

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère De L'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou**  
**Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques**  
**Département des Sciences Biologiques**



*Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques  
Spécialité : Biodiversité et Physiologie Végétale

**Thème :**

Etude de l'effet du stress hydrique, *in vitro* et *in vivo*, sur la germination et la croissance des variétés Merveille et Onward de pois potager (*Pisum sativum* L.)

Présenté par : M<sup>elle</sup> Zirmi Sandra  
M<sup>elle</sup> Habib Kenza

Devant le jury :

Président : M <sup>f</sup> Medjebeur D.	MCCB . U.M.M.T.O
Examinatrice : M <sup>me</sup> Bourenine C.	MCCB . U.M.M.T.O
Promotrice : M <sup>me</sup> Daoudi H.	MCCB . U.M.M.T.O
Co-Promotrice : M <sup>me</sup> Hannachi L.	MCCA . U.M.M.T.O

**Année universitaire : 2024-2025**

## ***Remerciements***

Avant toute chose, nous louons Dieu, le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail. Sans Sa grâce et Son soutien, ce projet n'aurait pas pu être mené à terme.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrante, Mme (**Daoudi**), pour son accompagnement bienveillant, ses conseils précieux, sa disponibilité constante et sa grande patience. Son encadrement rigoureux et son soutien inestimable ont été pour nous une véritable source de motivation et d'inspiration.

Nous remercions chaleureusement Mme (**Mekhloufi**), Mme (**Hannachi**), M. (**Medjbeur**) et M. (**Feragui**) pour leur aide précieuse, leurs orientations pertinentes et leur accompagnement attentif. Leur engagement à nos côtés a fortement enrichi notre travail.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce mémoire. Leur expertise, leurs remarques et critiques constructives seront pour nous un véritable levier d'amélioration et de progression académique.

Nos remerciements s'étendent également à tous les techniciens, responsables et encadrants des laboratoires qui nous ont accueillies chaleureusement et qui ont contribué matériellement et humainement à la réalisation de ce travail. Leur disponibilité et leur assistance ont grandement facilité la conduite de nos expériences.

Nous ne saurions oublier nos enseignants et professeurs tout au long de notre parcours universitaire, qui ont su nous transmettre leur savoir avec passion et rigueur. Grâce à eux, nous avons pu acquérir les bases solides nécessaires à notre formation.

Un mot spécial de reconnaissance va également à nos camarades et amies, avec qui nous avons partagé des moments de doute, d'effort mais aussi de joie, de solidarité et de réussite.

Enfin, nous adressons notre profonde reconnaissance à nos familles : nos pères, nos mères, nos frères, nos sœurs, et à tous nos proches. Leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur amour inconditionnel ont été notre refuge et notre force tout au long de ce parcours exigeant.

Puisse ce travail modeste être une étape parmi d'autres vers un avenir académique et professionnel prometteur, et un sujet de fierté pour toutes les personnes qui ont cru en

## Sommaire

---

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction .....	1
Chapitre I :Synthèse bibliographique.....	
1-Présentation du pois potager .....	3
1-1- Classification du pois potager.....	3
1-2-Description morphologique .....	4
1-2-1-Morphologie de la partie aérienne.....	4
1-2-2-Morphologie de la partie racinaire.....	5
1-3-Les exigences culturales du pois potager .....	5
1-3-1- Exigences climatiques .....	5
1-3-2- Exigences édaphiques .....	6
1-4-Intérêt du pois potager .....	6
1-4-1-Intérêt alimentaire .....	6
1-4-2-Intérêt agronomique .....	7
1-4-3-Intérêt écologique.....	8
1-5-La production de pois potager.....	8
1-5-1-Dans le monde .....	8
1-5-2-En Algérie .....	9
2-La germination.....	9
2-1-Définition .....	9
2-2-Phases de la germination.....	10
2-2-1-La première phase ou phase d'imbibition .....	10
2-2-2-La deuxième phase ou phase de germination sensu-stricto .....	10
2-2-3-La troisième phase ou phase de croissance.....	10
2-3-Types de germination .....	11
2-3-1-Germination épigée.....	11
2-3-2- Germination hypogée.....	11
2-4-Conditions de germination.....	11
2-4-1-Facteurs internes .....	11
2-4-2-Facteurs externes .....	12

## Sommaire

---

2-4-2-1-L'eau.....	12
2-4-2-2-L'oxygène.....	12
2-4-2-3-La température.....	12
3-Le stress hydrique.....	13
3-1- Notion de stress .....	13
3-2- Définition du stress hydrique .....	13
3-3-Causes du stress hydrique.....	13
3-3-1- La sécheresse .....	13
3-3-2-Les températures.....	14
3-3-3-La salinité.....	14
3-4-Effets du stress hydrique chez les plantes .....	14
3-4-1-Effet sur la germination.....	14
3-4-2-Effet sur la croissance.....	15
3-4-3-Effet sur la photosynthèse .....	16
Chapitre II : Matériel et Méthodes .....	
1-Matériel végétal.....	17
2- Etude de l'influence du stress hydrique, <i>in vitro</i> , sur la germination, la croissance et la teneur en eau des variétés Onward et Merveille de pois .....	18
2-2-Tests de germination .....	18
2-2-1-Application du stress hydrique .....	18
2-2-2-Mise en germination .....	18
2-2-3-Paramètres de germination évalués .....	19
2-2-3-1-Le taux de germination (TG).....	19
2-2-3-2-La cinétique de germination.....	20
2-2-3-3-Le temps moyen de germination (TMG).....	20
2-3-Tests de croissance.....	20
2-4-Détermination de la teneur en eau (TE) .....	20
2-5-Analyse statistique .....	21
3- Etude de l'influence du stress hydrique, <i>in vivo</i> , sur la croissance et la teneur pigments de la variété Merveille de pois.....	21

## Sommaire

---

3-1-Préparation du substrat .....	21
3-2-Mise en culture.....	21
3-3-Application du stress hydrique.....	21
3-4-Évaluation de la croissance.....	22
3-5-Détermination de la teneur en eau des feuillesb (TE) .....	22
3-6-Détermination de la teneur en chlorophylles et caroténoïdes.....	23
3-7-Analyse statistique .....	23
ChapitreIII : Résultats et Discussion.....	
1-Effet du stress hydrique, <i>in vitro</i> , induit par le Mannitol sur les variétés Merveille et Onward de pois potager .....	24
1-1-Effet sur la germination .....	24
1-1-1-Effet sur la cinétique de germination .....	24
1-1-1-1-Effet sur la variété Merveille.....	24
1-1-1-2-Effet sur la variété Onward.....	25
1-1-2-Effet sur le taux de germination (TG).....	26
1-1-2-1-Effet sur la variété Merveille.....	26
1-1-2-2-Effet sur la variété Onward.....	27
1-1-3- Effet sur le temps moyen de germination (TMG).....	28
1-1-3-1-Effet sur la variété Merveille.....	28
1-1-3-2-Effet sur la variété Onward.....	29
1-2-Effet sur le pois sec des plantules (PS).....	30
1-2-1-Sur la variété Merveille .....	30
1-2-2-Sur la variété Onward .....	31
1-3-Effet sur la teneur en eau des plantules (TE).....	32
1-3-1-Sur la variété Merveille .....	32
1-3-2-Sur la variété Onward .....	33
1-4-Comparaison des effets du stress hydrique sur les deux variétés de pois potager Merveille et Onward .....	34
2-Effet du stress hydrique, <i>in vivo</i> , appliqué par arrêt d'arrosage, sur la croissance et la physiologie de la variété Merveille de pois potager .....	35
2-1-Effet du stress hydrique sur la croissance.....	35

## Sommaire

---

2-1-1-Effet sur la longueur de la racine principale (LRP) .....	35
2-1-2-Effet sur la hauteur de la tige principale (HTP) .....	36
2-1-3- Effet sur le poids sec du système aérien (PSA).....	37
2-1-4- Effet sur le poids sec du système racinaire (PSR).....	38
2-1-5-Effet sur le rapport Poids Système Racinaire/ Poids Système Aérien (R/A).....	39
2-2-Effet du stress hydrique sur la teneur en eau des feuilles (TEF) .....	40
2-3-Effet du stress hydrique sur la teneur en pigments.....	41
2-3-1-Effet sur la teneur en chlorophylle a.....	41
2-3-2-Effet sur la teneur en chlorophylle b.....	42
2-3-3-Effet sur la teneur en chlorophylles a+b.....	43
2-3-4-Effet sur le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b.....	44
2-3-5-Effet sur la teneur en caroténoïdes.....	45
2-4-Synthèse des réponses morpho-physiologiques de la variété Merveillede pois potager face au stress hydrique.....	46
3-Discussion.....	47
Conclusion.....	52

### Références Bibliographiques

### Résumé



## Liste des figures

---

<b>Figure 01</b> : Courbe théorique de différents phases de germination (Côme,1982) .....	11
<b>Figure 02</b> : Graines des variétés de Pois ( <i>Pisum sativum L.</i> ) Mervielle ‘M’ et Onward ‘O’ .....	17
<b>Figure 03</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur l’évolution des taux de germination, au cours du temps, de la variété Merveille de pois potager.....	25
<b>Figure 04</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur l’évolution des taux de germination, au cours du temps, de la variété Onward de pois potager.....	26
<b>Figure 05</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le taux de germination de la variété Merveille de pois potager, après 15 jours de mise en germination.....	27
<b>Figure 06</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le taux de germination de la variété Onward de pois potager, après 15 jours de mise en germination.....	28
<b>Figure 07</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le temps moyen de germination de la variété Merveille de pois potager, après 15 jours de mise en germination.....	29
<b>Figure 08</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le temps moyen de germination de la variété Onward de pois potager, après 15 jours de mise en germination.....	30
<b>Figure 09</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le pois sec de la variété Merveille de pois potager.....	31
<b>Figure 10</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le pois sec de la variété Onward de pois potager.....	32
<b>Figure 11</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur la teneur en eau de la variété Merveille de pois potager.....	33
<b>Figure 12</b> : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur la teneur en eau de la variété Onward de pois potager.....	34
<b>Figure 13</b> : Effet du stress hydrique,appliqué par arrêt d’arrosage, sur la longueur de la racine principale de la variété Merveilles de pois potager.....	36
<b>Figure 14</b> : Effet du stress hydrique,appliqué par arrêt d’arrosage, sur la hauteur de la tige principale de la variété Merveille de pois potager.....	37

## Liste des figures

---

<b>Figure 15 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le poids sec du système aérien de la variété Merveille de pois potager.....	38
<b>Figure 16 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le poids sec du système racinaire de la variété Merveille de pois potager.....	39
<b>Figure 17 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le rapport Système racinaire/Système aérien (R/A) de la variété Merveille de pois potager.....	40
<b>Figure 18 :</b> Effet du stress hydrique, par arrêt d'arrosage, sur la teneur en eau des feuilles de la variété Merveille de pois potager.....	41
<b>Figure 19 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Chlorophylle 'a' de la variété Merveille de pois potager.....	42
<b>Figure 20 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Chlorophylle 'b' de la variété Merveille de pois potager.....	43
<b>Figure 21 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Chlorophylles 'a+b' de la variété Merveille de pois potager.....	44
<b>Figure 22 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b de la variété Merveille de pois potager.....	45
<b>Figure 23 :</b> Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Caroténoïdes de la variété Merveille de pois potager.....	46

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau 01</b> : Les concentrations de Mannitol utilisées et les potentiels hydriques induits (Sosa <i>et al.</i> , 2005).....	18
<b>Tableau 02</b> : Comparaison des effets du stress hydrique appliqué sur la germination, la croissance et la teneur en eau des variétés Merveilles et Onward de pois potager.....	35
<b>Tableau 03</b> : Synthèse des réponses morpho-physiologiques de la variété Merveilles de pois potager face au stress hydrique.....	47

# **Introduction**

---

## Introduction

---

Les cultures de légumineuses comptent parmi les cultures les plus répandues dans le monde, en raison de leurs avantages nutritionnels et environnementaux ; elles occupent la deuxième place après les céréales en termes de superficies cultivées et de rendement (Schneider et Huyghe, 2015). Les légumineuses constituent une source importante de protéines végétales et de fibres alimentaires (Stagnari *et al.*, 2017) et contribuent à l'équilibre environnemental en formant des nodosités racinaires en symbiose avec les bactéries fixatrices d'azote, ce qui réduit l'utilisation d'engrais azotés et stimule la fertilité des sols (Masson et Gintzburger, 2000; Duarte *et al.*, 2024).

De nombreuses espèces de légumineuses alimentaires et fourragères sont cultivées dans le monde (fève, haricot, lentille, pois chiche....) mais le pois (*Pisum sativum* L.) est la plus cultivée en raison de son intérêt nutritionnel élevé dû à son apport en protéines, en amidon, en vitamines et en fibres (Harmankaya *et al.*, 2010). Il présente également, comme toutes les légumineuses, un intérêt économique, car il joue un rôle dans la rotation des cultures et un intérêt environnemental car il permet la réduction de la pollution en engrais chimiques et pesticides , grâce à sa capacité de fixation biologique de l'azote dans le sol (USDA, 2015).

Les plantes peuvent être exposées à divers stress biotiques et abiotiques pouvant affecter leurs productivités. Le stress hydrique par déficit hydrique représente l'un des principaux stress abiotique (Boyer, 1982 ; Fahad *et al.*, 2017 ; Nadeem *et al.*, 2019). Le déficit hydrique provoque un déséquilibre hydrique au sein des cellules et des tissus végétaux, entrave la photosynthèse, la croissance végétative et réduit le pourcentage de germination (Vadez *et al.*, 2012) ce qui affectent leurs rendements (Ben Naceur *et al.*, 1999 ; Kumar *et al.*, 2012).

Le déficit hydrique dû à la sécheresse et à la salinité résultant d'une évaporation déséquilibrée figurent parmi les principaux défis pouvant affecter la production des différentes espèces végétales et légumineuses dans le monde (Dita *et al.*, 2006 ; Faucheux, 2022 ; FAO, 2021).

Le réchauffement climatique accentue le stress hydrique en augmentant la fréquence et l'intensité de la sécheresse, et la région méditerranéenne est considérée comme l'une des régions les plus touchées par ce réchauffement (FAO, 2021).

Le pois potager (*Pisum sativum hortense* L.), considéré comme une sous espèce de pois, appartient aux légumineuses alimentaires. Il se présente sous différentes formes et est cultivé

---

## Introduction

---

dans de nombreux pays (essentiellement méditerranéens) (Bozoğlu *et al.*, 2004). Il est consommé sous forme de graines sèches, de petits pois verts, ou de gousses vertes comestibles (Alan, 1984 ; Kaya *et al.*, 2002).

Le pois potager est l'une des légumineuses cultivées en Algérie, contribuant à diversifier la production agricole et à assurer l'approvisionnement local en protéines végétales (Schneider et Huyghe, 2015). Cependant, cette production reste insuffisante pour répondre aux besoins nationaux en raison de nombreuses contraintes dont les plus importantes sont la raréfaction des précipitations, l'aridité croissante et l'élévation des températures à cause du changement climatique (Ben Naceur *et al.*, 1999 ; FAO, 2021), l'irrigation non rationnelle et l'inefficacité des systèmes de drainage (Mermoud, 2006). Cette situation compromet l'autosuffisance alimentaire (Dita *et al.*, 2006 ; FAO, 2021).

Actuellement, il est recommandé d'accorder la priorité à la recherche de variétés plus tolérantes à la sécheresse, afin d'obtenir des rendements élevés et plus stables (Ben Naceur *et al.*, 1999). Ainsi, l'évaluation des performances des variétés dans des conditions de stress hydrique est une étape indispensable pour améliorer la production (Dorin *et al.*, 2011).

L'objectif de ce présent travail est l'évaluation du comportement de variétés de pois Merveille et Onward, originaires de France, introduites en Algérie, face au stress hydrique. La première partie, réalisée *in vitro*, est consacrée à l'étude de l'effet de différentes intensités de stress hydrique simulées par différentes concentrations de Mannitol sur la germination, le premier stade de croissance et la teneur en eau des deux variétés. La seconde partie, réalisée *in vivo*, est consacrée à l'étude de l'effet du stress hydrique induit par un arrêt d'arrosage sur des paramètres morpho-physiologiques de la variété Merveille.

Ce mémoire est divisé en trois chapitres :

- le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur le stress hydrique, la germination et la présentation de l'espèce étudiée.
- le deuxième chapitre décrit le matériel expérimental et les méthodes utilisées.
- le troisième chapitre expose les résultats obtenus avec une interprétation suivis d'une discussion.

Une conclusion générale et des perspectives terminent ce mémoire

# **Chapitre I :Synthèse bibliographique**

## 1-Présentation du pois potager

### 1-1- Classification du pois potager

Le pois communément appelé "petit pois" ou "pois cultivé" ou "pois rond" est une plante annuelle de la famille des légumineuses (Fabacées). Sa classification botanique est la suivante selon USDA (2008) :

- **Règne:** Plantae
- **Sous-Règne:** Tracheobiontae (plantes vasculaires)
- **Embranchement :** Spermatophytae (plantes à graines)
- **Sous-Embranchement :** Magnoliophytae
- **Classe:** Magnoliopsida (Dicotylédones)
- **Sous-classe :** Rosidae
- **Ordre:** Fabales
- **Famille:** Fabaceae (Légumineuses)
- **Sous-famille:** Papilionoideae
- **Genre:** *Pisum*
- **Espèce:** *Pisum sativum* L. 1753

L'espèce *Pisum sativum* L. est divisé en plusieurs sous-espèces dont les plus connues sont (Srarfi Ben Ayed *et al.*, 2017):

- *Pisum sativum elatius* (forme sauvage) ;
- *Pisum sativum avense* (pois fourrager) ;
- *Pisum sativum hortense* (pois potager).

Selon Cousin (1997), *abyssinicum*, *fulvum*, *pumilio*, *humile*, *trancaucasicum* et *asiaticum* sont également des sous-espèces du pois.

Ces sous-espèces se distinguent entre elles par la taille, le port et la morphologie des graines et des fleurs (Boyeldieu, 2003).

La sous-espèce *hortenese* comprend de nombreuses variétés potagères comme Reyna, Utrillo, Onword et Merveille qui sont très cultivées en Algérie (Ouafi, 2018) .

## 1-2-Description morphologique

### 1-2-1-Morphologie de la partie aérienne

#### ➤ La tige

La tige du petit pois est herbacée creuse et grêle, arrondie ou légèrement anguleuse (Prioul *et al.*, 2004), de 30 à 150 cm de long (Lim, 2012).

#### ➤ La feuille

Les feuilles, de couleurs variant du vert jaune au vert bleu foncé, sont composées de 4 à 6 folioles, à disposition alterne et possédant, à leur base, deux grandes stipules embrassantes, arrondies et crénelées. Les folioles sont sessiles, entières, ovales, de 1,5 à 6 cm de longueur ou plus ou moins dentées, de forme ovale ou elliptique avec une extrémité arrondie et crénelée, pointue ou tronquée selon la variété. Elles se terminent par une vrille simple ou ramifiée (Cousin, 1996).

#### ➤ La fleur

La fleur est caractéristique des papilionacées : zygomorphe (à symétrie bilatérale), pentamère, hermaphrodite, cyclique (verticilles successifs de pièces florales) (Polhill , 1994).

