

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 محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
N° : 09 /DSA/VCDPGR/2024



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES
OPTION : PRODUCTION VEGETELE

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

Par : **DIF Dallal et BOUALAG Nour el nahar nousayba**

Intitulé

**Effet de la contrainte saline sur les processus de
germination et de croissance de la laitue**

Soutenu devant le jury composé de :

M. TELLACHE Slimane	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Président
M. HADJ KOUIDER Boubakr	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Promoteur
Mme. LALLOUCHE Bahia	MCA	Université Med BOUDIAF - M'SILA	Co-Promoteur
M. TORCHIT Nadir	MAA	Université Med BOUDIAF- M'SILA	Examineur

Année universitaire : 2023/2024

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude et appréciation au promoteur de ce mémoire : **D^r HADJ KOUIDER B. MCA**, et **D^r LALLOUCHE B., MCA** co-promoteur au département d'agronomie, Université Mohamed Boudiaf de M'sila pour avoir acceptés de diriger ce travail, pour leur patience, encouragements, orientations et leurs conseils précieux.

Nous tenons à remercier chaleureusement les membres du jury : **M^r TELLACHE S., MAA.** au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila et **M^r TORCHOT. N., MCA** au département des Sciences Agronomiques, Université Med. Boudiaf de M'sila de nous avoir fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire, de nous consacrer du temps et de porter leur jugement expert sur ce modeste travail.

Nous adressons aussi nos remerciements à l'ingénieur de la serre monsieur **BENYAHIA** pour son aide pratique et sa disponibilité durant notre préparation de ce travail

Nous remercions également l'équipe de laboratoire de département des sciences agronomiques, Université de Med. Boudiaf pour leur disponibilité, leur patience, et surtout leurs conseils qui nous ont aidés alimenter notre réflexion.

Nous souhaitons également d'adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur soutien et leur patience et à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Ce modeste travail n'est que le fruit d'un acharnement et d'une volonté qui s'agrandissaient de plus en plus. Ce but tant espéré n'a pu se réaliser sans la présence de tous ceux qui m'ont aidé, soutenu et encouragé dans les moments les plus difficiles ; pour cela je dédie ce mémoire :

À mes chers parents qui m'ont apporté de l'aide et m'ont toujours poussé vers l'avant. Pour tous leurs sacrifices, leur inquiétude, je leur serai toujours reconnaissante.

À mes chères soeurs, chaima, salesabil, et chaherazad

À tous les membres de ma famille

DALLAL

Dédicace

Je dédie ce projet:

A mon cher père

A mon cher père AMAR: aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma chère mère

A ma très chère mère, honorable, aimable NADIA : tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Ta prière et ta bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte

A mes chères sœurs

A mes chères soeurs ; RAOUIA , MANEL , RACHA ...Merci d'être toujours l'épaulé sur laquelle je peux compter. Je vous dédie cet ouvrage avec tous mes meilleurs vœux de bonheur, de santé et de réussite

NOUREL NAHAR

ملخص

تؤثر الملوحة على الإنبات البذور، وهو مرحلة حاسمة في دورة نمو النباتات العليا. يُستخدم عدة نهج لتحسين إنبات البذور ونمو النباتات وزيادة تحملها للملوحة. أحد هذه النهج هو عملية تهيئة البذور التي تحسن من إنبات البذور، وظهورها، ونموها في ظروف الإجهاد اللاحيوي مثل الملوحة. تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير التوتر الملحي (كلوريد الصوديوم) على إنبات وظهور ونمو الخس، بالإضافة إلى تأثيرات عملية التهيئة (التهيئة المائية وتهيئة الهالوجينات باستخدام كلوريد الكالسيوم و نترات البوتاسيوم) على إنبات ونمو وتراكم بعض المكونات في هذا النوع من النباتات. أظهرت النتائج أن ملوحة 100 ملمولار من كلوريد الصوديوم تؤثر على إنبات الخس، وأن السلالة "Abundance" تظهر تحملاً أكبر للملوحة في هذه المرحلة. تساعد عملية التهيئة على تحقيق إنبات وظهور ونمو أفضل، بالإضافة إلى تحسين تركيب وتراكم الكلوروفيل "الكلي"، و" a" ، و" b" ، وبرولين في ظروف مواتية (0 ملمولار من كلوريد الصوديوم) وفي ظروف الإجهاد الملحي 100 ملمولار من كلوريد الصوديوم. كما أظهرت الدراسة أن تأثير التهيئة الإيجابي يكون أقوى في السلالة "Abundance" ، التي تظهر بدورها تحملاً أكبر للملوحة مقارنةً بالسلالتين الأخرين. كانت عملية التهيئة باستخدام كلوريد الكالسيوم و نترات البوتاسيوم أكثر كفاءة مقارنةً بالتهيئة المائية. يساهم هذا العمل في الاستنتاج بأن عملية تهيئة البذور يمكن أن تكون فعالة لتحسين إنتاج الخس، خاصةً في ظروف التوتر الملحي السيئة. يمكن أن تُوصى السلالة "Abundance" في برامج الانتخاب لتحمل التوتر الملحي .

الكلمات المفتاحية: الخس " *Lactuca sativa* "، الملح، التهيئة المائية، التهيئة الملحية، نترات البوتاسيوم، كلوريد الكالسيوم، الإنبات، النمو، الكلوروفيل، البرولين.

ABSTRACT

Salinity affects seed germination, which is a crucial stage in the development cycle of higher plants. Several approaches are used to improve plant germination and growth and increase their tolerance to salinity. Seed priming is one of the physiological methods that improves germination, emergence, and growth under abiotic stress conditions such as salinity. This study is in line with this perspective and aims to study the influence of saline stress (NaCl) on lettuce germination, emergence, and growth, as well as the consequences of priming (hydropriming, and halopriming with CaCl₂ and KNO₃) on germination, growth, and accumulation of some components of this species. The results show that salinity of 100 mM NaCl affects lettuce germination. The variety "Abundance" is more tolerant to salinity at this stage. Priming allows for better germination, better growth and better synthesis and accumulation of "total", a and "b" chlorophylls and proline in favorable conditions (0 mM NaCl) and in conditions of saline stress (100 mM NaCl). The improving effect of priming is more pronounced in the variety "Abundance", itself more tolerant to salinity compared to the other two varieties. Halopriming with CaCl₂ and KNO₃ is more efficient compared to hydropriming. This work allows us to conclude that seed priming can be very effective for improving lettuce production, particularly in unfavorable saline conditions. The variety "Abundance" can be recommended in breeding programs for tolerance to saline stress.

Keywords: lettuce" *Lactuca sativa*", salt stress, hydropriming, halopriming, KNO₃, CaCl₂, germination, growth. Chlorophyll, proline.

RESUME

La salinité affecte la germination des graines, qui est une étape cruciale dans le cycle de développement des végétaux supérieurs. Plusieurs approches sont utilisées pour améliorer la germination et la croissance des plantes et augmenter leur tolérance à la salinité. L'amorçage des graines est l'une des méthodes physiologiques qui améliore la germination, l'émergence, et la croissance en conditions de stress abiotiques tel que la salinité. Cette étude s'inscrit dans cette optique et a pour objectif d'étudier l'influence du stress salin (NaCl) sur la germination, l'émergence et la croissance de la laitue, ainsi que les conséquences de l'amorçage (hydroamorçage, et l'haloamorçage avec CaCl₂ et KNO₃) sur la germination, la croissance et l'accumulation de certaines composantes de cette espèce. Les résultats montrent que la salinité de 100 mM NaCl affecte la germination de la laitue. La variété "Abondance" est plus tolérante à la salinité à ce stade. L'amorçage permet d'avoir une meilleure germination, une meilleure croissance et une meilleure synthèse et accumulation des chlorophylles "totale", a et "b" et en proline en conditions favorables (0 mM NaCl) et en conditions de stress salin (100 mM NaCl). L'effet améliorateur de l'amorçage est plus prononcé chez la variété "abondance", elle-même plus tolérante à la salinité par rapport aux deux autres variétés. L'haloamorçage par le CaCl₂ et le KNO₃ est plus performant par rapport à l'hydroamorçage. Ce travail permet de conclure que l'amorçage des graines peut être très efficace pour l'amélioration de la production de la laitue, et en particulier dans des conditions salines défavorables. La variété "Abondance" peut être recommandée dans les programmes de sélection pour la tolérance au stress salin.

Mots-clés : Laitue "*Lactuca sativa*", stress salin, hydroamorçage, haloamorçage, KNO₃, CaCl₂, germination, croissance, Chlorophylle, proline.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Aspect morphologique de la laitue.....	15
Figure 1.2 : Aspect morphologique d'un fleuron de laitue (Zorrig, 2015).....	16
Figure 1.3 : Aspect morphologique (A) et schéma d'un capitule de laitue (appelé couramment fleur) (B), chaque capitule porte de 10 à 15 fleurons (C) (Zorrig, 2015).....	17
Figure 1.4 : Aspect morphologique d'un fruit (akène) contenant la graine de laitue (B et C) (Zorrig, 2015).....	17
Figure 1.5 : Principaux types de laitue cultivée en Algérie (Ben Madani Reguia, Belouadah Asma, 2017).....	19
Figure 1.6 : Cycle de développement de la laitue (Huang <i>et al.</i> 2003).....	20
Figure 2.1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité D'après Hagemeyer (1996), cité par Hervé <i>et al.</i> , (2004).....	29
Figure 4.1 : Prétraitement des graines de trois variétés de laitue par différents types de prétraitement.....	40
Figure 4.2 : Mise en germination de trois variétés de laitue après avoir subi l'amorçage...	42
Figure 4.3 : Aspect des plantules de trois variétés de <i>Lactuca sativa</i> après transplantation.....	43
Figure 4.4 : Mode de transplantation.....	44
Figure 4.5 : préparation de courbe d'étalonnage de proline.....	45
Figure 5.1 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le taux de germination.....	49
Figure 5.2 : Classification hiérarchique (CAH) des différentes variétés de la laitue au stade de germination en interaction avec le stress salin et l'amorçage.....	50
Figure 5.3 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur total des plantules.....	51
Figure 5.4 : Effets des différentes méthodes de priming sur la longueur total de trois variétés de laitue soumises à deux concentrations de NaCl (0 mM, 100 mM).....	52
Figure 5.5 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids frais des plantules.....	54

Figure 5.6 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en eau total au niveau des racines et la partie aérienne.....	55
Figure 5.7 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le nombre des feuilles.....	56
Figure 5.8 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur des feuilles.....	58
Figure 5.9 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la largeur des feuilles.....	58
Figure 5.10 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur de la partieaérienne.....	59
Figure 5.11 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids frais de la partie aérienne.....	60
Figure 5.12 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids sec de la partie aérienne.....	60
Figure 5.13 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur de partie aérienne en eau.....	61
Figure 5.14 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur de racine.....	63
Figure 5.15 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids de racine.....	64
Figure 5.16 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids sec de racine.....	65
Figure 5.17 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le diamètre de la coléoptile	66
Figure 5.18 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en eau au niveau des racines	66
Figure 5.19 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle « a » au niveau des feuilles	69
Figure 5.20 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle « b » au niveau des feuilles	69
Figure 5.21 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle «total » au niveau des feuilles	70
Figure 5.22 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en proline au niveau des feuilles	71

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Synthèse des principaux travaux sur l'hydropriming des semences de différentes espèces cultivées	33
Tableau 3.2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmopriming des semences de différentes espèces cultivées	35
Tableau 5.1 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour le taux de germination	47
Tableau 5.2 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques de la plante entière	53
Tableau 5.3 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques de la partie aérienne	57
Tableau 5.4 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques	62
Tableau 5.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total », « a » et b » et de la teneur en proline de trois variétés de la laitue	67

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENTS

RESUME

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

TABLE DE MATIERE

INTRODUCTION.....	12
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ESPECE <i>LACTUCA SATIVA</i> L	14
1.1. Origine et historique	14
1.2. Classification botanique	14
1.3. Description morphologique	15
1.4. Classification Variétales	18
1.5. Caractères biologiques et physiologiques de <i>Lactuca sativa</i> L	20
1.6. Diversité génétique	21
1.7. Exigences de la culture	23
1.8. Culture	24
1.9. Maladie et ravageur	25
1.10. Importance économique, alimentaire et médicinale	25
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE STRESS SALIN.....	27
2.1. Les tress salin.....	27
2.2. Origine de la salinisation des sols.....	27
2.2.1. La salinité primaire.....	28
2.2.2. La salinité secondaire	28
2.3. Salinité en Algérie	28
2.4. Effet du stress salin sur les végétaux	39
2.5. Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité	30
2.6. Les Mécanismes d'adaptations des plantes	31
CHAPITRE III : ET TRAITEMENTS PRE GERMINATIFS DES SEMEES (AMORÇAGE).....	33
3.1. Traitements pré germinatifs des semences (amorçage)	33
3.2. Historique et définition du priming	33
3.3. Techniques d'amorçage	34
3.4. Comportement de quelques espèces vis-à-vis le priming	37
3.5. Effets du Priming.....	37
CHAPITRE IV: MATÉRIEL ET MÉTHODES	39
4.1. Matériel Végétal	39
4.2. Méthode d'étude	39
4.3. Dispositif expérimental	44

4.4.	Les paramètres étudiés	45
4.5.	Analyse statistique	46

CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION 47

5.1.	L'effet de l'amorçage sur le taux de germination en condition non stressante et sous stress salin	47
5.2.	Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur les paramètres morphologiques de la plante entière	50
5.3.	Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie aérienne	55
5.4.	Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur la croissance des racines	63
5.5.	L'effet de l'amorçage sur les paramètres biochimique de la laitue en condition non stressante et sous stress salin	67

CONCLUSION..... 75

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

INTRODUCTION

Plusieurs facteurs biotiques et abiotiques ont un impact sur la croissance des plantes (**Hopkins, 2003**). De nos jours, la présence de salinité dans le sol constitue un défi majeur dans le domaine de l'agriculture et l'un des principaux stress abiotiques. Les sels accumulés à la surface du sol et dans la zone racinaire ont des conséquences néfastes sur la croissance et le développement des végétaux, ainsi que sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol. Cela entraîne inévitablement des modifications morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui ont un impact négatif sur la croissance et la productivité. Selon **Lallouche (2018)**, la salinisation des sols peut être attribuée non seulement aux conditions climatiques, mais également à l'utilisation non contrôlée des eaux d'irrigation et à leur mauvaise qualité. Actuellement, parmi les 1,5 milliard d'hectares de terres cultivées dans le monde, environ 77 millions d'hectares (5 %) sont impactés par une concentration excessive de sel (**Sheng et al, 2008**).

