

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers

Département d'Ecologie et Génie de l'Environnement



Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité/Option : Phytopharmacie et protection des végétaux

Thème :

**Etude du comportement physiologique et
biochimique du petit pois (*Pisum sativum* L.)
sous conditions salines.**

Présenté par :

- Zaghلامي Yasmine
- Yarou Mohamed

Devant le jury :

-Président Mme Laouar Hadia	M.C.B	Université de Guelma
-Examinateur Mr. Zitouni Ali	M.C.B	Université de Guelma
-Encadreur Mme Chahat Nora	M.C.B	Université de Guelma

Soutenu le 23 Juin 2024 à 9h30 salle 26

REMERCIEMENT

Avant toute chose, nous remercions Allah, l'Omnipotent, de nous avoir donné la force, la patience et le courage nécessaires pour mener ce travail à son terme.

Nous remerciments s'adressent également à Mme Laouar Hadia pour l'honneur qu'il nous fait d'avoir bien voulu présider notre jury.

Nous remercions très sincèrement M. Zitouni A., pour l'aide et les conseils qu'il nous apporté lors de l'étude statistique et l'honneur qu'il nous fait en acceptant d'examiner ce travail.

Nous exprimons également notre profonde gratitude et respect à notre encadrante de mémoire, Mme Chahat Noura, pour sa patience, sa disponibilité à chaque étape, ainsi que pour son aide et ses précieux conseils, qui nous ont permis de progresser significativement dans nos recherches.

Nous remercions aussi tous les ingénieurs des laboratoires wafaa, Ghania, hanan et mahdi

Nous souhaitons aussi manifester nos reconnaissances à toutes les personnes qui, de près ou de loin, nous ont encouragés et aidés à achever ce travail.

Dédicace

Avec tous mes sentiments de respect, avec l'expérience de ma reconnaissance, je dédie ma remise de diplôme et ma joie

À mon paradis, à la prunelle de mes yeux, à la source de ma joie et mon bonheur, ma lune et la file d'espoir qui allumait mon chemin

Ma moitié, Maman

À celui qui m'a fait une femme, ma source de vie, d'amour et d'affection.

À mon support qui était toujours à mes côtés pour me soutenir et m'encourager

À mon papa.

À mes chers frères Youssef et Haythem

À mon âme sœur Salsabile

À tous les membres de ma famille zaghlami

À mon binôme Mohamed

À mes amis : M., M., H., L., A., KH., R., S., S., R., S., Y., W., KH., KH., N., j., M., R., A., B., R.

À tous ceux qui ont participé à ma réussite et à tous qui m'aiment.

Zaghlami yasmine ♥

Dédicace

*Tout d'abord louanges à Allah, seigneur de l'univers qui nous a
éclairés notre chemin vers la science et la connaissance.*

*Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce
modeste travail :*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et
qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien,
surtout pour son amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le
déroulement de mes études.*

A mon épouse et mes enfants : Mohamed Amin et Haithem.

*A mes deux adorables sœurs : Houda et Hadda et mes deux
frères : Madjid et Hocine.*

A toute ma grande famille, YAROU.

*A mes meilleurs amis chacun à son nom : Hadi, Haithem et
Labib. Et ma collègue : Haihem Nadia qui m'a encouragée pour
arriver à ce niveau d'étude.*

*A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon binôme
Zaghlami Yasmine.*

YAROU Mohamed

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Matériel et méthodes

1. Objectif de l'essai..... 7

2. Présentation du site de l'essai..... 7

3. Matériel végétal 8

4. Les solutions salines..... 9

5. Conduite de l'essai..... 9

5.1. Essai de germination..... 9

5.1.1. Paramètres mesurés..... 11

5.1.1.2. Longueur de la radicule (cm) 11

5.1.1.3. Longueur de la tigelle (cm) 11

5.2. Essai de croissance 11

5.2.1. Caractéristiques de substrat (tourbe de sphaigne) 13

5.2.2. Paramètres mesurés..... 13

5.2.2.1. Hauteur de la plante 13

5.2.2.2. Longueur racinaire 14

5.2.2.3. Détermination du poids frais et sec des parties aériennes et souterraines
..... 14

5.2.2.4. La surface foliaire (SF) 15

5.2.2.5. Teneur en chlorophylle totale 15

5.2.2.6. Teneur en sucres solubles 16

6. Traitement statistique des résultats 18

Chapitre II : Résultats et discussion

1. Effet de la salinité sur germination des graines..... 20

1.1. Sur le taux de germination final..... 20

1.1.1. Sur la Longueur de la radicule.....	22
1.1.2.Sur la Longueur de la tigelle	23
2. Effet de la salinité sur la croissance	24
2.1. Hauteur des plantes	24
2.2. Longueur de la racine principale	26
2.3. La surface foliaire.....	27
2.4. Le poids frais des parties aériennes et souterraines	29
2.5. Le poids sec des parties aériennes et souterraines.....	31
2.6. La teneur en chlorophylle totale	34
2.7. Dosage des sucres solubles.....	35
Conclusion	38
Résumés	41
Références bibliographiques	44
Annexes.....	52

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des deux variétés étudiées	8
---	---

Liste des figures

Figure 1 : Le site de l'essai (Station expérimentale de la faculté SNVSTU) (Photo personnelle)	7
Figure 2: Les graines des deux variétés étudiées (Photo personnelle).....	8
Figure 3 : Le dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de pétri.....	
Figure 4 : Le dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.....	12
Figure 5 : Effet du stress salin sur la croissance « plantules âgées de deux semaines » (A : Merveille de Kelvedon ; B : Utrillo) (Photo personnelle)	13
Figure 6 : Mensuration de la longueur des racines chez les deux variétés testées (A : Merveille de Kelvedon ; B : Utrillo) (Photo personnelle)	14
Figure 7 : Etapes de dosage de la chlorophylle totale (photos personnelles)	16
Figure 8 : Etapes de dosage des sucres solubles (photo personnelle)	18
Figure 9 : Taux de germination des graines (%) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	21
Figure 10 : Longueur du radicule (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	23
Figure 11 : Longueur de la tige (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	24
Figure 12 : Hauteur des plantes (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)	26
Figure 13 : Longueur de la racine principale (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	27

Figure 14 : La surface foliaire (cm²) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	28
Figure 15 : Le poids frais de la partie aérienne (g) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	30
Figure 16 : Le poids frais de la partie racinaire (g) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	31
Figure 17 : Le poids sec de la partie aérienne (g) des deux variétés de pois petit traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	33
Figure 18 : Le poids sec de la partie racinaire (g) des deux variétés de pois petit traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	33
Figure 19 : La teneur en chlorophylle totale (µg/mg de MF) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)	35
Figure 20 : La teneur en sucres solubles (µg/mg de MF) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM).....	36

Liste des abréviations

NaCl : Chlorure de Sodium

FAO : Food and Agriculture Organization

Fig : Figure

mM : milli-Molaire

mm : milli mètre

R : Répétition

Tab : tableau

% : Pourcentage

µg : micro gramme

Chl a+b : Chlorophylle a+b

D.O: Densité Optique

TGF: Taux de germination final

Introduction Générale

Au cours des dernières années, les variations climatiques et le réchauffement planétaire ont eu un impact direct sur le rendement et la qualité des cultures en augmentant la fréquence et l'intensité de divers stress **(EL Sabagh et al., 2021)**. Les stress abiotiques, notamment la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes, la toxicité chimique et le stress oxydatif constituent de graves menaces pour l'agriculture et l'état naturel de l'environnement **(Wang et al., 2003)**.

Parmi les stress abiotiques les plus préjudiciables pour la plante, la salinité des sols et des eaux qui représente une contrainte majeure plus fréquente dans l'environnement des végétaux, et un facteur limitant pour l'agriculture mondiale, car elle peut entraîner la dégradation des sols arables, en particulier ceux qui sont fortement irrigués, en affectant le rendement des cultures **(Shabir et al., 2020)**.

La salinité des sols est souvent définie comme la présence d'une concentration excessive de sels solubles dans le sol, notamment lorsque les concentrations en sodium (Na^+), calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) sous forme de chlorures, carbonates ou sulfates sont anormalement élevées **(Asloun, 1990)**. D'autres auteurs dont **Gregory (2005)**, a considéré la salinité des sols comme un processus pédologique par lequel le sol s'enrichit de manière anormale en sels solubles, lui conférant ainsi un caractère salin. On qualifie généralement un sol salin lorsque la concentration en sel dépasse 0,5 g/l **(Robert, 1996)**, et sa conductivité électrique dépasse 4 ds/m **(Calvet, 2003)**. Les sols salés sont classés en salisols qui se distinguent par leur abondance en sels de sodium, de calcium ou de magnésium. Ces sels se présentent sous forme soluble de sels simples ou complexes, et les sodisols dont leur caractère principal est la présence de complexe sodique, où les cations, principalement le sodium, sont sous forme échangeable, tandis que les sels solubles sont peu abondants **(Loyer, 2003)**. Ces charges en sels exposent les plantes à un stress permanent **(Gupta et Abrol, 1990)**.

La formation d'un sol salin est étroitement liée à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) **(Girard et al., 2005)**.

Environ 80% des terres salinisées trouvent leur origine dans des processus naturels, ce qu'on appelle la salinisation "primaire", qui résulte de la formation de sels pendant l'altération des roches ou de l'apport de sources naturelles externes. Dans les régions côtières, il peut y avoir une intrusion d'eau salée ou une submersion des terres

basses (**Forster et al., 1990**). Dans certains cas, l'élévation du niveau de l'eau capillaire et l'évaporation qui en découle de l'eau souterraine saline, contribuent au processus de salinisation des sols (**Sun et Zheng, 1994**). Ce type de sol est particulièrement courant dans les zones arides, où l'évapotranspiration potentielle dépasse largement la quantité d'eau reçue par le sol (**Antipolis, 2003**). De plus, les inondations périodiques par des eaux de mauvaise qualité peuvent également être responsables. Dans certains cas, la remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire est également un facteur contributif au processus de salinisation (**Mermoud, 2006**).

En outre, environ 20% des terres salinisées sont d'origine humaine ou anthropique, c'est la salinisation secondaire. Ces sols se forment principalement en raison des pratiques telles que l'irrigation avec de l'eau de mauvaise qualité (eau salée), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (**LE Goupil, 1974**). Presque toutes les zones irriguées du monde rencontrent des problèmes de salinité et de sodicité des sols, ainsi que sur les terres cultivées et les pâturages non irrigués. Il n'y a donc presque aucune terre qui ne soit pas salinisée. Les systèmes d'irrigation sont une cause majeure de salinisation ; environ 50 % des systèmes d'irrigation actuels dans le monde entraînent une salinisation, une alcalinisation ou un engorgement. Ils ne couvrent que 15 % des terres cultivées dans le monde, mais leur productivité étant au moins deux fois supérieure à celle des terres pluviales, ils ont le potentiel de produire un tiers de la nourriture mondiale (**Munns, 2002**).

Quant à la salinisation des eaux, les principaux facteurs incluent l'accélération de l'infiltration des eaux souterraines vers les systèmes de surface et le rejet des flux de retour d'irrigation. De même, les déversements domestiques et industriels d'eaux usées contribuent également à la salinisation des eaux de surface. L'intrusion d'eau de mer dans les aquifères côtiers ajoute également à la salinisation des ressources en eaux souterraines. De plus, la surexploitation des eaux souterraines entraîne d'une part le déclin des nappes phréatiques et l'épuisement des aquifères, et d'autre part elle entraîne une augmentation de la salinité de l'eau restante (**Seedat et al., 2022**).

Les zones arides et semi-arides sont les plus affectées par le problème de salinité à cause de l'abondance de l'ensoleillement et la rareté des précipitations. Ces conditions entraînent l'accumulation de sels dissous en surface, ce qui modifie considérablement les propriétés physiques et chimiques du sol (**Lambers, 2003**). Dans ces régions,

souvent confrontées à des périodes de sécheresse sévères (**Bendire et al., 2014**), où les précipitations ne suffisent pas à éliminer les sels du profil racinaire des plantes (**Schulze et al., 2005**), la salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux obstacles au développement végétal et contribue significativement à la détérioration des sols à travers la planète, limitant fortement ainsi les rendements agricoles voire les rendant impropres à l'agriculture (**Bendire et al., 2014**). Cette situation engendre un stress salin chez les plantes qui survient en raison d'un excès d'ions, principalement les ions Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**), ce qui réduit considérablement la disponibilité en eau pour les plantes, les laissant dans un état qualifié de "physiologiquement sec" (**Tremblin, 2000 ; Bssou, 2019**). Les zones arides et semi-aride occupent environ les deux tiers de la surface terrestre (**Bendire et al., 2014**).

À l'échelle mondiale, plus de 833 millions d'hectares des terres sont estimés d'être affectés par le sel, ce qui équivaut à plus de 8.7 % des terres agricoles sont salinisées, représentant ainsi un risque majeur pour la sécurité alimentaire mondiale. Certaines des régions les plus durement touchées se trouvent en Asie centrale, au Moyen-Orient, en Amérique du Sud, en Afrique du Nord et dans le Pacifique (**FAO, 2021**).

L'Algérie est considérée parmi les pays du monde les plus touchés par le problème de salinisation (**Douaoui et Hartani, 2008**), notamment pour les sols irrigués. Ce problème prend de plus en plus d'ampleur avec la rareté des précipitations et l'utilisation non contrôlée des eaux saumâtres dans l'agriculture. La salinité affecte de vastes étendus à travers le pays, en particulier les basses plaines et les vallées de l'Oranie, les hauts plateaux au sud de Sétif et de Constantine et ils s'étendent également dans les régions sahariennes du sud de Biskra jusqu'à Touggourt, en passant par Ouargla et au-delà (**Aubert, 1982**).

Cette contrainte affecte grandement la croissance et le développement des plantes en perturbant certaines fonctions vitales essentielles, ce qui se traduit par une réduction de leur croissance végétative et de leur capacité reproductive. Des études entreprises par de nombreux auteurs sur différentes espèces végétales, ont démontré que la présence de sel dans l'environnement des végétaux crée un déséquilibre hydrique chez les plantes, résultant du stress osmotique souvent associé à des perturbations biochimiques déclenchées par l'accumulation d'ions sodium (**Parida et al., 2005**). En

effet, sous contrainte saline, un développement tardif favorise l'accumulation d'ions toxiques pouvant entraîner la mort des plantes avant la complétion de leur cycle de développement (**Munns, 2002**). D'autre part, il a été prouvé que la plupart des plantes deviennent plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et d'émergence (**Maillard, 2001**). Selon **Houimli et al. (2011)**, la germination des graines est une étape cruciale dans le cycle de développement des plantes qui marque le début de la croissance des semis et ayant un impact direct sur la réussite de la production.

D'autres auteurs ont rapporté, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la fonction de la photosynthèse, suite à une diminution de la synthèse des pigments chlorophylliens sous l'effet du sel. La glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de substances minérales, comme le potassium, les nitrates ou le calcium sont également réduites sous l'effet des concentrations excessives en sel (**Ben-Hayyim et al., 1989**).

Face à cette contrainte, la plante répond par diverses mécanismes pour surmonter les effets toxiques de la salinité, notamment le rétablissement de l'homéostasie cellulaire, modulation de la photosynthèse, de l'absorption minérale et d'autres activités physiologiques et biochimiques cruciales pour la plante (**Arif et al., 2020**). Ces mécanismes sont à différents niveaux, de la plante entière jusqu'aux processus moléculaires (**Wani et al., 2020**).

