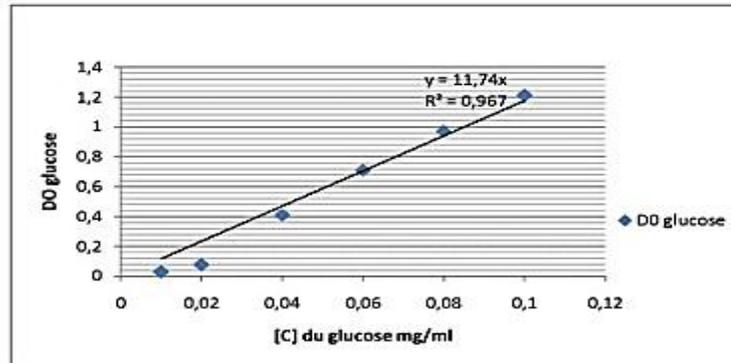
ANNEXE: 02

■ Courbe étalon des protéines



ANNEXE: 03

■ Courbe étalon des sucres solubles



[C] du glucose mg/ml	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1
DO glucose	0,031	0,079	0,41	0,71	0,97	1,21