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont touchés par le phénomène de la salinisation (**Bouhlassa et al, 2008 ; Lallouche, 2018**). Des projections suggèrent que d'ici 2050, la salinisation pourrait affecter jusqu'à 50 % des terres arables (**Manchanda et Garg, 2008**).

Des études récentes indiquent que les graines peuvent subir un processus de "prétraitement" ou de "pré-germination" afin de renforcer leur capacité à résister à diverses contraintes abiotiques. Dans ce contexte, l'amorçage, également appelé endurcissement, représente une méthode pré-germinative visant à améliorer la production végétale en régulant les activités métaboliques de la germination avant l'apparition de la radicule (**Bradford, 1986**). Ainsi, pendant la phase réversible de la germination, la graine peut retrouver son état initial sans subir de dommages (**Kheddache, 2005**). Les traitements de pré-germination permettent de lever la dormance, d'encourager une croissance plus vigoureuse avec une floraison précoce, de synchroniser les stades physiologiques des graines, et d'améliorer la croissance

des plantules ainsi que leur résistance aux stress abiotiques (**Boucelha et Djebbar, 2019**).

L'objectif de ce travail est d'analyser les impacts de l'osmoprimering (KNO₃ et CaCl₂) et de l'hydropriming (un cycle de redéshydratation) sur la germination et la croissance des graines de trois variétés de laitue (*Lactuca sativa*) soumises à des conditions de contrôle (0 Mm NaCl) et de stress (100 mM NaCl). Afin de comprendre les mécanismes sous-jacents à l'endurcissement, nous envisageons d'étudier les modifications morphologiques et biochimiques observées chez les plantes. Nous nous concentrerons en premier lieu sur les changements morphologiques, tout en cherchant à identifier d'éventuelles variations qualitatives des composés phénoliques et glucidiques (sucres), ainsi que des osmolytes comme la proline.

Ce document est structuré en trois parties distinctes:

- Dans la première partie une synthèse bibliographique sur le sujet de travail est présentée. Elle est composée de deux chapitres :
 - ✓ Chapitre 1 : Présentation de l'espèce utilisée pour ce travail « *Lactuca sativa* ».
 - ✓ Chapitre 2 : Généralités sur le stress salin.
 - ✓ Chapitre 3 : généralités sur les traitements pré germinatifs des semences (amorçage).

- Dans la seconde, nous aborderons la partie expérimentale intitulée « Matériel et méthodes » ou nous exposerons en détail toutes les méthodes et le matériel végétal utilisés .
- Une troisième partie intitulée « Résultats et discussion » permet de présenter les résultats obtenus et leurs interprétations
- Une conclusion générale qui reprendra les principaux résultats obtenus et tracera des perspectives à explorer dans ce travail.

CHAPITRE I

PRESENTATION DE L'ESPECE *LACTUCA SATIVA* L.

1.1. Origine et historique

Lactuca sativa L. est une espèce de laitue herbacée du genre *Lactuca*, de la famille des Astéracées, la plus grande des familles des dicotylédones (Judd et al, 1999 ; Funk et al, 2005). *L. serriola*, *L. virosa* et *L. saligna* font partie du genre *Lactuca*, qui comprend une centaine d'espèces des régions tempérées (Thicoïpé, 1997 ; Ryder, 1999).

La laitue serait originaire de la Méditerranée et a été découverte avant J.-C. Sa culture aurait ensuite continué en Europe du Nord et en Amérique du Nord (Plamondon, 2011). Des vestiges de laitues ont également été découverts dans certaines sépultures égyptiennes datant de 4500 ans avant notre ère (Labrie et Ménard, 2012).

La laitue cultivée se différencie des variétés sauvages par divers caractères morphologiques associés à la domestication, tels que la formation d'une pomme ou d'un stade végétatif bien défini, caractérisé par un grand nombre de feuilles regroupées de manière plus ou moins compacte, l'absence d'épines sous les feuilles, la réduction du latex et de l'amertume, ainsi que des capitules serrés dans les bractées favorisant la rétention des graines sur la plante à maturité (Pitrat et Foury, 2004).

1.2. Classification botanique

Il a été identifié cinq classes ou groupes de *Lactuca sativa* L., l'espèce végétale sélectionnée pour cette étude (Gargominy et al, 2019) :

- Nom scientifique : *Lactuca sativa*
- Division : *Magnoliophyta*
- Classe : *Magnoliopsida*
- Ordre : *Asterales*
- Famille : *Asteraceae*
- Genre : *Lactuca* L., 1753
- Espèce : *Lactuca sativa* L., 1753

1.3. Description morphologique

Selon **Pitrat et Foury (2003)**, La laitue cultivée se distingue des formes sauvages par plusieurs caractères morphologiques dits de domestication : formation d'une pomme, ou tout au moins d'un stade végétatif marqué, avec un grand nombre de feuilles formant un paquet plus ou moins serré, absence d'épines sous les feuilles, diminution du latex et de l'amertume, capitules resserrés dans les bractées permettant de retenir les graines sur la plante à maturité (**Figure 1.1**).

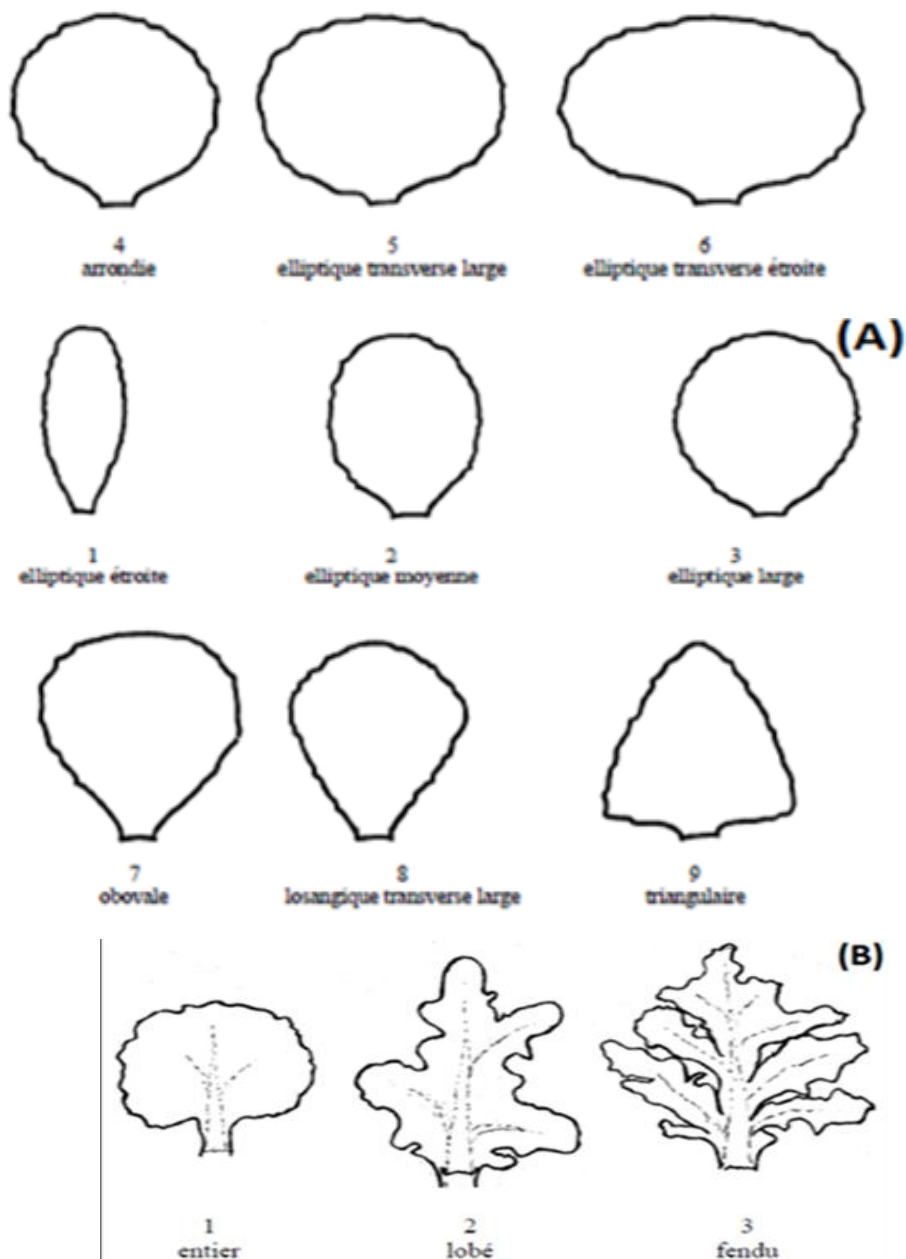


Figure 1.1 : Aspect morphologique de la laitue

1.3.1. Racine

Verolet (2001) démontre que le système racinaire de la laitue est pivotant. La ramification de la racine pivotante est variable selon le type et l'état du sol et elle se trouve habituellement entre 0 et 30 centimètres dans le sol (**Jenni et Bourgeois, 2008**).

1.3.2. Feuilles

Les laitues offrent une diversité étonnante, à feuilles lisses ou cloquées, tendres ou croquantes. Les feuilles peuvent être dressées, étalées, ondulées, frisées ou profondément découpées selon les variétés (**Figure 1.1**). Leur couleur varie également : verte, rouge ou bicolore, la coloration rouge est due à un pigment, l'anthocyane (**Lafitte, 1985**).

1.3.3. Fleur

Zorrig (2015) indique que les plantes de laitue portent de nombreux capitules (appelés couramment fleurs) de 10 à 15 fleurons (**Figure 1.2**). Tous les fleurons sont ligulés et présentent un développement quasi synchrone. Les ligules sont jaunes avec, chez certaines variétés, la face externe anthocyanée. La ligule correspond à 5 pétales soudés que l'on peut identifier en comptant ses dents. (**Figure 1.3**).

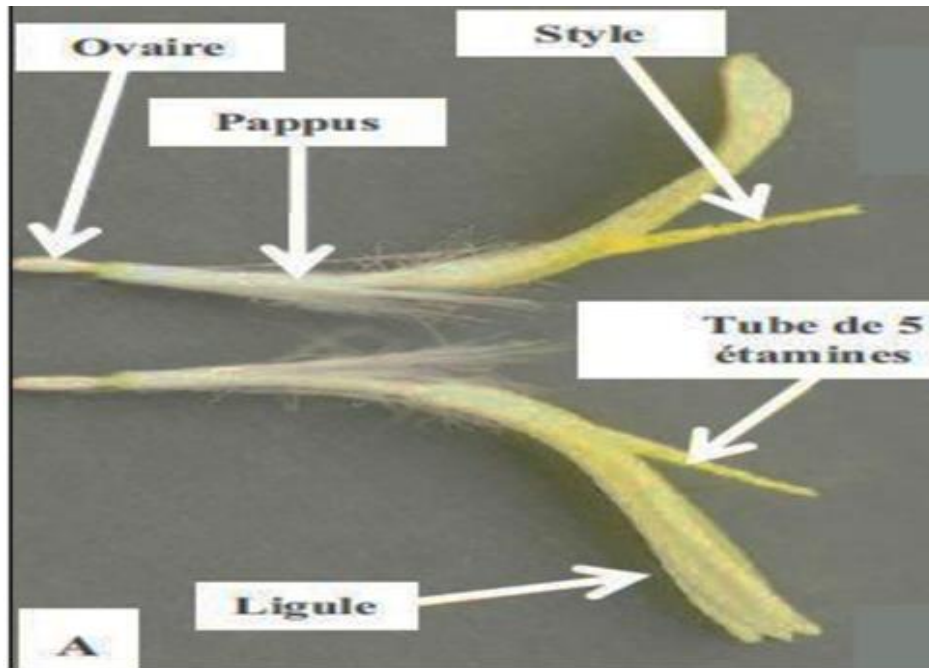


Figure 1.2 : Aspect morphologique d'un fleuron de laitue (Zorrig, 2015).