Les fleurs sont généralement blanches, solitaires ou groupées par deux et naissent aux aisselles des feuilles (Duke,2012). Le calice est composé de cinq sépales à dents, la corolle comprend cinq pétales et les étamines sont au nombre de 10 dont une libre et les neuf autres sont soudées par leur filet en un tube (Cousin, 1996 ).

C'est une plante essentiellement autogame (Pouvreau, 2004), mais des taux d'allogamie peuvent être observés chez certains cultivars (Haskell, 1943).

➤ **Le fruit**

Le fruit est une gousse, de couleur généralement verte et parfois violette, longue de 4 à 11 cm contenant 5 à 10 graines de 5 à 8mm de diamètre. Les gousses sont généralement droites ou plus ou moins arquées et leur extrémité est plus ou moins effilée ou tronquée. Elles présentent des variations morphologiques selon les variétés (Prat *et al.*, 2005)

➤ **La graine**

Les graines sont globuleuses ou coudées, exalbuminées, lisses ou ridées, de 5 à 8 mm de diamètre (Nyabyenda, 2005). Leur couleur est celle de leurs téguments (Trébuchet *et al.*, 1953) pouvant être blanchâtre, blanc crème, grise, jaune, brune, verte, violette ou tachetée (Lin, 2012).

### **1-2-2-Morphologie de la partie racinaire**

Le système racinaire du petit pois est pivotant relativement développé avec des racines secondaires voir tertiaires pouvant atteindre 60 à 80 cm de profondeur pendant la floraison. Ces racines présentent des nodosités qui vont permettre à la plante de fixer l'azote atmosphérique.

### **1-3-Les exigences culturelles du pois potager**

#### **1-3-1- Exigences climatiques**

La culture de pois a besoin d'un climat frais et relativement humide. Il se développe à des températures variant entre 7 et 30°C (Duc, 1981). Les températures optimales pour ses phases végétative et reproductrice sont respectivement de 16 à 21 °C le jour et de 10 à 16°C la nuit (Duc, 1981). Les températures dépassant 25°C affectent négativement le processus de germination (Tamindzic *et al.*, 2023).

Le pois est une plante qui a besoin de pleine lumière pour compléter son cycle végétatif (Sikerdji, 2002). Il préfère les conditions de lumière vive, sa croissance idéale nécessitant généralement 6 à 8 heures de lumière directe du soleil par jour (Dolan, 1972).

La culture de pois est pratiquée dans des zones où les précipitations dépassent 350 mm, que ce soit en irrigué ou en pluvial (Ferdaous *et al.*, 2015). Il est préférable de le cultiver dans des sols où la nappe phréatique est proche, en veillant à ne pas trop arroser pendant la période de floraison, car cela entraîne la chute des fleurs (Sikerdji, 2002). Les besoins en eau de la plante sont élevés pendant la phase de floraison et atteignent un pic durant la phase de remplissage des gousses, qui est cruciale pour son développement reproductif (Ferdaous *et al.*, 2015). Il peut tolérer une légère sécheresse, mais ne supporte pas une humidité excessive (Ferdaous *et al.*, 2015).

### **1-3-2- Exigences édaphiques**

Le pois préfère les sols légers, frais, qui se réchauffent rapidement, ce qui garantit sa précocité (Ferdaous *et al.*, 2015). Les sols calcaires peuvent entraver la germination et durcir les graines toutefois, lorsqu'ils sont mélangés à d'autres types de sols, comme les sols argilo-calcaires, ils peuvent offrir de bons rendements (Ferdaous *et al.*, 2015; Sikerdji, 2002). En revanche, les sols argileux sont peu adaptés à la culture du pois en raison de leur sensibilité aux gelées tardives, pouvant entraîner la mort de la plante. Les sols silico-argileux peuvent également offrir de bons rendements (Ferdaous *et al.*, 2015). Le pois exige un pH du sol compris entre 5,5 et 7,6 avec un optimum de 6 à 6,6 (Ferdaous *et al.*, 2015). Il est également peu exigeant en matière organique (Dubey et Datt, 2014).

La fixation symbiotique de l'azote atmosphérique ( $N_2$ ) dans le système racinaire du pois, commence environ 30 jours après la plantation et se poursuit pendant environ 60 jours, cependant, la quantité d'azote nécessaire au pois varie considérablement en fonction de la variété de culture et des conditions de croissance (La Rue et Patterson, 1981).

### **1-4-Intérêt du pois potager**

Le pois potager présente plusieurs avantages agricole, alimentaire et écologique.

#### **1-4-1-Intérêt alimentaire**

Le pois est un aliment très nutritif pour les humains et les animaux (Larcon, 1991). Il peut être consommé, à pleine maturité, frais ou sec (Larcon, 1991).

Il est particulièrement riche en protéines (Poitereau, 2001), avec une teneur variant de 17,25 % à 32,2% du poids sec des graines selon la constitution génétique et les conditions de production (Mosse *et al.*, 1987). Ces protéines sont constituées de trois quarts de globulines et d'un quart d'albumines (Duc, 1981). Les graines de pois contiennent également 50% d'amidon digestible et 5% de sucres solubles, en plus de fibres, de minéraux et de vitamines (Zhang *et al.*, 2023; Vidal-Valverde *et al.*, 2003). De plus, les graines contiennent des quantités modérées de Calcium par rapport à d'autres légumineuses, comme le pois chiche et la lentille (Grela *et al.*, 2017). Le pois est une source de phytonutriments bénéfiques pour la santé tels que le Coumestrol, un polyphénol qui a fait l'objet d'études pour ses effets potentiels dans la prévention du cancer de l'estomac (Lopez-Carrillo *et al.*, 2009), de saponines aux propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires (Ismail *et al.*, 2009), des acides gras oméga-3 notamment de l'acide alpha-linolénique (LAL) et du bêta-carotène (Wu *et al.*, 2023). Plusieurs études ont également mis en évidence son rôle dans la régulation de la glycémie (Trinidad *et al.*, 2010).

Le pois est cultivé seul ou en combinaison avec d'autres céréales pour produire une grande quantité de fourrage vert, qui est utilisé pour nourrir le bétail après avoir été transformé en ensilage (Cousin, 1996).

#### **1-4-2-Intérêt agronomique**

Le pois est considéré comme une excellente culture préliminaire dans la rotation des cultures ; il enrichit le sol en azote avec une quantité variant entre 30 et 50 kg /ha (Voisin *et al.*, 2013) ce qui le rend fertile pour les cultures suivantes (Cavaillés, 2009; Voisin *et al.*, 2013). Cet enrichissement du sol en Azote est dû à la capacité du pois à s'associer, dans ses racines, avec des bactéries symbiotiques fixatrices de l'azote moléculaire atmosphérique (N<sub>2</sub>) tel que *Rhizobium*.

Certaines études ont montré que l'intégration des légumineuses tel que le pois, dans une rotation culturale avec d'autres cultures comme les petites céréales réduit les risques d'infection par des ravageurs et maladies tels que *Fusarium* et *Sclerotinia* (Mohler et Johnson, 2009). Ainsi, le pois pourra contribuer dans une agriculture durable (Cousin, 1996).

### 1-4-3-Intérêt écologique

L'enrichissement des sols par l'association symbiotique des légumineuses avec les bactéries fixatrices de N<sub>2</sub> réduit l'utilisation des engrais azotés chimiques, et donc diminue la pollution des nappes phréatiques et des écosystèmes aquatiques ainsi que les émissions de gaz à effet de serre (Androsaff *et al.*, 1995; Voisin *et al.*, 2013).

La protection des cultures contre les agents pathogènes par les légumineuses réduit également l'utilisation des pesticides (Kumar *et al.* , 2020).

Le système racinaire superficiel du pois contribue également à la prévention de l'érosion et du ruissellement du sol (FAO, 2021) et facilite la décomposition des résidus végétaux après la récolte, ce qui renouvelle naturellement la fertilité du sol (PGRO, 2022).

### 1-5-La production de pois potager

Les pois est une culture d'une grande importance économique aux niveaux mondial et local ; il contribue à la sécurité alimentaire par sa richesse en nutriments (FAO,2016) et ses faibles coûts agricoles de production dus aux faibles quantités d'engrais et de pesticides utilisées (Mohler et Johnson, 2009 ; Du Bruising, 2015).

#### 1-5-1-Dans le monde

Le pois (sec et frais) est la quatrième légumineuse, après le soja, l'arachide et les haricots, produite dans le monde (FAO, 2023). En 2023, la production mondiale de pois sec a atteint environ 13,9 millions de tonnes et la production de pois vert a atteint environ 20,5 millions de tonnes (FAO, 2023).

La chine et l'Inde comptent parmi les principaux producteurs mondiaux de pois vert car ils représentent ensemble environ 82,5% de la production mondiale en 2023, avec environ 59% pour la Chine et 23,5% pour l'Inde (FAO, 2023). Quant au pois sec, il est produit par plus de 90 pays à travers le monde, mais les cinq premiers dans ce domaine sont la Russie (3,7millions de tonnes), le Canada (2,6 millions de tonnes), la Chine (1,5 millions de tonnes), l'Inde (1,1millions de tonnes) et les États-Unis d'Amérique (820000 tonnes), représentant ensemble environ 70,3% de la production mondiale (FAO, 2023).

### 1-5-2-En Algérie

La culture du pois revêt une importance économique croissante en Algérie. Elle constitue un composant essentiel du régime alimentaire local et contribue à l'offre d'un produit nutritif et accessible (MADR, 2016). Sa culture est ancienne, remontant à l'époque précoloniale, notamment dans les jardins et les champs de la région de Kabylie (Laumont et Crevasses, 1960). La culture de pois a connu une amélioration progressive depuis les années 1950, dans le cadre des avancées agricoles survenues après la Seconde Guerre Mondiale, notamment dans le contexte de ce que l'on appelle la Révolution verte (FAO, 2016). La culture de pois est répandue à travers tout le territoire national bien qu'elle soit particulièrement concentrée dans les plaines côtières et les zones sublittorales, notamment dans les régions de Tipaza, Boumerdès, Mostaganem et Tlemcen, en raison des conditions agro-climatiques favorables (ITCMI, 2022). Le pois occupe la troisième place parmi les légumineuses sèches en Algérie, après la fève et le pois chiche (Maatougui, 1996). Parmi les variétés cultivées en Algérie on trouve les variétés locales Onard, Parel, Triphin et Latcha ainsi que les variétés étrangères Merveille de Kelvedon, Douce de province, Onward et Serpette (Meklati, 1992 ; UMC, 2022).

## 2-La germination

### 2-1-Définition

La germination constitue la première étape du cycle de vie des plantes pour produire une nouvelle génération (Aya *et al.*, 2011). La germination est définie comme l'ensemble des événements qui conduisent la graine séchée à germer ; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (Bewley et Black, 1994).

La germination est une phase physiologique qui correspond à la transition de la phase de vie latente de la graine séchée à la phase de croissance et de développement (Taiz et Zeiger, 2010).

La germination recouvre la séquence des événements allant de la graine au repos jusqu'à l'obtention d'une plantule autotrophe (viable) (Mazliak, 1982). Les réserves qui jusque-là assuraient le métabolisme résiduel de l'embryon vont être activement métabolisées pour assurer la croissance de la plantule (Mazoyer, 2002).

## **2-2-Phases de la germination**

La germination des graine comprend trois principales phases successives (figure 01)

### **2-2-1-La première phase ou phase d'imbibition**

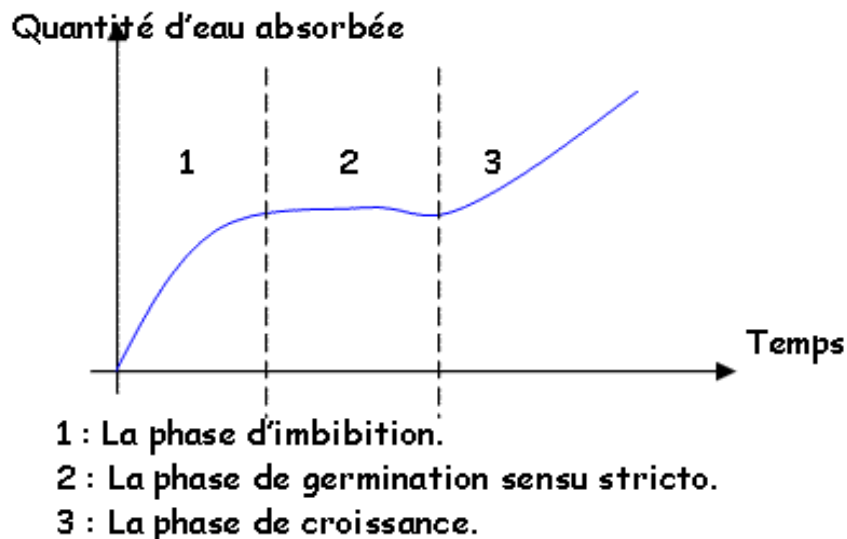
Elle implique un mouvement d'eau dans le sens de potentiel hydrique décroissant (Hopkins, 2003). La quantité d'eau absorbée peut atteindre 50% du poids de départ de la graine chez certaines espèces (Chaussat,1999). Elle se traduit par une augmentation régulière et importante de l'activité respiratoire (Mazliak,1982). La phase d'imbibition est rapide et réversible (Chaussat,1999).

### **2-2-2-La deuxième phase ou phase de germination sensu-stricto**

Elle est caractérisée par un arrêt de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire régulière (Mazliak,1982). Durant cette phase, la graine peut être réversiblement hydratée et réhydratée sans altération de sa viabilité (Bewley et Black, 1994). Cette phase se termine avec la percée du tégument par la radicule rendue possible grâce à l'allongement des cellules (Heller *et al.*, 2004).

### **2-2-3-La troisième phase ou phase de croissance**

Cette phase est caractérisée par une reprise de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire de plus en plus importante due au développement de la radicule (Mazliak, 1982). A ce stade, il ya une reprise des division et grandissement cellulaire. La germination est terminée lorsque la radicule émerge des téguments de la graine (Hopkins,2003). A cette phase, la déshydratation des tissus cause la mort de la semence (Hopkins, 2003).



**Figure 01** : Courbe théorique des différentes phases de germination (Côme, 1982).

## 2-3-Types de germination

### 2-3-1-Germination épigée

La germination est épigée lorsque les cotylédons contenant les tissus de réserve qui composent l'essentiel de la graine, sortent du sol et la germination est alors assurée essentiellement par l'élongation importante de l'hypocotyle (Hopkins, 2003)

### 2-3-2- Germination hypogée

La germination est hypogée lorsque les cotylédons qui composent l'essentiel de la graine sortent du sol, la germination est alors assurée essentiellement par l'élongation importante de l'épicotyle (Taiz et Zeiger, 2010) . La germination du petit pois est hypogée (Hopkins, 2003)

## 2-4-Conditions de germination

### 2-4-1-Facteurs internes

Les facteurs internes influençant la germination incluent l'état physiologique de la graine (maturité de l'embryon et intégrité des tissus), la présence ou non d'une dormance, ainsi que la nature et la quantité de ses réserves nutritives. Ces éléments déterminent la capacité de la graine à initier les processus métaboliques nécessaires à son développement (Bewley et Black, 1994).

Une graine viable mais encore dormante ne germera pas même si les conditions externes sont favorables (Côme, 1970).

### **2-4-2-Facteurs externes**

Certaines conditions doivent être réunies pour que la germination ait lieu. Ces conditions, dites facteurs externes, sont variables selon les espèces et les variétés. Elles comprennent principalement la température, l'eau, l'oxygène, et parfois la lumière.

Selon Mazliak (1982), ces facteurs environnementaux agissent en déclenchant des processus métaboliques, notamment la respiration, la mobilisation des réserves et la croissance de l'embryon. Toute perturbation de ces facteurs peut inhiber ou ralentir la germination

#### **2-4-2-1-L'eau**

L'eau est indispensable en quantité suffisante dans le milieu extérieur pour la germination (Heller *et al.*, 2004). L'absorption de l'eau par la semence s'effectue par osmose, au travers du tégument qui lui-même est plus au moins cellulosique et en retient des quantités importantes (Bewley et Black 1994). En plus, l'eau dissout l'oxygène et lui permet d'atteindre l'embryon (Chaux et Foury, 1994).

#### **2-4-2-2-L'oxygène**

Seul l'oxygène dissous dans l'eau d'imbibition est utilisé par l'embryon pour ses besoins métaboliques même si ce gaz est très peu soluble dans l'eau (Bewley *et al.*, 2013). La germination engage de nombreuses oxydations essentiellement impliquées dans la respiration (Bensaadi, 2011).

#### **2-4-2-3-La température**

Il existe pour chaque plante et chaque phase de végétation des températures minimales, optimales et maximales (Bensaadi, 2011).

Quand la température s'élève, la vitesse de germination croît (Gate et Giban, 2003). Selon Heller *et al.* (1993), la température optimale de germination pour la majorité des espèces se situe entre 20 °C et 30 °C, au-delà de 30 °C, la germination diminue en raison d'un ralentissement des processus enzymatiques et d'un stress thermique qui peut affecter la viabilité des graines.

### **3-Le stress hydrique**

#### **3-1- Notion de stress**

Selon Hopkins (2003), on appelle un stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Selon Larcher (2001), il désigne à la fois l'action d'un agent agresseur et les réactions qu'il entraîne dans l'organisme agressé, une force qui tend à inhiber les systèmes normaux donc perturbant les structures normales et la coordination des processus variés au niveau moléculaire et cellulaire et de l'organisme entier.

Il existe deux types de stress : biotiques attribués à de nombreux agents pathogènes (virus, bactéries, champignons, insectes...) et abiotiques provoqués par des températures extrêmes (élevée et basse), la salinité, la pollution...(Larcher, 2001). Le stress hydrique est le stress abiotique auquel les plantes sont le plus exposées (Taiz et Zeiger, 2010).

#### **3-2- Définition du stress hydrique**

Le stress hydrique peut être provoqué par un manque ou un excès d'eau (Levitt,1980). Certains auteurs limitent la définition du stress hydrique uniquement aux conditions correspondant à une hydratation sous-optimale des tissus (Lamaze *et al.*, 1994). Le stress hydrique par déficit hydrique fait référence à une situation où il n'y a pas suffisamment d'eau pour répondre aux besoins des plantes pendant leur croissance et leur développement (Boyer, 1982).

D'un point de vue physique, le stress hydrique résulte d'un abaissement du potentiel hydrique dans l'air et/ou dans le sol en dessous d'une certaine valeur, dépendant du génotype, du phénotype et des caractéristiques du milieu (type de sol, température, vent, etc.) (Kramer, 1983).

#### **3-3-Causes du stress hydrique**

##### **3-3-1- La sécheresse**

La sécheresse est la principale cause du stress hydrique chez les plantes (Kramer, 1983). Elle correspond à une période prolongée de manque d'eau, soit à cause de faibles précipitations soit en raison d'une évaporation excessive, réduisant la quantité d'eau dans sol disponible pour les plantes.

### 3-3-2-Les températures

Les températures, trop élevées ou trop basses, sont responsables d'un stress thermique, exposent, également, les plantes à un stress hydrique (Taiz et Zeiger, 2010).

Des températures élevées augmentent fortement l'évapotranspiration, ce qui accélère la perte d'eau au niveau des feuilles et assèche plus rapidement le sol, provoquant ainsi un stress hydrique chez la plante (Wahid *et al.*, 2007 ; Hasanuzzaman *et al.*, 2013 ; Farooq *et al.*, 2009).