Les études récentes s'articulent sur la création des variétés résistantes au sel, en effectuant des modifications génétiques, afin d'améliorer les caractéristiques adaptatives de la plante à la contrainte saline. Ces études dépendent des mécanismes morpho-anatomiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires à partir des techniques de sélection et de développement des variétés tolérantes au sel. Selon **Nassar et al. (2020)**, les changements dans les caractéristiques anatomiques des feuilles et des tiges chez différents génotypes de la plante sont des traits cruciaux pour l'adaptation au stress salin.

Les légumineuses occupent une place prépondérante dans l'alimentation humaine et même animale. Elles figurent parmi les dons de la nature les plus précieux. Elles fournissent un nombre important de produits et améliorent la fertilité des sols. Ces produits sont les principales sources de protéines pour la plupart des pauvres à travers le monde, à l'huile végétale, au fourrage et au bois combustible. Elles améliorent aussi

la fertilité des sols grâce à leur capacité de fixer l'azote atmosphérique (**Dekak, 2010**). Sur le plan économique, les plantes protéagineuses se trouvent en second lieu après les Poaceae (famille des graminées), représentant environ 27 % de la production agricole mondiale (**Graham et Vance, 2003**).

En Algérie, Les légumineuses jouent un rôle essentiel dans le système de culture et dans l'alimentation de la population. La production totale des légumes secs pour l'année 2019 a atteint 1362293 qx, ce chiffre reste assez faible et les importations sont en pleine croissance (**M.A.D.R., 2021**).

Le pois (*Pisum sativum* L.), est une légumineuse originaire du Moyen-Orient, est largement consommé frais, sec ou conserve. Il est riche en fibres cellulose et en protéines, ainsi qu'une source importante de minéraux (calcium, magnésium, fer) et de vitamines (C, PP, A). (**Ferdaous et al., 2007**). Cette culture est très adaptée aux climats doux et humides, offrant des rendements plus élevés dans les régions froides et humides que dans les régions chaudes et sèches.

Cette légumineuse est d'une grande importance socioéconomique et agroenvironnementale. Outre son rôle dans la fixation de l'azote atmosphérique, le pois constitue un excellent précédent cultural en restituant de l'azote au sol via la minéralisation des résidus de culture. Il permet aussi de diversifier la rotation et de casser le cycle de certains ravageurs ou maladies (**Munier-Jolain et al., 2005**). De plus, il est considéré parmi les principales légumineuses utilisées pour l'alimentation humaine dans de nombreux pays à travers le monde. Il est reconnu comme une importante source de nutriments, notamment pour les populations à faible revenu.

Le petit pois est souvent confronté à plusieurs contraintes biotiques et abiotiques, telles que les maladies cryptogamiques, la verse, la sécheresse, la salinité, l'avortement des fleurs et l'avortement des gousses (**Verma, 2015**). Ces contraintes affectent grandement la croissance des plantes, en réduisant leur productivité agricole et dans les conditions extrêmes, un échec total de la récolte.

Cette étude est entreprise dans le but d'évaluer la réponse de deux variétés de petit pois au stress salin, aux stades germination et plantules et ce à travers la mesure de certains paramètres morphophysiologiques et biochimiques, afin de déterminer leur seuil de tolérance vis-à-vis cette contrainte.

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. Objectif de l'essai

Cette expérience a été menée sur deux variétés de pois (**Utrillo et Merveille de Kelvedon**) soumises à trois concentrations croissantes de chlorure de sodium (NaCl) : 75 mM, 150 mM, 200 mM et un groupe n'a pas reçu du traitement au NaCl constitue le témoin, afin d'évaluer leur tolérance à la contrainte saline à travers la mesure de certains paramètres physiologiques et biochimiques.

2. Présentation de site de l'essai

L'étude a été conduite dans une serre, à station expérimentale de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'univers de l'Université 8 mai 1945 de Guelma, dans un environnement semi-contrôlé (**Fig. 1**). Le test de germination ainsi que les analyses physiologiques et biochimiques ont été effectués au laboratoire de botanique de la faculté.

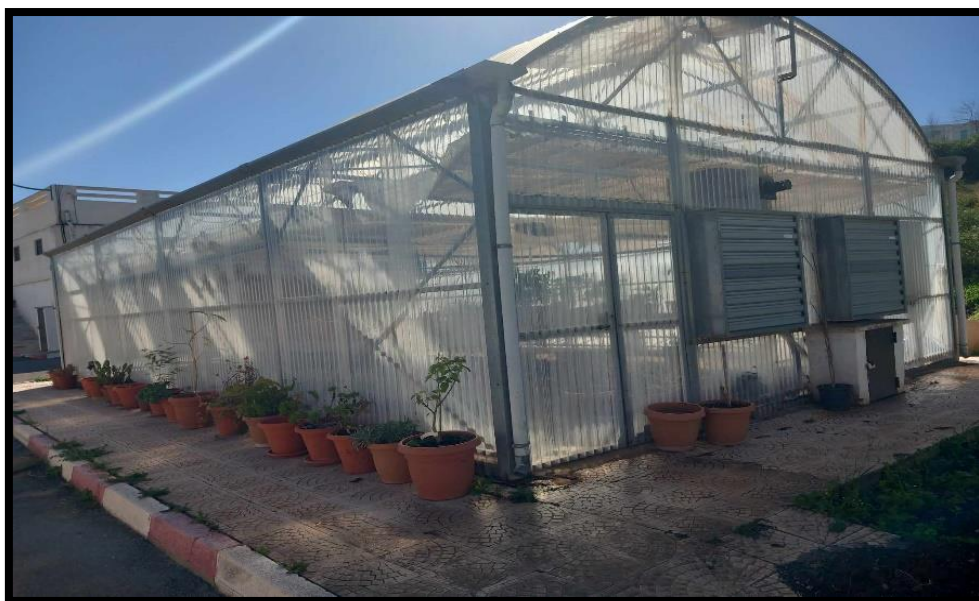


Figure 1 : Le site de l'essai (Station expérimentale de la faculté SNVSTU) (Photo personnelle)

3. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de deux variétés de petit pois (*Pisium sativum* L.) appartenant à la famille des Fabaceae (ex. Légumineuseae). Les semences utilisées dans cette expérimentation (**Fig. 2**) Les semences appartiennent à des variétés couramment utilisées dans la communauté agricole de la région, c'est une obtention de la société « Seminis grow forward » qui est une branche de la société américaine Bayer, et commercialisées par la société Agro Consulting International, ce sont des semences certifiées, achetées sur le marché local des semences, dont ses caractéristiques sont énumérées dans le tableau1.



Variété Merveille de Kelvedon



Variété Utrillo

Figure 2: Les graines des deux variétés étudiées (Photo personnelle)

Tableau 1: Caractéristiques des deux variétés étudiées [1, 2]

Variété	Origine	Type variétal	Poids de mille grains (PMG)	Caractéristiques
Merveille de Kelvedon	Nouvelle-Zélande	Lignée pure	100 à 350 g	-Grain ridés, rendement élevé -Cycle végétatif : très précoce -Hauteur de la plante à maturité : 45 cm -Longueur de la gousse : 7-8 cm -Couleur de l'épi : vert - Très résistante au froid et aux maladies cryptogamiques -Pourcentage de germination : 85%
Utrillo	Nouvelle-Zélande	Lignée pure	325g	- Grains ridés, nains, rendement élevé -Cycle végétatif : mi- précoce -Hauteur de la plante à maturité : 50 cm -Longueur de la gousse : 7-8 cm -Couleur de l'épi : vert foncé - Très résistante au froid - Pourcentage de germination : 85%.

4. Les solutions salines

Les graines et les plantules des deux variétés testées sont soumises aux différents traitements de NaCl durant toute la période de l'expérimentation :

C₀ correspond à une concentration en NaCl de 0 m M/L (témoin).

C₁ correspond à une concentration en NaCl de 75 m M / L.

C₂ correspond à une concentration en NaCl de 150 m M / L.

C₃ correspond à une concentration en NaCl de 200 m M / L.

Pour le choix des concentrations de sel à appliquer, nous nous sommes référées à des travaux de recherches menés ultérieurement (**Benidire et al., 2015 ; Otuborlu et al., 2018**). Ces solutions ont été conservées séparément dans des bouteilles étiquetées.

5. Conduite de l'essai

5.1. Essai de germination

- Notre expérience a été menée à la température ambiante du laboratoire. Dans un premier temps, nous avons minutieusement sélectionné les graines des deux variétés étudiées en tenant compte de leur morphologie, leur taille, et leur état sanitaire.
- Les graines des deux variétés ont été triées et stérilisées dans de l'eau de Javel pendant 5 minutes à 2%, conformément aux méthodes de **Hadaq et Harati (2013)**. Ensuite, elles ont été rincées à l'eau distillée pendant 1 minute afin d'éliminer l'eau de Javel et les conservateurs éventuellement présents sur les graines.
- Pour favoriser une germination homogène, les graines ont été trempées dans de l'eau distillée pendant une nuit avant d'être semées dans des boîtes de Pétri stériles, dans lesquelles les graines de petit pois ont été placées sur une fine couche de coton recouverte du papier buvard à raison de 5 graines par boîte (**Fig. 3**). Les graines sont arrosées régulièrement avec les différentes solutions salines déjà préparées et un échantillon arrosé uniquement à l'eau distillée considéré comme témoin.
- L'addition des solutions salines a été ajusté en fonction de la capacité de rétention du substrat (le coton et le papier buvard pour l'essai de germination),

en mesurant la différence entre l'eau de saturation du substrat contenue dans les boîtes de pétri et celle récupérée après 4 heures.

- Quatre répétitions ont été réalisées pour chaque traitement et par variété. Les boîtes de pétri ont été examinées toutes les 24 heures pendant 7 jours afin de suivre avec plus de précision le processus germinatif des graines des deux variétés testées. La germination a été repérée par l'émission de la radicule hors des téguments de la graine dont la longueur de la radicule est d'au moins 2 mm (Camara *et al.*, 2018).

C0	C1	C2	C3
R3	R4	R1	R2
R2	R2	R4	R1
R1	R3	R3	R4
R4	R1	R2	R3

Merveille de Kelvedon

C0	C1	C2	C3
R3	R4	R1	R2
R2	R2	R4	R1
R1	R3	R3	R4
R4	R1	R2	R3

Utrillo

C0, C1, C2, C3 : les concentrations,

R1, R2, R3, R4 : les répétitions

Figure 3 : Le dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de pétri

5.1.1. Paramètres mesurés

Après 7 jours de l'application du stress, 3trois paramètres ont été mesurés :

5.1.1.1. Taux de germination final (TGF): Ce paramètre représente la limite physiologique de germination des graines. Il est calculé en utilisant la formule suivante : **TGF = (nombre de graines germées / nombre total de graines ensemencées) (Côme, 1970).**

5.1.1.2. Longueur de la radicule (cm)

5.1.1.3. Longueur de la tigelle (cm)

✚ Les paramètres de germination ont été déterminés sur un échantillon de 3 graines par répétition et par traitement.

5.2. Essai de croissance

- Les graines de petit pois utilisées dans cette expérience sont d'abord désinfectées pendant quelques minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 2%, puis rincés abondamment à l'eau distillée.
- Pour favoriser une germination uniforme, les graines sont immergées dans de l'eau distillée pendant une nuit.
- Elles sont ensuite placées dans des pots préparés à l'avance, mesurant 19 cm de hauteur et 14 cm de diamètre, contenant 2/3 de tourbe de sphaigne. Dans chaque pot, 5 graines de chaque variété sont semées à une profondeur de 2 cm. Chaque traitement est reproduit en trois répétitions (**Fig. 4 et 5**).
- Le traitement salin est appliqué par arrosage à l'eau distillée additionnée ou non de différentes concentrations salines (0mM, 75mM, 150mM et 200mM).
- L'arrosage est effectué tous les deux jours pendant une période de 21 jours.
- L'ajout des différentes solutions est ajusté en fonction de la capacité de rétention du substrat (la tourbe de sphaigne), en mesurant la différence ente l'eau de saturation de la tourbe et celle récupérée après 24 heures de décantation.

C0	C1	C2	C3
R3	R4	R1	R2
R2	R2	R4	R1
R1	R3	R3	R4
R4	R1	R2	R3

Merveille de Kelvedon

C0	C1	C2	C3
R3	R4	R1	R2
R2	R2	R4	R1
R1	R3	R3	R4
R4	R1	R2	R3

Utrillo

C0, C1, C2, C3 : les concentrations,

R1, R2, R3, R4 : les répétions

Figure 4 : Le dispositif expérimental de l'essai de croissance dans les pots et sous serre



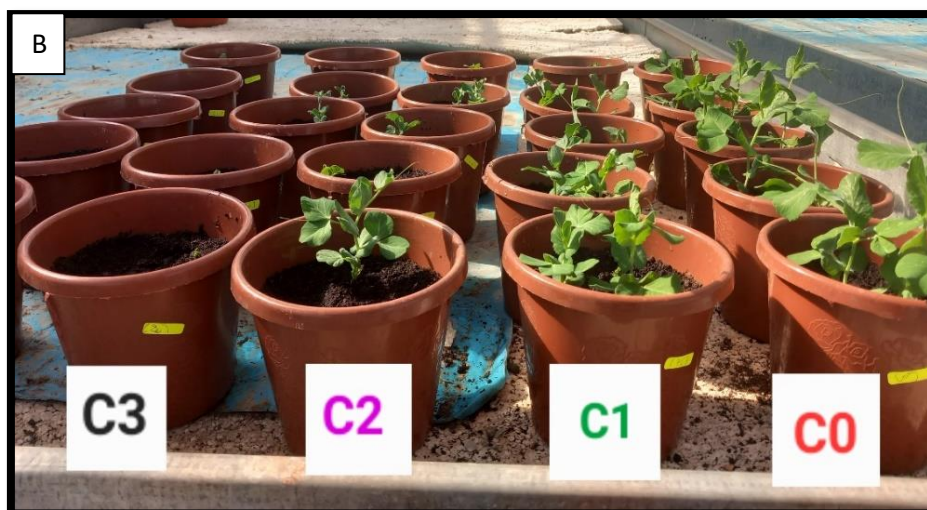


Figure 5 : Effet du stress salin sur la croissance « plantules âgées de deux semaines » (A: Merveille de Kelvedon ; B: Utrillo)

(Photo personnelle)

5.2.1. Caractéristiques de substrat (tourbe de sphaigne)

Le substrat utilisé pour l'essai en pots étant de la tourbe de sphaigne (substrat commercial), dont les caractéristiques sont indiquées ci-dessous (substrat de base multiplication support de culture (NFU44-551) :

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- PH (H₂O) : 5.8-6.8
- Résistivité : 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau : 80 vol %

5.2.2. Paramètres mesurés

5.2.2.1. Hauteur de la plante

On évalue la hauteur des plantes en centimètre en utilisant une règle graduée, en partant du collet de la plante jusqu'au bourgeon terminal.

5.2.2.2. Longueur racinaire

Elle s'effectue pour chaque traitement avec une règle graduée (cm) en partant du collet jusqu'à son extrémité inférieure (**Fig. 6**).