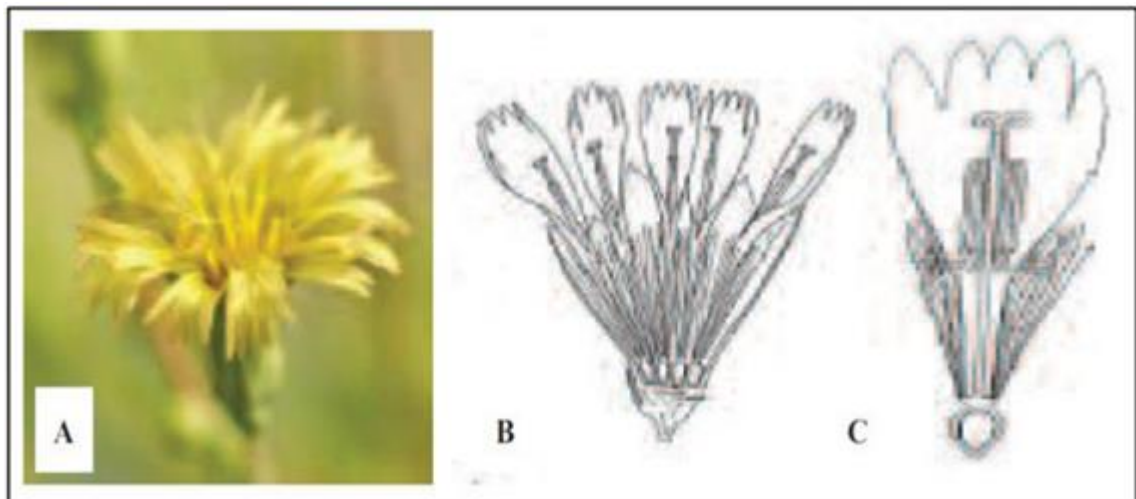


Figure 1.3 : Aspect morphologique (A) et schéma d'un capitule de laitue (appelé couramment fleur) (B), chaque capitule porte de 10 à 15 fleurons (C) (Zorrig, 2015).

1.3.4. Graine

Zorrig (2015) présente que la « graine » (de type akène) est formée de deux parties, le corps de la graine, dur, oblong, de couleur brun foncé (graines noires) ou blanc-crème (graines blanches), et le bec portant une aigrette ou pappus qui est éliminé au battage (Figure 1.4). Elle porte en surface 5 à 15 stries de couleur grise ou brune (A.I.C.P.C et al, 1985).

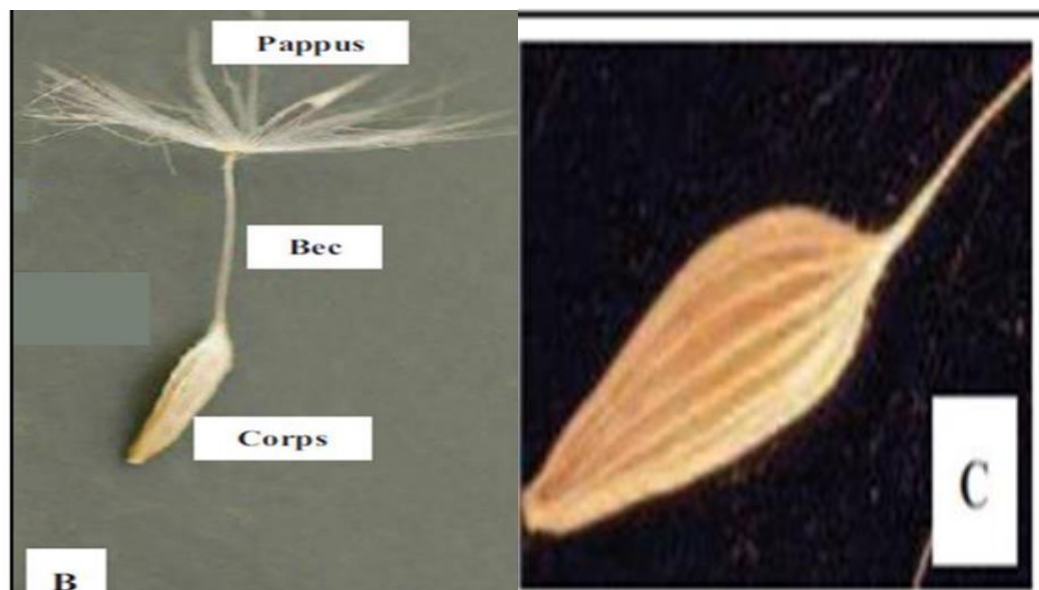


Figure 1.4 : Aspect morphologique d'un fruit (akène) contenant la graine de laitue (B et C) (Zorrig, 2015).

1.4. Classification Variétales

Au XIXe siècle, cinq variétés botaniques ont été identifiées. Cependant, cette classification a été abandonnée et a été remplacée par des cultigrupes définis en fonction de certains caractères morphologiques (Pitrat et Foury, 2003 ; Valade, 2013 ; Zorrig, 2015).

1.4.1. Les laitues beurre : à feuilles tendres et nervures pennées (à l'origine les laitues beurre avaient des feuilles fines, souvent claires, d'où leur nom).

1.4.2. Les laitues batavia (*Lactuca sativa* var. Capitata) à feuilles plus craquantes et nervures parallèles. Ces deux types ont des pommes assez rondes. Les batavias ont été elles-mêmes subdivisées en :

- **Batavia européenne** (correspondant globalement au type « Dorée de Printemps», à pomme non détachée de la jupe).
- **Batavia américaine** ou laitue iceberg (correspondant au type crisp à pomme détachée de la jupe).

1.4.3. Les laitues grasses sont des laitues pommées à feuilles épaisses, assez craquantes et nervures pennées.

1.4.4. Les laitues romaines (*Lactuca sativa* var. longifolia) sont des laitues à feuilles oblongues et craquantes avec une grosse nervure centrale ; elles ont une pomme allongée.

1.4.5. Les laitues à couper (*Lactuca sativa* var. crispata) se présentent comme un bouquet de feuilles ouvert ; selon la forme des feuilles, plus ou moins lobées ou découpées, elles sont subdivisées en plusieurs catégories. Citons par exemple les laitues feuille de chêne ou lollo.



Anabia (locale)

Romana Parris Island

Trocadero



Batavia Rubia



Frisée

Figure 1.5 : Principaux types de laitue cultivée en Algérie (Ben Madani Reguia, Belouadah Asma, 2017).

1.4.6. Les laitues tige, ou laitues asperge ou celtuce (*Lactuca sativa* var. *angustana*), ne forment jamais de pomme ; elles sont cultivées pour leurs tiges renflées que l'on mange cuites, surtout en Asie.

Les variétés les plus cultivées en Algérie sont groupées comme suit (I.T.C.M.I, 2010) :

- **Laitue à couper** : laitue blonde et laitue frisée d'Amérique avec un cycle 40 à 50 jours.
- **Laitue pommée** : Reine de mai, gotte jaune d'or ; Batavia, merveille des quatre saisons, Têtue de Nîmes et Divina avec un cycle de 60 à 85 jours.
- **Laitue Romaine** : Balen, blonde maraîchère avec un cycle de 70 à 135 jours.

1.5. Caractères biologiques et physiologiques de *Lactuca sativa* L.

1.5.1. Caractères biologiques

De nos jours, la laitue peut croître toute l'année considérant le grand nombre de variétés existantes et les diverses installations possibles. Le cycle dure environ 45 jours et se déroule sur une seule année, avec trois deux phases bien distinctes (**Figure 1.6**) :

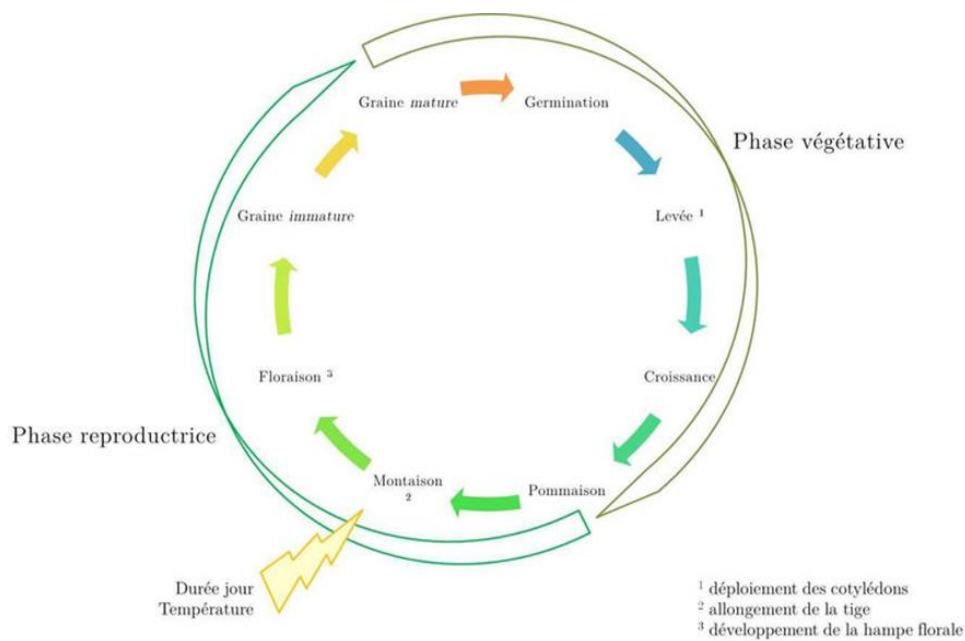


Figure 1.6 : Cycle de développement de la laitue (**Huang et al. 2003**).

- **Phase de germination et de levée** : la germination des graines est rapide (2 à 3 jours).
- **La phase végétative** : formant une pomme plus ou moins fermée, est le stade utilisé pour la consommation et pour la commercialisation,
- **La phase reproductrice** : au cours de laquelle la tige principale s'allonge (montaison), aboutit à la floraison et à la production de semences.

La montaison est plus ou moins rapide selon les conditions climatiques et les génotypes. Elle est favorisée par des jours longs et de hautes températures (**Pitrat et Foury, 2004, Zorrig, 2010 ; Valade, 2012**).

1.5.2. Caractères physiologiques

Cette herbacée dicotylédone a feuilles glabres et ovales est une plante de type C3 : elle incorpore le carbone atmosphérique lors de la photosynthèse strictement sous la forme de 3- phosphoglycérate, acide a 3 atomes de carbone. Les plantes de ce type (riz, blé, soja, laitue...) sont les plus abondantes en agriculture. Ce fonctionnement s'oppose à celui des plantes de type C4 (ex : canne à sucre, mais...), dont le premier produit carbone est l'oxalo-acetate, acide a 4 atomes de C) par le cycle de Calvin (**Priac, 2014**).

1.6. Diversité génétique

1.6.1. Ressources génomiques

Lactuca sativa L. est une plantes diploïde ($2n=18$) les ressources génomiques de la laitue sont très limitées (**Michaelson et al, 1991**).

Les deux principaux projets qui se sont intéressés au séquençage de la laitue sont :

- un projet américain (The Compositae Genome Project - University of California, Davis - Project ID NCBI: 12868) qui a engendré les 80779 séquences EST disponibles dans les banques de données et qui correspondent à 26720 gènes (**<http://compgenomics.ucdavis.edu>**).
- un projet japonais (Project ID NCBI: 16160 - Research Institute of Innovative Technology for the Earth) qui a permis d'engendrer les séquences du génome chloroplastique elles aussi disponibles dans les banques de données.
- Une carte génétique correspondant à plus de 2700 marqueurs groupés en 9 «linkage groups» a été élaborée suite à un croisement interspécifique entre *L.sativa* et *L. serriola* (**Landry et al, 1987; Kesseli et al, 1994; Truco et al, 2007**).

Ces lignées recombinantes ont été produites dans le cadre du projet européen ANGEL (**<http://www.plant.wageningenur.nl/projects/angel/>**), et elles ont été distribuées

à plusieurs groupes de recherche pour la réalisation de la cartographie. Grâce à cette carte, plusieurs QTL ont été identifiés pour plusieurs caractères phénotypiques y compris par exemple : la dormance des graines, la teneur en huile, l'architecture racinaire, ... (**Johnson et al. 2000**). De nombreux gènes de résistance à plusieurs maladies ont aussi été caractérisés grâce à cette carte (**Kesseli et al, 1993, Kesseli et al, 1994 ; Maisonneuve et al, 1994 ; Robbins et al, 1994**).

1.6.2. Ressources génétiques

La base de données des ressources génétiques internationale du genre *Lactuca* (The International *Lactuca* data base ;(<http://documents.plant.wur.nl/cgn/pgr/ildb/>)) montre plus de 12000 accessions du genre *Lactuca* appartenant à plusieurs collections dans le monde. Néanmoins, un chevauchement considérable existe entre les collections (**Zorrig, 2011**).

Le centre des ressources génétiques de Wageningen inclut 2429 accessions de laitue y compris les espèces sauvages. Mis à part cette collection, d'autres petites collections existent partout dans le monde (**Zorrig, 2011**).

1.6.3. La production des hybrides

Tous les types de laitue sont parfaitement inter compatibles et des croisements manuels entre ces types sont couramment réalisés par les sélectionneurs. La castration manuelle est délicate, effectuée à l'ouverture du capitule par ablation à la pince du manchon d'étamines de chaque fleuron ou par lavage des capitules à l'eau. Des stérilités mâles, généralement utilisées par les sélectionneurs pour produire des variétés hybrides, ont été identifiées. Mais l'absence d'insectes pollinisateurs assez efficaces et le faible nombre de graines par capitule n'ont pas permis d'utiliser ce caractère en production de semences. Aussi, les variétés commerciales sont toutes des variétés fixées reproduites par autofécondation (**Pitrat et Foury, 2004 ; Zorrig, 2011**).

1.7. Exigences de la culture

1.7.1. Exigences climatiques

Selon **Verolet (2001) ; Maltais (2007)**, La culture de la laitue présente cependant plusieurs difficultés. Elle est sensible aux conditions climatiques telles que la photopériode de même que la température. La croissance végétative est d'autant plus rapide que les jours sont longs (13 heures de luminosité par jour et plus) et la température élevée (optimum à 20°C) ; mais elle est également possible sous faible éclaircissement et basses températures selon les cultivars.