Les températures basses ou le gel provoque une cristallisation des molécules d'eau qui diminue sa disponibilité pour le végétal même si elle est disponible (Chameil, 2006).

### 3-3-3-La salinité

La salinité désigne la présence de concentrations élevées de sels solubles dans le sol principalement le chlorure de sodium (NaCl) qui diminue le potentiel hydrique du sol qui devient inférieur à celui des racines, donc elle affecte la disponibilité de l'eau pour les plantes et limite l'absorption de l'eau par osmose (Munns et Tester, 2008). Elle peut provoquer un stress hydrique même en présence d'humidité (Munns et Tester, 2008).

### 3-4-Effets du stress hydrique chez les plantes

L'effet du stress hydrique sur un végétal dépend de plusieurs facteurs (Farooq *et al.*, 2009) :

- de l'intensité et de la durée du stress ;
- de l'espèce exposée (génotype et phase de développement) ;
- et d'autres facteurs environnementaux

#### 3-4-1-Effet sur la germination

Le stress hydrique impacte fortement la germination des espèces cultivées, en ralentissant ou en empêchant la germination ; en absence d'humidité suffisante, la graine ne germe pas, retardant ainsi la levée de la culture et en cas de persistance du manque d'eau, la situation peut se traduire par une absence totale de levée (Feliachi *et al.*, 2001).

En effet, il affecte l'hydratation cellulaire et réduit la libération des sucres pour l'obtention de l'énergie nécessaire à la germination (Bray *et al.*, 1989) en perturbant le métabolisme des glucides et le fonctionnement enzymatique impliqué dans la germination (Gonçalves *et al.*, 2024).

Les systèmes enzymatiques sont, en effet, altérés notamment à cause de la baisse de l'activité hydrolytique des réserves de la graine (Cruz de Carvalho ,2008) car le stress hydrique affecte les hydrolases en altérant leurs structures et leurs fonctions par le stress oxydant qu'il induit ce qui peut entraîner une diminution de leur activité enzymatique, cela peut perturber les processus métaboliques et biochimiques des cellules (Li *et al.*,2013).

L'hydrolyse de l'amidon et la libération des sucres réducteurs énergétiques constituent une étape incontournable dans le déroulement de la germination, mais indirectement la disponibilité des carbohydrates pendant cette phase assure un rôle de protection contre le déficit hydrique ; ils constituent les principaux osmolytes impliqués dans l'ajustement osmotique, et la protection des macromolécules essentiellement membranaires (Bray *et al.*, 1989).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des sucres simples sont régulés par les variations de l'hydratation cellulaire (Bray *et al.*, 1989).

Chez le pois, le stress hydrique est considéré comme le facteur limitant le plus important pour sa germination et son rendement, en affectant chaque année à la fois la quantité et la qualité des récoltes (Dita *et al.*, 2006).

### **3-4-2-Effet sur la croissance**

La croissance et le développement d'une plante sont fortement perturbés par le déficit hydrique (Chaves *et al.*, 2002 ; Lebon *et al.*, 2006). Ce dernier provoque une diminution importante de la taille, de la longueur des entre nœuds, du nombre de feuilles voire de la surface foliaire (Lebon *et al.*, 2006; Attia, 2007). Les plantes soumises à un déficit hydrique voient généralement leur sénescence foliaire s'accélérer et une perte trop importante d'eau peut conduire à la mort des cellules (Kramer et Boyer, 1995).

La réduction de la croissance racinaire sous stress hydrique limite l'exploration du sol et l'absorption des nutriments, accentuant encore le ralentissement de la croissance (Pereira *et al.*, 2020).

Chez *Pisum sativum*, le stress hydrique entraîne une réduction significative de la croissance en hauteur des plants en limitant la division et l'élongation cellulaire (Al-Quraan *et al.*, 2021) et durant les stades précoces, il perturbe le développement foliaire, ce qui impacte négativement la surface photosynthétique et donc la croissance globale (Kumar *et al.*, 2012).

### **3-4-3-Effet sur la photosynthèse**

La sécheresse menace la capacité de la plante à maintenir sa photosynthèse (Escolona *et al.*, 2012). Le stress hydrique, en provoquant la fermeture des stomates, induit un ralentissement de la photosynthèse en même temps que de la transpiration (Teulat *et al.*, 1997).

Parmi les modifications physiologiques liées au stress hydrique, la régulation stomatique qui influe sur la photosynthèse et la respiration, est la plus importante. La baisse du potentiel hydrique de la plante se traduit principalement par une diminution de la pression de turgescence puis une régulation stomatique (Kramer, 1983).

Il provoque également une baisse significative du contenu en chlorophylles, affectant la capture de la lumière et donc l'efficacité photosynthétique (Meng *et al.*, 2025) et une diminution de l'activité de la Rubisco réduisant la fixation du carbone dans le cycle de Calvin (Parry *et al.*, 2002).

Le stress hydrique génère un excès d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), ce qui endommage les structures chloroplastiques et inhibe la photosynthèse (Farooq *et al.*, 2009).

Chez le pois, le stress hydrique réduit l'ouverture des stomates ce qui diminue l'absorption de CO<sub>2</sub> nécessaire à la photosynthèse (Blicharz *et al.*, 2021).

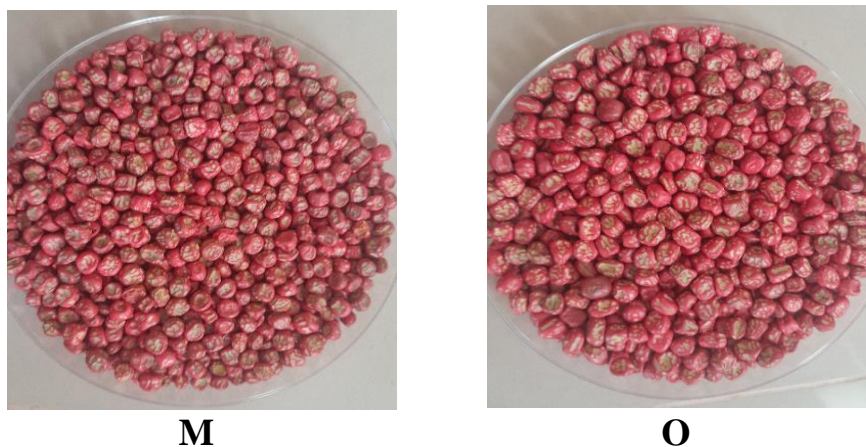
## **Chapitre II : Matériel et Méthodes**

Nous avons étudié l'influence du stress hydrique *in vitro* et *in vivo* sur des variétés de pois. Cette expérimentation a été réalisée au laboratoire d'Ecophysiologie végétale (département de Biologie, faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques, UMMTO).

### 1-Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de graines de deux variétés de pois *Pisum sativum hortense* L. "Onward" et "Merveille" commercialisées en Algérie et destinées à l'alimentation humaine ( Annexes 1 et 2) . Elles sont originaires de France et proviennent de la récolte du mois de juillet 2023. Elles ont été traitées au fongicide Métaxyl-M appartenant à la famille des Acylalanines avant leur conditionnement en France

Nous les avons achetées de la ville de Tizi-Ouzou au mois de Février 2025. Nous les avons conservées dans des bocaux en verre, au laboratoire jusqu'à leur utilisation. (Figure 02 ).



**Figure 02 :** Graines des variétés de Pois Merveille : M et Onward :O

## 2- Etude de l'influence du stress hydrique, *in vitro*, sur la germination, la croissance et la teneur en eau des variétés Onward et Merveille de pois

### 2-2-Tests de germination

#### 2-2-1-Application du stress hydrique

Le stress hydrique a été simulé avec du Mannitol. Nous avons testé l'effet de différentes intensités de stress hydrique avec des solutions de Mannitol à différentes concentrations pour provoquer différents potentiels osmotiques. Ainsi, nous avons testé six concentrations de Mannitol pour provoquer six potentiels osmotiques.

**Tableau 01** : Les concentrations de Mannitol utilisées et les potentiels osmotiques induits  
(Sosa *et al.*, 2005)

Solution Mannitol (mol/l)	Potentiel osmotique (MPa )
0,100	-0,4
0,180	-0,8
0,340	-1,2
0,425	-1,5
0,540	-1,9
0,610	-2,2

#### 2-2-2-Mise en germination

Les tests de germination ont été réalisés dans des boîtes de Pétri en plastique tapissées de trois couches de papier filtre. Pour chaque variété nous avons testé six potentiels osmotiques à raison de quatre boîtes par potentiel osmotique (donc quatre répétitions).

Ainsi, pour chaque variété, Merveille et Onwerd, nous avons constitué 7 lots de boîtes de Pétri de quatre boîtes chacun:

- un lot témoin T où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml d'eau distillée
- un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,1 mol/l (-0,4MPa)

-un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,18 mol/l (-0,8MPa).

-un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,34 mol/l (-1,2MPa).

-un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,42 mol/l (-1,5MPa).

-un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,54 mol/l (-1,9MPa)

-un lot où les graines ont été arrosées avec un volume de 15ml de la solution de Mannitol à 0,61 mol/l (-2,2MPa).

Nous avons répartis 15 graines par boîte de Pétri. Ces boîtes ont, ensuite, été mises à germer dans une étuve à  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  préalablement désinfectée. Les boîtes de Pétri ont été régulièrement arrosées avec le même volume des solutions adéquates afin de maintenir le même potentiel osmotique de départ.

Les manipulations ont été menées dans des conditions d'aseptie rigoureuses pour éviter les contaminations sur une paillasse préalablement désinfectée.

### **2-2-3-Paramètres de germination évalués**

Le nombre de graines germées est compté quotidiennement pendant une durée de 15 jours. A l'issue de cette expérience, nous avons déterminé trois paramètres de germination pour tous les traitements (T.0,1. 0,18, 0,34, 0,42, 0,54 et 0,61 mol / l de mannitol).

#### **2-2-3-1-Le taux de germination (TG)**

Le taux de germination a été calculé après 15 jours de mise en germination, en utilisant la formule suivante (Mazlik 1982):

$$\text{TG}(\%) = \frac{\text{Nombre des graines germées}}{\text{Nombre total des graines}} \times 100$$

### 2-2-3-2-La cinétique de germination

La cinétique de germination permet l'évaluation de l'impact des différents traitements sur les différentes phases de la germination (latence et exponentielle). Pour cela, nous avons calculé le taux de germination quotidiennement pendant 15 jours.

### 2-2-3-3-Le temps moyen de germination (TMG)

Le temps moyen de germination est un indicateur de la rapidité de germination. Nous l'avons calculé selon la formule de Côme (1970) et il exprimé en jours :

$$TMG = \frac{(N1T1 + N2T2 + \dots + NnTn)}{N1 + N2 + \dots + Nn}$$

**N1** : nombre des graines germées au temps **T1**

**N2** : nombre des graines germées entre **T1** et **T2**

**Nn** : nombre des graines germées entre le temps **Tn-1** et temps à **Tn**

### 2-3-Tests de croissance

Après 15 jours de mise en germination, nous avons retiré les boîtes de tous les traitements (T- 0,1- 0,18- 0,34- 0,42- 0,54 et 0,61) de l'étuve et nous les avons placés sur la pailleuse du laboratoire à une température ambiante variant entre 18 et 25°C. Elles sont régulièrement arrosées avec le même volume des solutions adéquates. Après 5 jours du retrait de l'étuve, nous avons évalué la croissance des plants par la détermination du poids sec des plants après passage à l'étuve à 75°C, jusqu'à obtention du poids constant, sur un total de 10 plants/traitement/variété.

### 2-4-Détermination de la teneur en eau (TE)

Nous avons déterminé la teneur en eau des plants après 20 jours de mise en germination sur un total de 10 plants/traitement/variété selon la formule suivante :

$$TE(\%) = \frac{PF - PS}{PF} \times 100$$

**PF** : poids frais

**PS** : poids sec

**TE:** teneur en eau

### **2-5-Analyse statistique**

Tous les résultats obtenus ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel R (version 3.6.2, 2019) via une analyse de la variance à deux facteurs (ANOVA) lorsque les conditions de normalité sont respectées. Dans le cas contraire, l'analyse a été effectuée en utilisant le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. En présence de différences significatives ( $P < 0,05$ ), un test post hoc de Newman & Keuls a été appliqué pour identifier les groupes homogènes.

## **3- Etude de l'influence du stress hydrique, *in vivo*, sur la croissance et la teneur pigments de la variété Merveille de pois**

### **3-1-Préparation du substrat**

Nous avons utilisé un substrat composé de 2/3 de terreau horticole et 1/3 de sable. Ce substrat a été réparti dans 34 sachets noirs en matière plastique de 15cm de diamètre et de 25cm de hauteur, perforés à la base pour assurer un bon drainage et éviter l'accumulation de l'eau, ce qui permet de prévenir la pourriture des racines. Chaque sachet est rempli de 1 kg de substrat.

### **3-2-Mise en culture**

Après arrosage de tous les sachets avec le même volume d'eau de robinet, nous avons mis à germer 5 graines de la variété Merveille dans chaque sachet le 4 Mars 2025. Ces sachets ont, ensuite, été mis dans un endroit exposés à la lumière du jour et à températures ambiantes, au laboratoire. Ils sont arrosés régulièrement (trois fois par semaine) avec le même volume d'eau de robinet.

### **3-3-Application du stress hydrique**

Après un 24 jours de mise en germination et d'arrosage régulier, nous avons divisé les sachets en deux lots de 17 sachets chacun :

- un lot témoin T où l'arrosage régulier est maintenu à raison de trois fois par semaine
- un lot stressé S où l'arrosage a été arrêté

### 3-4-Évaluation de la croissance

Nous avons évalué la croissance après 27 jours de l'application du stress, par la mesure de différents paramètres morphologiques de 10 plants témoins et 10 plants stressés pris au hasard de 10 sachets différents :

-Hauteur de la tige principale en cm

-Longueur de la racine principale en cm après avoir soigneusement éliminé les particules de terre l'entourant

Ces deux paramètres ont été mesurés à l'aide d'une règle métallique flexible.

-Détermination du poids sec des systèmes racinaire et aérien, après passage à l'étuve à 75°C jusqu'à l'obtention du poids constant .

La détermination séparée des poids secs des systèmes racinaire et aérien nous permet de calculer le rapport R/A selon la formule :

R/A = Poids sec du Système racinaire/Poids sec du Système aérien rapport R/A

### 3-5-Détermination de la teneur en eau des feuilles (TE)

La teneur en eau des feuilles a été déterminée chez 10 plants témoins arrosés et 10 plants stressés non arrosés, selon la formule suivante :

$$TE(\%) = \frac{PF - PS}{PF} \times 100$$

**PF** : poids frais de la feuille

**PS** : poids sec de la feuille

**TE** : teneur en eau

Le poids sec des feuilles a été obtenu après séchage à l'étuve à 75°C jusqu'à obtention du poids constant.

### 3-6-Détermination de la teneur en chlorophylles et caroténoïdes

Nous avons déterminé les teneurs en chlorophylles a et b et des caroténoïdes des feuilles de cinq plants témoins et cinq plants stressés par la méthode spectrophotométrique de Lichtenthaler et Buschmann (2001)

Ces pigments ont été extraits par broyage de 0,1 g de poids frais de feuilles dans 10ml d'Acétone 80%. L'extrait obtenu a été centrifugé pendant 10 minutes à 3000 trs/min. Le surnageant est récupéré dans un tube à essai et ajusté à 10ml avec de l'Acétone 80%. Un volume de 2ml du surnageant ajusté est prélevé et mis dans une cuve de spectrophotomètre (SMCLAB QUIMICA, Espana). Nous avons lu la densité optique du volume de la cuve à trois longueurs d'onde correspondant aux pics d'absorption des pigments :

-647 nm pour la chlorophylle a

-663 nm pour la chlorophylle b

-470 nm pour les caroténoïdes Chlorophylle c

Les teneurs en chlorophylles a et b et en caroténoïdes, exprimées en  $\mu\text{g/mL}$ , ont été calculées à l'aide des formules suivantes :

$$\text{-Chl a} = 12,25 \times \text{DO}(\lambda b) - 2,79 \times \text{DO}(\lambda a)$$

$$\text{-Chl b} = 21,5 \times \text{DO}(\lambda a) - 5,1 \times \text{DO}(\lambda b)$$

$$\text{-Chl (a + b)} = 7,15 \times \text{DO}(\lambda b) + 18,71 \times \text{DO}(\lambda a)$$

$$\text{-Caroténoïdes} = \frac{(1000 \times \text{DO}(\lambda c) - 1,82 \times \text{Chla} - 85,02 \times \text{Chlb})}{198}$$

### 3-7-Analyse statistique

Tous les résultats obtenus ont été analysés statistiquement à l'aide du logiciel R (version 3.6.2, 2019) via une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) lorsque les conditions de normalité sont respectées. Dans le cas contraire, l'analyse a été effectuée en utilisant le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. En présence de différences significatives ( $P < 0,05$ ), un test post hoc de Newman & Keuls a été appliqué pour identifier les groupes homogènes.

## **Chapitre III : Résultats et Discussion**

## **1-Effet du stress hydrique, *in vitro*, induit par le Mannitol sur les variétés Merveille et Onward de pois potager**

### **1-1-Effet sur la germination**

#### **1-1-1-Effet sur la cinétique de germination**

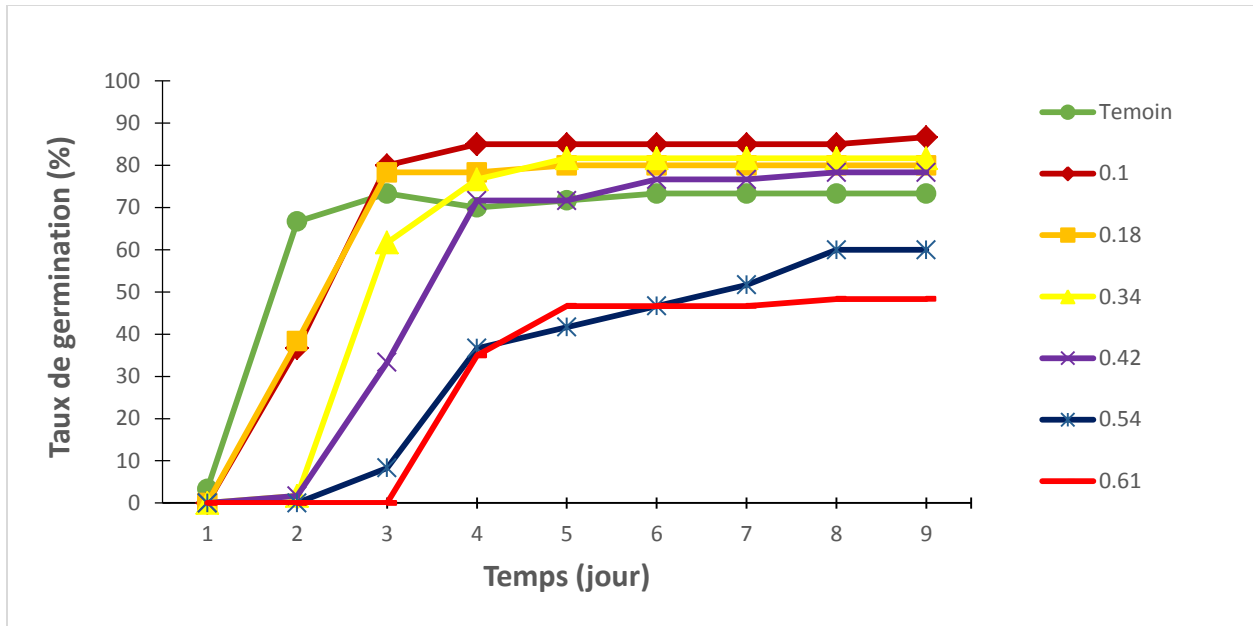
Chez les deux variétés "Merveille "et "Onwards", les figures illustrant la cinétique de germination (Figure 03 et 04) chez les témoins et aux différentes concentrations de mannitol testées montrent l'existence de trois phases différentes:

- une première phase de latence qui correspond au temps nécessaire pour l'imbibition des graines.
- une deuxième phase exponentielle durant laquelle la vitesse de germination augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale.
- et une phase constante, stationnaire durant laquelle aucune nouvelle germination n'est enregistrée.