Figure 6: Mensuration de la longueur des racines chez les deux variétés testées

(A: Merveille de Kelvedon ; B: Utrillo) (Photo personnelle)

5.2.2.3. Détermination du poids frais et sec des parties aériennes et souterraines

À la fin de l'expérience, les plants sont retirés de manière délicate des pots afin de préserver autant que possible leur masse racinaire. La partie racinaire est soigneusement lavée pour éliminer les particules indésirables, puis séchée avec du papier absorbant, et séparée de la partie aérienne au niveau du collet à l'aide d'une lame bistouri. Ensuite, les deux parties sont enveloppées séparément dans du papier aluminium préalablement pesé et étiquetées.

Pour mesurer le poids frais, la partie aérienne et la partie racinaire sont pesées séparément à l'aide d'une balance de précision. En ce qui concerne le poids sec, il est déterminé après avoir passé les échantillons à l'étuve à 105°C pendant une période de 24 heures (**Cheikh et al., 2020**).

5.2.2.4. La surface foliaire (SF)

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant-dernière feuille, c'est-à-dire la feuille adulte la plus récente) est calculée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement. Ceci est réalisé en utilisant la formule suivante :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = L \times l \times 0,709$$

- **L**: représente la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles.
- **I**: représente la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles.
- Le coefficient de correction 0,709 est utilisé en raison de la forme triangulaire de la feuille (**Mefti et al., 2008**).

5.2.2.5. Teneur en chlorophylle totale

Le dosage de la chlorophylle a été effectué en utilisant la méthode de **Rao et Blanc (1956)**.

- Tout d'abord, 100 mg de feuilles fraîches de chaque échantillon ont été prélevés et broyés dans un mortier, en ajoutant une pincée de carbonate de calcium (CaCO₃) pour neutraliser l'acidité vacuolaire et faciliter l'extraction de la chlorophylle.
- Ensuite, 20 ml d'acétone à 80 % ont été ajoutés, suivi de la filtration de la solution obtenue. Avant la lecture spectrophotométrique, la solution chlorophyllienne a été conservée dans des chambres noires pour éviter la photo-oxydation.
- La densité optique (**D.O.**) des extraits chlorophylliens a été mesurée sur un spectrophotomètre à deux longueurs d'onde : 645 nm et 663 nm (**Fig. 7**). La teneur en chlorophylle totale (a+b) a été calculée selon la formule suivante :

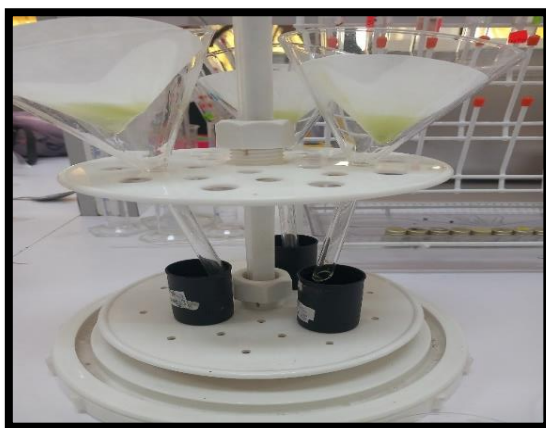
$\text{Chl a+b} = 8,02 \text{ (DO 663)} + 20,20 \text{ (DO 645)}.$



1: Mensuration de 100 mg de feuilles



2: Extraction des pigments
chlorophylliens



3: Filtration de la solution chlorophyllienne



4: Mesures spectrophotométriques

Figure 7 (1.2.3.4) : Etapes de dosage de la chlorophylle totale (photos personnelles)

5.2.2.6. Teneur en sucres solubles

La méthode utilisée pour mesurer la teneur en sucres solubles dans les feuilles est basée sur la méthode phénolique décrite par **Dubois et al. (1956)**, selon les étapes suivantes :

- Prélevez 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai, puis ajoutez 2 ml d'éthanol à 80%. Laissez les tubes fermés au repos pendant 48 heures.
- Faites évaporer l'alcool en plaçant les tubes à essai dans un bain-marie à 70°C.

- Après refroidissement, ajoutez un volume de 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai. Ensuite, prélevez 1 ml de la solution et ajoutez-y 1 ml de phénol à 5%, puis agitez bien.
- Ajoutez 5 ml d'acide sulfurique concentré dans chaque tube à essai, puis utilisez un vortex pour les mélanger. Laissez-les reposer pendant 10 minutes, puis placez-les dans un bain-marie pendant 15 minutes à 30°C.
- Procédez à la lecture spectrophotométrique à la longueur d'onde de 490 nm (**Fig. 8**). La teneur en sucres solubles est calculée à l'aide de la formule suivante : Sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de matière fraîche) = $\text{DO } 490 \times 1,65$



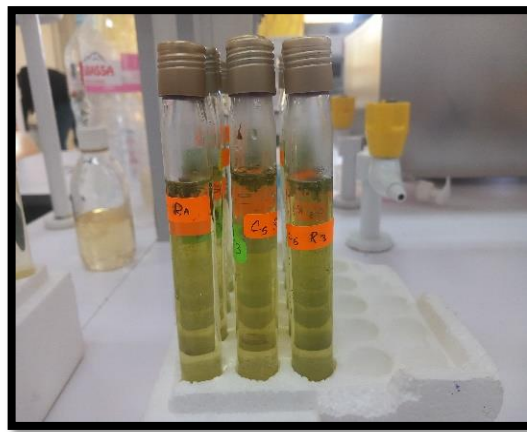
1 : Mensuration de 100 mg de feuilles



2 : Ajout de 2ml d'Ethanol (80%)



3 : Evaporation de l'alcool dans un bain marie



4 : Ajout de 20 ml d'eau distillée



8: Mesures spectrophotométriques

Figure 8 (1.2.3.4.5) : Etapes de dosage des sucres solubles (photo personnelle)

✚ Les paramètres de croissance ont été déterminés sur un échantillon de 3 plantules par répétition et par traitement à l'exception de la surface foliaire qui était mesurée sur un échantillon de 10 plantules par répétition et par traitement.

6. Traitement statistique des résultats

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2018.

Chapitre II

Résultats et discussion

1. Effet de la salinité sur germination des graines

1.1. Sur le taux de germination final

La germination des graines est généralement le stade le plus vulnérable aux effets du stress salin (**Maillard, 2001**). Plusieurs auteurs ont rapporté un retard dans le processus de germination causé par la présence de sel dans le milieu de culture chez diverses espèces végétale (**Ndour et Danth, 2000 ; Benata et al., 2006**).

L'analyse des résultats obtenus (**Fig. 9**), met en évidence l'influence du stress salin sur la germination des graines des deux variétés de petit pois traitées par des niveaux différents de chlorure de sodium. On constate que le traitement salin par le NaCl a un effet néfaste sur le taux de germination des graines à mesure que la concentration en sel augmente. Le taux de germination des deux variétés diminue particulièrement à des niveaux élevés de NaCl, pouvant même conduire à une absence totale de germination.

Le taux moyen de germination enregistré pour les deux variétés, Merveille de Kelvedon et Utrillo, aux concentrations 75 mM et 150 mM sont respectivement 83.33% et 63,33 % et 70% et 40% contre 100 % et 83.33% pour les échantillons non traités au NaCl. Cependant, à la concentration 200 mM, le pourcentage de germination a diminué considérablement sous l'effet du traitement salin d'où les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 36.76% pour Merveille de Kelvedon et 26.66 % pour Utrillo comparativement aux échantillons témoins (100 %,83.33%).

Ces résultats se concordent avec ceux obtenus par d'autres chercheurs qui ont montré que les faibles concentrations de sels retardent la germination sans réduction de la faculté germinative. Par contre, les concentrations élevées retardent la germination aussi bien que la réduction de la faculté germinative (**Khan et al., 2006 ; Ghoulam et Fares, 2001 et AL-Khateeb, 2006**). La diminution du taux de germination en présence de sel, peut être due à l'incapacité des graines à germer en raison des dommages causés aux organes embryonnaires et à la pression élevée de la solution d'arrosage, qui empêche l'absorption d'une quantité d'eau suffisante pour le démarrage du processus germinatif (**El-shahat, 2000**). Le retard enregistré dans le taux de germination des graines en milieu salin, peut être expliqué par le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (**Benmiled et al., 1986**). D'autres auteurs ont rapporté que la salinité inhibe la germination des graines en exerçant soit un stress osmotique qui entrave l'absorption d'eau, soit en

causant une toxicité ionique. Ces conséquences inhibent collectivement la division et l'expansion cellulaires, ainsi que modulent l'activité de certaines enzymes clés, réduisant ainsi en dernier lieu l'utilisation des réserves de la graine (El-Hendawy et al., 2019).

Le traitement statistique ANOVA à un seul facteur de classification a révélé une différence significative entre les concentrations ($p=0,000$), indiquant un effet du sel sur ce paramètre pour les deux variétés étudiées (Annexe 1). Le test du Dunnet a montré que les concentrations 0 et 75 mM ont des effets similaires (non significative) alors que les concentration 150 et 200 mM ont des effets significatifs sur le taux de germination (Annexe 2).

Concernant l'analyse statistique a deux critères de classification, les résultats ont montré une déférence significative entre les deux variétés, ou la variété merveille de kelvedon a montré une tolérance plus élevée que celle chez la variétés Utrillo (Annexe 3).

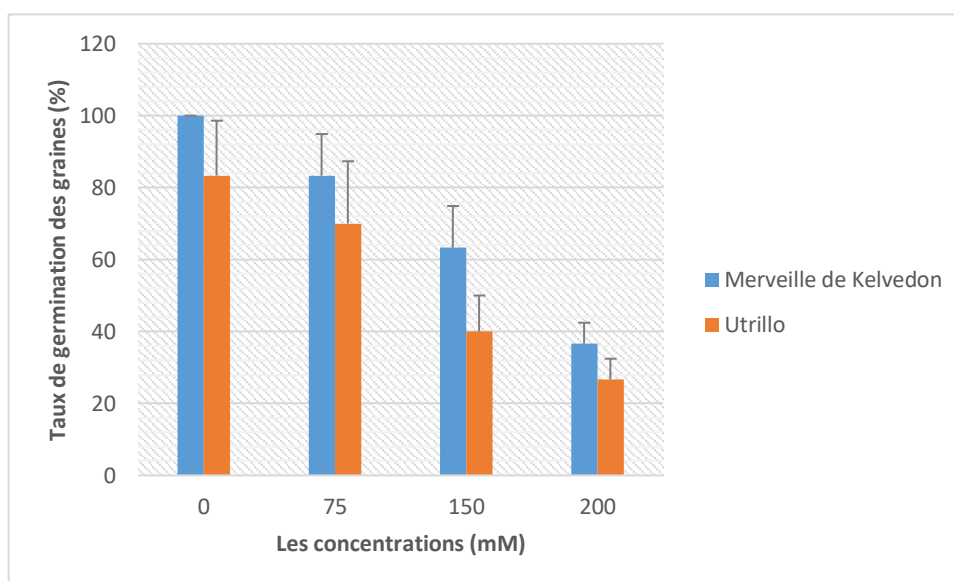


Figure 9 : Taux de germination des graines (%) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

1.1.1. Sur la Longueur de la racicule

L'examen des résultats de la figure 10, révèle un effet dépressif des traitements salins sur la croissance racinaire et ce pour les deux variétés testées (Merveille de Kelvedon et Utrillo). Ces résultats montrent que l'augmentation de la concentration en sel est associée à un ralentissement de cette croissance. Ce ralentissement est particulièrement prononcé à des niveaux élevés de NaCl. Les valeurs moyennes mesurées à la concentration 150 mM sont de l'ordre de 1,12 et 0,78 cm chez les deux variétés respectivement par rapport à celles des échantillons non traités (3,20 et 2 cm). Pour les graines ayant subi un stress de 200 mM, les valeurs moyennes enregistrées sont: 0,73 et 0,54 cm respectivement, comparativement aux valeurs des témoins non traités (3,20 et 2 cm).

De nombreux travaux rapportent l'effet nocif du traitement salin sur l'émergence et la croissance en longueur des racicules. L'étude de **Naimi et Merdj (2018)**, menée sur l'effet du stress salin sur des graines de *Phaseolus vulgaris* a révélé un effet toxique du NaCl sur la germination des graines, ce qui conduit à une inhibition de l'émergence des racicules. Cet effet devient plus prononcé chez les graines exposées à des concentrations élevées de NaCl. De même **Munns et al. (2002)**, ont démontré que l'ajout de la solution saline aux graines pendant le stade germinatif réduit le potentiel hydrique des racicules, ce qui entraîne rapidement une diminution du taux de germination et de la croissance des racicules. En effet, la même observation est constatée par **Bayuelo et al. (2002)**, qui signalent un ralentissement de la croissance des racicules sous l'effet du stress salin. Cet effet se poursuit même après que la racicule ait émergé du tégument de la graine.

L'analyse statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p < 0,05$) entre les différents traitements ($p = 0,00$) (Annexe 4).

Le test du Dunnett a montré que les concentrations 75, 150 et 200 mM ont des effets significatifs sur ce paramètre par rapport au témoin non traité pour les deux variétés (Annexe 5).

L'analyse statistique à deux critères de classification a révélé une différence significative entre les deux variétés, dont la variété merveille de kelvedon est la plus tolérance par rapport à l'autre variété (Annexe 6).

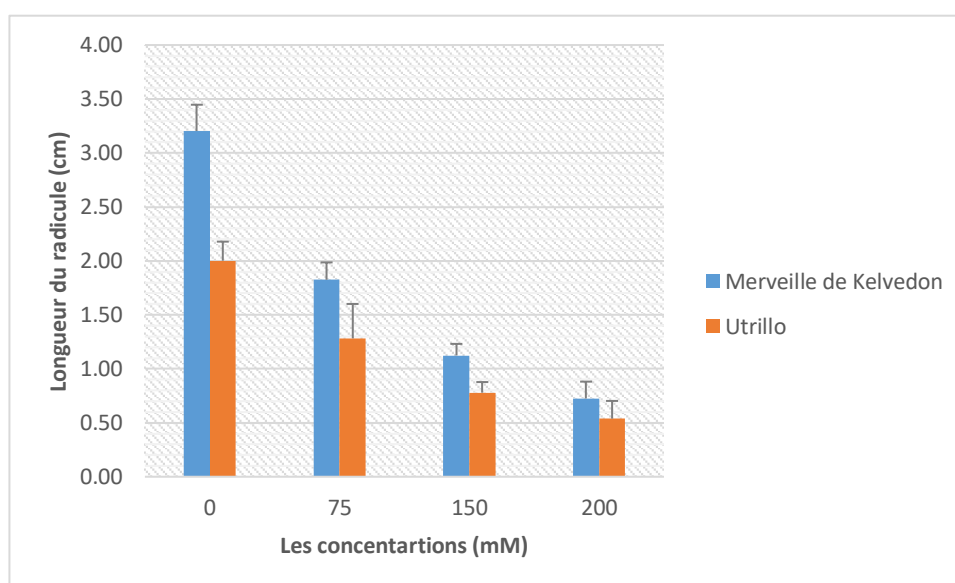


Figure 10 : Longueur du radicule (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

1.1.2. Sur la Longueur de la tigelle

Les résultats de la figure 11, indiquent que la longueur de la tigelle des graines stressées est très réduite par rapport à celle des graines non soumises au stress salin. En absence de sel, les valeurs moyennes enregistrées pour ce paramètre sont de l'ordre de 1.72 cm pour la variété Merveille de Kelvedon et 1cm pour Utrillo. L'application d'un niveau élevé de stress (150 mM) entraîne une réduction remarquable dans la longueur de la tigelle (0.47 cm chez Merveille de Kelvedon et 0.65cm chez Utrillo) comparativement aux échantillons non traités (1.72 et 1cm successivement). Dans des conditions de stress sévère (200 mM), une évolution à la baisse a été observée chez les deux variétés d'où les valeurs enregistrées (0.38 cm chez Merveille de Kelvedon et 0.28 cm chez Utrillo) par rapport aux échantillons sans sel (1.72 et 1cm successivement).