- **Température** : D'après **Waycott et Ryder (1993)**, des températures trop élevées risquent de diminuer la qualité et le rendement de la laitue, d'entraîner la formation de pommes lâches lorsque la luminosité est faible et provoquent l'étiollement ou la montaison précoce des laitues au champ. Par contre, La présence de latex blanc et d'anthocyanes (selon les cultivars) est favorisée par les basses températures. Après la formation de la pomme, la tige subit une élongation et l'apex évolue en hampe florale (**Ramirez, 2015**).

- **Lumière** : La laitue est une plante de jours longs a cycle court, **BENIEST et al, (1987) ; (ITCMI, 2010) ; (OUHIBI, 2015)** montrent que cette culture est très exigeante en lumière, elle a besoin d'un nombre déterminé d'heures de lumière pour pouvoir produire des récoltes.

- **Humidité** : L'humidité est étroitement surveillée et contrôlé dans la serre. L'humidité trop élevée, particulièrement quand il fait frais favorise la condensation de la vapeur sur les feuilles et l'apparition de maladies telles que moisissure grise à Botrytis (**ELMHIRST, 2006**).

1.7.2. Exigences édaphiques

Le pH optimal est de 6,7 à 7,2 : un sol acide (pH 6) ou battant est très défavorables la production de la laitue (**COLLIN, 2003**).

La laitue pousse bien dans les sols légers mais fertiles, voire riches en matières organiques, d'où (G.A.B et F.R.A.B., 2009) recommande :

- Une rotation en seconde position
- Précédents favorables : cucurbitacées (concombre), pois, cresson
- Précédents à éviter : chou, fève, betterave ...
- Association : carotte, melon ; navet, oignon

1.7.3. Exigences hydriques

Beaulieu (2006) montre que lors du développement foliaire, le stress hydrique provoque une baisse de rendement des irrigations moyennes de 125 à 175 mm d'eau sont donc apportés pour éviter cette baisse. Un arrosage régulier est nécessaire pour une croissance optimale de la laitue.

1.7.4. Exigences nutritionnelles

D'après Beniest *et al.* (1987) ; Kuepper *et al.* (2002), la laitue est sensible aux excès de sels minéraux, elle est même classée parmi les cultures maraîchères les plus sensibles à la présence de sels dans l'eau d'irrigation ou dans le sol.

1.8. Culture

La façon la plus simple de la cultiver est d'acheter régulièrement des plants en mottes et de les planter sur des lignes espacées de 25 cm tous les 20 cm. Elle nécessite un arrosage régulier, si possible tôt le matin ou tard le soir, en période chaude. Suivant les variétés, on récolte les laitues 4 à 8 semaines après les plantations.

La laitue peu gourmande en engrais organique, elle trouve sa place facilement dans la rotation ou en association avec d'autres cultures. Au début du printemps, un engrais organique ou un compost mur seront suffisants pour une croissance normale dans le respect des doses d'emploi. En estivale ou automnale, la minéralisation naturelle de l'humus présent dans le sol suffit amplement à couvrir ses besoins. Le semis direct (en pleine terre)

a pour avantage l'obtention de plantes plus résistantes aux maladies et à la montée en graine (Ouhibi, 2015).

1.9. Maladie et ravageur

Les ravageurs les plus graves sont les pucerons, spécialement en laitue pommée, car on ne peut les combattre facilement par traitement chimique, qui présente de plus le risque de résidus. D'autres ravageurs sont les noctuelles (*Agrotis*), la légionnaire (*Spodoptera*) et d'autres chenilles, les cicadelles, les escargots, les limaces et les nématodes à galles.

Les insectes ravageurs sont combattus habituellement par pulvérisation de produits chimiques. Chez la laitue, les nématodes peuvent être combattus par la rotation des cultures, la désinfection par la chaleur du lit de semences ou du sol de la pépinière et l'application de quantités importantes de matière organique comme du fumier (Messiaen *et al*, 1991 ; George 1999 ; Beliard, 2003).

1.10. Importance économique, alimentaire et médicinale

Plusieurs études récentes ont démontré que plusieurs variétés de laitue contiennent des composés phénoliques ayant une activité antioxydante (Dupont *et al*, 2000 ; Altunkaya et Gokmen, 2009 ; Mulabagal *et al*, 2010). En plus des composés phénoliques, les qualités nutritionnelles de la laitue sont attribuées à la présence, dans les feuilles, de vitamines B et C, de caroténoïdes et de fibres (de Vries, 1997 ; Dupont *et al*, 2000 ; Nicolle *et al*, 2004 ; Altunkaya et Gokmen, 2009; Mulabagal *et al*, 2010).

Les graines, riches en vitamines E, sont aussi exploitées pour leur teneur en huile, qui peut représenter jusqu'à 35 % de leur poids (de Vries, 1997). Dans la médecine traditionnelle, elles servent de traitement contre l'asthme et la toux en plus d'être utilisées comme analgésique (Mulabagal *et al*, 2010).

La partie consommable de la laitue contient environ 95 % d'eau, mais aussi un peu de fibres alimentaires (1,5 %), de sucres (0,9 %), de minéraux, de vitamines, d'acides

organiques, de nitrates, etc. Évidemment, la composition varie d'une variété à l'autre selon les conditions et le type de laitue (**Thicoïpé, 1997**).

Comme de nombreuses espèces végétales, très souvent à intérêt agricole, la laitue est recommandée et utilisée pour la réalisation de bio-essais (**FDA, 1987 ; EPA, 1996 ; OECD, 2003**).

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LE STRESS SALIN

2.1. Le stress salin

Selon **Hopkins (2003)**, le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- . Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes (**Tremblin, 2000**).

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. L'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophyle des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plantes (**Chinnusamy et Zhu, 2004**). La présence de ces ions perturbe l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (**Hasegawa et al, 2000**).

Aussi, Il y a lieu de noter que la forte salinité provoque un déséquilibre nutritionnel. Par exemples, l'utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le (K^+) et le (Ca^{2+}) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tels que la réduction du rapport (K^+) / (Na^+) et la déficience des plantules en (Ca^{2+}), peuvent donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (**Greenway et al, 2000**).

2.2. Origine de la salinisation des sols

Selon le processus de salinisation des sols on peut distinguer deux différents types de salinité :

2.2.1. La salinité primaire

La présence des roches salifères primaires in situ, favorisée par l'altération qui affecte les minéraux sodiques, potassiques et magnésiques, ce qui donne souvent des sels solubles en particulier les carbonatés et les bicarbonatés (**GAUCHER et Burdin, 1974**).

2.2.2. La salinité secondaire

Selon **PHILIPPE (2001)**, trois processus sont responsables de la salinisation :

- ✓ **La salinisation** : Elle se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).
- ✓ **La sodisation** : Ce processus se produit lorsque le complexe organo- minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ .
- ✓ **L'alcalisation** : C'est la libération de l'ion Na^+ dans la solution du sol, ce qui élève le pH et disperse les feuillets d'argile. Ce processus intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en Na^+ se transforme physiquement suite aux réactions d'échange entre l'ion sodium et les protons au moment d'une humectation (**Philippe et al, 2005**).

2.3. Salinité en Algérie

Plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (Douaoui et Hartani, 2008). Les sols salins se rencontrent dans les basses plaines et vallées d'Oranie, dans la vallée de la Mina, près de Relizane, sur les hautes plaines du Sud de Sétif et de Constantine, et aux bords de certains chotts comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Kessiran, 2003). Les périmètres

irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (précipitations : +200 mm/an), sont largement affectés par la salinisation secondaire (Djili et al, 2003).

2.4. Effet du stress salin sur les végétaux

2.4.1. Effet sur la germination

La germination est régulée par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel. Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salins et hydrique (GRATTAN et al, 1999).

On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal (DEBEZ et al, 2001). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces où des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (GRATTAN et al, 1999).

2.4.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige (Meloni et al. 2001 ; Lallouche et al., 2017 ; Lallouche, 2018,).

2.4.3. Effet sur les échanges gazeux et la photosynthèse

D'après **Alem et al, (2002)**, la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale.

2.4.4. Effet sur l'absorption d'eau et la transpiration

La diminution de la transpiration est due à l'augmentation de la résistance stomatique en présence de fortes concentrations de sels qui provoquent la dépendance de l'ABA (acide abscissique), cela implique l'accumulation des solutés organiques tel que la proline, les acides organiques, la glycine...etc. ; ou l'accumulation des ions minéraux (**Parida et Das, 2005**).

2.5. Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité

Suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été Discernées :

- **Les halophytes vraies** : Dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Suaeda maritima*.
- **Les halophytes facultatives** : Montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*
- **Les non-halophytes résistante** : Supportant de faible concentration de sel : *Hordeum sp*
- **Les Glycophytes ou Halophobes** : Sensibles à la présence de sel : *Phaseolus vulgaris*, *glycine max.*

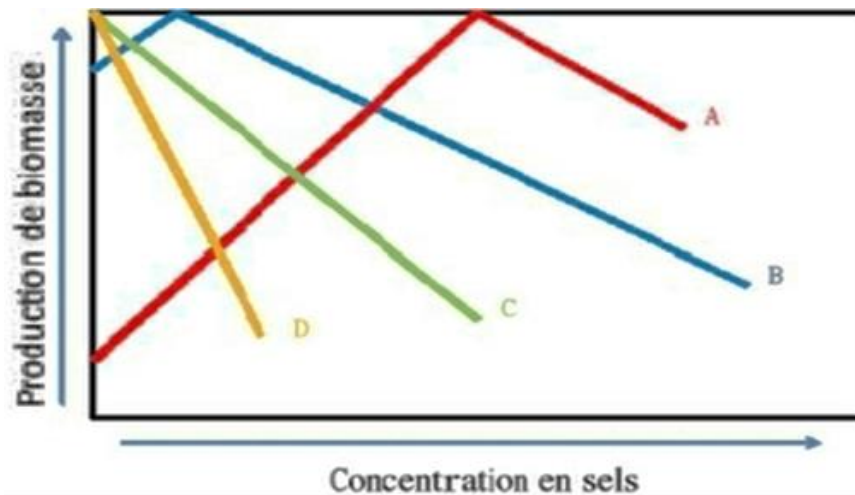


Figure 2.1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité (Hervé et al., 2004).

La figure qui suit montre la production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité. Où : **A** : Halophytes vraies ; **B** : Halophytes facultatives ; **C** : Non halophytes résistantes ; **D** : Glycophytes.

2.6. Les Mécanismes d'adaptations des plantes

2.6.1. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique consiste à l'une des stratégies les plus importantes d'adaptation au stress salin et hydrique (YEO, 1983). Il se retrouve chez la grande majorité des organismes vivants pour le maintien de l'alimentation hydrique et la pression de turgescence (NIU et al, 1995). Ce processus se fait en modifiant les concentrations des solutés compatibles dans les tissus de façon à maintenir une concentration ionique plus élevée (hypertonique) dans le protoplasme que dans le milieu extérieur (HASEGAWA et al, 2000).

2.6.2. L'accumulation de proline

De nombreuses études, sur les halophytes ont mis en évidence une accumulation d'acides aminés libres notamment la proline (HUBAC et al, 1969). Cette accumulation a été observée chez la pomme de terre, le tabac et le blé. La

proline joue un rôle dans la résistance au stress salin, dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ionique et osmotique de l'accumulation de sel dans la vacuole, Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (Yoshiba *et al*, 1999).

Il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi-aldéhyde et conduisant à la proline, mais aussi aux polyamines, via l'ornithine et l'arginine (Bartels, 2005 ; Sunkar, 2005).

2.6.3. Régulation de la croissance

D'après ZHU (2001), la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du 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.

2.6.4. Exclusion des ions

Selon SENTENAC et BERTHOMIEU (2003), la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus.

2.6.5. Inclusion des ions

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires.

Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (**Berthomieu et al, 2003**), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (**Alem et Amri, 2005**).

2.6.6. Les Antioxydants

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (**HERNANDEZ et al, 2001**), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (**AZEVEDO et al, 2006**), qui endommagent les structures cellulaires (**SMIRNOFF, 1999 ; PARENT et al, 2008**). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (**RAHNAMA et EBRAHIMZADEH, 2005**). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super-oxyde (**AZEVEDO et al, 2006**).

2.6.7. Induction des hormones végétales

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokines. L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilés (**PARIDA et DAS, 2005**).

CHAPITRE III

GENERALITES SUR LES TRAITEMENTS PRE GERMINATIFS DES SEMENCES (AMORÇAGE)

3.1. Historique et définition du priming

Les travaux de **Heydecker et al, 1973** ont été les premiers à avoir préparé des semences avec des solutions osmotiques pour l'amélioration des performances de germination et résoudre les problèmes posés par l'hétérogénéité de la germination. A la fin des années 1970, les termes conditionnement osmotiques ou osmo-conditionnements ont été proposés comme solution de rechange à « amorçage ». Ces termes ont évité la confusion avec l'amorçage de fragments d'ADN pour la synthèse (**Khan et al, 1978**).

L'amorçage est un traitement pré-germinatif. Il présente des méthodes physiologiques qui améliorent la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la racine (**Bradford, 1986 ; Taylor et Harman, 1990**). Ainsi, au cours de la phase réversible de la germination, la semence peut revenir à son état initial sans dommages (**Bayard, 1991**).

D'après **Heydecker (1978) et Kheddache (2005)**, les traitements de prégermination permettent :

- La levée de la dormance.
- La synchronisation des semences au même stade physiologique.
- L'Amélioration de la croissance des plantules et leur tolérance aux stress abiotiques.
- Une meilleure croissance avec une floraison précoce.