#### **1-1-1-1-Effet sur la variété Merveille**

Nous constatons que la durée de la phase de latence augmente avec l'augmentation des concentrations de Mannitol. Elle est plus courte et ne dure qu'un jour chez le témoin et aux concentrations de 0,1 et 0,18mol/l puis elle augmente à deux jours à 0,34, 0,42 et 0,54mol/l et elle atteint trois jours à 0,61mol/l.

La phase exponentielle est plus courte (trois jours) aux concentrations de 0,34 et 0,61mol/l et elle est plus longue à 0,54mol/l de Mannitol (six jours). Chez le témoin et à 0,18 et 0,42mol/l de Mannitol elle est de quatre jours (Figure 03)

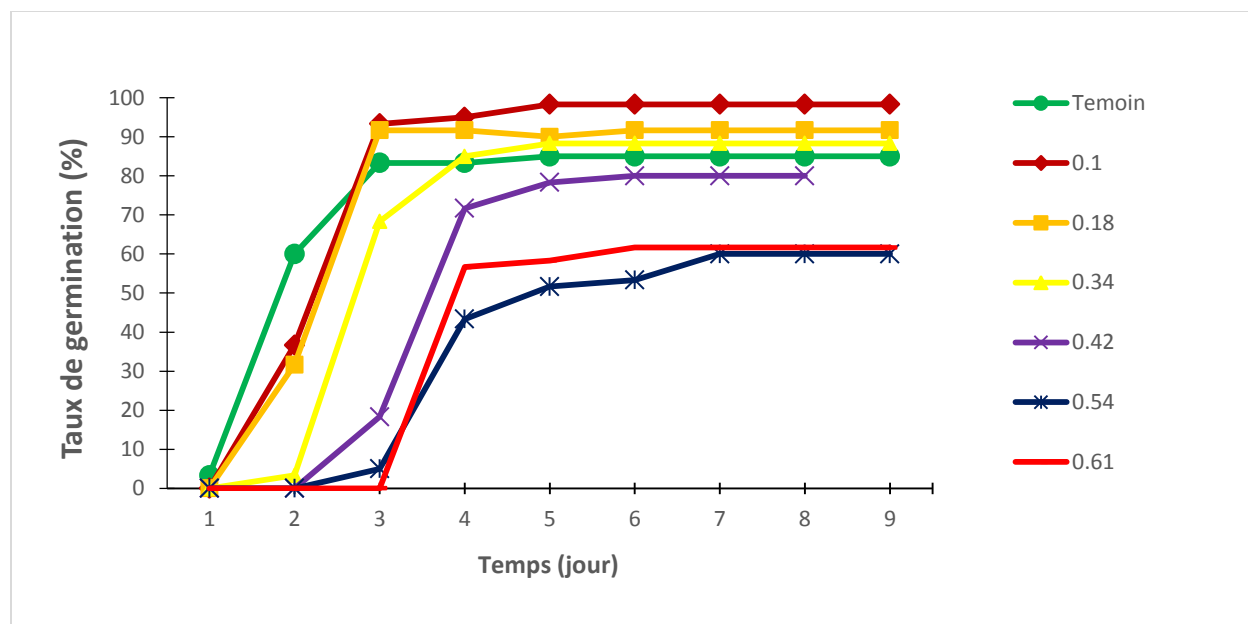


**Figure 03 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur l'évolution des taux de germination, au cours du temps, de la variété Merveille de pois potager.

#### 1-1-1-2-Effet sur la variété Onward

Comme chez la variété Merveille, la durée de la phase de latence augmente avec l'augmentation des concentrations de Mannitol ; elle est d'un jour chez le témoins et à 0,1 et 0,18mol/l, de deux jours à 0,34, 0,42 et 0,54mol/l et de trois jours à 0,61mol/l de Mannitol (Figure 04).

La phase exponentielle est plus courte (trois jours) à 0,34 et 0,61mol/l, plus longue à 0,18 et 0,54mol/l et elle est de quatre jours chez le témoin et à 0,18 et 0,42mol/l de Mannitol (Figure 04).



**Figure 04 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur l'évolution des taux de germination, au cours du temps, de la variété Onward de pois potager

### 1-1-2-Effet sur le taux de germination (TG)

#### 1-1-2-1-Effet sur la variété Merveille

L'effet négatif du Mannitol sur le taux de germination commence à partir de la concentration de 0,54mol/l. La concentration de 0,1mol/l a augmenté le taux de germination d'une manière statistiquement significative ; il est de 87% alors que chez le témoin il est de 73% (Figure 05).

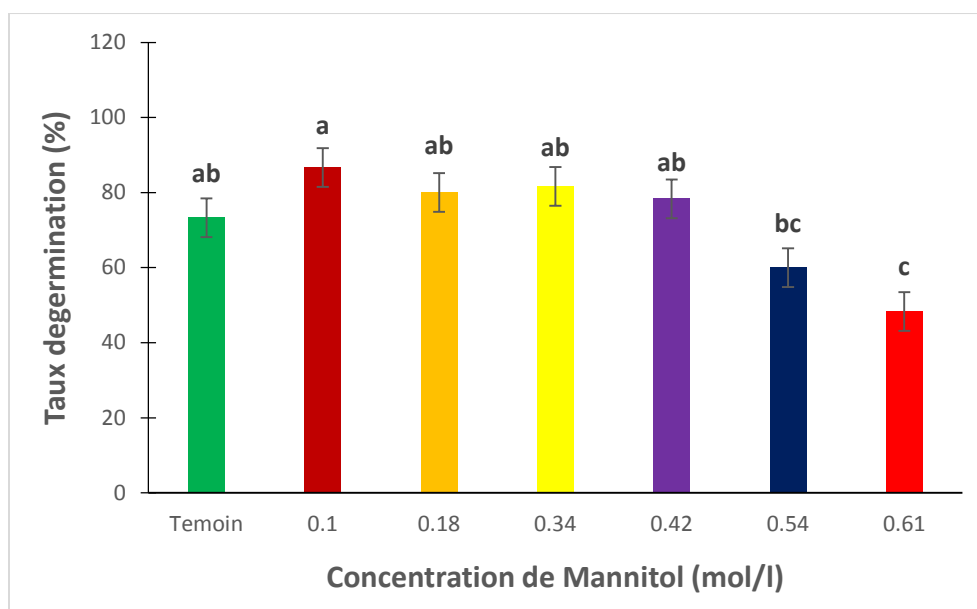
Le test de Keuls et Newman, réalisé après l'ANOVA, a montré l'existence de quatre groupes homogènes :

-groupe **a** représenté par la concentration de 0,1mol/l de Mannitol montrant le taux de germination le plus élevé

-le groupe **ab** représentés par le témoin et les concentrations intermédiaires de Mannitol 0,18, 0,34 et 0,42mol/l

-le groupe **bc** représenté par la concentration de 0,54mol/l

-le groupe **c** représenté par la concentration la plus élevée de 0,61mol/l



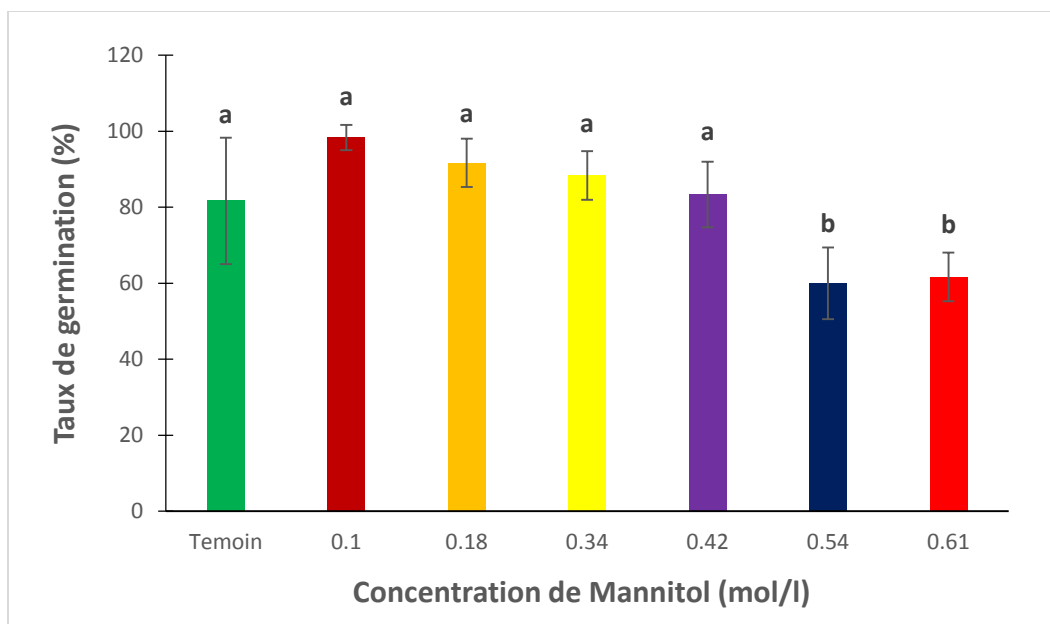
**Figure 05 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le taux de germination de la variété Merveille de pois potager, après 15 jours de mise en germination.

#### 1-1-2-2- Effet sur la variété Onward

Chez la variété Onward, la diminution des taux germination est enregistrée aux concentrations de 0,54mol/l et de 0,61mol/l de Mannitol comme chez la variété Merveille. Les autres concentrations testées montrent des taux de germination statistiquement identiques à celui du témoin (Figure 06).

Le test de Newman et Keuls, après l'ANOVA, montrent l'existence de deux groupes homogènes :

- le groupe **a** représenté par le témoin et les concentrations de 0,1mol/l à 0,42mol/l de Mannitol
- le groupe **b** représenté par les concentrations de 0,54mol/l et 0,61mol/l



**Figure 06 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le taux de germination de la variété Onward de pois potager, après 15 jours de mise en germination.

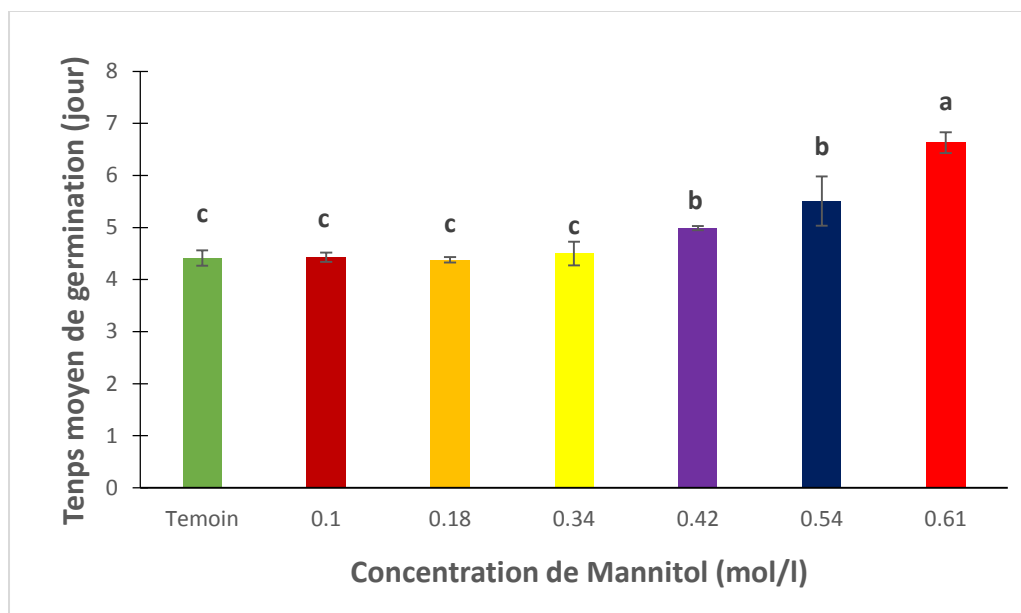
### 1-1-3- Effet sur le temps moyen de germination (TMG)

#### 1-1-3-1- Effet Sur la variété Merveille

Les concentrations de 0,1 mol/l à 0,34 mol/l de Mannitol n'ont aucun effet sur le TMG. Ce dernier augmente d'une manière statistiquement significative à partir de 0,42 mol/l et c'est à 0,61 mol/l qu'il est le plus long (Figure 07).

Le test de Newman et Keuls, après l'ANOVA, pour ce paramètre a montré l'existence de trois groupes homogènes :

- le groupe **a** représenté par la concentration de 0,61 mol/l de Mannitol
- le groupe **b** représenté par les concentrations de 0,42 mol/l et 0,54 mol/l de Mannitol
- le groupe **c** représenté par le témoin et les concentrations de 0,1 à 0,34 mol/l de Mannitol



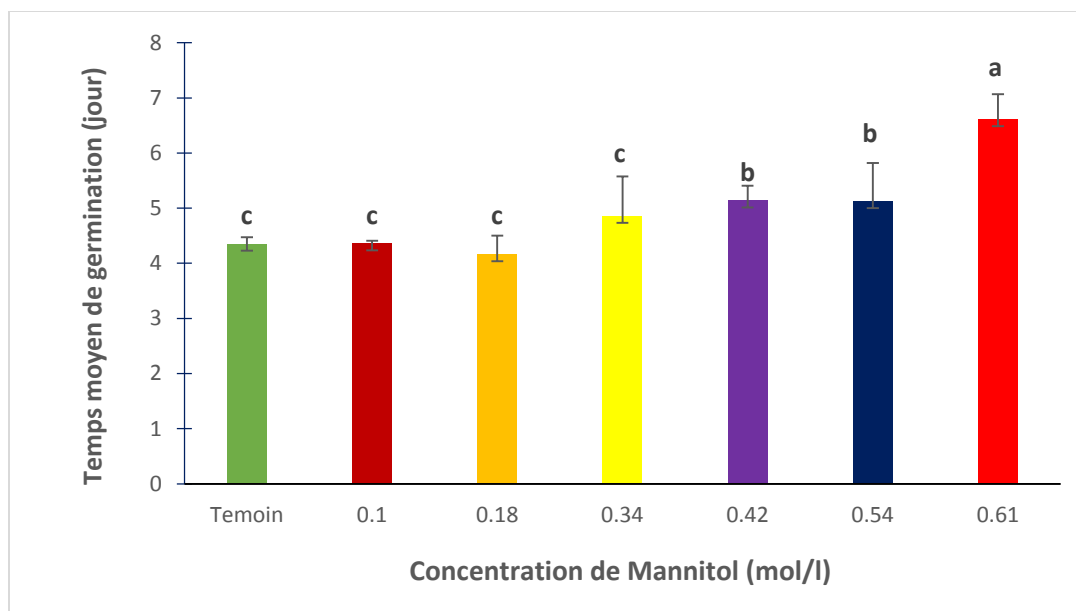
**Figure 07 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le temps moyen de germination de la variété Merveille de pois potager, après 15 jours de mise en germination

### 1-1-3-2-Effet Sur la variété Onward

L'effet exercé par les différentes concentrations de Mannitol testées sur le TMG chez la variété Onward est identique à celui exercé chez la variété Merveilles (Figure 08).

Ainsi, les groupes homogènes obtenus par le test Newman et Keuls, après l'ANOVA, sont identiques à ceux obtenus chez la variété Merveille :

- le groupe **a** représenté par la concentration de 0,61 mol/l de Mannitol
- le groupe **b** représenté par les concentrations de 0,42 mol/l et 0,54 mol/l de Mannitol
- le groupe **c** représenté par le témoin et les concentrations de 0,1 à 0,34 mol/l de Mannitol

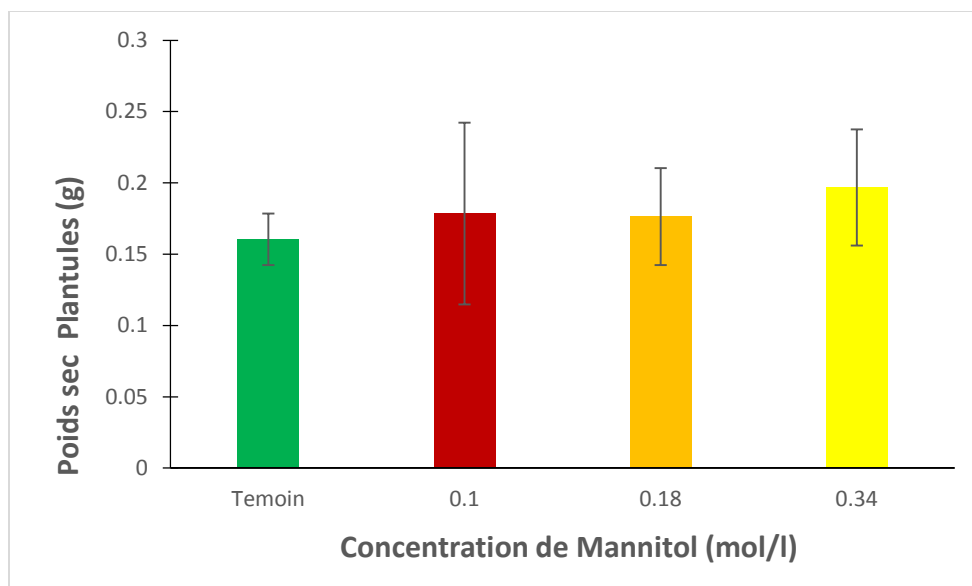


**Figure 08** :Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le temps moyen de germination de la variété Onward de pois potager, après 15 jours de mise en germination.

## 1-2-Effet sur le poids sec des plantules (PS)

### 1-2-1-Sur la variété Merveille

Chez la variété Merveille, les concentrations de 0,1mol/l à 0,34mol/l n'ont pas affecté d'une manière statistiquement significative le poids sec des plantules (Figure 09). Au-delà de 0,34mol/l nous n'avons pas pu suivre la croissance des plantules car nous avons obtenu très peu de plantules (nombre insuffisant pour le test statistique).