De nombreuses études sur l'effet du traitement salin chez différentes espèces végétales, dont celle de **Rahman et al. (2008)**, sur le blé, **Kondetti et al. (2012)**, sur le soja et **Djerah et Oudjehih (2016)**, sur l'orge ont signalé une diminution de la longueur de la tigelle suite à l'exposition au stress salin.

L'étude statistique ANOVA à un seul critère de classification, a indiqué un effet significatif ($P \leq 0.05$) entre les différents traitements et ce pour les deux variétés testées (Annexe 7). En outre, la comparaison des moyennes avec le test de Dunnett a signalé que les concentrations 75 mM, 150 mM et 200 mM ont des effets similaires sur la longueur de tige comparativement aux témoins non traités (Annexe 8). D'autre part, l'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence significative entre les deux variétés, dont les valeurs les plus faibles ont été notées chez la variété Utrillo (Annexe 9).

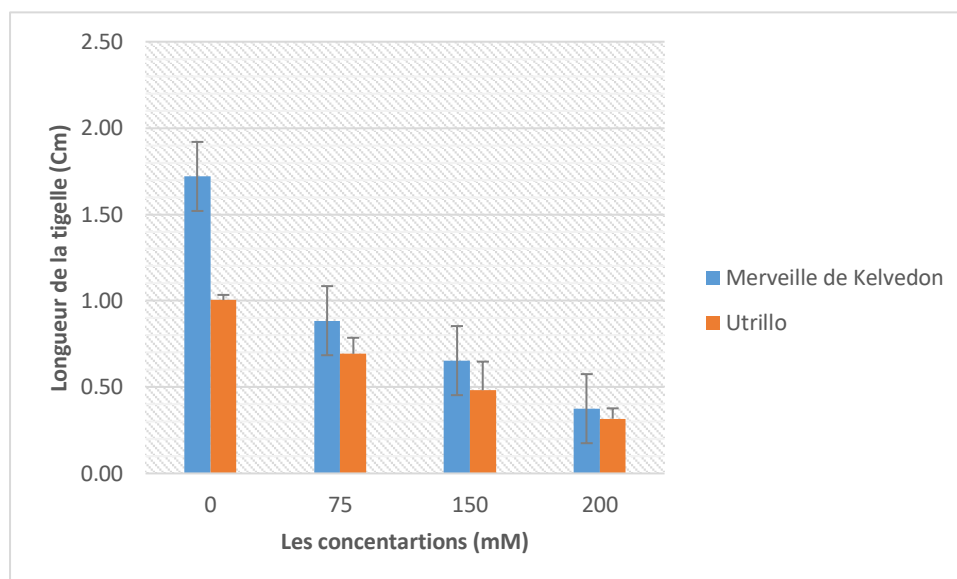


Figure 11 : Longueur de la tige (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2. Effet de la salinité sur la croissance

2.1. Hauteur des plantes

Le stress salin généré par le NaCl a entraîné une diminution de la hauteur des plantes chez les deux variétés traitées (**Fig. 12**). L'inhibition de la croissance de la tige est plus observée à la concentration 150 mM avec des valeurs moyennes mesurées de 19.70 et 10.2 cm chez les deux variétés Merveille de Kelvedon et Utrillo

respectivement comparativement aux échantillons témoins (22.60 et 24.7 cm). En réponse à un traitement de 200 mM de NaCl, la croissance aérienne a atteint 16.73 cm pour la variété Merveille de Kelvedon et 5.3cm pour Utrillo contre 22.60 et 24.7cm respectivement pour les plantules non exposées aux conditions de stress salin.

Selon les résultats obtenus, la salinité exerce une influence négative sur ce paramètre, ce qui se traduit par une réduction de la croissance en hauteur. L'étude de **Kadri et al. (2009)**, menée sur l'effet du stress salin sur la germination, la croissance la production en grain chez l'orge, a montré que l'irrigation avec une eau chargée en sel provoque le raccourcissement des tiges, cet effet s'intensifié avec l'augmentation de la contrainte saline. Ces constatations sont similaires à celles de **Ben Naceur et al. (2001)**, sur les céréales soumises à un stress salin et **Hamdoud (2012)**, sur la féverole cultivée en milieu salin. Ces auteurs ont révélé une diminution de la hauteur des plantes au fur à mesure que le degré du stress augmente en intensité. La réduction de la croissance aérienne sous l'effet de sel a été attribué par de nombreux auteurs à l'augmentation des niveaux de certains régulateurs de croissance, tels que l'acide abscissique et les cytokinines, qui sont stimulés par la présence de sel dans le milieu (**Kuiper et al., 1990 ; Benmahioul et al., 2009**).

L'étude statistique avec le test ANOVA montre qu'il ya un effet traitements significatifs ($P \leq 0.05$) et ce pour les deux variétés testées (Annexe 10). La comparaison des moyennes avec le test de Dunnet, a fait ressortir que les concentrations 75 mM, 150 mM et 200 mM ont des effets similaires sur la hauteur des plantes et ce pour les deux variétés par apport aux traitements sans sel (0 mM) (Annexe 11). En outre, le traitement statistique par l'analyse de la variance à deux critères de classification a présenté une différence significative entre les deux variétés, d'où la variété Utrillo semble plus affectée par le traitement salin par apport à l'autre variété (Annexe 12).

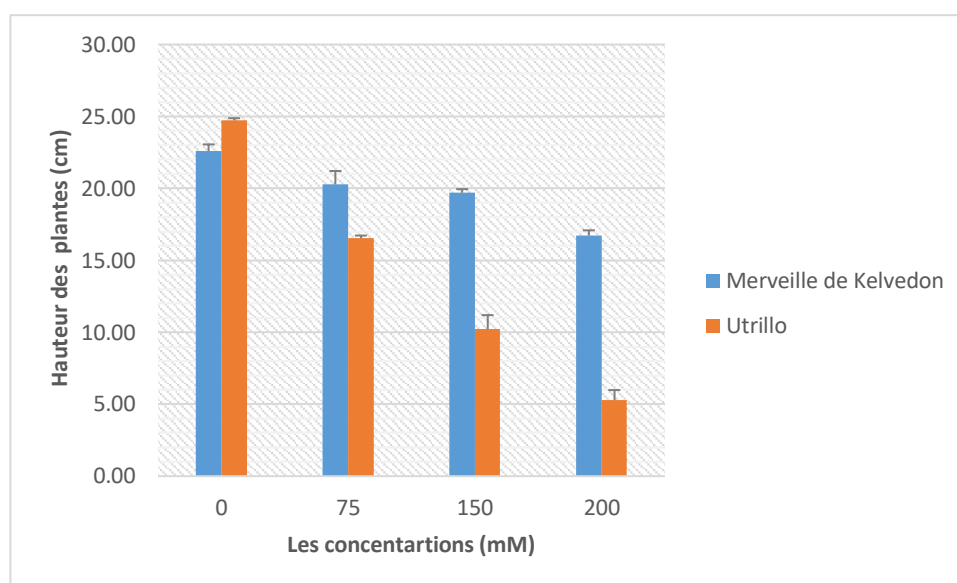


Figure 12 : Hauteur des plantes (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.2. Longueur de la racine principale

Les résultats de la figure 13, révèlent une diminution de la longueur des racines sous différentes concentrations salines. Cette diminution est plus prononcée en augmentant le degré du traitement salin chez les deux variétés, d'où nous avons noté les valeurs moyennes de 10.78 cm chez Merveille de Kelvedon et 11.3 cm chez Utrillo à la concentration 150 mM en comparaison avec les témoins non traités (11.63 et 22.4 cm respectivement). Quant à la concentration 200 mM, les réductions enregistrées s'accroissent à ce niveau de stress pour atteindre la valeur moyenne de 8.68 cm chez Merveille de Kelvedon et 4.9 cm chez Utrillo contre 11.63 et 22.4 cm respectivement pour les échantillons non additionnés de sel.

Les baisses enregistrées dans la longueur de la racine sous stress salin ont été également mentionnées par d'autres auteurs dont **Munns (2005)**, l'auteur a rapporté que les effets osmotiques du stress salin peuvent réduire la croissance des racines, limitant ainsi leur capacité à absorber les éléments nutritifs essentiels. De même **Teggar (2015)**, a rajouté que l'augmentation des concentrations salines entraîne une diminution de la longueur de la racine principale chez différentes variétés de lentilles.

L'étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification ($P \leq 0.05$) a révélé un effet concentrations significatif pour les deux variétés (Annexe 13). Le test de Dunnet a montré qu'il existe deux groupes. Pour la variété Merveille de Kelvedon, les concentrations 0 mM, 75 mM et 150 mM ont des effets similaires sur ce paramètre et une différence significative avec la concentration 200 mM. Par contre chez la variété Utrillo, le calcul statistique a donné des différences significatives entre deux groupes ou les résultats du témoin sont supérieurs aux autres concentrations (Annexe 14).

Tandis que l'analyse de la variance AV2 a montré une différence non significative entre les deux variétés étudiées (Annexe 15).

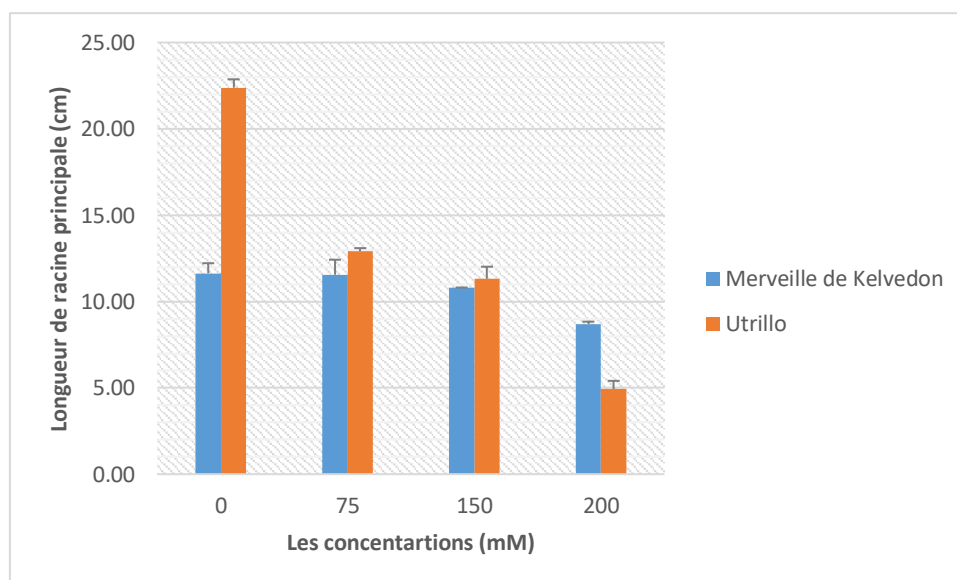


Figure 13 : Longueur de la racine principale (cm) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.3. La surface foliaire

Les résultats de la surface foliaire sont représentés par la figure 14. L'examen de cette figure montre que les deux variétés (Merveille de Kelvedon et Utrillo) testées réagissent au stress salin par une réduction de leur surface foliaire, cette réduction s'intensifie en augmentant le niveau du stress salin dans le milieu. La valeur moyenne enregistrée chez les plantules recevant une concentration de 150 mM sont : 4.81 et

4.47cm² successivement par apport aux échantillons non soumis au stress salin (7.54 et 14.76 cm²). Au niveau de salinité le plus élevé (200 mM), ce paramètre enregistre 4.20 cm² chez la variété Merveille de Kelvedon et 2.4 cm² chez Utrillo contre 7.54 et 14.76 cm² successivement en absence de salinité.

La réduction de la surface foliaire observée dans notre étude a été également signalée par **Wang et Nil (2000)**. Ces mêmes auteurs soulignent que la réponse immédiate au stress salin est la réduction du taux d'expansion de la surface foliaire jusqu'au sa cessation avec l'augmentation des concentrations en sel. De même pour les travaux de **Abdul Qados (2010)**, qui ont rapporté une diminution significative de la surface foliaire des plantules de *Vicia faba* L., sous l'action des traitements salins causés par le chlorure de sodium. Cette diminution pourrait s'expliquer par l'effet négatif du sel sur la croissance foliaire.

L'étude statistique avec le test ANOVA a montré un effet traitements significatif ($P \leq 0.05$) a été noté pour les deux variétés (Annexe 16). La comparaison des moyennes avec test de Dunnet a prouvé que les concentrations 75 mM, 150 mM et 200 mM, ont des effets similaires sur la surface foliaire par apport aux témoins et ce pour les deux variétés (Annexe 17). Alors que l'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence non significative entre les deux variétés testées (Annexe 18).

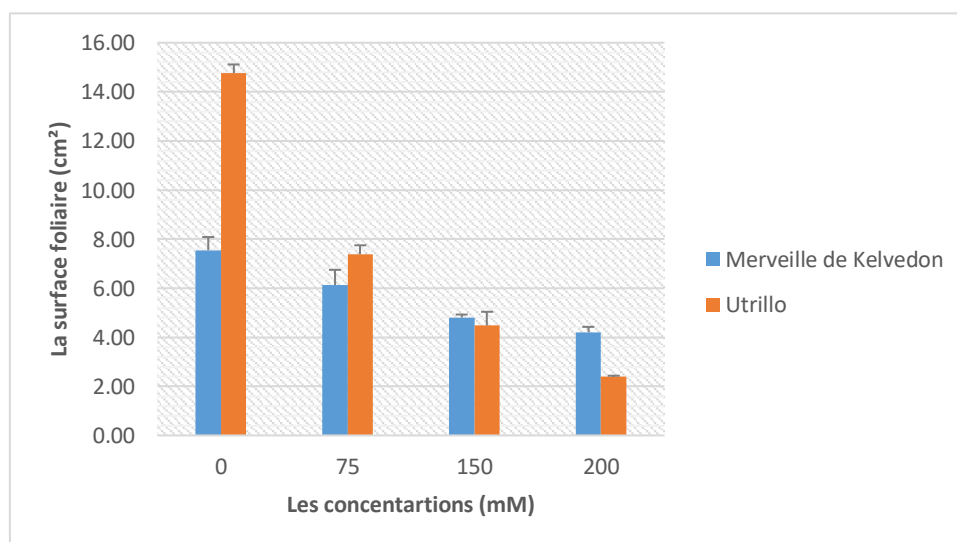


Figure 14 : La surface foliaire (cm²) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.4. Le poids frais des parties aériennes et souterraines

Les résultats de l'estimation de ce paramètre (**Fig. 15 et 16**) révèlent que l'application du traitement salin a un impact négatif sur le poids frais des parties aériennes et racinaires pour les deux variétés, Merveille de Kelvedon et Utrillo. Ces résultats mettent en évidence une corrélation négative entre le poids frais et les concentrations de sel utilisées, ce qui signifie que l'augmentation du stress salin entraîne une diminution de la production de matière fraîche. Plus spécifiquement, cette diminution est plus prononcée à partir de la concentration 150 mM, d'où le poids frais aérien enregistré est de 3.97g chez la variété Merveille de Kelvedon et 1.05g chez la variété Utrillo par rapport aux valeurs enregistrées pour les plantules non traitées (5.58 et 15.8g respectivement). Quant aux plantules arrosées avec 200 mM, une diminution remarquable a été enregistrée pour ce paramètre et ce pour les deux variétés examinées. Les valeurs notées sont : 2.63g chez Merveille Kelvedon et 0.74g Utrillo, ces valeurs restent inférieures à celles des plantules non exposées à la contrainte saline (5.58 et 15.8g).