3.2. Techniques d'amorçage

3.2.1. Hydropriming

Ce type d'amorçage consiste à tremper les graines dans l'eau avant de les semer et peuvent être suivies d'un séchage à l'air des graines (PILL et NECKER, 2001). Les semis à germination rapide peuvent émerger et produire des racines profondes avant que les couches supérieures du sol soient desséchées et en croute. Ce qui permet une bonne implantation et un rendement plus élevé (SUZUKI et KHAN, 2001).

Tableau 2.1 : Synthèse des principaux travaux sur l'hydropriming des semences de différentes espèces cultivées.

Durée d'imbibition	Espèce	Effets	Référence
12h	Pois chiche <i>Cicer arietinum</i>	- Amélioration de la germination des graines ayant subi un vieillissement. - Augmentation de la teneur en eau des feuilles.	Hosseinzadeh Mahootchi et al (2003)
24h	Riz <i>Oryza sativa</i>	- Amélioration de la production du riz en conditions de stress hydrique.	Tilahun Tadesse et al (2013)
6h, 12h, 18h et 24h	Soja <i>Glycine max</i>	- Amélioration des performances germinatives. - Augmentation de la biomasse et le rendement. - 18h d'imbibition offrent les meilleurs résultats.	Mehri (2015)

3.2.2. Hormoprining

C'est un type de traitement, récemment appliqué, qui repose sur l'utilisation des traitements des graines par les phytohormones telles que l'acide gibbérellique, l'acide salicylique et l'acide indole 3-acétique à des concentrations et durées précises.

L'acide abscissique (ABA) est une phytohormone largement impliquée dans les réponses aux stress abiotiques tels que la sécheresse, le froid, l'humidité et la sécheresse. largement impliquée dans les réponses aux stress abiotiques comme la sécheresse, les basses températures et le stress osmotique (**Fujita et al. 2006**).

Les effets bénéfiques de l'acide gibbérellique (GA3) sur la germination sont bien connus (**Angrish et al. 2001 ; Radi et al. 2001 ; Khan et al. 2002**). L'application de GA3 (100 mg l⁻¹) avant le semis a permis d'obtenir les teneurs les plus élevées en K et en Ca² dans les pousses des cultures (**Harb 1992**). Récemment, l'auxine a été également utilisée pour le priming (**Akbari et al. 2007**).

3.2.3. Osmopriming (osmoconditionnement)

C'est le type d'amorçage le plus utilisé. Il consiste à faire sur les graines un traitement pré- germinatif osmotique seul ou suivi d'une redéshydratation. D'après **YARI et al, (2010)**, cette hydratation est réalisée par des agents osmotiques comme :

- Polyéthylène glycol (PEG).
- Les sels (KNO₃, NaCl, KCl).
- Les polyols (mannitol).

NaCl et PEG sont les plus utilisés (efficacité pour l'amélioration des vigueur des semis).

Tableau 2.2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmopriming des semences de différentes espèces cultivées.

Espèce	Agent osmotique	Durée	Effets	Référence
Blé <i>Triticum aestivum</i>	PEG 600 KCL KH ₂ PO ₄	12, 24 et 36	-PEG 20% et KH ₂ PO ₄ (12h) : meilleure germination. -PEG 20% (24h) : meilleure croissance racinaire. -PEG 10% (24h) : meilleure croissance de la tige. -KCL : affecte la germination et la croissance	Yari et al (2010)

Mais <i>Zea mays</i>	CaCl ₂	24h	Amélioration du développement du système racinaire et du rendement en condition de sécheresse.	Bismillah khan et al (2015)
Riz <i>Oryza sativa</i>	KNO ₃ NaCl	24h	KNO ₃ à 1,5% permet d'avoir une meilleure germination et croissance linéaire et pondérale des racines.	Esmail et Heidarza (2012)

3.2.4. Biopriming

Selon **Reddy (2012)**, le biopriming est une nouvelle technique de traitement des semences en intégrant d'une part des aspects biologiques, tel que l'inoculation des semences avec un organisme bénéfique pour la protection, et des aspects physiologiques, telle que l'hydratation des semences de l'autre part :

Si les semences sont infectées ou contaminées par des agents pathogènes, la croissance fongique peut être renforcée lors de la préparation, entraînant des effets indésirables sur les plantes. Par conséquent, l'amorçage des semences seul ou en combinaison avec une faible dose de fongicide ou d'agents de lutte biologique a été utilisée pour améliorer la vitesse et l'uniformité de l'émergence des semences et réduire les maladies provoquant la fonte des semis.

3.3. Comportement de quelques espèces vis-à-vis le priming

L'hydroprimage pour 24h chez le blé fait une augmentation de rendement grainier (**HARRIS et al, 2002**). L'hydroprimage de la culture de maïs a augmenté la vitesse de l'émergence des semis et amélioré le peuplement et la croissance des plantes (**BASRA et al. 2006**). Aussi, selon **MOOSAVI et al. (2009)**, chez différentes espèces végétales telles que la tomate, le haricot, la lentille, la pastèque, le melon et la carotte, l'endurcissement permet:

- L'accélération et la synchronisation de la germination.
- Une meilleure croissance et une floraison plus précoce
- Une plus grande tolérance aux stress

3.4. Effets du Priming

3.4.1. Sur la germination

L'amorçage est une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives, en donnant des cultures uniformes et homogènes (**GHASSEMI GOLEZANI et al, 2010**). Les travaux de **VARIER et al (2010)** ont expliqué que cette germination rapide est synchronisée par une activation des processus pré-germinatifs en provoquant des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives à la semence.

3.4.2. Sur les protéines

L'amorçage favorise la synthèse des protéines par l'amélioration de la machinerie de leur synthèse (**VARIER et al, 2010**).

3.4.3. Les enzymes

Selon **FU et al, (1988)**, les semences endurcies font une forte synthèse et activation des enzymes dont les produits (éléments nutritifs) seront utilisés au cours de la germination. Ces enzymes sont impliquées dans la dégradation des réserves protéiques (protéase), des réserves glucidiques (α et β amylases) et des réserves lipidiques (isocitrate lyase).

3.4.4. Les protéines de stress

À un stress hydrique, l'endurcissement présente des effets bénéfiques qui sont expliqués par l'augmentation de l'expression des protéines de stress. En effet, une augmentation spécifique des protéines moléculaires de choc thermique (HSP) de 17,4 et 17,7 KDa a été observée chez des graines trempées dans le PEG ou le mannitol. Ces chaperons moléculaires agissent en maintenant le bon repliement d'autres protéines au cours de l'osmopriming, empêchant l'agrégation et la liaison aux protéines endommagées (**GALLARDO et al, 2001**).

Ceci explique l'abondance des protéines de choc thermique, qui sont connues pour s'accumuler en grandes quantités au cours de toutes sortes de stress (**KESTER et al, 1997**). Ces HSPs synthétisées au cours de l'osmopriming en réponse au stress

pourraient également protéger les protéines endommagées par le vieillissement naturel (**VARIER et al, 2010**).

3.4.5. Sur les osmolytes

Physiologiquement, les traitements pré-germinatifs font l'augmentation de la teneur en proline libre corrélée avec une forte expression de deux gènes et à des niveaux élevés de l'ARNm correspond à l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse de la proline (**GELORMINI, 1999**).

3.4.6. Sur la longévité des semences

Plusieurs auteurs ont montré un effet négatif de l'hydropriming, où la longévité des semences traitées est souvent réduite (**POWELL et al, 2000 ; VARIER et al, 2010**).

CHAPITRE IV

MATÉRIEL ET MÉTHODES

4.1. Objectifs de travail

Notre travail a comme objectifs :

L'analyse des effets de différentes méthodes de traitement pré germinatif, telles que l'haloprimer (trempage dans des solutions de sels : KNO_3 et $CaCl_2$) à 10 et 30 %), ainsi que l'hydropriming ((imbibition avec de l'eau, un cycle de redéshydratation), sur la germination et la croissance de trois variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.) dans des conditions non stressantes et stressantes (NaCl).

L'étude de l'effet du traitement pré germinatif des semences de trois variétés de laitue sur la tolérance à une contrainte salines des plantes issues de ces graines.

L'étude de l'effet du traitement pré germinatif des semences de trois variétés de laitue sur les mécanismes biochimiques régissant l'endurcissement des semences de laitue.

4.2. Matériel Végétal

Cet essai a porté sur trois variétés de laitue « Abondance », « Blonde de paris », et « Great lakes ». Le choix de cette espèce repose essentiellement sur ses réactions rapides aux changements du milieu, et sa rapidité de croissance.

4.3. Méthode d'étude

4.3.1. Conditions des cultures : Les conditions de culture appliquées lors de la réalisation de ce travail sont diverses en deux méthodes distinctes.

4.3.2. Culture au laboratoire « Traitements pré germinatifs des graines (amorçage) »

Des graines saines, de même taille, sont sélectionnées pour cette étude. Trois solutions sont préparées pour l'amorçage des graines, dont deux solutions salines (halopriming KNO_3 et CaCl_2) et une solution pour l'hydropriming (l'eau distillée). Les deux premières solutions sont préparées en dissolvant la quantité appropriée de KNO_3 ou CaCl_2 dans de l'eau distillée jusqu'à dissolution complète. La concentration de chaque sel est choisie sur la base des expériences antérieures qui montrent qu'elle ne provoque pas une inhibition de la germination (**Nasri et al, 2011**). Les graines des trois variétés (Abondance, Blonde de paris, et Great lakes) sont trempées pendant 2:30h à température ambiante dans les solutions d'amorçage (**Figure 3.1**). Les graines non amorcées sont stérilisées pour servir de témoin sans amorçage. Soit :

Le témoin non amorcé NA.

L'hydropriming (HP) : eau distillée.

L'halopriming : KNO_3 : 101,1032 g/mol de $\text{KNO}_3 = 0.505$ g/l,

- Peser 0,505516 g de KNO_3 à l'aide d'une balance de précision
- Ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique
- Compléter a 1 litre avec l'eau distillée.

L'halopriming : CaCl_2 : 110,98 g/mol de $\text{CaCl}_2 = 5,549$ g/l.

- Peser 5,549g de CaCl_2 à l'aide d'une balance de précision
- Ajouter 100 ml d'eau distillée
- Agiter à l'aide d'un agitateur magnétique
- Compléter a 1 litre avec l'eau distillée.

Après l'amorçage, les graines sont lavées avec de l'eau distillée et étalées sur une serviette en papier pour sécher à l'ombre pendant 72 heures.

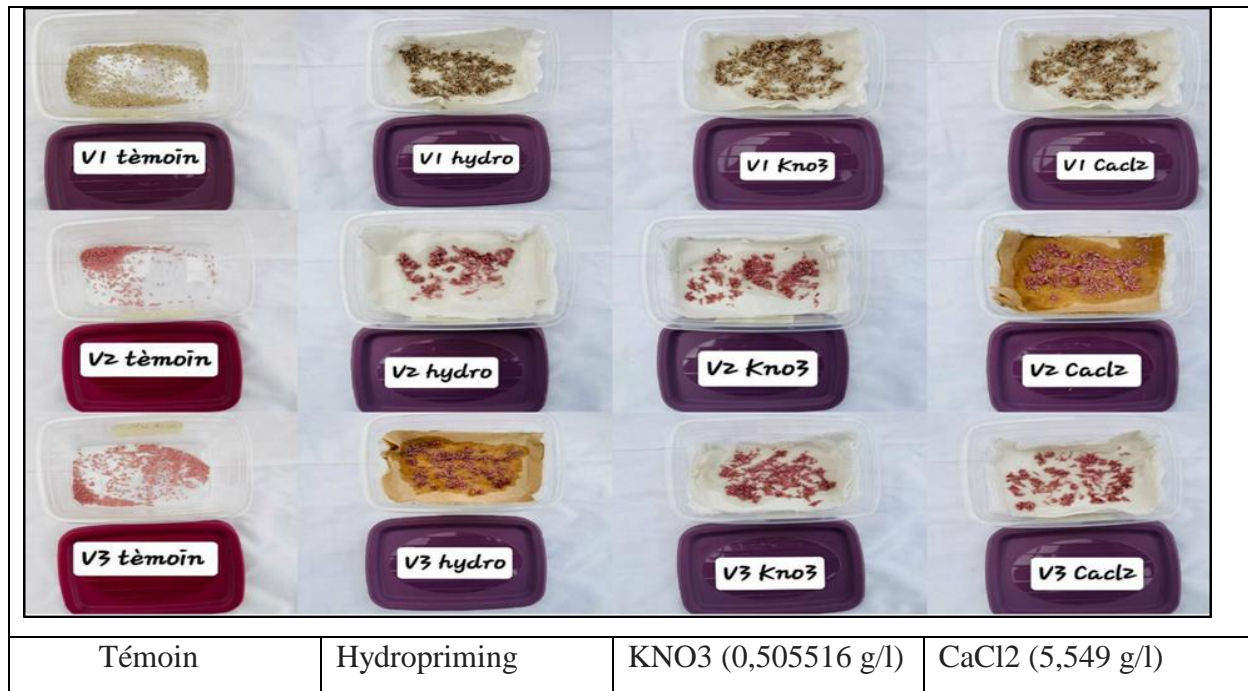


Figure 4.1 : Prétraitement des graines de trois variétés de laitue par différents types de prétraitement.

4.3.1. Culture sous serre

4.3.1.1. Préparation de la solution saline

Le NaCl (chlorure de sodium) est généralement le sel soluble prédominant dans les sols et dans les eaux d'irrigations affectées par les sels (**Snoussi et Halitim, 1998**). Ainsi, des concentrations de NaCl croissantes sont utilisées pour évaluer l'effet d'amorçage sur la germination de la laitue sous stress salin. Les concentrations utilisées sont : T0 : 0 mM de NaCl (eau distillée) ; T1 : 100 mM (4,9 g/l) de NaCl.