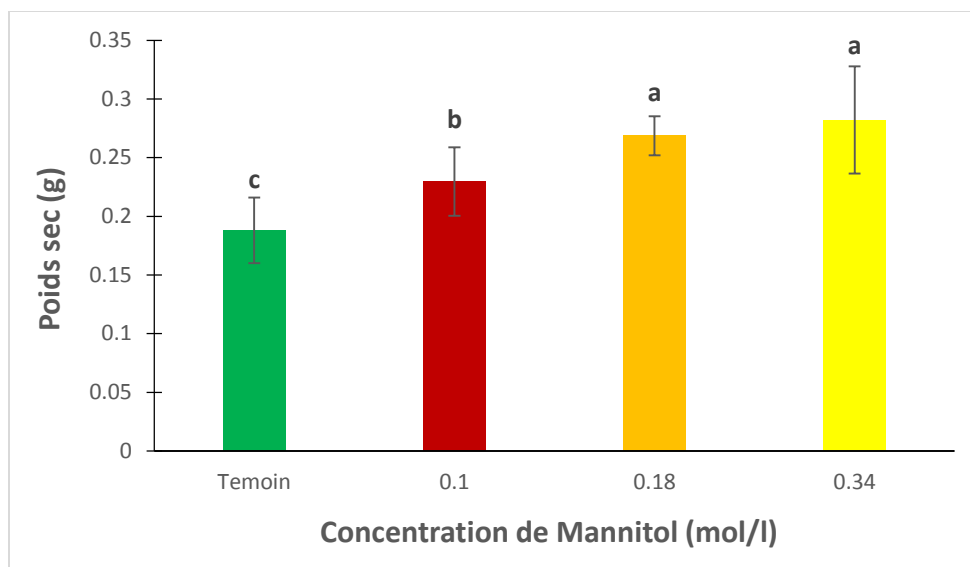
**Figure 09** :Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le pois sec des plantules de la variété Merveille de pois potager.

### 1-2-2-Sur la variété Onward

Les effets des différentes concentrations de Mannitol testées obtenus chez la variété Onward sont différents de ceux obtenus chez la variété Merveilles. Contrairement à nos prévisions, la croissance des plantules est stimulée aux doses de 0,1mol/l, 0,18mol/ et 0,34mol/l de Mannitol. Notons, cependant, que les boites témoins sont très contaminées par des bactéries et des champignons. Au delà de 0,34mol/l de Mannitol, comme chez la variété Merveilles, le nombre de plantules obtenu est insuffisant pour effectuer une analyse statistique.

Le test de Newman et Keuls, après l'ANOVA, distingue trois groupes homogènes :

- le groupe **a** représenté par les concentrations 0,18mol/l et 0,3mol/l de Mannitol
- le groupe **b** représenté par 0,1mol/l de Mannitol
- le groupe **c** représenté par le témoin



**Figure 10** :Effet de différentes concentrations de Mannitol sur le pois sec de la variété Onward de pois potager

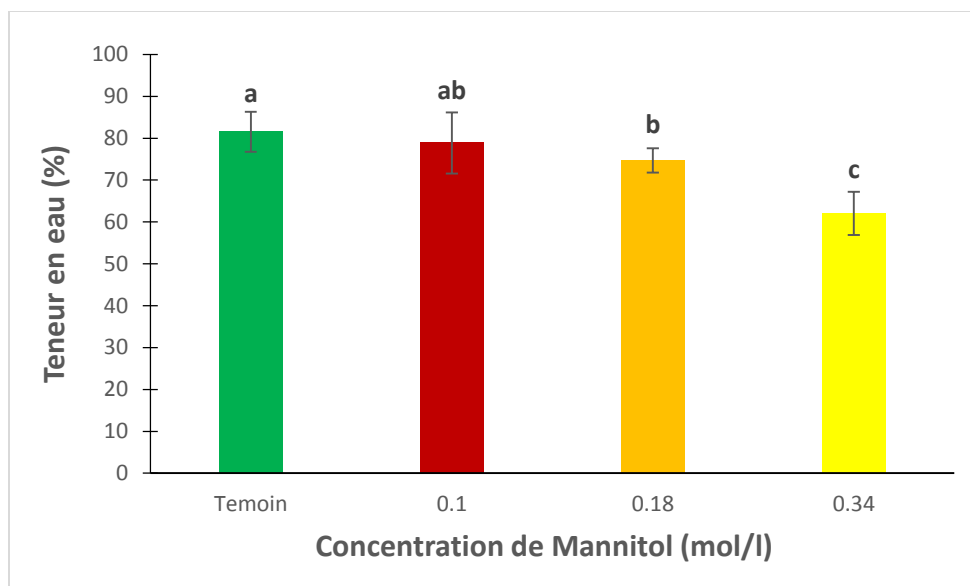
### 1-3-Effet sur la teneur en eau des plantules (TE)

#### 1-3-1-Sur la variété Merveille

La teneur en eau la plus élevée est observée chez le témoin (82%). Le Mannitol diminue significativement cette teneur en eau dès 0,1mol/l et c'est à 0,34mol/l que la teneur la plus faible (62 %) est enregistrée (Figure 11).

Le test de Newman et Keuls distingue quatre groupes homogènes :

- groupe **a** représenté par le témoin
- groupe **ab** représenté par 0,1mol/ de Mannitol
- groupe **b** représenté par 0,18mol/l de Mannitol
- groupe **c** représenté par 0,34mol/l de Mannitol



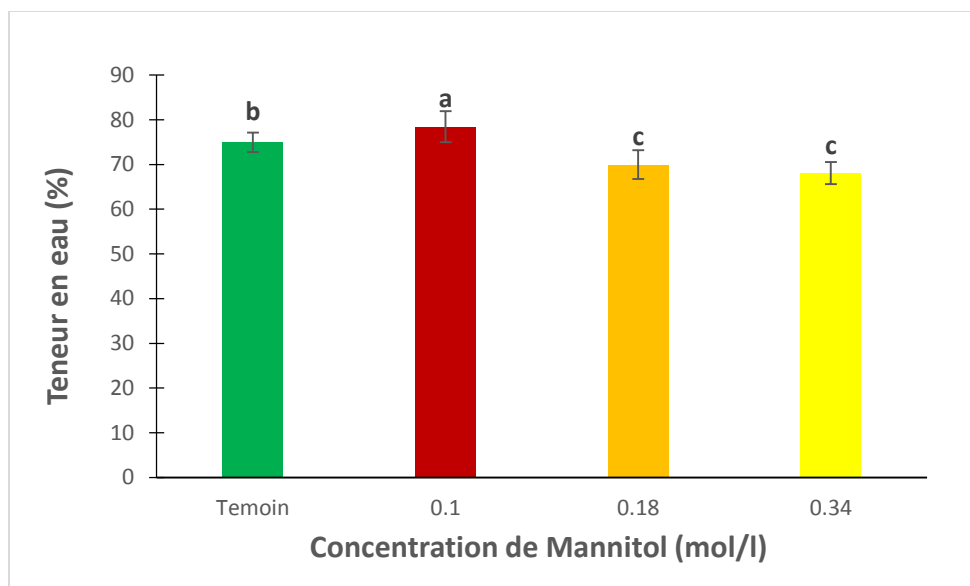
**Figure 11** : Effet de différentes concentrations de Mannitol sur la teneur en eau de la variété Merveille de pois potager

### 1-3-2-Sur la variété Onward

La teneur en eau des plantules à 0,1mol/l de Mannitol est statistiquement plus élevée (78%) que chez le témoin (75%) et les concentrations de 0,18mol/l et de 0,34mol/l de Mannitol diminuent significativement la teneur en eau qui sont de 70% et 68% respectivement (Figure 12).

Le test de Newman et Keuls, après l'ANOVA, distingue trois groupes homogènes :

- le groupe **a** représenté par la concentration de 0,1mol/l e Mannitol
- le groupe **b** représenté par le témoin
- le groupe **c** représenté par les concentrations de 0,18mol/l et 0,34mol/l



**Figure 12 :** Effet de différentes concentrations de Mannitol sur la teneur en eau de la variété Onward de pois potager

#### **1-4-Comparaison des effets du stress hydrique sur les deux variétés de pois potager Merveille et Onward**

Les réponses des deux variétés Merveilles et Onward face aux différentes pressions osmotiques appliquées sont globalement similaires pour les paramètres de germination (TG et TMG) et différentes pour la croissance et la teneur en eau (Tableau 02).

L'effet sur le taux de germination est identique chez les deux variétés à partir de -0,8MPa ; de -0,8 à -1,5MPa le TG n'est pas affecté et à -1,9 et -2,2MPa le TG est diminué d'une manière significative. De même, le temps moyen de germination est affecté de la même manière chez les deux variétés ; les pressions de -0,4 à -1,2 MPa n'ont eu aucun effet sur le TMG et les pressions de -1,5 à -2,2 MPa ont augmenté significativement le TMG (Tableau 02).

L'effet sur la croissance est différent à -0,4 et -0,8MPa chez les deux variétés ; le poids sec des plantules est augmenté chez Onward alors qu'il n'est pas affecté chez Merveille (Tableau 02).

La teneur en eau des plantules est diminuée dès -0,4MPa chez la variété Merveille alors que cette diminution n'est observée qu'à partir de -0,8MPa chez la variété Onward (Tableau 02).

**Tableau 02** : Comparaison des effets du stress hydrique appliqué sur la germination, la croissance et la teneur en eau des variétés Merveille et Onward de pois potager

Paramètre mesuré	Taux de Germination (%)		Temps Moyen de Germination (jours)		Poids sec Plantules (g)		Teneur en eau Plantules (%)	
	Merveille	Onward	Merveille	Onward	Merveille	Onward	Merveille	Onward
Variété								
Pression Osmotique (MPa)								
-0,4	+	0	0	0	0	+	-	+
-0,8	0	0	0	0	0	+	-	-
-1,2	0	0	0	0	0	+	-	-
-1,5	0	0	+	+	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes
-1,9	-	-	+	+	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes
-2,2	-	-	+	+	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes	Pas de plantes

**0**: sans effet

**+**: effet positif

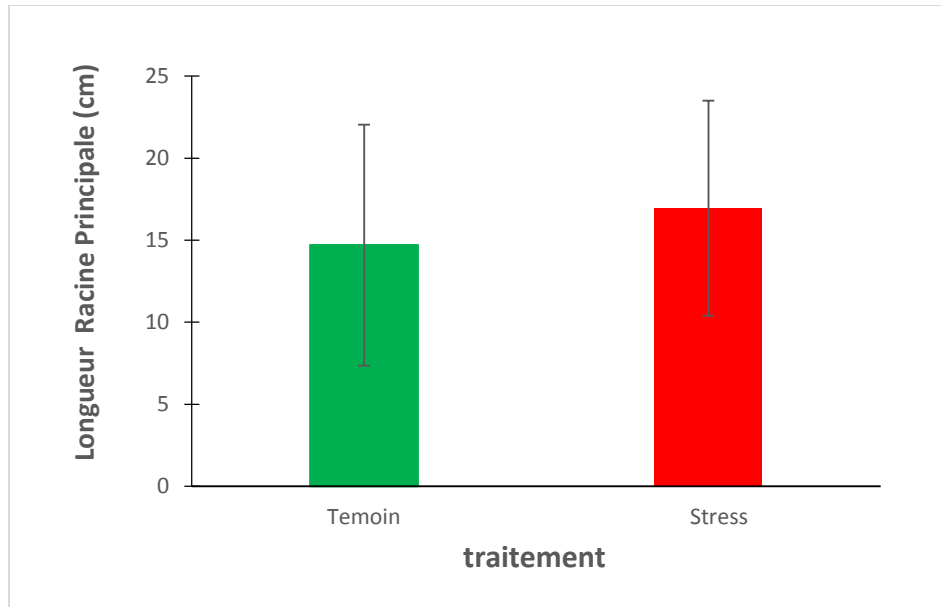
**-**: effet négatif

## 2-Effet du stress hydrique, *in vivo*, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la croissance et la physiologie de la variété Merveille de pois potager

### 2-1-Effet du stress hydrique sur la croissance

#### 2-1-1-Effet sur la longueur de la racine principale (LRP)

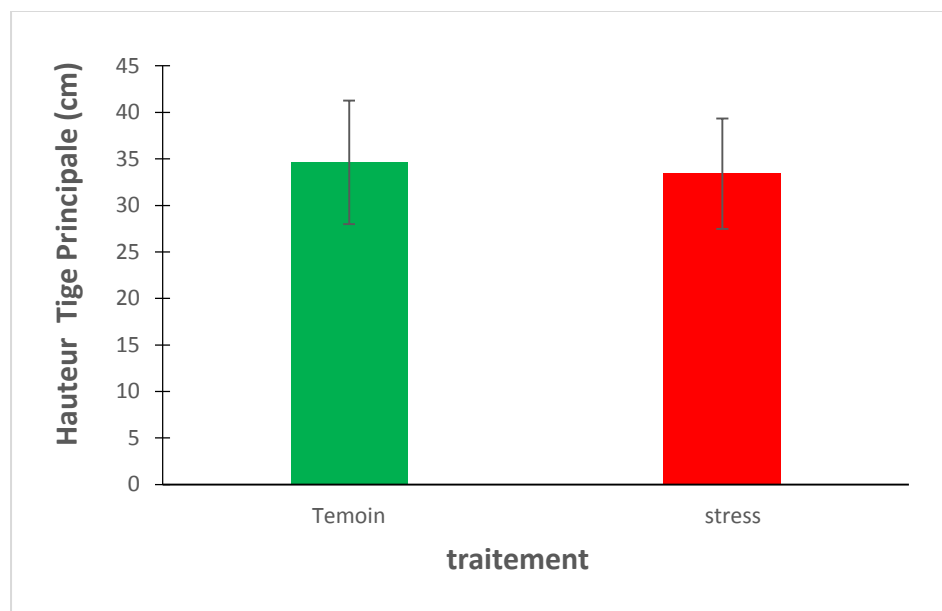
La longueur de la racine principale est de 15 cm chez les plants témoins et de 17 cm chez les plants soumis au stress hydrique mais cette différence n'est pas statistiquement significative selon le test de Kruskal-Wallis utilisé comme alternative non paramétrique à l'ANOVA (figure 13).



**Figure 13 :** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la longueur de la racine principale de la variété Merveille de pois potager

#### 2-1-2-Effet sur la hauteur de la tige principale (HTP)

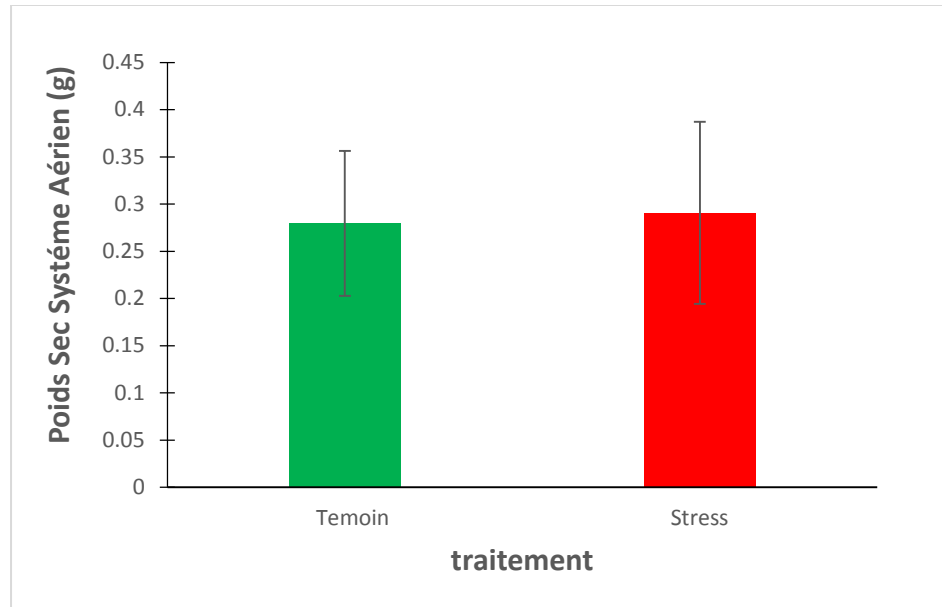
La hauteur de la tige principale n'est pas affectée par le stress hydrique. Elle est de 35 cm chez les plants témoins et de 34 cm chez les plants soumis au stress hydrique (figure 14). Le test d'analyse de variance ANOVA a montré que cette différence n'est pas significative.



**Figure 14** :Effet du stress hydrique,appliqué par arrêt d'arrosage, sur la hauteur de la tige principale de la variété Merveille de pois potager

#### 2-1-3- Effet sur le poids sec du système aérien (PSA)

le stress hydrique appliqué n'a pas eu d'effet significatif sur le poids sec du système aérien. Le poids sec du système aérien chez les plants témoins est de 0,2795 g et chez les plants stressés il est de 0,2907 g (figure 15).Le test d'analyse de la variance ANOVA a montré que cette différence n'est pas statistiquement significative.



**Figure 15** : Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le poids sec du système aérien de la variété Merveille de pois potager

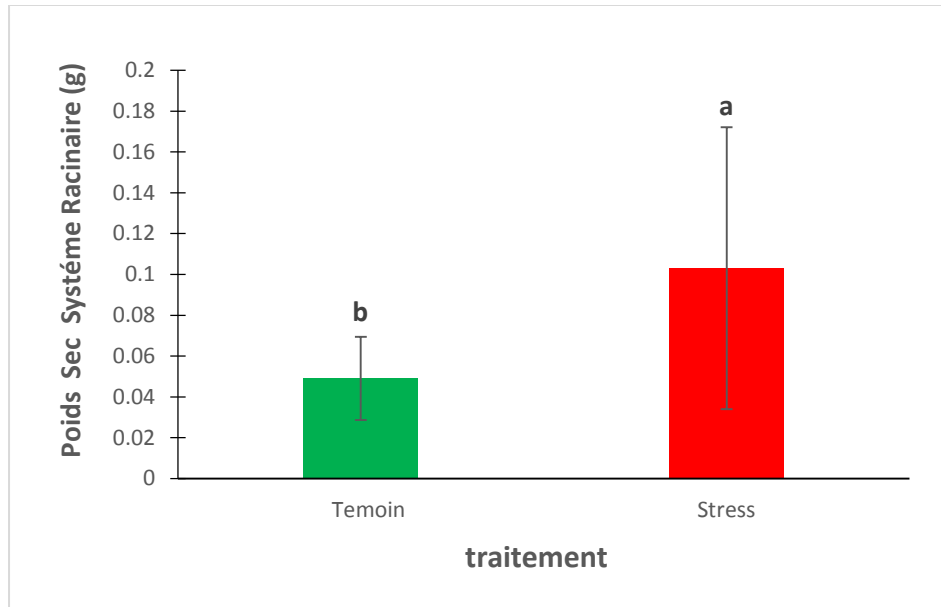
#### 2-1-4- Effet sur le poids sec du système racinaire (PSR)

Le stress hydrique a induit une augmentation du poids sec du système racinaire. Ce poids est de 0,049 g chez les plants témoins tandis qu'il atteint 0,103 g chez les plants soumis au stress hydrique ce qui équivaut à plus du double de celui des témoins ( figure 16).