La même tendance a été observée pour la matière fraîche racinaire, qui évolue à la baisse en fonction de l'augmentation de la contrainte saline dans le substrat. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en absence de sel (1.11 et 0.74 g poids sec souterrain respectivement chez les deux variétés Merveille Kelvedon et Utrillo) par rapport à celles enregistrées sous la haute salinité à 200 mM (0.25 et 0.14g poids sec souterrain respectivement chez les deux variétés).

La réduction de croissance de l'appareil végétatif aérien est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles (**Daroui et al., 2013**). Quant à la matière fraîche racinaire, **Otuborlu et al. (2018)**, ont rapporté une réduction dans la croissance des parties souterraines sous l'effet de sel chez trois variétés de blé. Cette réduction est probablement attribuée à une baisse du potentiel osmotique chez les plantes exposées à un stress salin.

L'analyse statistique à l'aide du test ANOVA a révélé un effet concentrations significatif ($P \leq 0.05$) a été observé chez les deux variétés (Annexe 19). La comparaison

des moyennes avec le test de Dunnett a affiché deux groupes pour les deux variétés. Pour Merveille de Kelvedon, les résultats ont montré que les concentrations 0 mM, 75 mM et 150 mM ont des effets similaires sur ce paramètre, par contre seule la concentration 200 mM a présenté une différence significative sur le poids frais des parties aériennes. Quant à la variété Utrillo, les données statistiques ont montré des différences significatives entre deux groupes ou les résultats du témoin sont supérieurs à ceux pour les autres concentrations (annexe 20).

L'analyse de la variance AV2 a révélé une différence non significative entre les deux variétés (Annexe 21).

Le traitement statistique à l'aide du test ANOVA a montré un effet concentrations significatif ($P \leq 0.05$) a été noté pour les deux variétés (Annexe 22). Le test de Dunnett a montré qu'il existe deux groupes ou les concentrations 75 mM, 150 mM et 200 mM, ont présentées des effets similaires sur ce paramètre, par apport aux témoins qui présentent des résultats plus élevées à ceux pour les autres concentrations et ce pour les deux variétés (Annexe 23).

D'autre part, l'analyse de la variance AV2 a révélé une différence significative entre les deux variétés, dont la variété Merveille de Kelvedon a donné un résultat meilleur que la variété Utrillo (Annexe 24).

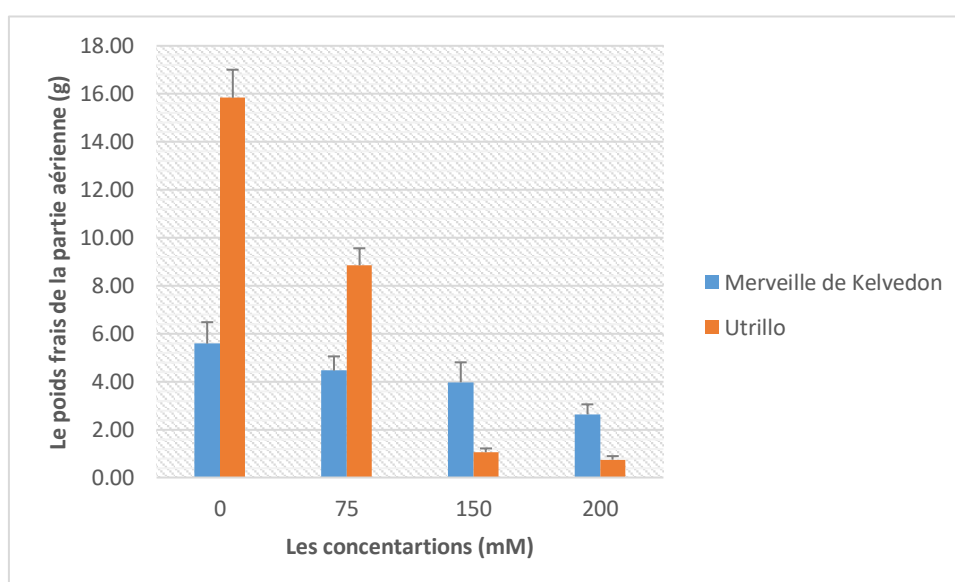


Figure 15 : Le poids frais de la partie aérienne (g) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

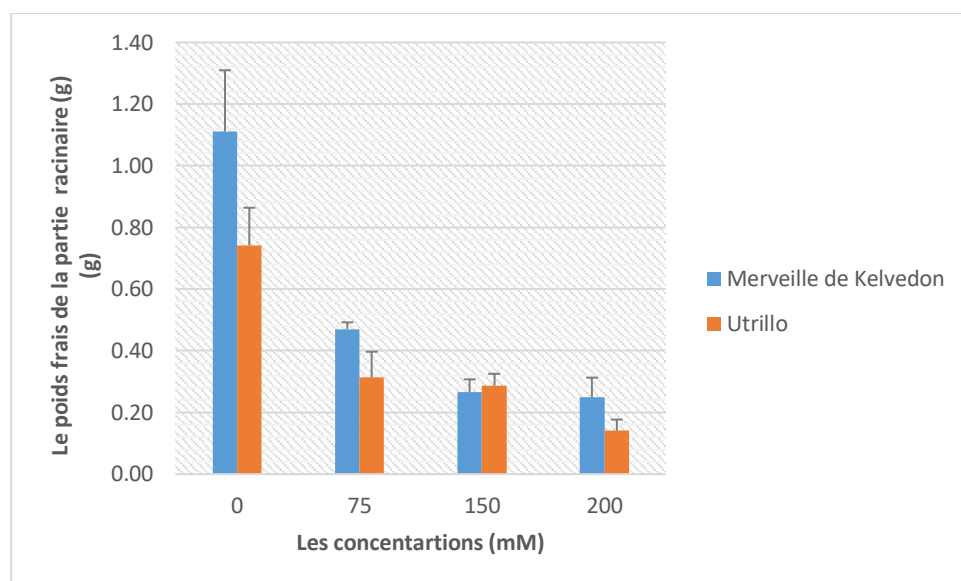


Figure 16 : Le poids frais de la partie racinaire (g) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.5. Le poids sec des parties aériennes et souterraines

Les résultats obtenus pour cette caractéristique indiquent (**Fig. 17 et 18**) une diminution de la matière sèche tant au niveau des parties aériennes ou souterraines pour les deux variétés. Cette diminution est observée à différents niveaux de stress et s'intensifie à mesure que la concentration de la contrainte saline augmente. Ainsi au traitement salin 150 mM, les valeurs moyennes enregistrées pour la matière sèche aérienne sont: 0.58 chez Merveille de Kelvedon et 0.35g chez Utrillo et 0.04g et 0.022g de matière sèche racinaire chez les deux variétés successivement contre 1.09 et 3.66g de matière sèche aérienne et 0.11 et 0.099g matière sèche racinaire successivement pour les traitements non additionnés de sel.

A un traitement salin à 200 mM, la matière sèche aérienne et racinaire continuent à chuter d'où les valeurs moyennes enregistrées (0.40 et 0.11g matière sèche aérienne et 0.03 et 0.015 g matière sèche racinaire successivement) en comparaison avec les traitements sans sel (1.09 et 3.66 g matière sèche aérienne et 0.11 et 0.099 g matière sèche racinaire).

Selon **Taffouo et al. (2004)**, l'ajout du NaCl dans le milieu de culture entraîne une diminution de la quantité de matière sèche dans les différents organes végétaux,

Cette réduction est probablement due à une inhibition de l'activité de certaines enzymes dans les organes concernés. L'impact négatif du stress salin sur la croissance des végétaux est largement documenté pour de nombreuses espèces cultivées (*Glycine max*, *Mucuna poggei*, *Phaseolus adenanthus*, *P. vulgaris* et *Vigna unguiculata*).

À des concentrations élevées, le NaCl peut directement inhiber la croissance des racines en agissant sur la division cellulaire, l'élongation cellulaire ou la combinaison des deux. La conséquence est la chute des masses sèche des plantules. La réduction de la masse des parties racinaires limite l'absorption d'eau, ce qui induit la limitation de production des tiges. Ce sont les signes de la toxicité de la plante (**Zaghdoud et al., 2021**).

L'analyse statistique avec le test ANOVA a montré un effet traitements significatif ($P \leq 0.05$) pour les deux variétés (Annexe 25). La comparaison des moyennes a prouvé l'existence de deux groupes ce qui nous indique que les différentes concentrations en sels utilisées ont des effets significatifs par rapport aux témoins qui donnent des résultats supérieurs aux autres concentration et ce pour les deux variétés examinées (Annexe 26).

Quant à L'analyse de la variance AV2, les résultats de ce test a présenté une différence significative entre les deux variétés dans laquelle, la variété Merveille de Kelvedon a donné un résultat inférieur à celui de la variété Utrillo (Annexe 27).

Le calcul statistique avec le test ANOVA a montré un effet concentrations significatif ($P \leq 0.05$) pour les deux variétés (Annexe 28). Les résultats de comparaison des moyennes ont affiché deux groupes à différence significative pour les deux variétés, ou les différentes concentrations en sels ont un effet néfaste par rapport aux témoins non traités (Annexe 29).

Pour l'analyse de la variance AV2, les résultats ont présenté une différence significative entre les deux variétés dont la variété Merveille de Kelvedon a donné un résultat supérieur à celui de la variété Utrillo (Annexe 30).

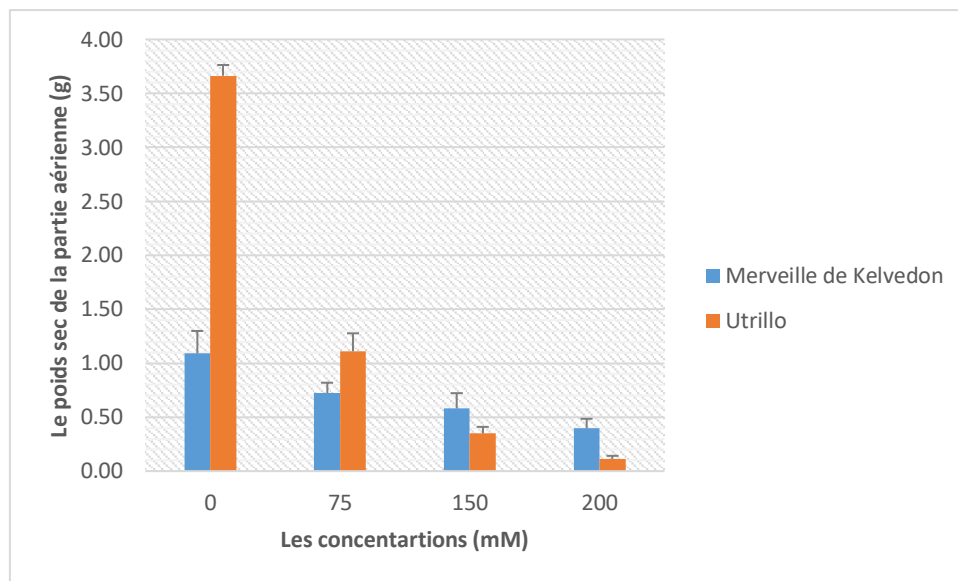


Figure 17 : Le poids sec de la partie aérienne (g) des deux variétés de pois petit traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

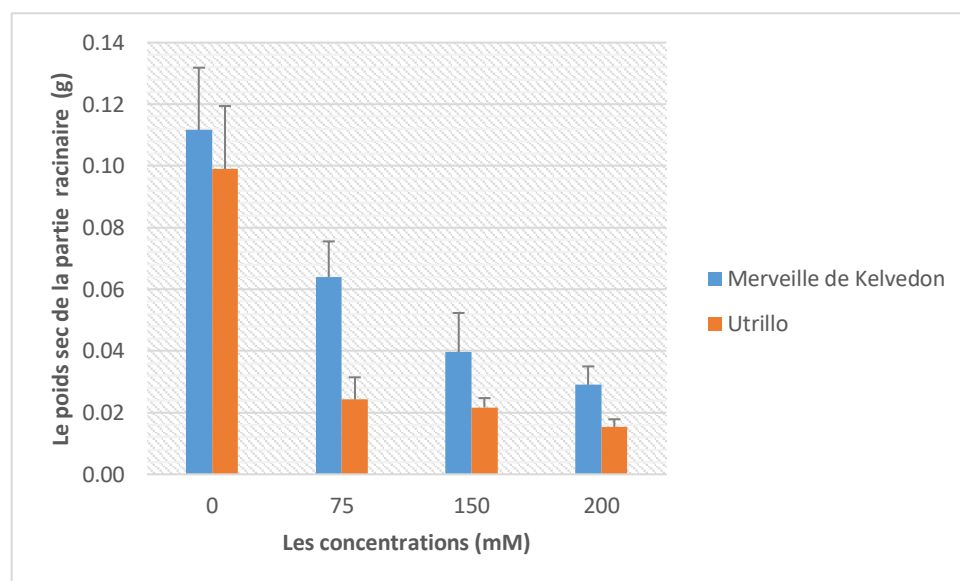


Figure 18 : Le poids sec de la partie racinaire (g) des deux variétés de pois petit traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.6. La teneur en chlorophylle totale

À partir des résultats illustrés dans la figur19, nous pouvons annoncer que les teneurs en chlorophylle totale sont influencées négativement avec l'application de différentes doses de NaCl chez les deux variétés de petit pois. Les teneurs en chlorophylles les plus élevées ont été enregistrées chez les échantillons non traités au NaCl, avec des valeurs moyennes de 21,59 µg/mg MF chez la variété Merveille de Kelvedon et 15,97 µg/mg les échantillons traités par le NaCl, d'où nous avons noté une réduction progressive chez les plantes exposées aux conditions de stress salin.

Cette diminution est d'autant plus marquée avec la sévérité de la contrainte saline. La plus faible teneur en chlorophylle a été observée à la concentration 200 mM avec des valeurs moyennes de 13.84 µg/mg MF et 9.65 µg/mg MF enregistrées chez les deux variétés respectivement (Merveille de Kelvedon et Utrillo).

Les résultats obtenu pour ce paramètre sont en accord avec ceux de **M'hamed et al. (2008)**, sur l'orge. Ces auteurs ont montré que le taux de chlorophylle totale est un paramètre très sensible aux concentrations excessives en sel, qui peut nous renseigner sur le degré de tolérance vis-à-vis le stress salin. La réduction de la teneur en chlorophylle observée après le traitement salin est due à l'effet de sel et au déséquilibre ionique, qui exercent une pression sur les chloroplastes (**Ferhat et Chebini, 2022**). Dans l'une des études effectuées sur le concombre, par **Khan et al. (2013)**, et celle menée par **Achour et al. (2015)**, sur le gombo ont démontré que le contenu total en chlorophylle des feuilles diminuait significativement avec l'augmentation des niveaux de NaCl appliqués. Cette diminution a été signalée également par **Samb et al. (2020)**, sur l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) cultivée sous condition de stress salin. Certains auteurs dont **Levitt (1980)**, a attribué la dégradation de la chlorophylle foliaire sous l'effet du traitement salin, à la destruction des pigments chlorophylliens et à l'instabilité du complexe pigmentaire protéique perturbé par l'excès des ions Na⁺ et Cl⁻.