4.3.1.2. Mise en germination après avoir subi l'amorçage

Les graines sont ensuite placées dans des pots de 9 cm de diamètre et 8 cm d'épaisseur, contenant la tourbe, et mises à germer dans un mini serre au sein du département d'agronomie. Les pots sont placés de manière aléatoire (**Figure 4.2**). Dans chaque pots sont versés 10 ml d'eau distillée (T0 : 0 Mm de NaCl) pour les

graines témoins et 10 ml de solution saline pour les graines stressées (T1 : 100 Mm de NaCl), jusqu'au stade plantule (3 ou 4 feuilles) (Figure 4.2).

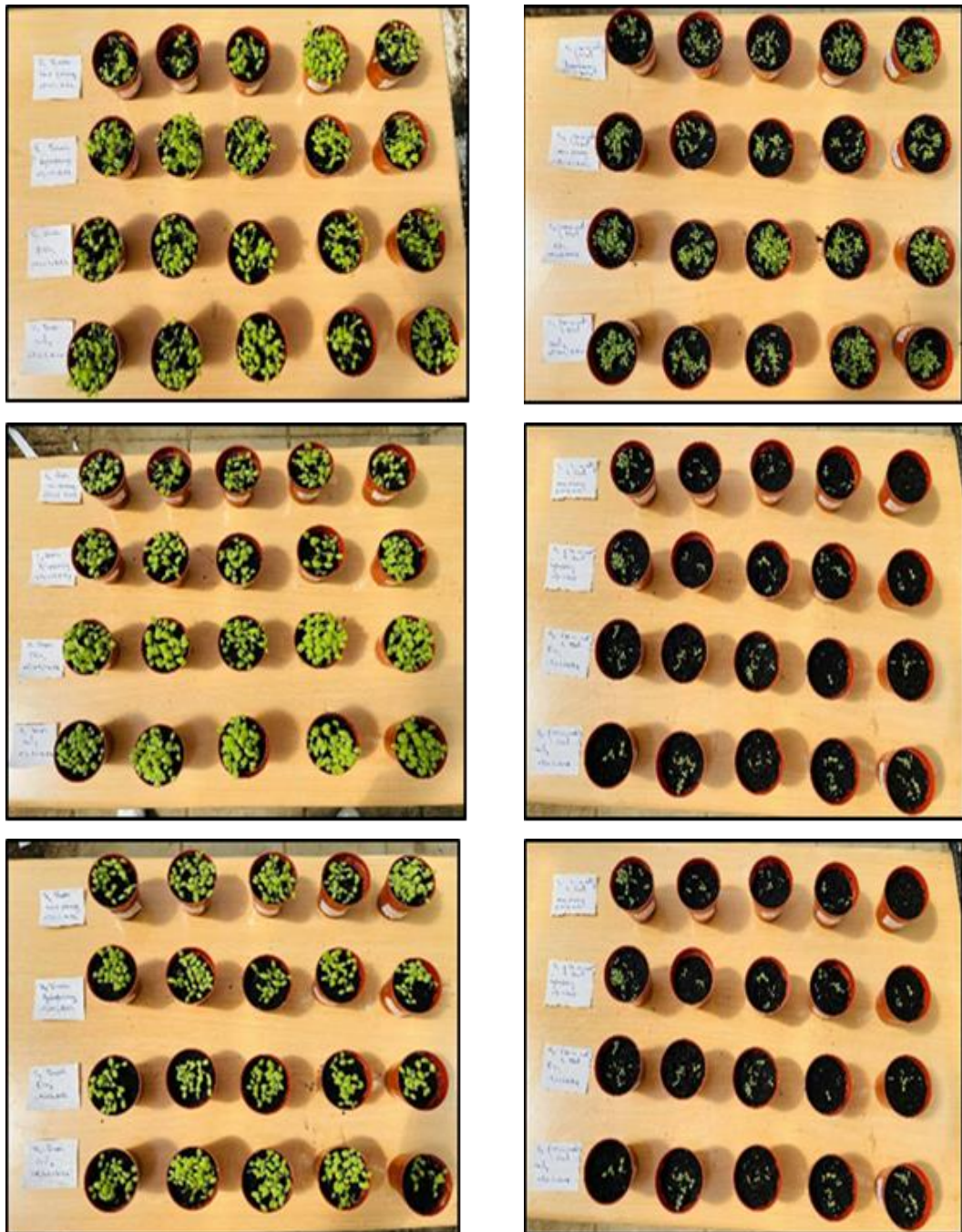


Figure 4.2 : Mise en germination de trois variétés de laitue après avoir subi l'amorçage.

4.3.1.3. Plantation

Le champ expérimental est divisé en 3 planches de plantation, La répartition de ces trois variétés dans chaque planche est aléatoire (**Figure 4.3**).

Quand les graines germées et atteignent le stade de plantule sont transplantées soigneusement en motte (**Figure 4.4**) dans trois planches séparées contenant un mélange de tourbe et du terre fin (1/2), chaque planche est constituée de 08 lignes distantes de 0,25 m x 0,30 m.

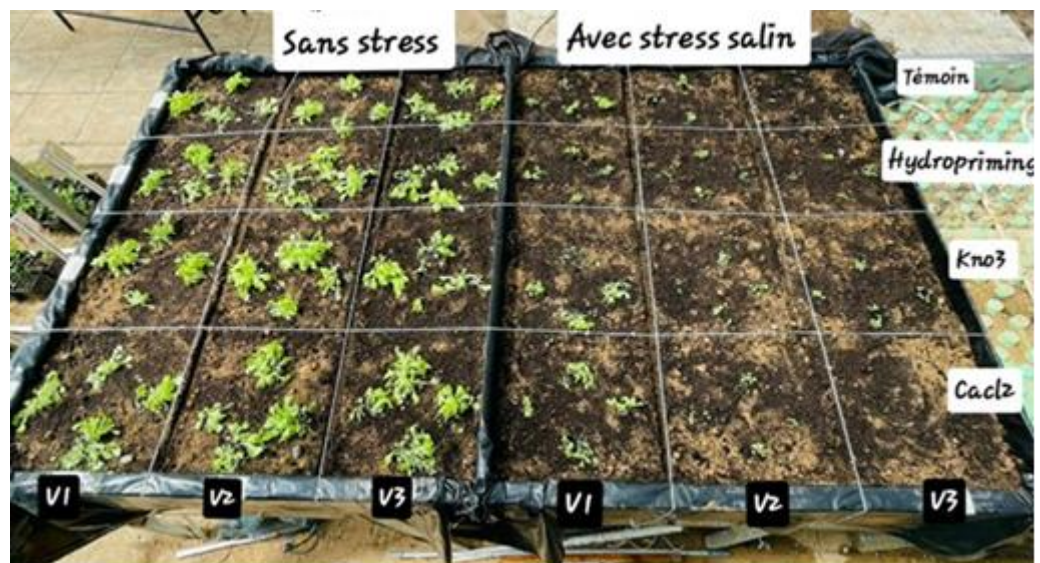


Figure 4.3 : Aspect des plantules de trois variétés de *Lactuca sativa* après transplantation.

- Première ligne : comprend les plantules issues des graines non amorcées « témoin = pas de prétraitement » irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "0 Mmol NaCl"
- Deuxième ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par hydropriming, irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "0 Mmol NaCl"
- Troisième ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par l'haloprimum " KNO₃ ", irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "0 Mmol NaCl"

- Quatrième ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par l'haloprimum " CaCl_2 ", irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "0 Mmol NaCl"
- La cinquième ligne : comprend les plantules issues des graines non amorcées « témoin = pas de prétraitement » irriguée chaque jour avec 100 Mmol NaCl
- La sixième ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par l'hydropriming ; irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "100 Mmol NaCl"
- La septième ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par l'haloprimum " KNO_3 ", irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "100 Mmol NaCl"
- La dernière ligne : comprend les plantules issues des graines amorcées par l'haloprimum " CaCl_2 ", irriguée chaque jour avec de l'eau de robinet "100 Mmol NaCl"
-



Figure 3.4 : Mode de transplantation.

4.4. Dispositif expérimental

Le dispositif est une randomisation totale, avec trois variétés « Abondance », « Blonde de paris », et « Great lakes », 2 traitements salins « T0 : 0 Mm », « T1 : 100 Mm », 3 répétitions, 4 niveaux de priming « Témoin : sans priming », « HP : hydropriming », « haloprimum KNO_3 , et CaCl_2 », soit un total de 120 boîtes de Pétri. Chaque répétition comprend trois facteurs :

Facteur 1 : Représente les trois variétés (Abondance », « Blonde de paris », et « Great lakes) ;

Facteur 2 : représente quatre niveaux d'amorçage utilisés : Témoin (sans amorçage) ; HP : hydropriming ; halopriming : KN03 et CaCl2 ;

Facteur 3 : Représente les deux traitements de solutions salines appliqués : (T0) ; eau distillée ; (T1) 100 Mm de NaCl .

4.5. Les paramètres étudiés

4.5.1. Paramètre de germination : Taux de germination

4.5.2. Paramètres morphologiques : Longueur des plants et des racines, poids des plants et des racines, teneur des plants et des racines en eau, nombre, longueur et largeur de feuilles, diamètre des racines.

4.5.3. Paramètres biochimique

Teneur en proline

La proline est dosée par la méthode de **Troll et Lindsley (1954)**, simplifiée et mise au point par **Drier et Goring (1974)**. Cette méthode se base sur la coloration rose produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine dans un tampon acide (**Figure 3.5**).



Figure 4.5 : préparation de courbe d'étalonnage de proline.

Extraction

100mg de matériel végétal (matières fraîche), est prélevé puis mis dans de tube à essai auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40%, le tout est ensuite porté au bain

marie à 85 C° pendant une heure Les extraits peuvent être conservés dans les piluliers en plastique au congélateur.

Teneur en chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle **a** et **b** est réalisée selon la méthode **Francis et al 1970** qui consiste à une macération des feuilles (0,1g) dans 10ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et (80% et 40%) de concentration.

Les feuilles sont Coupées en petits morceaux et mises dans des boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48H plus tard, on procède à la lecture ces densités optiques des solutions avec spectrophotomètres, à deux longueurs d'ondes (645nm et 663nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

$$\text{Chl A (ug/gMF)} = 12,7 \times \text{DO}(663) - 2,59 \times \text{DO}(645) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl B (ug/gMF)} = 22,9 \times \text{DO}(645) - 4,68 \times \text{DO}(663) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl totale (ug/gMF)} = \text{Chl A} + \text{Chl B}$$

4.6. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à l'analyse de la variance à trois facteurs (F1 variétés X F2 types d'amorçage X F3 dose de NaCl), et les moyennes sont comparées selon le test de NewmanKeuls, basée sur la plus petite différence significative. Chaque moyenne est affectée d'une lettre, les moyennes suivies d'une même lettre n'étant pas significativement différentes.

CHAPITRE V

RESULTATS ET DISCUSSION

5.1. L'effet de l'amorçage sur le taux de germination en condition non stressante et sous stress salin

Les données concernant le taux de germination final sont répertoriées dans le **tableau 5.1** et la **figure 5.1**. L'analyse statistique révèle des effets très hautement significatifs du stress salin, des variétés et du facteur d'amorçage (**Tableau 1 ; Annexe**).

Tableau 5.1 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour le taux de germination.

Variétés	Amorçage	% de germination
V1 0 Mm NaCl	T	37±4,06 F
	H	43,8±2,16 DE
	KNO3	54,4±2,07 B
	CaCl2	63,6±4,15 A
V1 100 mM NaCl	T	25,6±3,84 IJ
	H	35,8±2,77 F
	KNO3	50,4±2,40 C
	CaCl2	50,4±2,40 C
V2 0 mM NaCl	T	23±3,39 J
	H	24,8±2,16 IJ
	KNO3	44,2±3,56 DE
	CaCl2	40,8±4,15 E
V2 100 mM NaCl	T	10,8±4,49 L
	H	17,8±2,77 K
	KNO3	31,4±1,76 GH
	CaCl2	31,4±1,76 GH
V3 0 mM NaCl	T	22,4±1,81 J
	H	28,2±2,68 HI
	KNO3	34,6±3,56 FG
	CaCl2	41,8±2,49 E
V3 100 mM NaCl	T	3,2±1,48 M
	H	9±0,70 L
	KNO3	15,6±1,81 K
	CaCl2	21,4±2,07 J
Signification f		2,443
probabilité		0,03042

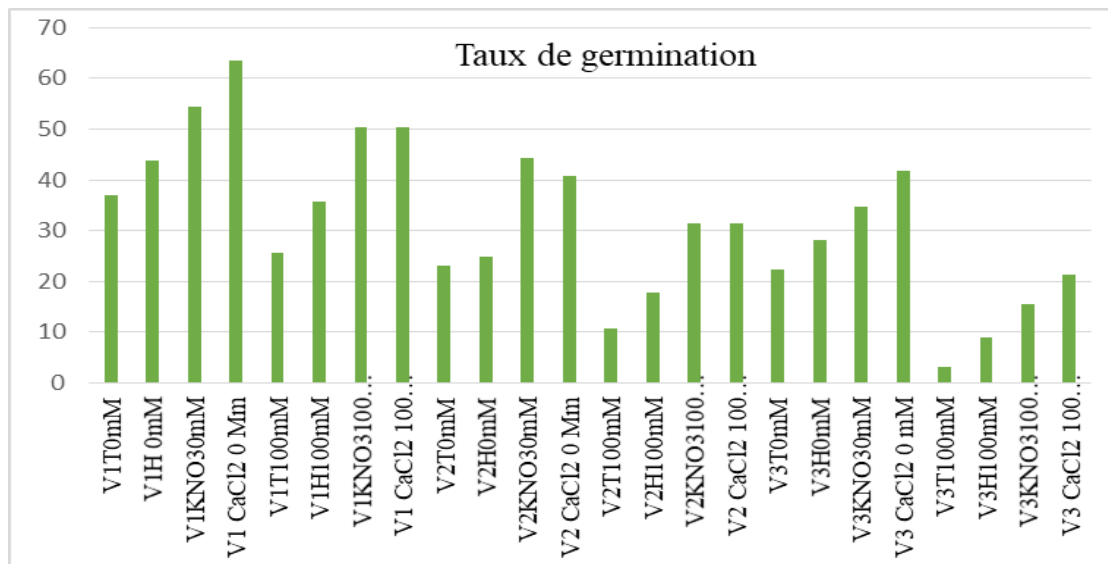


Figure 5.1 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le taux de germination.