Le test de Newman & Keuls, réalisé après le test de Kruskal-Wallis, utilisé comme alternative non paramétrique de l'ANOVA a révélé l'existence de deux groupes homogènes distincts :

-le groupe **a** : représenté par les plants stressés ayant enregistré la valeur la plus élevée

-le groupe **b** : représenté par les plants témoin ayant enregistré la plus faible valeur

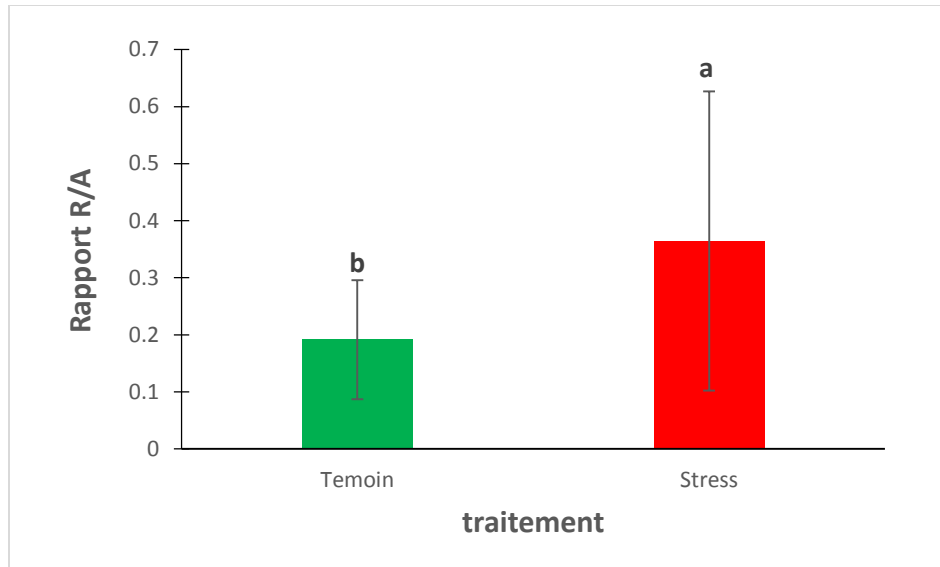


**Figure 16** : Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le poids sec du système racinaire de la variété Merveille de pois potager

#### 2-1-5-Effet sur le rapport Poids Système Racinaire/ Poids Système Aérien (R/A)

Le stress hydrique appliqué a provoqué une augmentation du rapport R/A. Ce rapport est de 0,1913 chez les plants témoins et il atteint 0,3645 chez les plants stressés ( figure 17). Le test de Newman et Keuls, réalisé après l'ANOVA, a montré l'existence de deux groupes homogènes :

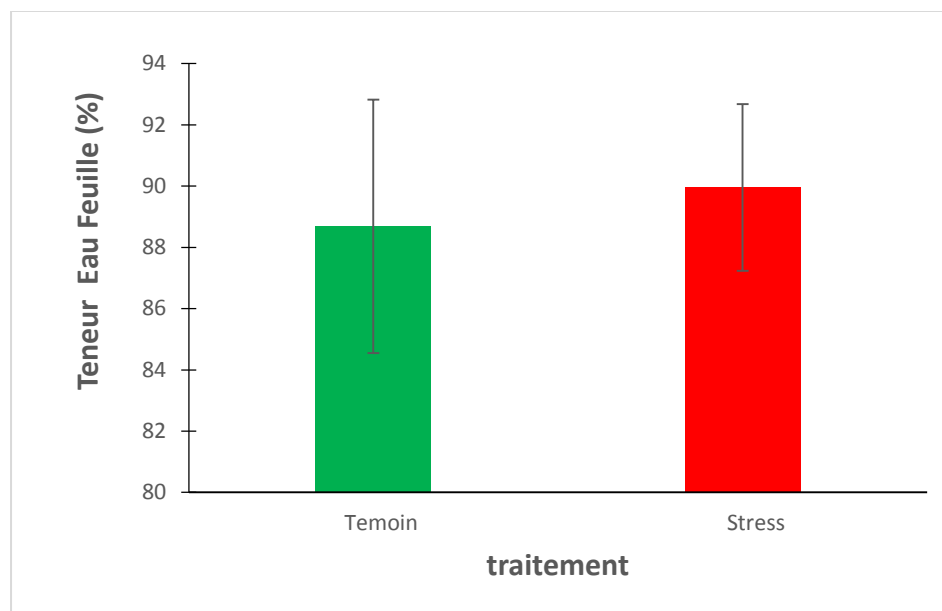
- le groupe **a** : représenté par les plants stressés avec le rapport R/A élevé.
- le groupe **b** : représenté par les plants témoins avec le rapport R/A faible



**Figure 17 :** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le rapport Système racinaire/Système aérien (R/A) de la variété Merveille de pois potager

#### 2-2-Effet du stress hydrique sur la teneur en eau des feuilles (TEF)

Les teneurs en eau des feuilles des plants témoins (89%) et des plants non arrosés (90%) sont très proches (figure 18). Le test de Kruskal-Wallis n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre ces teneurs en eau. Ainsi, un arrêt d'arrosage de 27 jours n'a pas affecté ce paramètre.



**Figure 18** :Effet du stress hydrique, par arrêt d’arrosage, sur la teneur en eau des feuilles de la variété Merveille de pois potager

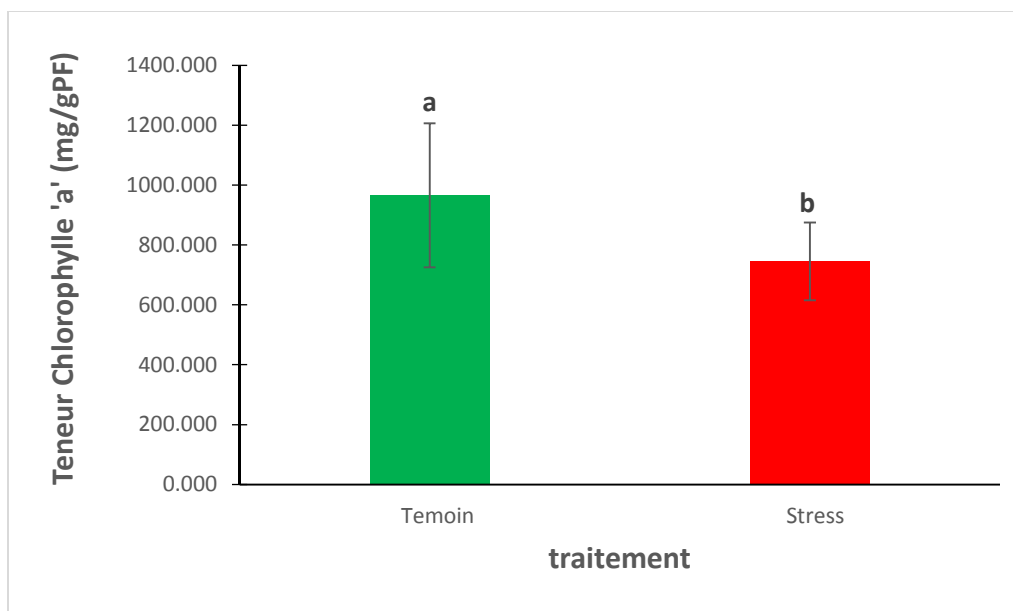
### 2-3-Effet du stress hydrique sur la teneur en pigments

#### 2-3-1-Effet sur la teneur en chlorophylle a

Le stress hydrique a provoqué une diminution significative de la teneur en chlorophylle ‘a’. Cette teneur est de 1,38 mg/g PF chez les plants témoins contre environ 1,01 mg/g PF chez les plants stressés( figure 19).Le test de Newman & Keuls, réalisé après le test de Kruskal-Wallis a distingué deux groupes homogènes :

-le groupe **a** : représenté par le témoin ayant enregistré la valeur élevée.

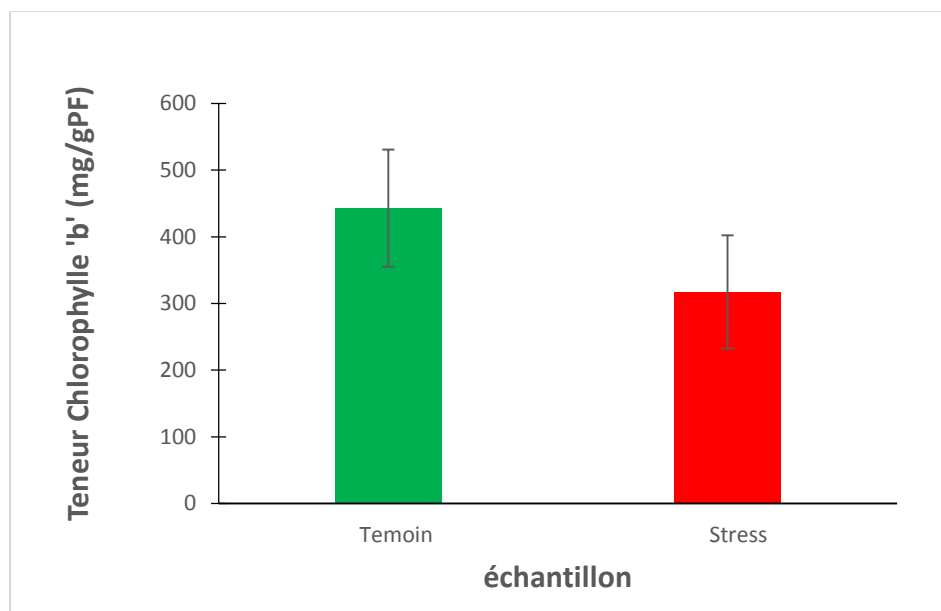
-le groupe **b** : représenté par les plants stressés ayant enregistré la valeur faible.



**Figure 19 :** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Chlorophylle a de la variété Merveille de pois potager

### 2-3-2-Effet sur la teneur en chlorophylle b

La diminution de la teneur en chlorophylle b observée chez les plants soumis au stress hydrique qui est de 0,30 mg/gPF par rapport à celle des plants témoins qui est de 0,39 mg/g PF n'est pas statistiquement significative selon Le test d'analyse de la variance ANOVA a montré que cette différence n'est pas statistiquement significative. (figure 20).

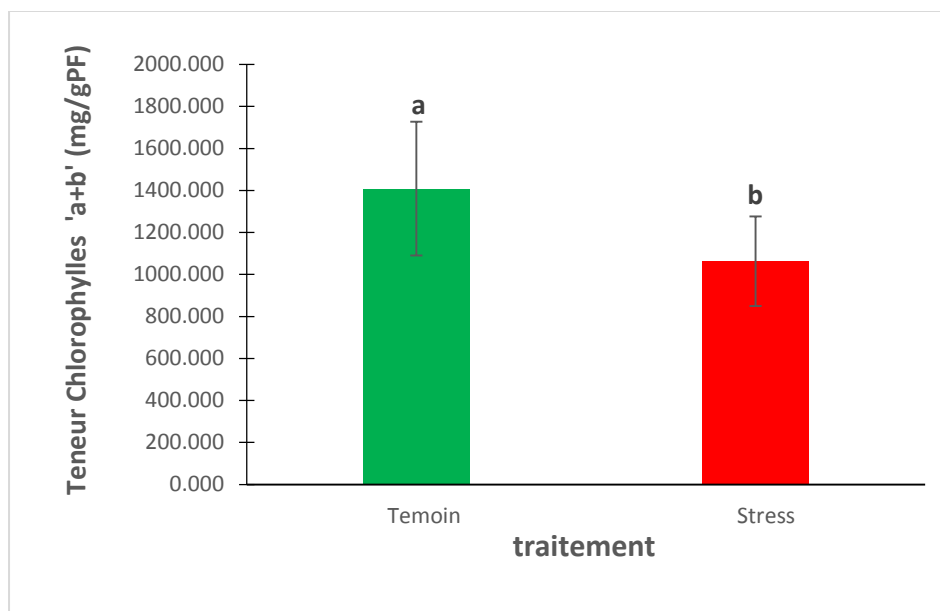


**Figure 20:** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Chlorophylle b de la variété Merveille de pois potager

### 2-3-3-Effet sur la teneur en chlorophylles a+b

Le stress hydrique a provoqué une diminution de la teneur en chlorophylle a+b. Cette teneur qui est de 1409,219 mg/g PF chez les plants témoins a chuté à 1062,590 mg/g PF chez les plants soumis au stress hydrique (Figure 21). Le test de Newman et Keuls, réalisé après l'analyse de la variance ANOVA a révélé l'existence de deux groupes homogènes distincts :

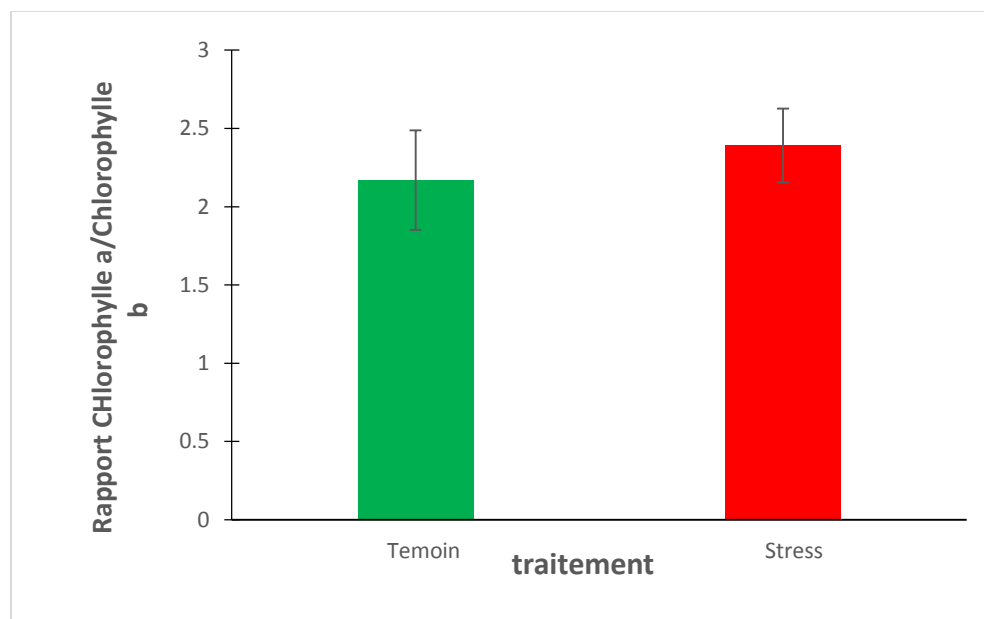
- le groupe **a** : représenté par les témoins ayant enregistré la teneur en chlorophylle élevée
- le groupe **b**: représenté par les plants stressés ayant enregistré la teneur faible.



**Figure 21** : Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le teneur en Chlorophylles a+b de la variété Merveille de pois potager

#### 2-3-4-Effet sur le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b

Le stress hydrique appliqué n'a pas exercé d'effet significatif sur le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b. Ce rapport est de 2,1704 chez les plants témoins et de 2,3904 chez les plants stressés. L'analyse de la variance ANOVA a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les témoins et les stressés (figure 22).

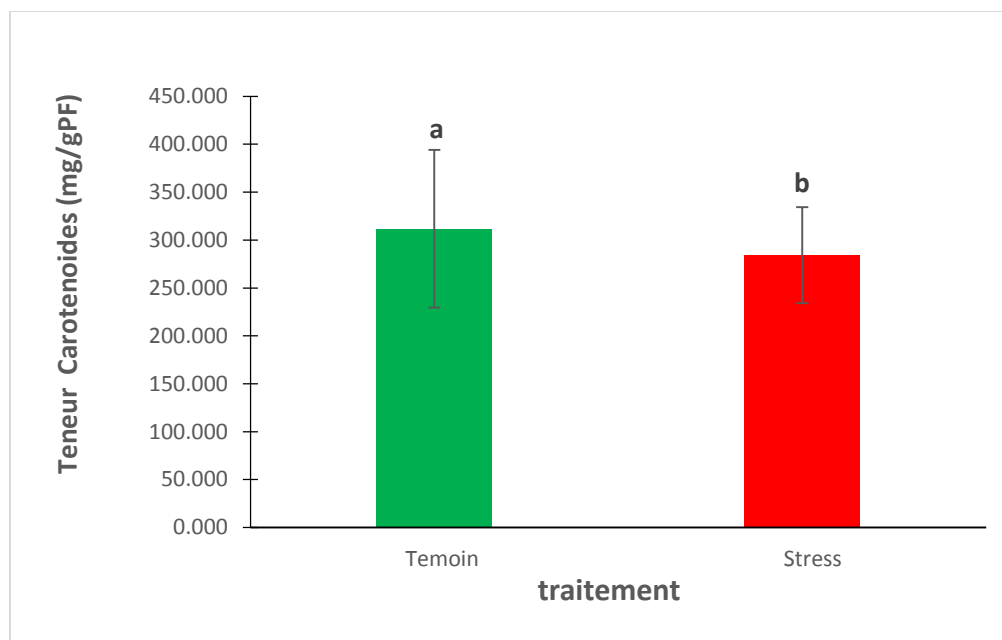


**Figure 22 :** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b de la variété Merveille de pois potager

### 2-3-5-Effet sur la teneur en caroténoïdes

Le stress hydrique a provoqué une réduction significative de la teneur en caroténoïdes. Cette teneur est de 0,59 mg/gPF chez les plants témoins et de 0,44 mg/gPF chez les plants stressés (figure 23). Le test de Newman & Keuls, appliqué après le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence l'existence de deux groupes homogènes distincts :

- le groupe **a** : correspondant aux plants témoins avec la teneur élevée.
- le groupe **b** : correspondant aux plants stressés avec la valeur faible



**Figure 23:** Effet du stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, sur la teneur en Caroténoïdes de la variété Merveille de pois potager

#### **2-4-Synthèse des réponses morpho-physiologiques de la variété Merveille de pois potager face au stress hydrique**

Le stress hydrique, appliqué par arrêt d'arrosage, n'a eu aucun effet sur la longueur de la racine principale, la hauteur de la tige principale et le poids sec du système aérien mais a stimulé la croissance du système racinaire ce qui a induit une augmentation du rapport Poids Sec Système Racinaire/Poids Sec Système Aérien (Tableau 03).

La teneur en eau des feuilles n'est pas diminuée par 27 jours d'arrêt d'arrosage (Tableau 03).

L'arrêt d'arrosage a provoqué une diminution significative des teneurs en Chlorophylles a et en Caroténoïdes mais n'a pas affecté les teneurs en Chlorophylles totales et en Chlorophylle b ainsi que le rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b (Tableau 03).

**Tableau 03** :Synthèse des réponses morpho-physiologiques de la variété Merveille de pois potager face au stress hydrique

Paramètre mesuré	Effet
Longueur de la racine principale (cm)	0
Hauteur de la tige principale (cm)	0
Poids sec du système aérien (g)	0
Poids sec du système racinaire (g)	+
Poids Système Racinaire/ Poids Système Aérien	+
Teneur en eau des feuilles (%)	0
Teneur en chlorophylle a (mg/gPF)	-
Teneur en chlorophylle b(mg/gPF)	0
Teneur en chlorophylle a+b(mg/gPF)	-
Rapport Chlorophylle a/Chlorophylle b	0
Teneur en caroténoïdes(mg/gPF)	-

**0:** sans effet

**+:** effet positif

**-:** effet négatif

### 3-Discussion

Le but de cette étude est l'évaluation de l'effet du stress hydrique sur le comportement de deux variétés étrangères de pois potager *Pisum sativum hortense* L., introduites et cultivées en Algérie.

La première partie, réalisée *in vitro*, est consacrée à l'évaluation de l'effet de différentes intensités de stress hydrique simulé par différentes pressions osmotiques induites par différentes concentrations de Mannitol sur la germination, le premier stade de croissance et la teneur en eau des variétés Merveille et Onward.

La seconde partie *in vivo* est réalisée pour l'évaluation de l'effet du stress hydrique induit par un arrêt d'arrosage d'une durée de 27 jours sur la variété Merveille par la mesure de différents paramètres morpho-pysiologiques.