L'analyse statistique ANOVA à un seul critère de classification a mis en évidence un effet traitement significatif ($p < 0,05$) chez les deux variétés (Annexe 31). Quant à la comparaison des moyennes par le test de Dunnet, les concentrations de 75, 150 et 200 mM ont montré des effets similaires sur ce paramètre par rapport au témoin chez la variété Merveille de Kelvedon, tandis que chez la variété Utrillo, seule la

concentration 200 mM a donné un effet significatif comparativement aux autres concentrations (0, 75 et 150 mM) (Annexe 32).

L'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence significative a été notée entre les deux variétés, d'où la variété merveille de kelvedon présente plus de tolérance par rapport à l'autre variété (Annexe 33).

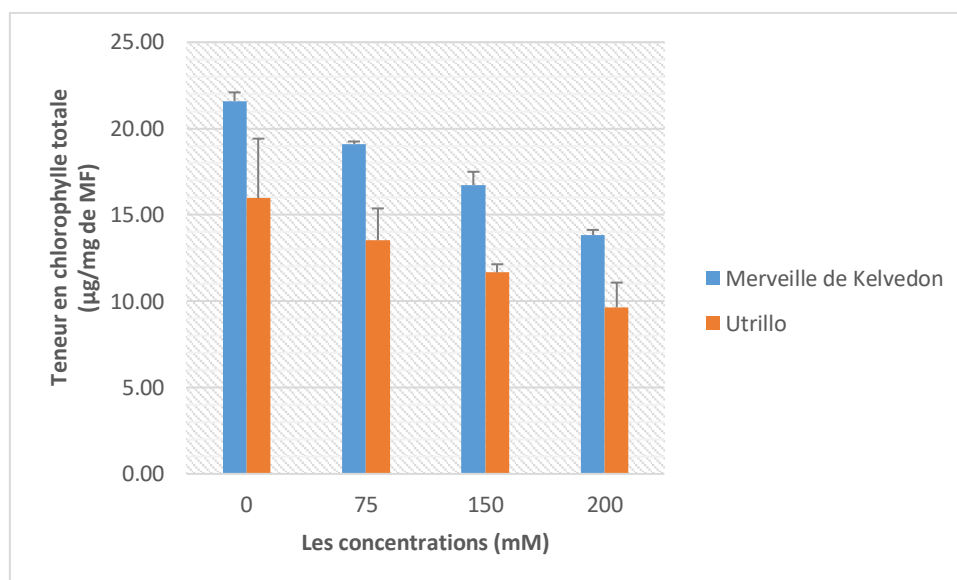


Figure 19 : La teneur en chlorophylle totale (µg/mg de MF) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

2.7. Dosage des sucres solubles

L'examen des résultats de la figure 20, a montré l'effet des différents niveaux du stress salin appliqué sur la teneur en sucres solubles chez les deux variétés de petit pois testées. Une augmentation de la teneur en sucres solubles est observée au fur et à mesure que la concentration en sel augmente. Les plus fortes augmentations des teneurs en sucres solubles ont été enregistrées à la concentration de 200 mM avec des valeurs moyennes de 2.50 µg/mg de MF pour la variété Merveille de Kelvedon et 2.49 µg/mg de MF pour la variété Utrillo contre 1.41 µg/mg de MF et 1.31 µg/mg de MF successivement pour les plantules non traitées. De nombreuses études dont celle de **Lepengue et al. (2012)**, a révélé une augmentation de la teneur des composés glucidiques des cultivars de roselle, proportionnellement aux doses appliquées du NaCl. En est de même pour l'étude de **Amara et Benrima, (2017)**, les auteurs ont rapporté

une accumulation des sucres solubles dans les feuilles médianes de la coriandre en fonction de l'intensité du stress salin. Selon **Manchanda et Garg (2008)**, et **Hanana et al. (2011)**, la plante réagit au stress osmotique provoqué par la salinité, par la synthèse des solutés organiques osmoprotecteurs tels que les sucres. Les accumulations en sucres aux concentrations modérées de NaCl destinée à ajuster le potentiel osmotique et à améliorer l'absorption d'eau sous salinité (**Laredj Zazou, 2020**). Ces composés sont donc considérés comme indice de résistance au stress salin (**Muuns et al., 2006**).

Le traitement statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification, a montré un effet significatif ($p > 0,05$) entre les différents traitements et ce pour les deux variétés étudiées (Annexe 34). La comparaison des moyennes par le test de Dunnett a indiqué que les concentrations 75, 150 et 200 mM ont montré des différences significatives sur ce paramètre par rapport à l'échantillon sans sel chez les deux variétés examinées (Annexe 35).

L'analyse de la variance à deux critères de classification a révélé une différence non significative entre les deux variétés (Annexe 36).

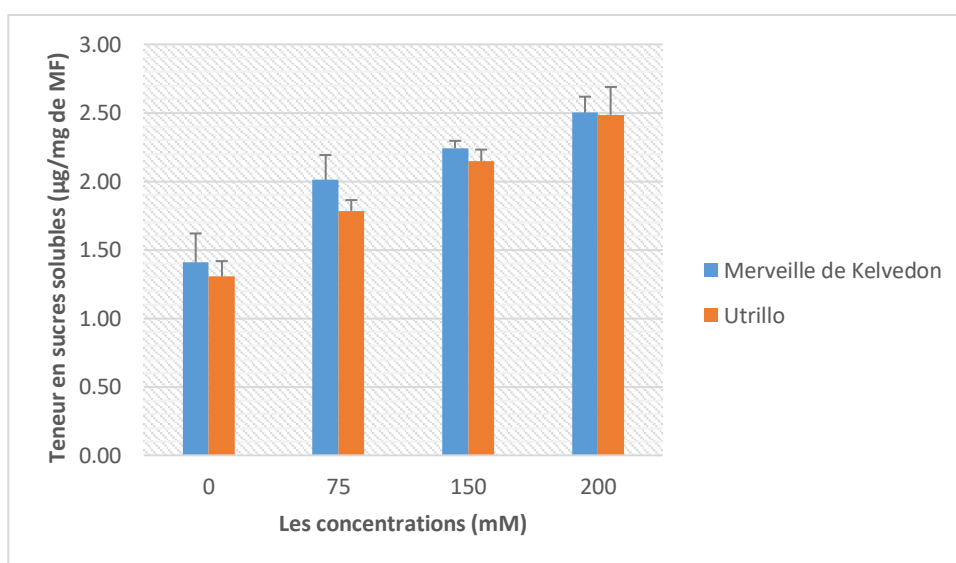


Figure 20 : La teneur en sucres solubles (µg/mg de MF) des deux variétés de petit pois traitées par des concentrations croissantes de NaCl (mM)

Conclusion

Conclusion

Cette étude a eu pour objectif d'évaluer et de comparer le comportement de deux variétés de petit pois (*Pisum sativum* L.) Merveille de Kelvedon et Utrillo en milieu salin. L'évaluation de l'effet de la salinité sur ces deux variétés présélectionnées, a été réalisée sur une gamme de concentrations de chlorure de sodium (0 mM, 75 mM, 150 mM et 200 mM).

A l'issue de cette étude, nous avons constaté que les deux variétés testées ont montré une réponse négative vis-à-vis le traitement salin et ce pour les différents tests effectués aussi bien pour la germination des graines, que pour les paramètres physiologiques et biochimiques effectuées sur des plantules soumises à la contrainte saline.

Une diminution du pourcentage de germination, de la longueur des racines et des tigelles a été observée chez les graines traitées par des concentrations croissantes de NaCl et ce pour les deux variétés examinées.

D'autre part, les différents niveaux du stress salin appliqués ont des effets néfastes sur la croissance en longueur des plantules et réduisent aussi bien la longueur des racines que la hauteur des tiges et cette réduction est en fonction de l'intensité du stress. De même pour la surface foliaire, le taux des matières fraîches et sèches des tiges et des racines et la teneur en chlorophylle totale qui ont subi des réductions notables contrairement aux doses appliquées, et l'impact du stress était plus important pour les concentrations élevées. En ce qui concerne la teneur en sucres solubles, les deux variétés ont combattu le stress salin par une forte accumulation de sucres solubles foliaires. Cette accumulation est plus forte chez la variété Merveille de Kelvedon par rapport à la variété Utrillo. La hausse des teneurs en sucres solubles est une stratégie adaptative des plantes pour faire face au stress salin.

L'analyse globale de ces résultats nous permet de conclure que les deux variétés de petit pois examinées ont montré une sensibilité vis-à-vis les concentrations de NaCl utilisées, cependant, la variété Utrillo semble être plus sensible que Merveille de Kelvedon pour la quelle un certain nombre de paramètres estimés sont plus affectés par la présence de sel dans le milieu chez la variété Utrillo (pourcentage de germination, longueur de la tigelle et de la racine, hauteur des plantes, poids frais et sec des parties racinaires, teneur en chlorophylle totale et en sucres solubles) par rapport à l'autre variété.

En perspective,

L'étude de la tolérance des plantes cultivées aux excès de sels est très importante sur le plan socio-économique en vue de maintenir une production durable des produits agricoles pour l'autosuffisance en besoins alimentaires.

Afin de valoriser les sols salins par des espèces tolérantes au sel, il serait intéressant d'élargir les études dans le domaine d'amélioration et de sélection des espèces adaptées aux milieux salins. Aussi de tester d'autres paramètres de tolérance au sel plus fiables notamment l'accumulation d'osmotocums (la proline), et même les études anatomiques qui nous permettent de bien cerner les signes de tolérance au sel.

Résumés

.

Résumé

La salinité est un problème majeur de dégradation des sols qui menace la survie des cultures et la sécurité alimentaire mondiale. La présente étude vise à évaluer l'impact du stress salin sur le comportement physiologique et biochimique de deux variétés de petit pois (Utrillo et Merveille de Kelvedon), en utilisant des concentrations croissantes de chlorure de sodium (75 mM, 150 mM, 200 mM), ainsi qu'un échantillon témoin sans addition de sel. Les tests ont été réalisés à deux niveaux : un test de germination dans des boîtes de Pétri réalisé au laboratoire de botanique, et un test de croissance dans des pots et sous serre semis contrôlée. Les tests consistent à déterminer plusieurs paramètres de germination des graines et de croissance des plantules (le taux de germination des graines, longueur des coléoptiles, longueur des racicules, hauteur des plantes, longueur de la racine principale, surface foliaire, le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines, teneur en chlorophylle totale et teneur des sucres solubles). Les résultats obtenus ont montré que la salinité avait un effet négatif clair sur la germination et la croissance des deux variétés étudiées. Cet effet se traduit par une diminution du taux de germination des graines, de la longueur de la racicule et de coléoptile en fonction de l'intensité du stress salin. La même tendance a été observée pour les paramètres de croissance d'où les réductions enregistrées en fonction de l'augmentation de la concentration en sel dans le milieu. D'autre part le NaCl induit des hausses dans la teneur en sucres solubles proportionnellement aux concentrations appliquées. A partir de ces résultats, nous pourrions déduire que le traitement salin a entraîné une baisse remarquable pour la plupart des paramètres mesurés (pourcentage de germination, longueur de la tige et de la racicule, hauteur des plantes, poids frais et sec des parties racinaires, teneur en chlorophylle totale et en sucres solubles) et une hausse dans la teneur en sucres solubles chez la variété Utrillo par rapport à l'autre variété. Ces résultats montrent que la variété Utrillo semble relativement plus sensible que Merveille de Kelvedon dans la limite des concentrations testées.

Mots clés : Petit pois, salinité, sensibilité, germination, croissance

Abstract

Salinity is a major problem causing soil degradation that threatens the survival of crops and global food security. This study aims to evaluate the impact of salt stress on the physiological and biochemical behavior of two varieties of peas (Utrillo and Merveille de Kelvedon), using increasing concentrations of sodium chloride (75 mM, 150 mM, 200 mM), as well as a control sample without the addition of salt. The tests were conducted at two levels: a germination test in Petri dishes carried out in the botany laboratory, and a growth test in pots and under controlled greenhouse conditions. The tests involve determining several parameters of seed germination and seedling growth (seed germination rate, length of coleoptiles, length of radicles, plant height, length of the main root, leaf area, fresh and dry weight of aboveground and underground parts, total chlorophyll content, and soluble sugar content). The results showed that salinity had a clear negative effect on the germination and growth of both varieties studied. This effect resulted in a decrease in seed germination rate, radicle length, and coleoptile length depending on the intensity of salt stress. The same trend was observed for the growth parameters, with reductions recorded as the salt concentrations in the environment increased. Furthermore, NaCl induced increases in the soluble sugar content proportionally to the applied concentrations. From these results, it can be deduced that the saline treatment led to a remarkable decrease for most of the measured parameters (percentage of germination, length of coleoptile and radicle, plant height, fresh and dry weight of root parts, total chlorophyll content, and soluble sugar content) and an increase in the soluble sugar content in the Utrillo variety compared to the other variety. These results show that the Utrillo variety appears to be relatively more sensitive than Merveille de Kelvedon within the tested concentrations.

Keywords : Peas, salinity, sensitivity, germination, growth

المخلص

تعد الملوحة مشكلة رئيسية تؤدي إلى تدهور التربة وتهدد الأمن الغذائي العالمي. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى تأثير الاجهاد الملحي على السلوك الفسيولوجي والكيميائي الحيوي لصنفين من البازلاء (Merveille de kelvedon et Utrillo) باستخدام تراكيز متزايدة من كلوريد الصوديوم (75ملي مول، 150ملي مول و200ملي مول) بالإضافة إلى عينة لم تتم معاملتها بإضافة تراكيز الملح استخدمت كشاهد. أجريت الاختبارات على مستويين: اختبار الإنبات في علب بتري وتم على مستوى مختبر علم النبات، واختبار النمو في أصص داخل البيت البلاستيكي التابع لكلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون تحت ظروف شبه مراقبة. شملت الاختبارات قياس عدة معايير لإنبات البذور ونمو النباتات مثل نسبة إنبات البذور، طول السويقة والجذير، طول النباتات، طول الجذر الرئيسي، مساحة الأوراق، الوزن الطري والجاف للأجزاء الهوائية والجذرية، محتوى الكلوروفيل الكلي ومحتوى السكريات الذائبة. بينت النتائج المحصل عليها أن المعالجة الملحية أثرت سلباً على إنبات ونمو الصنفين المدروسين، حيث ظهر ذلك في انخفاض نسبة إنبات البذور وطول الجذير والسويقة مع زيادة شدة الإجهاد الملحي، ولوحظ كذلك نفس الانخفاض في معايير النمو، حيث تم تسجيل انخفاض في قيم المعايير المدروسة بالمقارنة مع العينة الشاهد ويزداد الانخفاض كلما زاد تركيز الملح في الوسط. بينما أدت المعاملة الملحية المطبقة إلى ارتفاع في محتوى السكريات الذائبة بزيادة التراكيز الملحية في كلا الصنفين. اعتماداً على النتائج المتحصل عليها يمكننا أن نستخلص أن إضافة الملح أدى إلى انخفاض ملحوظ في معظم المعايير المدروسة (نسبة الإنبات، طول الجذور والسويقة، ارتفاع النباتات، الوزن الطازج والجاف للأجزاء الجذرية، محتوى الكلوروفيل الكلي ومحتوى السكريات الذائبة)، وزيادة في محتوى السكريات الذائبة عند الصنف Utrillo بالمقارنة مع الصنف Merveill de kelvedon. هذه النتائج تبين أن الصنف Utrillo يبدو أكثر حساسية اتجاه التراكيز الملحية المستخدمة بالمقارنة مع الصنف Merveille de kelvedon.