L'examen du **tableau 5.1** révèle que le stress salin entraîne une diminution du taux final de germination de la laitue, en particulier pour la variété « Great lakes » sans amorçage à 100 mM NaCl qui est la plus impactée. La réduction observée est d'environ 85.71 % (pour le traitement 100 mM) par rapport au témoin non traité. Cependant, l'amorçage permet d'atténuer l'effet négatif du stress salin, avec des augmentations significatives de l'ordre de 64.44 %, 79.48 % et 85.04 % pour l'hydroamorçage, l'amorçage au KNO₃ et l'amorçage au CaCl₂ respectivement. Dans des conditions favorables en absence de stress salin (0 Mm NaCl), l'hydroamorçage, l'amorçage au KNO₃ et au CaCl₂ améliorent également le taux final de germination de la Great lakes.

La variété « abondance » est affecté par le stress salin (100 mM NaCl), avec une réduction de l'ordre de 30 %. Cet effet négatif de la salinité est atténué particulièrement par l'hydropriming et l'halopriming KNO₃ et CaCl₂ les pourcentages d'augmentations sont de l'ordre de 28.49 %, 49.20 et 49.20% respectivement. Les résultats du tableau 6 montrent que même en conditions favorables et sous stress (100 mM NaCl), l'hydropriming et l'halopriming KNO₃ et CaCl₂ améliore le pourcentage final de la variété « abondance », cette amélioration dépend étroitement du type d'amorçage.

Nous observons que les graines de « Blonde de paris » amorcées (hydropriming ou halopriming) et non stressé (0 mM NaCl) ont un taux de germination plus élevé avec des différences très hautement significatives. Ainsi, le taux de germinative le plus élevée

caractérise les semences traités par KNO_3 à 47.96 % et celles qui ont subi une haloprimering par CaCl_2 avec une augmentation de 43.62 % par rapport aux graines non amorcées.

Par ailleurs, notre étude indique qu'une simple imbibition des graines de « abondance », « Blonde de paris » et « Great lakes » dans l'eau distillée pendant deux heures et demi avant la mise en germination dans le NaCl a un effet significatif sur le taux de germination comparativement aux graines non amorcées. En effet, les graines amorcées germent rapidement et mieux par rapport aux graines non amorcées, que ce soit dans des conditions normales ou sous stress salin. Cette amélioration se traduit par une augmentation du nombre de graines germées, mais elle varie selon la méthode d'amorçage et les variétés (**tableau 5.1**).

D'après les résultats du test F, le classement suivant est obtenu pour les trois facteurs : Les traitements de NaCl : T1 (100 mM NaCl) < T0 (0 mM NaCl) ; les variétés : Great lakes < Blonde de paris < abondance et l'amorçage CaCl_2 < KNO_3 < Hydropriming < Témoin (sans amorçage).

Le dendrogramme obtenu par la méthode UPGMA (Unweighed Pair-Group Method with arithmétique Average) montre une nette séparation des variétés et structure la diversité de la tolérance au stress salin en trois classes (**Figure 5.2**).

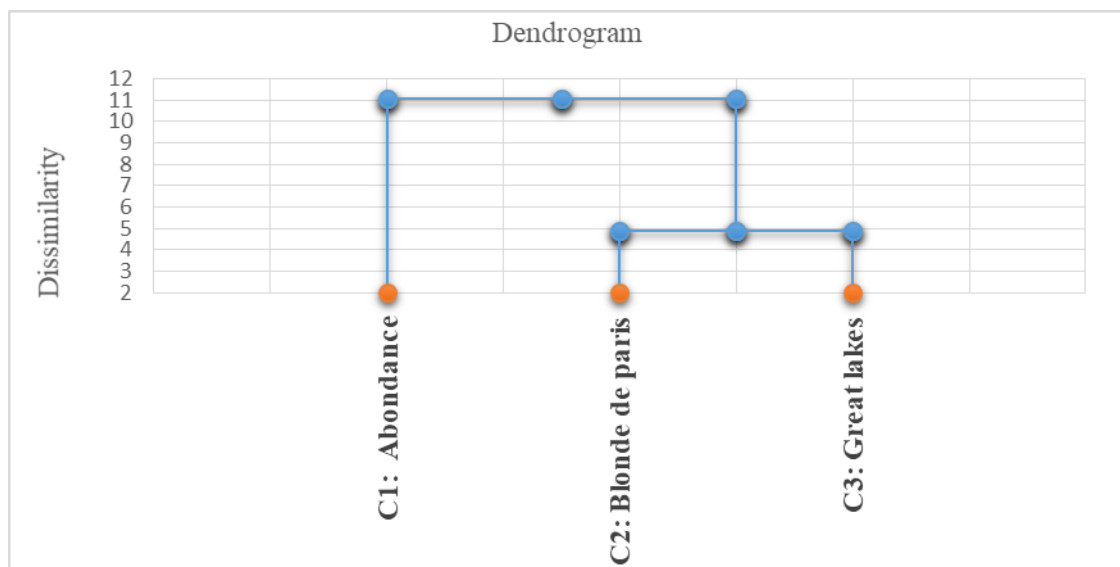


Figure 5.2 : Classification hiérarchique (CAH) des différentes variétés de la laitue au stade de germination en interaction avec le stress salin et l'amorçage.

La première classe comprend une variété « Abondance », caractérisée par une tolérance plus vigoureuse au stress salin (**Figure 5.2**).

La seconde classe comprend la variété « Blonde de paris ». Cette variété est caractérisée par une tolérance moyennement vigoureuse au stress salin (**Figure 5.2**).

La troisième classe comprend la variété « Great lakes » qui est caractérisée par une sensibilité au stress salin (**Figure 5.2**).

Il apparait de la lecture du dendrogramme que au stade de germination, la variété « Abondance » est significativement la meilleur, caractérisée par une tolérance plus vigoureuse au stress salin, comparativement aux autres variétés. Suivi par la variété « Blonde de paris ». Vient ensuite la variété « Great lakes » constitue une classe différente des autres. Cette variété se montre la plus sensible au stress salin.

5.2. Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur les paramètres morphologiques de la plante entière

5.2.1. Longueur totale

Les résultats de la longueur totale sont présentés dans le **tableau 5.2** et la **figure 5.3** et **5.4**. L'analyse de la variance montre que la longueur totale des plantules est très hautement significativement affectée par la salinité, le type d'amorçage et la variété (**Tableau 2 ; Annexe**). La longueur totale des trois variétés est améliorée significativement par l'amorçage, la valeur maximale est notée chez l'halopriming KNO₃, suivi par l'hydropriming.

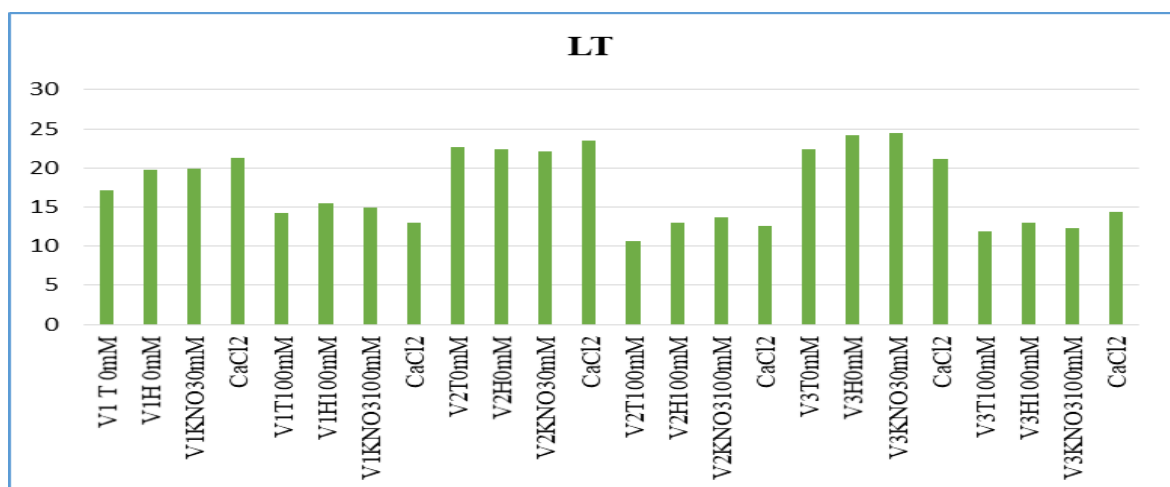


Figure 5.3 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur total des plantules.

Pour la variété V1, tous les types d'amorçage améliorent significativement la longueur totale, la meilleure valeur est notée chez les plantules issues de semences traitées par l'haloprimering CaCl_2 en absence de stress, suivi par l'hydropriming en condition stressante (100 Mm NaCl). Concernant la variété V2, une nette augmentation de la croissance est notée principalement en conditions non stressantes et en conditions de stress salin 100 mM, avec l'haloprimering CaCl_2 et KNO_3 respectivement. Pour La variété V3 la meilleure valeur est notée chez les plantules issues de semences traitées par KNO_3 en absence de stress et par le CaCl_2 en condition de stress Salin (100 mM NaCl).



Figure 5.4 : Effets des différentes méthodes de priming sur la longueur total de trois variétés de laitue soumises à deux concentrations de NaCl (0 mM, 100 mM).

Tableau 5.2 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques de la plante entière. « **LT** : longueur total ; **PFT** : poids frais total ; **PST** : poids sec totale ; **T eau T** : teneur en eau total »

Variétés	Amorçage	LT	PFT	PST	T eau T
V1 0mMNaCl	T	17,16±1,96 CD	12,582±12,58 D	0,164±1,11 NS	90,97±1,10 NS
	H	19,74±3,06 BC	23,832±23,83 BC	0,621±2,14 NS	90,982±0,76 NS
	KNO3	19,84±1,50 BC	20,344±20,34 C	0,267±1,64 NS	91,876±0,91 NS
	CaCl2	21,28±4,37 AB	24,182±24,18 BC	0,629±2,25 NS	90,72±0,38 NS
V1 100mM NaCl	T	13±1,27 EF	5,848±5,84 D	0,111±0,55 NS	90,468±1,43 NS
	H	15,52±0,97 DE	10,262±10,26 D	0,047±0,95 NS	90,638±0,54 NS
	KNO3	14,98±0,70 DE	9,872±9,87 D	0,113±0,85 NS	91,356±0,65 NS
	CaCl2	14,3±1,25 DEF	6,768±6,76 D	0,04±0,58 NS	91,342±0,70 NS
V2 0mMNaCl	T	22,7±1,35 AB	30,444±30,44 B	0,263±2,76 NS	90,714±1,83 NS
	H	22,4±1,19 AB	21,06±21,06 C	0,374±1,71 NS	91,708±1,09 NS
	KNO3	22,1±2,1 AB	24,742±24,74 BC	0,8±1,97 NS	92,046±0,73 NS
	CaCl2	23,52±2,05 AB	42,486±42,48 A	0,904±3,73 NS	91,37±0,95 NS
V2 100Mm NaCl	T	10,7±1,52 F	5,672±5,67 D	0,085±0,55 NS	90,05±2,04 NS
	H	12,94±1,53 EF	6,588±6,58 D	0,059±0,55 NS	91,61±0,33 NS
	KNO3	13,7±1,20 DEF	10,952±10,95 D	0,322±0,91 NS	91,65±0,25 NS
	CaCl2	12,6±1,14 EF	9,08±9,08 D	0,179±0,82 NS	90,906±0,85 NS
V3 0mMNaCl	T	22,34±0,96 AB	32,304±32,30 B	0,485±2,67 NS	91,676±0,92 NS
	H	24,2±2,58 A	44,864±44,86 A	0,845±3,42 NS	92,402±1,38 NS
	KNO3	24,5±1 A	40,428±40,42 A	0,879±3,31 NS	91,782±0,23 NS
	CaCl2	21,14±1,61 AB	32,766±32,76 B	0,338±3,01 NS	90,798±0,36 NS
V3 100mM NaCl	T	11,9±2,24 EF	4,896±4,89 D	0,177±0,45 NS	89,612±1,15 NS
	H	13±1,36 EF	8,378±8,37 D	0,15±0,71 NS	91,368±0,74 NS
	KNO3	12,3±1,56 EF	7,488±7,48 D	0,184±0,64 NS	91,266±0,84 NS
	CaCl2	14,4±3,64 DEF	11,608±11,60 D	0,601±1,03 NS	91,052±0,04 NS
Significatio n f		4,359	6,222	5,309	0,738
probabilité		0,00067	0,00002	0,00011	0,62248

5.2.2. Poids frais et sec total des plantules

Les résultats du poids frais et sec des plantules de la laitue soumises au stress salin et à l'amorçage sont présentés dans le **tableau 5.2** et **figure 5.5**. L'analyse statistique montre pour le poids frais et sec des plantules, un effet très hautement significatif des trois facteurs : variété, amorçage et stress salin (**Tableau 3 et 4 ; Annexe**).