**Etude *in vitro***

Les résultats obtenus montrent que les différentes pressions osmotiques appliquées ont, globalement, eu le même effet sur la germination des deux variétés : le TG diminue significativement à partir de -1,9MPa et le TMG a commencé à augmenter d'une manière significative à partir de -1,5MPa. La croissance évaluée par le poids sec des plantules après 20 jours de mise en germination est stimulée aux pressions de -0,4, -0,8 et -1,2MPa chez Onward alors que cette stimulation n'est observée qu'à -1,2MPa chez Merveille, cependant, au-delà de -1,2 aucune plantule des deux variétés n'a survécu. La teneur en eau des plantules de Merveille est diminuée dès -0,4MPa alors que celle de Onward a diminué à partir de -0,8MPa.

De nombreuses études ont montré que les réponses des variétés de *Pisum sativum* face au stress hydrique sont différentes. La diminution des taux de germination obtenue à -1,9 et -2,2MPa chez les variétés Merveille et Onward est en accord avec les résultats de Maksimović *et al.* (2020) chez les variétés Petit Provençal et Joff et de Okçu *et al.* (2005) chez trois géotypes différents Bolero, Sprinter, Utrillo de *Pisum sativum* et de Haddadene et Moudir (2023) et de Makhloufi *et al.* (2024) chez la variété Sefrou de *P. sativum arvense*. Contrairement à nos résultats Ibouichene et Sai (2024) ont noté une diminution des TG chez deux autres variétés Reyna et Utrillo de *P. sativum* dès -0,4MPa.

L'augmentation du TMG observé à partir de -1,5MPa chez Onward et Merveille est déjà observée chez d'autres variétés de *Pisum sativum* (Okçu *et al.*, 2005) et chez la variété Sefrou de *Pisum sativum arvense* (Haddadene et Moudir, 2023 ; Makhloufi *et al.*, 2024). Ibouichene et Sai (2024) ont montré que le TMG n'est pas affecté jusqu'à une pression de -2,2MPa chez la variété Reyna de la même espèce de pois.

L'effet positif exercé par le stress hydrique appliqué sur la croissance chez les deux variétés étudiées a préalablement été observé par Haddadene et Moudir (2023) chez la variété Sefrou de *P. sativum arvense* alors que Okçu *et al.* (2005) ont montré un effet négatif dès une pression de -0,2MPa et jusqu'à -0,8MPa chez trois variétés de pois potager (Bolero, Sprinter, Utrillo). Signalons, cependant, que les boîtes de Pétri arrosées avec les concentrations élevées de Mannitol étaient les moins contaminées par les bactéries et les champignons donc les plantules ayant poussé dans ces boîtes étaient moins infectées.

La diminution de la TE obtenue chez Merveille et Onward a également été observée chez les variétés Bolero, Sprinter, Utrillo (Okçu *et al.*, 2005) et les variétés Reyna et Utrillo de pois potager (Kachout, 2021) et de la variété Sefrou de pois fourrager (Haddadene et Moudir, 2023).

L'inhibition de la germination reflète une diminution de la capacité d'absorption de l'eau due à l'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui entrave l'imbibition nécessaire au déclenchement des réactions métaboliques au sein de la graine (Slama *et al.*, 2005 ; Hopkins, 2003). Le retard ou l'absence de germination peut également s'expliquer par un dysfonctionnement des hydrolases, enzymes essentielles à la mobilisation des réserves nutritives, ainsi qu'à une perturbation d'autres enzymes comme les polyphénol oxydases et les protéases, dont l'activité devrait normalement augmenter pour initier la germination (Naddem *et al.*, 2019 ; Laxmi *et al.*, 2015). Par ailleurs, l'acide abscissique (ABA) joue un rôle clé dans l'inhibition de la germination en situation de sécheresse, en activant l'expression de gènes induisant la dormance des graines afin de préserver leur viabilité en conditions défavorables (Fortier, 2006 ; Seki *et al.*, 2007).

### **Etude *in vivo***

Le stress hydrique appliqué par un arrêt d'arrosage de 27 jours n'a pas eu d'impact significatif sur la longueur de la racine principale, la hauteur de la tige principale et la biomasse sèche de la partie aérienne mais a stimulé la croissance du système racinaire. La teneur en eau des feuilles n'est pas affectée après 27 jours d'arrêt d'arrosage. Concernant les pigments, une baisse de la teneur en chlorophylle a, en chlorophylles a + b et en caroténoïdes a été observée chez les plants non arrosés alors que le taux de chlorophylle b et le rapport chlorophylle a/chlorophylle b ne sont pas affectés.

Les résultats obtenus pour la longueur des racines et de hauteur de la tige principale sont similaires à ceux de Djebbar (2023) chez les variétés Kelvedon et Onward de pois potager et d'autres espèces de légumineuses (Bukan *et al.*, 2024 ; Dayoub *et al.*, 2021) et sont contraires aux résultats de Bodah *et al.* (2015) qui ont constaté une augmentation de la hauteur totale des tiges et des racines chez les variétés Banner et Aragorn de pois potager.

L'augmentation significative du poids sec du système racinaire et du rapport Poids sec système racinaire / Poids sec système aérien a déjà été observée par Djebbar (2023) chez les

variétés Kelvedon et Onward de pois potager et chez d'autres légumineuses (Brandão *et al.*, 2024 ; Kumar *et al.*, 2012).

Une augmentation significative du poids sec du système racinaire est souvent provoqué par le stress hydrique. En effet, les plantes ont tendance à favoriser le développement du système racinaire au détriment de la partie aérienne afin d'explorer un plus grand volume de substrat à la recherche d'eau suggérant un ajustement adaptatif caractérisé par un rééquilibrage de l'allocation racine/tige, souvent considéré comme un marqueur de tolérance au stress hydrique (Sharp *et al.*, 2004 ; Comas *et al.*, 2013).

Contrairement à nos résultats où le maintien d'un état hydrique chez les plants stressés identique à celui des plants témoins est observé, la teneur en eau des feuilles est, généralement, diminuée par le stress hydrique chez de nombreuses espèces de légumineuses (Sree *et al.*, 2023 ; Talukdar, 2013).

Le maintien d'une teneur en eau élevée dans la feuilles peut indiquer une bonne capacité d'absorption de l'eau ou une limitation des pertes en eau *via* la transpiration, probablement grâce à une fermeture partielle des stomates, toutefois, il conviendrait d'appuyer cette interprétation par des mesures supplémentaires comme la conductance stomatique ou le potentiel hydrique foliaire (Taiz *et al.*, 2015).

L'effet du stress hydrique sur les teneurs en pigments varient également d'une espèce à une autre mais aussi entre variétés de la même espèce (Al-Quraan *et al.*, 2021 ; Sree *et al.*, 2023 ; Talukdar, 2013 ; Iturbe-Ormaetxe *et al.*, 1998). La diminution des teneurs en chlorophylle a et en caroténoïdes provoquée par le stress hydrique chez la variété Merveille a été précédemment observée chez d'autres variétés de pois qui ont, cependant, montré aussi une diminution des taux de chlorophylle b (Al-Quraan *et al.*, 2021 ; Iturbe-Ormaetxe *et al.*, 1998). Comme chez la variété Merveille étudiée, chez d'autres espèces de légumineuses le stress hydrique diminue le taux de chlorophylle a mais n'affecte pas le taux de chlorophylle b (Talukdar, 2013).

La réduction des teneurs en chlorophylle a, en chlorophylles totales (a + b) et en caroténoïdes observée est typique de l'effet du stress hydrique, lequel peut altérer la biosynthèse ou accélérer la dégradation des pigments *via* la production de stress oxydatif (Anjum *et al.*, 2011). La baisse des caroténoïdes, pourtant connus pour leur rôle protecteur contre les espèces

réactives de l'oxygène (ROS) peut indiquer une saturation du système antioxydant de la plante (Taiz *et al.*, 2015 )

En revanche, la teneur en chlorophylle b et le rapport a/b maintenus constants indiqueraient que la structure des complexes antennaires photosynthétiques est encore maintenue, du moins partiellement ; cette stabilité pourrait traduire une réponse ciblée de la dégradation pigmentaire, affectant plus fortement la chlorophylle a liée aux centres réactionnels (Lichtenthaler et Burkart, 1999).

## **Conclusion**

## Conclusion

---

L'objectif de ce mémoire est l'étude du comportement de variétés de pois potager *Pisum sativum hortense* L. introduites en Algérie face au stress hydrique.

La première partie, réalisée *in vitro*, est consacrée à l'étude de l'effet de différentes intensités de stress hydrique simulé par différentes pressions osmotiques induites par différentes concentrations de Mannitol sur la germination, le début de croissance et la teneur en eau des plantules des variétés Merveille et Onward.

Les résultats obtenus ont montré l'existence de similitude et de différences de comportement de ces deux variétés face au stress hydrique. La germination est affectée globalement de la même manière chez les deux variétés : un retard de germination montré par une augmentation du TMG dès -1,5MPa et une diminution dès -0,4MPa chez Onward et dès -0,8MPa chez Merveille. Les paramètres de germination TG et TMG sont négativement affectés chez les deux variétés. La teneur en eau diminue dès -0,4 chez Merveille et dès -0,8MPa chez Onward. La croissance est stimulée dès -0,4MPa chez Onward alors qu'elle n'est pas affectée chez Merveille.

L'existence de différences interspécifiques et intraspécifiques face au stress hydrique sont souvent signalées.

La deuxième partie consacrée à l'étude, *in vivo*, de l'effet du stress hydrique, induit par arrêt d'arrosage pendant 27 jours, chez la variété Merveille, par la mesure de différents paramètres morpho-physiologiques a montré le maintien de la croissance de la partie aérienne (Hauteur de la tige principale et Poids sec du système aérien non affectés), de la teneur en eau, du taux de la chlorophylle b et du rapport chlorophylle a /chlorophylle b, une augmentation de la croissance du système racinaire et du rapport Poids Sec Système racinaire/Poids Sec Aérien et une diminution des taux de la chlorophylle a et des caroténoïdes.

Ces résultats confirment ceux obtenus chez d'autres espèces et d'autres variétés de *Pisum sativum* L.

## Conclusion

---

### Perspectives

Cette étude représente une première étape vers l'identification des variétés les plus tolérantes aux environnements extrêmes. Toutefois, ces résultats demeurent préliminaires et nécessitent des études complémentaires incluant des stades de développement plus avancés et des critères de rendement plus précis, afin d'assurer une sélection optimale des variétés adaptées à la culture dans les zones exposées à la sécheresse.

## **Références Bibliographiques**

---

## Références Bibliographiques

---

### Références Bibliographiques

- Alan, R. W. (1984). *Vegetable Production and Practices*. Springer.
- Al-Quraan, N. A., Al-Ajlouni, Z. I., & Qawasma, N. F. (2021). Physiological and biochemical characterization of the GABA shunt pathway in pea (*Pisum sativum* L.) seedlings under drought stress. *Horticulturae*, 7(6), 125.  
aminés des graines de pois en fonction de leur taux d'azote. *Sciences des aliments*, 7(2), 301-324.
- Androsaff, A., El-Mourid, M., & Benchekroun, H. (1995). Les légumineuses dans la fertilisation biologique des sols. CIHEAM - Options Méditerranéennes.
- Anjum, S. A., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6(9), 2026-2032.
- Attia F. 2007. Effet du stress hydrique sur le comportement écophysologique et la maturité phénologique de la vigne (*Vitis vinifera* L.) : Etude de cinq cépages autochtones de Midi-Pyrénées. Thèse INP, Toulouse (France), 194 p.
- Aya, K., Ueguchi-Tanaka, M., Kondo, M., Hamada, K., Yano, K., Nishimura, M., & Matsuoka, M. (2011). Gibberellin modulates anther development in rice via the transcriptional regulation of GAMYB. *The Plant Cell*, 23(6), 2095–2105.
- Ayed, F. S. B., Bouhadida, M., Saadi, I., Sakkouhi, H., & Kharrat, M. (2017, January). Caractérisation agro-morphologique et moléculaire de quelques lignées de pois (*Pisum sativum* L.). In *Annales de l'Inrat* (Vol. 389, No. 5361, pp. 1-20). National Institute of Agricultural Research of Tunisia.
- Ben Naceur, M., Rezgui, S., & Aouani, M. E. (1999). Sélection de légumineuses adaptées aux conditions arides en Tunisie. *Options Méditerranéennes*.
- Ben-Naceur, M. B., Nailly, M., & Selmi, M. (1999). Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé, sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et les composantes du rendement.
- Bensaadi, Z. (2011). Effets des facteurs abiotiques sur la germination des plantes. Mémoire de Master, Université de Constantine.

## Références Bibliographiques

---

- Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: Physiology of Development and Germination* (2nd ed.). New York : Plenum Press.
- Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
- Blicharz, S., Beemster, G. T. S., Ragni, L., De Diego, N., Spíchal, L., Hernández, A. E., Marczak, Ł., Olszak, M., Perlikowski, D., Kosmala, A., & Malinowski, R. (2021). Phloem exudate metabolic content reflects the response to water-deficit stress in pea plants (*Pisum sativum* L.). *The Plant Journal*, 106(5), 1338-1355.
- Bodah, E. T., Braunwart, K., Bodah, B. W., & Neckel, A. (2015). A rapid morphological screening procedure for pea (*Pisum sativum* L.) under drought stress in greenhouse settings.
- Boyeldieu, J. (2003). Le pois protéagineux, INA P-G Département AGER – 2003. P4.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443–448.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218(4571), 443-448.
- Boyer, P. (1982). Quelques aspects de l'action des termites du sol sur les argiles. *Clay minerals*, 17(4), 453-462.
- Bozoğlu, H., Pekşen, E., & Gülümser, A. (2004). Sıra aralığı ve potasyum humat uygulamasının bezelyenin verim ve bazı özelliklerine etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 10(01), 53-58.
- Brandão, R. V., Cantuário, F. S. D., Bento-da-Silva, E. P. D. P., Mesquita, M., & Moraes, M. G. D. (2024). Water deficit affects leaf non-structural carbohydrates and biomass partitioning in chickpea. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 54, e79442.
- Bray, E. A. (1989). Gene expression during environmental stress and its regulation by abscisic acid.
- Bukan, M., Kereša, S., Pejić, I., Sudarić, A., Lovrić, A., & Šarčević, H. (2024). Variability of root and shoot traits under PEG-induced drought stress at an early vegetative growth stage of soybean. *Agronomy*, 14(6), 1188.
- Cavaillès, J. (2009). Les légumineuses dans la rotation des cultures : intérêts agronomiques et environnementaux. *Revue Fourrages*, 198, 155–168.
- Chameil, P. (2006). Effets du gel sur les plantes : mécanismes et réponses physiologiques. INRA.

## Références Bibliographiques

---

- Chaussat, R. (1999). Physiologie végétale : Croissance et développement. Paris : Éditions Masson.
- Chaux, C., & Foury, C. (1994). production légumière, ed JB Ballière et Fils.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P., Osório, M. L., Carvalho, I., Faria, T., & Pinheiro, C. (2002). How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, 89 Spec No(7), 907–916. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf105>
- Comas, L. H., Becker, S. R., Cruz, V. M. V., Byrne, P. F., & Dierig, D. A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in plant science*, 4, 442.
- Côme, D. (1982). Germination des semences : bases physiologiques.
- Cousin r., 1996. Le pois variabilité objectifs des sélection, station génétique et amélioration
- Cousin, R. (1997). Peas (*Pisum sativum* L.). *Field crops research*, 53(1-3), 111-130.
- Cruz de Carvalho M. H. (2008). Drought stress and reactive oxygen species: Production, scavenging and signaling. *Plant signaling & behavior*, 3(3), 156–165. <https://doi.org/10.4161/psb.3.3.5536>
- Dayoub, E., Lamichhane, J. R., Schoving, C., Debaeke, P., & Maury, P. (2021). Early-stage phenotyping of root traits provides insights into the drought tolerance level of soybean cultivars. *Agronomy*, 11(1), 188.
- des plantes, inra, paris,1-4p
- Dita, M. A., Barros, M. M., & Fancelli, A. L. (2006). Impact of water stress on legumes: mechanisms and productivity. *Tropical Plant Pathology*, 31(4), 312–318.
- Dita, M. A., Rispaïl, N., Prats, E., Rubiales, D., & Singh, K. B. (2006). Biotechnology approaches to overcome biotic and abiotic stress constraints in legumes. *Euphytica*, 147, 1-24.
- Dolan , D. D.(1972).Temperature, Photoperiod, and Light Intensity Effects on Growth of *Pisum sativum* L.Crop Science,Vol. 12(1), 60-62.
- Dorin, B., Dumas, P., & Rousset, S. (2011). Scénarios de production agricole et de sécurité alimentaire mondiale à l’horizon 2050. CIRAD-INRA.
- Du Bruising, T. (2015). Economic importance and low-input benefits of pulse crops. *Agricultural Economics Review*, 27(2), 45–54.

## Références Bibliographiques

---

- Duarte, A. P., Silva, F. C., & Mendes, M. I. (2024). Agroecological role of legumes in sustainable cropping systems. *Agronomy Journal*, 116(1), 45–58.
- Dubey, Y. P., & Datt, N. (2014). Influence of organic, inorganic and integrated use of nutrients on productivity and quality of pea (*Pisum sativum*) vis-à-vis soil properties. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 84(10), 1195-1200.
- Duc, G. (1981). *Le pois : biologie et amélioration génétique*. INRA.
- Duke, J. (2012). *Handbook of legumes of world economic importance*. Springer Science & Business Media.
- Escalona J. M., Tomás M., Martorell S., Medrano H., Ribas-Carbo M., Flexas J. 2012. Carbon balance in grapevines under different soil water supply: importance of whole plant respiration. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 18: 308-318.
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., ... & Huang, J. (2017). Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. *Frontiers in plant science*, 8, 1147.
- FAO. (2016). *La Révolution verte et ses impacts sur l’agriculture en Afrique du Nord*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- FAO. (2016). *Pulse crops: Nutritious seeds for a sustainable future*. Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture, Rome.
- FAO. (2021). *The impact of disasters and crises on agriculture and food security*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2021). *The impact of disasters and crises on agriculture and food security*. Rome: Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture.
- FAO. (2023). *Crop Prospects and Food Situation – Quarterly Global Report No. 2, July 2023*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- FAO. (2023). *World Pulses Day 2023 – Peas at the core of sustainability*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 185–212.
- Fauchoux, E. (2022). La sécheresse et ses effets sur les cultures en milieu méditerranéen. *Revue Agronomique Méditerranéenne*, 13(2), 117–123.

## Références Bibliographiques

---

- Feliachi, K., Amroun, R., & Khaldoun, A. (2001). Impact de la sécheresse sur la production des céréales cultivées dans le nord de l'Algérie. *Céréaliculture-ITGC Algérie*, 35, 28-34.
- Ferdaous, L., Mohammed, B., Nouzha, B., Hamid, L., & Aberrahim, L. (2015). Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *European Scientific Journal*, 11(11).
- Fortier, M. O. (2006). Le rôle de l'acide abscissique (ABA) dans la régulation de la dormance des graines en condition de stress hydrique. Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec.
- Gate, P., & Giban, J. (2003). La germination et les conditions de culture. In: *Physiologie du développement végétal*. Éditions Lavoisier, Paris.
- Gonçalves, J. de P., Gasparini, K., Picoli, E. A. de T., Costa, M. D. B. L., Araujo, W. L., Zsögön, A., & Ribeiro, D. M. (2024). Metabolic control of seed germination in legumes. *Journal of Plant Physiology*, 154206.
- Grela, E. R., Kiczorowska, B., Samolińska, W., Matras, J., Kiczorowski, P., Rybiński, W., & Hanczakowska, E. (2017). Chemical composition of leguminous seeds: part I—content of basic nutrients, amino acids, phytochemical compounds, and antioxidant activity. *European Food Research and Technology*, 243, 1385-1395.
- Haddadene, S., & Moudir, F. (2023). *Contribution à l'étude de l'influence des stress hydrique et thermique Sur la germination, la croissance et l'état hydrique de Pisum sativum arvence L. Variété Sefrou* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Harmankaya, M., Özcan, M. M., & Karadag, A. (2010). Nutritional and physicochemical properties of pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 193–195.
- Harmankaya, M., Özcan, M. M., Karadaş, S., & Ceyhan, E. (2010). Protein and mineral contents of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes grown in central Anatolian region of Turkey. *South West. J. Hort. Biol. Environ*, 1, 159-165.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Bhowmik, P. C., Hossain, M. A., Rahman, M. M., ... & Fujita, M. (2013). Potential use of halophytes to remediate saline soils. *BioMed Research International*, 2013, 589341.