الكلمات المفتاحية : البازلاء، الاجهاد الملحي، الحساسية، الإنبات ، النمو.....

*Références
bibliographiques*

Abdelguerfi, A. et Laouar, M. 2001. Distribution des espèces d'*Onobrychis* en relation avec quelques facteurs du milieu, en Algérie. Ann. Inst. Nat. Agron., El Harach, Sous presse.

Abdul Qados, A.M.S. 2010. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* (L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10 : 7-15.

Abou Seeda, M.A. E.A.A. Abou El-Nour, Maha, M.S. Abdallah Hala, M.S. ElBassiouny, and Abd El-Monem, A.A. 2022. Impacts of Salinity Stress on Plants and Their Tolerance Strategies. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 12(3): 282-400.

Achour, A. Bidai, Y. et Belkhodja, M. 2015. L'impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, (12): 943-953.

Al-Khateeb, S.A. 2006. Effect of salinity and temperature on germination, growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk. *Biores Technol*, 97 : 292-298.

Amara, N. et Benrima, A. 2017. Effet de la contrainte saline sur la croissance et le développement de la coriandre (*Coriandrum sativum* L.). *Revue Agrobiologia*, 7 (1): 203-209.

Asloum, H. (1990). *Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, Lycopersicum esculentum L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres.* Thèse de doctorat, en développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis (France), p 24-32.

Aubert, G. 1982. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Cahier O.R.S.T.O.M. Service Pédologie, 194 P.

Bassou, S. 2019. *Effet du stress salin sur la germination de trois variétés d'haricot (Phaseolus vulgaris L).* Mémoire de master en Sciences agronomiques (production végétale), Université Mohamed Khider de Biskra, 53p.

Bayuelo, J.S. Graig, R. And Lynch, J. P. 2002. Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, 42 : 1584-1594.

Ben Hayyim, G. Vaadia, Y. & William, B. 1989. Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells. Involvement of 26 KD polypeptides. *Plant physiology*, 7 : 332-340.

Ben milledd, B. et CHerifa, M. 1986. Tolérance au sel d'espèce annuelles de genre Medicago au cours de la germination. Colloque sur les végétaux en milieu aride. Tunisie ; Djerba.

Ben Naceur, M. Rahmoune, C. Sdiri, H. Meddahi ML, et Selmi, M .2001. Effet du stress salin sur la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sécheresse*, 12: 167-174.

Benata, H. Berrichi, A. B. Reda Tazi, M. Abdelmoumen, H. Misbah, S. et El Idrissi,M .2006. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *leucaenaleucocephala* et *prospis juliflora*. *Le premier congrès national sur l'amélioration de production agricole*, P 25.

Benidire, L. Daoui, K. Fatemi, Z. A. Achouak, W. Bouarab, L. & Oufdou, K. 2014. Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L.J. *Master.Environ.*, 6(3): 840-851.

Benmahioul, B. Daguin, F. et Kaid-Harche, M. 2009. Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies*, 332 : 752-758.

Calvet, R. 2003. Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, Cambridge Unive Press., 511 P.

Camara, B. Sanogo, S. Cherif, M. et Kone, D. 2018. Effet du stress salin sur la germination des graines de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Glycine max* et *Vigna unguiculata*). *J.Appl. Biosci.*,124: 12424-12432p.

Cheikh, O. S. Dethie, W. Elhadji, F. et Diaw, M.M. 2020. Effet du stress salin sur la croissance de quatre provenances d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en milieu semicontrôlé. *Journal sciences de l'environnement*, 22(3) : 4-37.

Come, D. 1970. Les obstacles à la germination, Ed. Société linnéenne de Lyon, 108p.

Dekak, A. et Benhizia, Y. 2018. Caractérisation des isolats bactériens par des techniques phénotypiques et électrophorétiques isolés à partir des nodules de quelques espèces de légumineuses 12 (3): 282-400.

Douaoui, A. & Hartani, T. 2008. Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chellif. *Scientificcommons*. p.1-5.

Dubois, M. Gilles, K. A. Hamilton, J. K. Rebers, P.A. et Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal Chem.*, 28 : 350-356.

El Sabagh, A. Islam, M. S. Skalicky, M. Ali Raza, M. Singh, K. Anwar Hossain, M. Hossain, A. Mahboob, W. Iqbal, M. A. Ratnasekera,D. Singhal, R.K. Ahmed, S. Kumari, A. Wasaya, A. Sytar, O. M. Çig, F. Erman, M. Habib Ur Rahman, M. &Arshad, A. 2021. Adaptation and Management Strategies. *Frontiers in Agronomy*,3 (661932): 1-20. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.661932>.

El-Chahat, N. 2000. Les hormones végétales et les applications agricoles Maison arabe d'édition et de distribution, P 547- 577.

El-Hendawy, S. Elshafei, A. Al-Suhaibani, N. Alotabi, M. Hassan, W. Dewir, Y. H. & Abdella ,K. 2019. Assessment of the salt tolerance of wheat genotypes during the germination stage based on germination ability parameters and associated SSR markers, *Journal of Plant Interactions*, 14 : 151-163.

FAO 2021 <https://www.fao.org/newsroom/detail/world-soil-day-fao-highlights-threat-of-soil-salinization-to-food-security-031221/fr> consulté le : 28/04/2024.

Ferhat, L. & Chebini, S. 2022. *Effet du stress salin sur la croissance et la teneur en chlorophylle chez une variété de tomate. (Moulin à tomates esculentum Solanum).* Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'obtention du Diplôme en Master académique en Sciences de la Nature et de la Vie Filière en sciences agronomiques. Spécialité Système de production agro-écologique. Université Blida1 Faculté des Sciences de la Nature de Vie Département des Biotechnologies, 43p.

Forster, H. Coffey, M. Elwood, H. and Sogin, M. L. 1990. Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNA s of theree zoosporic fungi and implications for fungal evolution. *Mycologia*,p 82.

Ferdous, M. C. Hannachi, S. R. and Bouslama, M. 2007. Comportement agronomique d'une collection de pois *Pisum sativum L.* *Tropicultura*. 25(4): 248-252.

Garg, N. & Manchanda, G. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol Plant*, 20: 595-618.

Ghoulam, C. Fares, K .2001. Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris L.*). *Seed Sci Tech* 29 : 357-364

Girard, P. Prost, J. & Bassereau, P. 2005. Passive or Active Fluctuations in graminées halophytes spontanées de la Tunisie méridionale. *Options Méditerranéennes*.

Graham, P. H. et Vance, C.P. 2003. Legumes importance and constraints to greater Use. *Plant physiology*,131 (3): 872-877.

Gregory, B. 2005. *Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique.* Thèse Doctorat (Ph.D.) en sciences forestières. Université Lava Canada de foresterie etgéomatique, 209p.

Guptam, R. K. &Albrol, I.P. 1990. Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag.New York,11: p 288.

Hanana, M. Hamrouni, L. Cagnac, O. & Blumwald, E. 2011. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environmental Reviews*, 19 : p121-140. <https://doi.org/10.1139/a11-003>.

Houadeq, H. et Herati, N. 2013. *Effet de la kinétine sur la germination et la croissance des plantules de blé dur Triticum durum de la variété (wha) sous des conditions de stress hydrique.* Mémoire de master en biologie et physiologie végétale, spécialité métabolisme secondaire et molécules bioactives. Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université de Constantine 1.

Hamdoud, N. 2012. *Effet du stress salin sur la croissance et la physiologie de la fève (vicia faba L.).* Mémoire de magister en science agronomiques, en pédologie, école nationale supérieure agronomique el- Harrach Alger.

Ibn Maaouia, H. M. Denden, B. D. M. & Ben Mansour, G. S. 2011. Caractéristiques de la croissance et de la production en fruits chez trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) sous stress salin. *Tropicultura*, 29(2): 75-81.

Kadri, K. Maalam, M. Cheikh, H. Benabdallah, A. Rahmoun, C. Ben naceur, M. 2009. Effect of the saline stress on germination, the growth and the production in grains of some Tunisian barley accessions (*Hordium vulgare* L. Sci & Tech., 29 : 72-79.

Khan, M. M. Ruqaya, S. Al-Mas'oudi, M. Al-Said, F. et Khan, I. 2013. Salinity Effects on Growth, Electrolyte Leakage, Chlorophyll Content and Lipid Peroxidation in Cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Conference on Food and Agricultural Science*, 55(6): 28-32. DOI: 10.7763/IPCBE. 2013. V55. 6.

Khan, M.A. Ahmed, M. Z. et Hamee, A. 2006. Effect of sea salt and L-ascorbic acid on the seed germination of halophytes. *Journal of Arid Environments*, 67 : 535-540.

Kondetti, P. Jawali, N. Apte, S.K. et Shitole, M.G. 2012. Salt tolerance in Indian soybean (*Glycine max* L. Merrill) varieties at germination and early seedling growth. *Annals of Biological*, 3 : 1489-1498.

Kuiper, D. Schuit, J. et Kuiper, P.J.C. 1990. Actual cytokinin concentrations in plant tissue as an indicator for salt resistance in cereals, *Plant Soil*, 123 : 243-250.

Lambers, H. 2003. Salinity Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Changi. Introduction, dryland salinity A key environmental issue in Southern Australia. *Plant and Soil*, 257 :5-7.

Laredj, Z. R. 2020. *Evaluation du Comportement Physiologique et Potentialité Biochimique et Phytochimique Adaptative du (Phaseolus vulgaris.L) Soumise au stress salin : cas des cultivars SIDI FERREDJ et DJADIDA.* Thèse de doctorat d'université Djilali Liabes de Sidi Bel Abbès. Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des sciences de l'environnement. Option : Physiologie Végétale
Laboratoire : Écodéveloppement des espaces. Sidi Bel Abbès, Algérie. p104.

Le Goupil, J. C. 1974. Agronomie Tropicale. Série 3 : Séminaire "développement rural.

Lepengue, A. N. Mouaragadja, I. Ake, S. & M'Batchi, B. 2012. Quelques aspects biochimiques de la réaction de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *Sabdariffa*) au stress salin. *Journal of Applied Biosciences*. 49 : 3452-3458.

Levitt, J. 1980. Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. *Academic Press, New York*. 606 p.

Loyer, J.Y. 1991. Classification des sols salés : les sols Salit. ORSTOM, Paris.

M'hamed, H. C. Abdellaoui, R. Kadri, K. NACEUR, M. B. & HADJ, S. B. 2008. Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordiumvulgare* L.) cultivées en Tunisie : approche physiologique. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*. P 30-37.

Maillard, J. 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. *Handicap International*, 34 p.

Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdlguerfi, A. et Nouar, H. 2008. Morphological and growth characteristics of Perennail Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. *Journal of Agronomy*, 7(2) : p138-147.

Mochida, K. Yoshida, T. Sakurai, T. Yamaguchi-Shinozaki, K. Shinozaki, K. et Tran, LS. 2011. In silico analysis of transcription factor repertoires and prediction of stress-responsive transcription factors from six major Gramineae plants. *DNA Res.*, 18 : 321-332.

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

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25 : 239-250.

Munns, R. Plant Cell Environ. 2002. 25: p 239.

Munns. (2005). Genes and salt tolerance: Bringing them together, *nanphytoval* 167 (3) : 645-663.

Munier-Jolain, N. Christian, J. Judith, B. Christophe, S. and Séverine, S. 2005. Dynamics of Exogenous Nitrogen Partitioning and Nitrogen Remobilization from

Vegetative Organs in Pea Revealed by ^{15}N in Vivo Labeling throughout Seed Filling. *Plant Physiology*, 137 (4): 1463-1473. <https://doi.org/10.1104/pp.104.056713>

Naimi, F. et Merdj, A .2018. *Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantes d'haricot (Phaseolus vulgaris L.)*. Mémoire de master en biologie, spécialité protection des écosystèmes, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université djalali bounaama de khemis miliana.

Nassar, R. M. A. Kamel, H. A. Ghoniem, A. E. Alarcón, J. J. Sekara, A. Ulrichs, C. & Abdelhamid, M. T. 2020. PhysiologicAnatomal and ical Mechanisms in Wheat to Cope with Salt Stress Induced by Seawater. *Plants*, 9 (2): 237. <https://doi.org/10.3390/plants9020237>.

Ndour, D. et Danthu, B .2000. Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*, 11 p.

Otu borlu, H. Celiktas, V. Duzenli, S. Hossain, A. El Sabagh, A .2018. Germination and early seedling growth of five durum wheat cultivars (triticum durum desf.) is affected by different levels of salinity. *Sciences Agronomy and Agriculture*, 27 : 7746-7757.

Parida, A. K. et Das, A. B. 2005. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 60: p324.

Qadir.M. Quillérrou. E. Nangia. V. Murtaza. G. Singh. M. Thomas. R. J. Drechsel. P. & Noble. A. D. 2014. Economics of salt-induced land degradation and restoration. *Natural Resources Forum*. 38 (4) : 282-295. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12054>.

Rao, D.N. et Le Bmanc, B.F. 1956. Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Bryologist*, (69) : 69-75.

Robert, M. 1996. Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON. Paris. 96 P.

Samb, C.O. Dethie, W. Elhadji, F. & Diaw, M. M. 2020. Effet du stress salin sur la croissance de quatre provenances d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en milieu semi-contrôlé. *Sciences de l'environnement*. DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.28462>.

Schulze, E. D. et al., 2005. *Plant ecology. Edition Springer Berlin. Heidelberg*, p 692.

Sun. N. Z. 1994. Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic.6: 337p

Taffouo, V.D. Nouck, S. Dibong, D. et Anougou A. 2010. Effect of salinity stress on seeding growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(33). 5366-5372.

Tavakkoli, E. Fatehi, F. Coventry, S. et Rengasamy, P. 2011. McDonald G.K., J. Exp. Bot. 62, p218.

Teggar, N. 2015. *Etude de l'effet du stress salin sur la nodulation et sur quelques paramètres biochimiques et morphologiques de la lentille (lens culinaris L).* Mémoire de Magister en Ecophysiologie végétale. Université d'Oran, 68 p.

Tremblin, G. 2000. Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis*: plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*. 11 (2):109-116.

Verma. P. R. Goyal, R. Chahota, T. R. Sharma, M. A. et S. Bhatia. 2015. Construction of a Genetic Linkage Map and Identification of QTLs for Seed Weight and Seed Size Traits in Lentil (*Lens culinaris*). *PloS one* 10(10) : 1-17.

Wang, W. Vinocur, B. & Altman, A. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta*, 218 (1): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00425-003-1105-5>

Wang, Y. and NIL, N .2000. Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75 : p. 623–627.

Wani, S. H. Kumar, V. Khare, T. Guddimalli, R. Parveda, M. Solymosi, K. Suprasanna, P. & KaviKishor, P. B. 2020. Engineering salinity tolerance in plants : Progress and prospects. *Planta*, 251 (4): 76. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03366-6>

Zaghdoud, Ch. Bagues, M. Nagaz, K .2021. Effets individuels et combinés du zinc et salinité sur la germination et la croissance racinaire de lentille cultivée (*Lens culinaris* Medik.) *International "Agriculture Oasienne et Développement Durable" Zarzis (Tunisie)*, p 315-323.