## Références Bibliographiques

---

- Haskell, G. (1943). Cross-pollination in peas and its control. *Journal of Agricultural Science*, 33(1), 60–67.
- Heller, R., Esnault, R., & Lance, C. (2004). *Physiologie Végétale*. Paris : Dunod.
- Hopkins W.G, 2003. *Physiologie végétale*. traduction de la 2ème édition américaine par serge. R Ed. de Boeck, p 66-84.
- Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. De Boeck Supérieur.
- Ibourichene, O., & Sai, R. (2024). *Influence de différents stress abiotiques: hydrique salin et thermique sur la germination des variétés Reyna et Utrillo de pois (Pisum sativum L.)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Ilyas, D. M. (2023). Contribution à l'étude de l'effet de déficit hydrique sur le pois (*Pisum sativum L.*).
- Ismail, B., Hayes, K., & Tarek, M. (2009). Pea bioactives: A review on functional and health-promoting aspects. *Food Research International*, 42(8), 1043–1050.
- ITCMI. (2022). Rapport technique sur les conditions agro-climatiques favorables à la culture du pois en Algérie. Alger : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.
- Iturbe-Ormaetxe, I., Escuredo, P. R., Arrese-Igor, C., & Becana, M. (1998). Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. *Plant physiology*, 116(1), 173-181.
- Kachout, S. S., Ennajah, A., Srarfi, F., & Zoghlami, A. (2021). Salt and drought stress effects on germination and seedling growth on field pea (*Pisum sativum L.*).
- KAYA, Y., Palta, C., & Taner, S. (2002). Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performances in bread wheat genotypes across environments. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(5), 275-279.
- Keerthi Sree, Y., Lakra, N., Manorama, K., Ahlawat, Y., Zaid, A., Elansary, H. O., ... & Mahmoud, E. A. (2023). Drought-induced morpho-physiological, biochemical, metabolite responses and protein profiling of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Agronomy*, 13(7), 1814.
- Kramer, P. J. (1983). *Water Relations of Plants*. Academic Press.
- Kramer, P. J., & Boyer, J. S. (1995). *Water relations of plants and soils*. Academic Press.

## Références Bibliographiques

---

- Kumar, N., Nandwal, A. S., Waldia, R. S., Singh, S., Devi, S., Sharma, K. D., & Kumar, A. (2012). Drought tolerance in chickpea as evaluated by root characteristics, plant water status, membrane integrity and chlorophyll fluorescence techniques. *Experimental Agriculture*, 48(3), 378-387.
- La Rue, T. A., & Patterson, T. G. (1981). How much nitrogen do legumes fix?. *Advances in Agronomy*, 34, 15–38.
- Lamaze, T., Guivarc'h, A., & Grieu, P. (1994). Réponses physiologiques des plantes à la sécheresse. *Cahiers Agricultures*, 3, 249–259.
- Larcher, W. (2001). *Physiological plant ecology* (4th ed.). Springer-Verlag, Berlin.
- Larcon, P. (1991). Les légumes secs dans l'alimentation humaine. Éditions Quae.
- Laumont, H. & Crevasses, P. (1960). *Jardins et champs en Kabylie*. Alger : Institut de recherches agronomiques d'Algérie.
- Laxmi, A., Singh, A., & Jain, M. (2015). Stress and seed germination: a role for gene regulation. In *Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops* (pp. 27–38). Springer India.
- Lebon, E., Pellegrino, A., Louarn, G., & Lecoeur, J. (2006). Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. *Annals of botany*, 98(1), 175–185. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl085>
- Levitt, J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses* (2nd ed., Vol. I & II). Academic Press.
- Li, H., Li, X., Zhang, D., Liu, H., & Guan, K. (2013). Effects of drought stress on the seed germination and early seedling growth of the endemic desert plant *Eremosparton songoricum* (Fabaceae). *EXCLI journal*, 12, 89–101.
- Lichtenthaler, H. K., & Burkart, S. (1999). Photosynthesis and high light stress. *Bulg. J. Plant Physiol*, 25(3-4), 3-16.
- Lim, T. K., & Lim, T. K. (2012). *Pisum sativum*. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits*, 849-866.
- Lin, P. Y. (2012). Seed coat color and chemical composition in peas. *Plant Breeding*, 131(1), 112–117.
- Lopez-Carrillo, L., Lopez-Cervantes, M., & et al. (2009). Phytoestrogen intake and risk of gastric cancer in Mexico. *International Journal of Cancer*, 124(2), 430–435.

## Références Bibliographiques

---

- López-Carrillo, L., Suárez-López, L., & Torres-Sánchez, L. (2009). Detección del cáncer de mama en México: síntesis de los resultados de la Encuesta Nacional de Salud Reproductiva. *Salud pública de México*, 51(suppl 2), s345-s349.
- Maatougui, M. (1996). Étude comparative des principales légumineuses sèches en Algérie. Alger : Institut National de la Recherche Agronomique
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural). (2016). Importance économique de la culture du pois en Algérie. Alger : MADR.
- Makhloufi, H., Hannachi, L., Daoudi, H. & Medjebeur, D. (2024). Impact of drought stress on germination and seedling growth of three forage legumes species (Fabaceae). *Bulg. J. Agric. Sci.*, 30(6), 1040–1049
- Makhloufi, H., Hannachi, L., Daoudi, H. & Medjebeur, D. (2024). Impact of drought stress on germination and seedling growth of three forage legumes species (Fabaceae). *Bulg. J. Agric. Sci.*, 30(6), 1040–1049
- Maksimović, T., Janjić, N., Lubarda, B. (2020): Effect of different concentrations of mannitol on germination of pea seeds (*Pisum sativum* L.). *Agriculture and Forestry*, 66 (3): 65-72.
- Masson, P., & Gintzburger, G. (2000). Forage legumes in Mediterranean farming systems: alternative uses.
- Masson, P., & Gintzburger, G. (2000). Les légumineuses fourragères dans les systèmes agraires méditerranéens. *Cahiers Options Méditerranéennes*.
- Mazliak, P. (1982). *Physiologie des végétaux*. Tome 1:La cellule végétal
- Mazliak, P. (1982). *Physiologie végétale*, Tome 1 : La cellule et les phénomènes vitaux. Paris : Hermann.
- Mazoyer, M. (2002). *Initiation à l'agronomie générale*. Paris : Éditions Quae.
- Meklati, A. (1992). *Catalogue des variétés de pois cultivées en Algérie*. Alger : Institut Technique des Grandes Cultures.
- Meng, X., Chen, Z., Hui, Y., Chen, N., Shi, D., Wang, J., & Miao, M. (2025). Effect of water deficit stress on the growth and photosynthetic characteristics of okra plant. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 150(3), 168-176. <https://doi.org/10.21273/JASHS05490-25>

## Références Bibliographiques

---

- Mermoud, A. (2006). Cours de physique du sol. *Note de cours, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, France*. Kumar, S., Murphy, M., Talwar, S., Kaur, P., & Dhir, A. (2021). What drives brand love and purchase intentions toward the local food distribution system? A study of social media-based REKO (fair consumption) groups. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 60, 102444.
- Mermoud, A. (2006). L'irrigation en agriculture: pratiques et impacts environnementaux. *Revue Suisse d'Agriculture*, 38(3), 103–111.
- Mohler, C. L., & Johnson, S. E. (2009). Crop Rotation on Organic Farms: A Planning Manual. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE).
- Mosse, J., Huet, J. C., & Baudet, J. (1987). Changements de la composition en acides
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651–681.
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. (2019). Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2541.
- Okçu, G., Kaya, M. D., & Atak, M. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish journal of agriculture and forestry*, 29(4), 237-242.
- OUAFI, L. (2018). *Etude de la variabilité agro-morphologique de quelques génotypes de pois (Pisum sativum L.)* (Doctoral dissertation).
- Ouafi, L. (2018). *Étude de la variabilité agro-morphologique de quelques génotypes de pois (Pisum sativum L.)*. Thèse. École nationale supérieure d'agronomie (ENSA d'el-harrach)
- Parry, M. A. J., Andralojc, P. J., Khan, S., Lea, P. J., & Keys, A. J. (2002). Rubisco activity: Effects of drought stress. *Annals of Botany*, 89(7), 833–839. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf103>
- Pereira, I. C., Catão, H. C. R. M., & Caixeta, F. (2020). Seed physiological quality and seedling growth of pea under water and salt stress. *Revista de Ciências Agrárias/Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 24(2), 95-100. <https://doi.org/10.22491/rca.2020.e20190377>

## Références Bibliographiques

---

- PGRO (2022). The Pea and Bean Guide. Processors and Growers Research Organisation. <https://www.pgro.org/>
- Pointereau, P. (2001). Légumineuses: quels enjeux écologiques?. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, (44), 69-72
- Polhill, R. M. (1994). Classification of the Leguminosae. *Phytochemical dictionary of the Leguminosae, 1*, 35-48.
- Pouvreau, J. (2004). Les plantes autogames et leur reproduction. In *Physiologie végétale* (pp. 45–60). Dunod.
- Prat, J., Dumas, C., & Taconet, O. (2005). Variabilité morphologique des gousses chez le pois. INRA Productions Végétales.
- Prioul, S., Frankewitz, A., Deniot, G., Morin, G., & Baranger, A. (2004). Mapping of quantitative trait loci for partial resistance to *Mycosphaerella pinodes* in pea (*Pisum sativum* L.), at the seedling and adult plant stages. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(7), 1322-1334.
- Schneider, A., & Huyghe, C. (2015). *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables* (p. 512). éditions Quae.
- Seki, M., Kamei, A., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2007). Molecular responses to drought, salinity and frost: common and different paths for plant protection. *Current Opinion in Biotechnology*, 18(2), 194–199.
- Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G., Springer, G. K., Bohnert, H. J., & Nguyen, H. T. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2343-2351.
- Sikerdji, S. (2002). Exigences climatiques et culturelles du pois. *Revue Algérienne d'Agronomie*, 11(3), 45–52.
- Skiredji A., 2002. La patate, le navet, le chou, le petit pois, le haricot, filet, fiche technique, institut agronomique et vétérinaire, HASAN 2.Agadir
- Slama A, Ben Salem M, Ben Naceur M & Zid E.D. 2005. Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut National de la recherche agronomique de la Tunisie (INRAT). Univ. Elmanar. Tunisie. ([http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro\\_biotech/sec/e-docs/00/04/11/2E/telecharger.md](http://www.john-libbeyeurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/sec/e-docs/00/04/11/2E/telecharger.md)).

## Références Bibliographiques

---

- Sosa, L., Llanes, A., Reinoso, H., Reginato, M., & Luna, V. (2005). Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Annals of botany*, 96(2), 261-267.
- Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A. *et al.* Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* **4**, 2 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant Physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and Development*. 761-pp
- Talukdar, D. (2013). Comparative morpho-physiological and biochemical responses of lentil and grass pea genotypes under water stress. *Journal of natural science, biology, and medicine*, 4(2), 396.
- Tamindžić, G., Azizbekian, S., Miljaković, D., Turan, J., Nikolić, Z., Ignjatov, M., ... & Vasiljević, S. (2023). Comprehensive metal-based nanopriming for improving seed kgermination and initial growth of field pea (*Pisum sativum* L.). *Agronomy*, 13(12), 2932.
- Teulat B. B., Monneuveux P., Wery J., Borries c., Souyriss 1., Charrieri A., This D. 1997. Relationships between relative water content and growth parameters under water stress in barley: a QTL study. *New Phytol.* 137: 99-107.
- Trebuchet, G., Chopinet, R., & Drouzy, J. (1953). Contribution to the study of the pea varieties grown in France.
- Trébuchet, G., Faure, J., & Dubois, F. (1953). Variétés et caractères morphologiques du pois. *Annales de l'Institut National de la Recherche Agronomique*.
- Trinidad, T. P., Mallillin, A. C., Sagum, R. S., & Encabo, R. R. (2010). Glycemic index of commonly consumed carbohydrate foods in the Philippines. *Journal of functional foods*, 2(4), 271-274.
- UMC. (2022). Fiche variétale du pois (*Pisum sativum* L.) en Algérie. Constantine : Université Mentouri Constantine.
- USDA, 2008. Plants profile of *Pisum sativum* L. ( garden pea). United States
- Usda, N. (2015). The plantss database (<http://plants.usda.gov>, May 2011). National Plant Data Team, Greensboro.

## Références Bibliographiques

---

- Vadez, V., Berger, J. D., Warkentin, T., Asseng, S., Ratnakumar, P., Rao, K. P. C., ... & Zaman, M. A. (2012). Adaptation of grain legumes to climate change: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 31-44.
- Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F. R., & Kholova, J. (2012). II. 1.5 Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in physiology*, 3, 386.
- Vadez, V., Hash, T., Bidinger, F. R., & Kholova, J. (2012). II. 1.5 Phenotyping pearl millet for adaptation to drought. *Frontiers in physiology*, 3, 386.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Hernández, A., Martín-Alvarez, P. J., Sierra, I., Rodríguez, C., ... & Vicente, G. (2003). Assessment of nutritional compounds and antinutritional factors in pea (*Pisum sativum*) seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(4), 298-306.
- Voisin, A.-S., Salon, C., & Jeudy, C. (2013). Fixation symbiotique de l'azote chez les légumineuses : fonctionnement et rôle dans les systèmes de culture. *Innovations Agronomiques*, 29, 15–28.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61(3), 199–223.
- Wu, D. T., Li, W. X., Wan, J. J., Hu, Y. C., Gan, R. Y., & Zou, L. (2023). A comprehensive review of pea (*Pisum sativum* L.): chemical composition, processing, health benefits, and food applications. *Foods*, 12(13), 2527.
- Zhang, L., Yang, Y., & Li, X. (2023). Nutritional composition and health-promoting properties of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Functional Foods*, 99, 105378.

## Résumé

L'objectif de ce présent mémoire est l'évaluation du comportement des variétés de pois Merveille et Onward en Algérie face au stress hydrique.

La première partie, réalisée *in vitro*, est consacrée à l'étude de l'effet de différentes intensités de stress hydrique simulées par différentes pressions osmotiques provoquées par différentes concentrations de Mannitol sur la germination, le premier stade de croissance et la teneur en eau des deux variétés. Les résultats obtenus ont montré chez les deux variétés des réponses similaires (diminution des TG à partir de -0,8MPa, augmentation des TMG à partir de -1,5MPa, diminution de la TE à partir de -0,8MPa) et des réponses différentes sont observées à -0,4 MPa (augmentation du TG de Merveille alors que de TG de Onward est non affecté, augmentation de la TE de Onward alors que la TE de Merveille est diminuée).

La seconde partie, réalisée *in vivo*, est consacrée à l'étude de l'effet du stress hydrique induit par un arrêt d'arrosage d'une durée de 25 jours sur des paramètres morpho-physiologiques de la variété Merveille. Les résultats obtenus ont montré que l'arrêt d'arrosage n'a eu aucun effet sur la longueur de la racine principale, la hauteur de la tige principale, le poids sec du système aérien, la teneur en eau des feuilles, la teneur en chlorophylle b et le rapport chlorophylle a/chlorophylle b, a augmenté le poids sec du système racinaire, le rapport poids sec système racinaire/poids sec système aérien et a diminué les teneurs en chlorophylle a et caroténoïdes.

**Mots clés :** Stress hydrique- Pois- Variétés- Germination-Croissance-Physiologie

## Abstract

The objective of this study is to evaluate the behavior of two pea varieties, Merveille and Onward, under water stress conditions in Algeria. The first part, conducted *in vitro*, focuses on the effect of different intensities of water stress simulated by various osmotic pressures induced by different concentrations of mannitol on germination, early growth stage, and water content of the two varieties. The results showed similar responses in both varieties (reduction in germination percentage (TG) from -0.8 MPa, increase in mean germination time (TMG) from -1.5 MPa, and decrease in Water content (WC) from -0.8 MPa, while different responses were observed at -0.4 MPa (increase in TG in Merveille while Onward remained unaffected, increase in WC in Onward while Merveille decreased). The second part, conducted *in vivo*, examines the effect of water stress induced by stop watering during 27 days morpho-physiological parameters of the Merveille variety. The results showed no effect on primary root length, main stem height, shoot dry weight, leaf water content, chlorophyll b content, or chlorophyll a/b ratio. However, there was an increase in root dry weight and root-to-shoot dry weight ratio, along with a decrease in chlorophyll a and carotenoid contents.

**Keywords:** Water stress – Pea – Varieties – Germination – Growth – Physiology

## ملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم سلوك صنفى البازلاء "ميرفيبي" و"أونوارد" في الجزائر تجاه الإجهاد المائي. خُصص الجزء الأول، المنجز في المختبر (*in vitro*)، لدراسة تأثير درجات مختلفة من الإجهاد المائي، تم محاكاتها بواسطة ضغوط أسموزية مختلفة ناجمة عن تراكيز متعددة من مادة "المانيتول"، على الإنبات، المرحلة الأولى من النمو، ومحتوى الماء في الصنفين. أظهرت النتائج استجابات متشابهة في كلا الصنفين) انخفاض نسبة الإنبات TG انطلاقاً من -0.8 ميغا باسكال، زيادة في مدة الإنبات TMG من -1.5 ميغا باسكال، وانخفاض في كفاءة الإنبات TE من -0.8 ميغا باسكال)، كما سُجلت استجابات مختلفة عند -0.4 ميغا باسكال) زيادة TG لصنف "ميرفيبي" بينما لم يتأثر TG لـ"أونوارد"، وزيادة TE لـ"أونوارد" بينما انخفضت TE لـ"ميرفيبي".

أما الجزء الثاني، المنجز في الحقل (*in vivo*)، فُخّص لدراسة تأثير الإجهاد المائي الناتج عن التوقف عن السقي لمدة 25 يوماً على بعض المؤشرات المورفولوجية والفيزيولوجية لصنف "ميرفيبي". أظهرت النتائج أن التوقف عن السقي لم يؤثر على طول الجذر الرئيسي، أو على ارتفاع الساق، أو على الوزن الجاف للجزء الهوائي، أو على محتوى الماء في الأوراق، أو على نسبة الكلوروفيل b، أو على نسبة الكلوروفيل a إلى b؛ في المقابل، أدى زيادة في الوزن الجاف للجذور، وزيادة في نسبة الوزن الجاف للجذور إلى الجزء الهوائي، كما سبب انخفاضاً في نسبة الكلوروفيل a والكاروتينات.

**الكلمات المفتاحية:** الإجهاد المائي – البازلاء – الأصناف – الإنبات – النمو – الفيزيولوجيا.