Site internet

1. <https://www.agrosemens.com/pois-a-ecosser/685-pois-a-ecosser-merveille-de-kelvedon.html>
2. <https://www.ducrettet.com/graineterie/2183/pois/267228/utrillo-pisum-sativum-pops18>

Annexes

Tableau 01 : Taux de germination (%) des graines de la variété de merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Pourcentage germination %	100	83.33	63.33	36.67

Tableau 02 : Longueur de la racine (cm) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la racine (cm)	3.20	1.82	1.12	0.73

Tableau 03 : Longueur de la tige (cm) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la tige (cm)	1.72	0.88	0.65	0.38

Tableau 04 : Hauteur des plantes (cm) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La hauteur des plantes (cm)	22.60	20.28	19.70	16.73

Tableau 05 : Longueur de la racine principale (cm) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de racine principale (cm)	11.63	11.55	10.78	8.68

Tableau 06 : La surface foliaire (cm²) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La surface foliaire (cm ²)	7.54	6.12	4.81	4.20

Tableau 07 : Le poids frais de la partie aérienne (g) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie aérienne (g)	5.58	4.46	3.97	2.63

Tableau 08 : Le poids frais de la partie racinaire (g) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie aérienne (g)	1.09	0.72	0.58	0.40

Tableau 09 : Le poids sec de la partie aérienne (g) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie racinaire (g)	1.11	0.47	0.27	0.25

Tableau 10 : Le poids sec de la partie racinaire (g) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie racinaire (g)	0.11	0.06	0.04	0.03

Tableau 11 : La teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La teneur en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)	21.59	19.10	16.73	13.84

Tableau 12 : La teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété merveille de kelvedon soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La teneur du dosage de sucre ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)	1.41	2.01	2.24	2.50

Tableau 13 : Taux de germination (%) des graines de la variété de Utrillo soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Pourcentage germination %	83.33	70.00	40.00	26.66

Tableau 14 : Longueur de la racicule (cm) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la racicule (cm)	2.00	1.28	0.78	0.54

Tableau 15 : Longueur de la tigelle (cm) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la tigelle (cm)	1.00	0.69	0.47	0.28

Tableau 16 : Hauteur des plantes (cm) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La hauteur des plantes (cm)	24.7	16.5	10.2	5.3

Tableau 17 : Longueur de la racine principale (cm) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La longueur de racine principale (cm)	22.4	12.9	11.3	4.9

Tableau 18 : La surface foliaire (cm²) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La surface foliaire (cm ²)	14.76	7.39	4.47	2.4

Tableau 19 : Le poids frais de la partie aérienne (g) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie aérienne (g)	15.8	8.85	1.05	0.74

Tableau 20 : Le poids frais de la partie racinaire (g) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie aérienne (g)	3.66	1.11	0.35	0.11

Tableau 21 : Le poids sec de la partie aérienne (g) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie racinaire (g)	0.74	0.31	0.29	0.14

Tableau 22 : Le poids sec de la partie racinaire (g) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie racinaire (g)	0.099	0.024	0.022	0.015

Tableau 23 : La teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La teneur en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)	15.97	13.53	11.66	9.65

Tableau 24 : La teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété Utrillo soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

Concentrations	0 mM	75 mM	150 mM	200 mM
La teneur du dosage de sucre ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)	1.31	1.78	2.15	2.49

Annexe 01 : Analyse de la variance AV1 du pourcentage de germination (%)

Merveille de kelvedon

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	6691,7	2230,56	29,74	0,000
Erreur	8	600,0	75,00		
Total	11	7291,7			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	6167	2055,6	12,33	0,002
Erreur	8	1333	166,7		
Total	11	7500			

Annexe 02 : Résultats du test de Dunnet pour le taux de germination (%)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	100,0	A
C1	3	83,33	A
C2	3	63,33	
C3	3	36,67	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	83,33	A
C1	3	70,0	A
C2	3	40,00	
C3	3	26,67	

Annexe 03 : Analyse de la variance AV2 du pourcentage de germination (%)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	1504,2	1504,17	13,75	0,001
Concentration (mM)	3	12712,5	4237,50	38,72	0,000
Erreur	19	2079,2	109,43		
Inadéquation de l'ajust	3	145,8	48,61	0,40	0,753
Erreur pure	16	1933,3	120,83		
Total	23	16295,8			

Annexe 04 : Analyse de la variance AV1 de la longueur de la racicule (cm)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	10,6703	3,55676	117,41	0,000
Erreur	8	0,2424	0,03029		
Total	11	10,9126			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	3,7629	1,25429	29,77	0,000
Erreur	8	0,3370	0,04213		
Total	11	4,0999			

Annexe 05 : Résultats des tests de Dunnet pour de la longueur de la racicule (cm)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	3,203	A
C1	3	1,8250	
C2	3	1,1238	
C3	3	0,7250	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	2,002	A
C1	3	1,283	
C2	3	0,7789	
C3	3	0,5389	

Annexe 06 : Analyse de la variance AV2 de la longueur de la racine (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	1504,2	1504,17	13,75	0,001
Concentration (mM)	3	12712,5	4237,50	38,72	0,000
Erreur	19	2079,2	109,43		
Inadéquation de l'ajust	3	145,8	48,61	0,40	0,753
Erreur pure	16	1933,3	120,83		
Total	23	16295,8			

Annexe 07 : Analyse de la variance AV1 de la longueur de la tige (cm)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	3,0265	1,00883	24,55	0,000
Erreur	8	0,3287	0,04109		
Total	11	3,3552			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	0,79071	0,26357	25,90	0,000
Erreur	8	0,08141	0,01018		
Total	11	0,87212			

Annexe 08 : Résultats des tests de Dunnett pour de la longueur de la tige (cm)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,720	A
C1	3	0,885	
C2	3	0,653	
C3	3	0,3750	

Utrillo

Concentration	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	1,0037	A
C1	3	0,6925	
C2	3	0,4817	
C3	3	0,3167	

Annexe 09 : Analyse de la variance AV2 de la longueur de la tigelle (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	0,4860	0,48604	11,57	0,003
Concentration (mM)	3	3,4289	1,14297	27,20	0,000
Erreur	19	0,7985	0,04202		
Inadéquation de l'ajust	3	0,3883	0,12943	5,05	0,012
Erreur pure	16	0,4102	0,02563		
Total	23	4,7134			

Annexe 10 : Analyse de la variance AV1 de la hauteur des plantes (cm)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	52,454	17,4847	55,88	0,000
Erreur	8	2,503	0,3129		
Total	11	54,957			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	635,307	211,769	563,47	0,000
Erreur	8	3,007	0,376		
Total	11	638,314			

Annexe 11 : Résultats des tests de Dunnet pour de la hauteur des plantes (cm)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupe
C0	3	22,600	A
C1	3	20,283	
C2	3	19,700	
C3	3	16,733	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupe
C0	3	24,7333	A
C1	3	16,533	
C2	3	10,217	
C3	3	5,283	

Annexe 12 : Analyse de la variance AV2 de la hauteur des plantes (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	190,688	190,688	20,79	0,000
Concentration (mM)	3	518,975	172,992	18,86	0,000
Erreur	19	174,296	9,173		
Inadéquation de l'ajust	3	168,786	56,262	163,37	0,000
Erreur pure	16	5,510	0,344		
Total	23	883,960			

Annexe 13 : Analyse de la variance AV1 de la longueur de la racine principale (cm)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	16,986	5,6619	20,09	0,000
Erreur	8	2,255	0,2819		
Total	11	19,241			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	467,724	155,908	635,82	0,000
Erreur	8	1,962	0,245		
Total	11	469,686			

Annexe 14 : Résultats des tests de Dunnet pour de la racine principale (cm)

Merveille de kelvedon

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	11,633	A
C1	3	11,550	A
C2	3	10,7833	A
C3	3	8,6833	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	22,383	A
C1	3	12,917	
C2	3	11,317	
C3	3	4,933	

Annexe 15 : Analyse de la variance AV2 de la longueur de la racine principale (cm)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	29,704	29,704	3,28	0,086
Concentration (mM)	3	316,748	105,583	11,65	0,000
Erreur	19	172,179	9,062		
Inadéquation de l'ajust	3	167,962	55,987	212,44	0,000
Erreur pure	16	4,217	0,264		
Total	23	518,630			

Annexe 16 : Analyse de la variance AV1 de la surface foliaire (cm²)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	19,871	6,6235	35,78	0,000
Erreur	8	1,481	0,1851		
Total	11	21,351			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	262,881	87,6270	613,70	0,000
Erreur	8	1,142	0,1428		
Total	11	264,023			

Annexe 17 : Résultats des tests de Dunnet pour de la surface foliaire (cm²)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	7,546	A
C1	3	6,132	
C2	3	4,8044	
C3	3	4,207	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	14,763	A
C1	3	7,386	
C2	3	4,482	
C3	3	2,4014	

Annexe 18 : Analyse de la variance AV2 de la surface foliaire (cm²)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	15,091	15,0910	3,92	0,062
Concentration (mM)	3	212,320	70,7732	18,41	0,000
Erreur	19	73,055	3,8450		
Inadéquation de l'ajust	3	70,432	23,4773	143,20	0,000
Erreur pure	16	2,623	0,1639		
Total	23	300,465			

Annexe 19 : Analyse de la variance AV1 du poids frais de la partie aérienne (g)

Merveille de kelvedon

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	13,434	4,4779	8,87	0,006
Erreur	8	4,041	0,5051		
Total	11	17,475			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	466,122	155,374	322,64	0,000
Erreur	8	3,853	0,482		
Total	11	469,974			

Annexe 20 : Résultat des tests de Dunnet pour le poids frais de la partie aérienne (g)

Merveille de kelvedon

Concentrations	N	Moyenne	Groupe
C0	3	5,582	A
C1	3	4,460	A
C2	3	3,970	A
C3	3	2,633	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	15,833	A
C1	3	8,848	
C2	3	1,0533	
C3	3	0,7433	

Annexe 21 : Analyse de la variance AV2 du poids frais de la partie aérienne (g)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	36,260	36,260	3,91	0,063
Concentration (mM)	3	311,166	103,722	11,18	0,000
Erreur	19	176,283	9,278		
Inadéquation de l'ajust	3	168,389	56,130	113,78	0,000
Erreur pure	16	7,893	0,493		
Total	23	523,709			

Annexe 22 : Analyse de la variance AV1 du poids frais de la partie souterraine (g)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	1,47023	0,49008	42,76	0,000
Erreur	8	0,09168	0,01146		
Total	11	1,56191			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	0,60260	0,200867	32,44	0,000
Erreur	8	0,04954	0,006192		
Total	11	0,65214			

Annexe 23 : Résultat des tests de Dennet pour le poids frais de la partie souterraine (g)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupe
C0	3	1,111	A
C1	3	0,4697	
C2	3	0,2660	
C3	3	0,2483	

Utrillo

Concentration	N	Moyenne	Groupe
C0	3	0,7417	A
C1	3	0,3130	
C2	3	0,2870	
C3	3	0,1407	

Annexe 24 : Analyse de la variance AV2 du poids frais de la partie souterraine (g)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	0,1408	0,140760	10,29	0,005
Concentration (mM)	3	1,9541	0,651371	47,61	0,000
Erreur	19	0,2599	0,013681		
Inadéquation de l'ajust	3	0,1187	0,039572	4,48	0,018
Erreur pure	16	0,1412	0,008826		
Total	23	2,3548			

Annexe 25 : Analyse de la variance AV1 le poids sec de la partie aérienne (g)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	0,012166	0,004055	21,99	0,000
Erreur	8	0,001475	0,000184		
Total	11	0,013641			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	23,7978	7,93258	748,97	0,000
Erreur	8	0,0847	0,01059		
Total	11	23,8825			

Annexe 26 : Résultat des tests de Dunnet pour poids sec de la partie aérienne (g)

Merveille de kelvedon

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	0,1117	A
C1	3	0,06400	
C2	3	0,03967	
C3	3	0,02900	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	3,6633	A
C1	3	1,1100	
C2	3	0,3500	
C3	3	0,1130	

Annexe 27 : Analyse de la variance AV2 le poids sec de la partie aérienne (g)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	2,2399	2,23993	5,09	0,036
Concentration (mM)	3	16,4580	5,48598	12,47	0,000
Erreur	19	8,3613	0,44007		
Inadéquation de l'ajust	3	8,1163	2,70542	176,65	0,000
Erreur pure	16	0,2450	0,01531		
Total	23	27,0592			

Annexe 28 : Analyse de la variance AV1 du poids sec de la partie souterraine (g)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	0,012166	0,004055	21,99	0,000
Erreur	8	0,001475	0,000184		
Total	11	0,013641			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	0,014019	0,004673	38,60	0,000
Erreur	8	0,000969	0,000121		
Total	11	0,014988			

Annexe 29 : Résultats des tests de Dunnet pour du poids sec de partie souterraine (g)**Merveille de kelvedon**

Concentration	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	0,1117	A
C1	3	0,06400	
C2	3	0,03967	
C3	3	0,02900	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	0,0990	A
C1	3	0,02427	
C2	3	0,02167	
C3	3	0,01533	

Annexe 30 : Analyse de la variance AV2 du poids sec de la partie souterraine (g)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	0,002650	0,002650	15,89	0,001
Concentration (mM)	3	0,025460	0,008487	50,89	0,000
Erreur	19	0,003169	0,000167		
Inadéquation de l'ajust	3	0,000725	0,000242	1,58	0,233
Erreur pure	16	0,002444	0,000153		
Total	23	0,031279			

Annexe 31 : Analyse de la variance AV1 de la tenure en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	98,736	32,9120	137,96	0,000
Erreur	8	1,909	0,2386		
Total	11	100,645			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	65,27	21,756	4,95	0,031
Erreur	8	35,13	4,392		
Total	11	100,40			

Annexe 32 : Résultats des tests de Dunnet pour de la tenure en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)**Merveille de kelvedon**

Concentrations	N	Moyenne	Groupe
C0	3	21,588	A
C1	3	19,1033	
C2	3	16,726	
C3	3	13,836	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupeement
C0	3	15,97	A
C1	3	13,53	A
C2	3	11,662	A
C3	3	9,646	

Annexe 33 : Analyse de la variance AV2 de la tenure en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	156,834	156,834	76,35	0,000
Concentration (mM)	3	162,013	54,004	26,29	0,000
Erreur	19	39,031	2,054		
Inadéquation de l'ajust	3	1,990	0,663	0,29	0,834
Erreur pure	16	37,041	2,315		
Total	23	357,878			

Annexe 34 : Analyse de la variance AV1 de la tenure en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)**Merveille de kelvedon**

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	1,9596	0,65321	27,69	0,000
Erreur	8	0,1887	0,02359		
Total	11	2,1484			

Utrillo

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétitions	3	2,3042	0,76808	45,52	0,000
Erreur	8	0,1350	0,01687		
Total	11	2,4392			

Annexe 35 : Résultats des tests de Dunnet pour de tenure en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)
Merveille de kelvedon

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,408	A
C1	3	2,5010	
C2	3	2,2425	
C3	3	2,010	

Utrillo

Concentrations	N	Moyenne	Groupement
C0	3	1,3052	A
C1	3	2,486	
C2	3	2,1486	
C3	3	1,7840	

Annexe 36 : Analyse de la variance AV2 de la tenure en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Variétés	1	0,07230	0,07230	3,84	0,065
Concentration (mM)	3	4,22966	1,40989	74,84	0,000
Erreur	19	0,35792	0,01884		
Inadéquation de l'ajust	3	0,03420	0,01140	0,56	0,647
Erreur pure	16	0,32371	0,02023		
Total	23	4,65988			