Les résultats du **tableau 5.2** montrent que le poids frais des plantules est lié à la concentration saline appliquée, le type d'amorçage et la variété. En effet, une nette augmentation du poids frais est enregistrée chez les plantules non stressées et stressées (100 mM NaCl).

L'amorçage par le CaCl₂ présente la moyenne la plus élevée du poids frais des deux variétés V1 et V2 par rapport au témoin (graines non traitées) en absence de stress salin (0 mM NaCl). Cependant, le poids frais de la variété V3 augmente sous l'effet de l'hydropriming en absence de stress.

En condition de stress salin, l'analyse de la variance ne montre pas une différence significative entre les différents types d'amorçage (**tableau 5.2**).

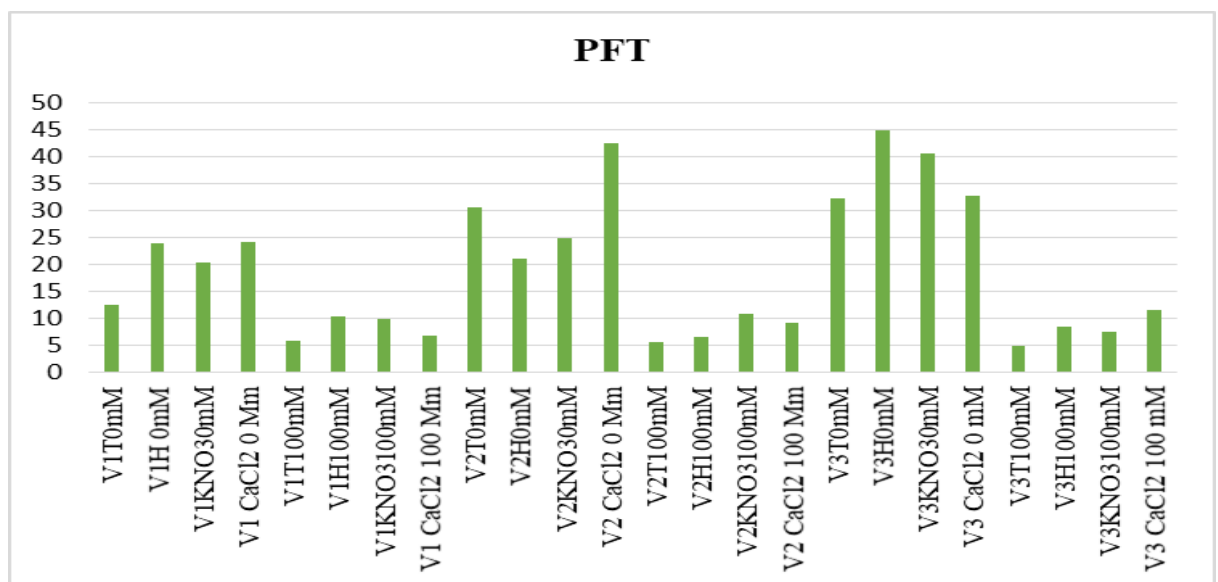


Figure 5.5 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids frais des plantules.

5.2.3. Teneur relative total en eau

Les résultats de la teneur relative total en eau de trois variétés de la laitue soumises au stress salin et à l'amorçage sont présentés dans le **tableau 5.2** et **figure 5.6**. L'analyse statistique montre un effet non significatif pour les trois facteurs étudiés ; variétés, type d'amorçage et stress salin (**Tableau 5 ; Annexe**).

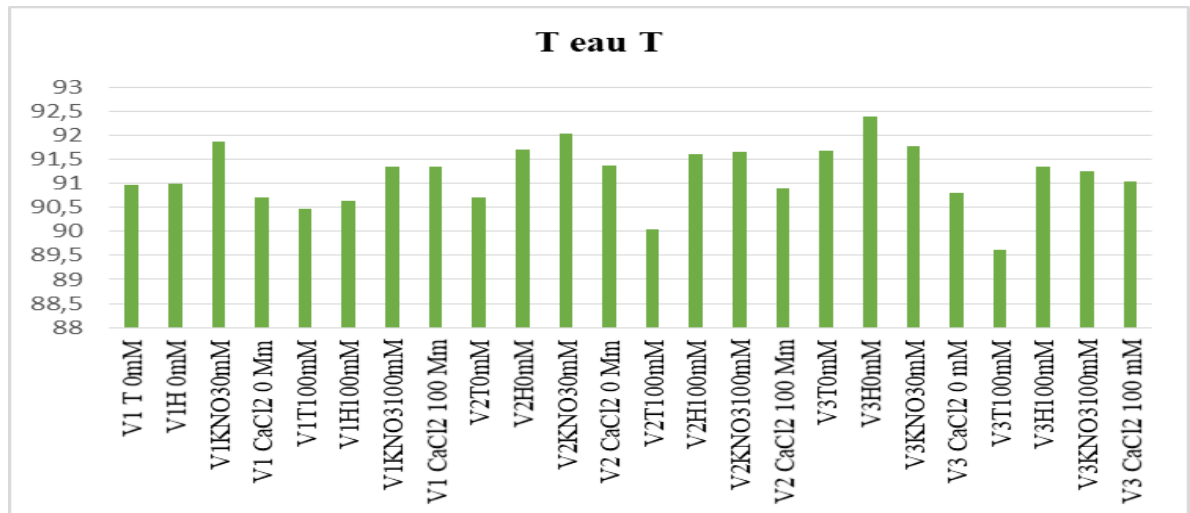


Figure 5.6 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en eau total au niveau des racines et la partie aérienne.

5.3. Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie aérienne

5.3.1. Longueur et largeur et nombre des feuilles

À la lecture du **tableau 5.3**, la salinité induit une réduction des paramètres des feuilles. Cependant, l'amorçage des graines permet une amélioration des valeurs de la longueur, largeur et nombre des feuilles que ce soit en conditions stressantes ou non stressantes. Une augmentation très hautement significative est enregistrée (**Tableau 6, 7, et 8 ; Annexe**), surtout pour le nombre des feuilles issues de graines traitées par l'hydropriming et l'halopriming (**figure 5.7**).

L'amorçage par l'hydropriming présente la moyenne la plus élevée du nombre des feuilles des deux variétés V1 et V3 par rapport au témoin (graines non traitées) en absence

de stress salin (0 mM NaCl) et en condition stressante (100 mM NaCl). Cependant, le nombre de feuilles de la variété V2 augmente sous l'effet de l'halopriming CaCl₂ en absence de stress et sous l'effet de l'hydropriming et KNO₃ en condition stressante (100 Mm NaCl) (**tableau 5.3**).

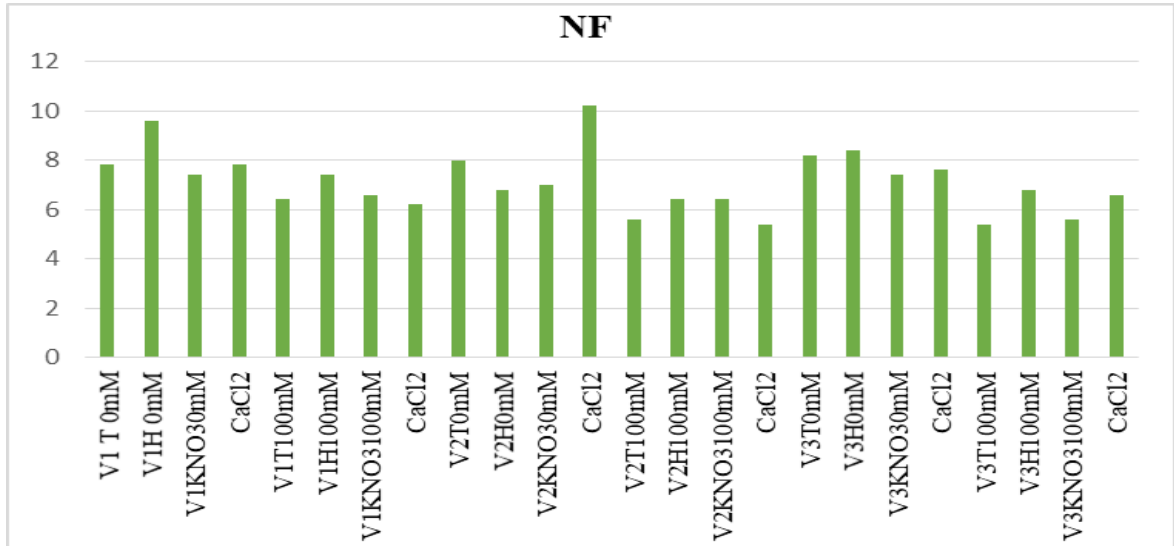


Figure 5.7 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le nombre des feuilles.

Tableau 5.3 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques de la partie aérienne. « **NF** : nombre de feuilles ; **LF** : longueur de feuilles ; **LaF** : largeur de feuilles ; **LPA** : longueur de partie aérienne ; **PPA** : poids de partie aérienne ; **PPAS** : poids de partie aérienne sèche ; **T eau PA** : teneur en eau partie aérienne »

Variétés	Amorçage	NF	LF	LaF	LPA	PPA	PPAS	T eau PA
V1 0mMNaCl	T	7,8±0,83 BC	10,04±1,08 CDE	8,28±0,57 DE	9,88±1,07 D	11,166±2,95 D	1,03±0,16 EFG	90,388±2,27
	H	9,6±0,89 A	11,54±1,16 CD	7,34±0,82 EF	12,42±1,99 C	21,896±5,90 BC	2,016±0,62 CD	90,81±0,86 NS
	KNO3	7,4±0,89 BCD	11,34±0,84 CD	7,94±0,53 DE	12,56±1,44 C	18,704±2,99 C	1,48±0,25 DEF	92,07±0,70 NS
	CaCl2	7,8±0,83 BC	11,96±0,71 C	9,72±0,78 CD	13,86±3,22 BC	20,446±4,82 BC	2,104±0,58 CD	91,44±0,83 NS
V1 100mMNaCl	T	6,4±0,54 BCD	9,2±0,89 EF	5±0,56 F	8,54±1,01 DE	5,452±0,81 D	0,516±0,11 G	90,55±1,65 NS
	H	7,4±0,54 BCD	9,6±0,59 DE	6,4±1,10 EF	9,28±0,83 DE	9,002±0,92 D	0,848±0,05 FG	90,54±0,57 NS
	KNO3	6,6±0,54 BCD	9,02±0,59 EF	6,76±0,47 EF	9,48±0,97 DE	7,86±1,16 D	0,672±0,11 FG	89,58±2,67 NS
	CaCl2	6,2±0,44 CD	7,62±0,21 EF	5,78±1,03 EF	8,12±1,33 DE	4,564±0,49 D	0,392±0,04 G	91,34±1,28 NS
V2 0mMNaCl	T	8±1,22 BC	15,3±1,95 B	12,9±2,77 AB	15,66±1,11 AB	29,276±5,05 B	2,64±0,24 ABC	90,75±1,81 NS
	H	6,8±1,30 BCD	14,38±1,38 B	10,8±1,31 BC	15,4±1,43 AB	20,26±5,82 BC	1,648±0,35 DE	91,73±1,10 NS
	KNO3	7±1 BCD	14,844±0,84 B	12,26±1,6 AB	14,014±1,42 ABC	22,974±8,68 BC	1,846±0,77 D	92,01±0,86 NS
	CaCl2	10,2±0,83 A	14,64±1,88 B	10,7±1,89 BC	15,54±1,55 AB	39,74±10,82 A	3,356±0,86 A	91,37±0,96 NS
V2 100mMNaCl	T	5,6±0,54 D	6,78±1,09 F	5,52±0,87 EF	6,36±1,10 E	5,04±0,51 D	0,508±0,07 G	89,82±2,03 NS
	H	6,4±0,54 BCD	7,92±1,00 EF	6,06±1,12 EF	8,14±1,74 DE	5,676±0,74 D	0,484±0,05 G	91,44±0,32 NS
	KNO3	6,4±0,54 BCD	8±1,41 EF	6,22±0,81 EF	9,08±0,71 DE	8,806±3,88 D	0,752±0,33 FG	91,47±0,42 NS
	CaCl2	5,4±0,54 D	8,2±1,15 EF	6,4±0,65 EF	8,2±1,03 DE	6,584±1,91 D	0,612±0,16 G	90,56±1,43 NS
V3 0mMNaCl	T	8,2±0,44 BC	16,4±1,51 AB	12,5±0,75 AB	14,92±0,72 ABC	30,28±6,27 B	2,28±0,58 BCD	92,39±1,46 NS
	H	8,4±0,54 B	16,4±1,81 AB	13,9±2,67 A	16,8±2,28 A	44,952±10,59 A	3,176±0,85 A	92,80±1,92 NS
	KNO3	7,4±0,54 BCD	17,72±0,77 A	13,54±2,12 A	16,84±1,23 A	40,378±11,28 A	3,018±0,84 AB	92,38±1,29 NS
	CaCl2	7,6±0,54 BCD	14,26±0,75 B	12,6±1,67 AB	15,12±1,16 ABC	28,142±5,80 BC	2,72±0,35 ABC	90,15±0,97 NS
V3 100mMNaCl	T	5,4±1,14 D	8,4±2,70 EF	4,642±0,96 F	7,1±1,51 DE	4,064±1,39 D	0,43±0,15 G	89,05±0,69 NS
	H	6,8±0,83 BCD	8,2±0,90 EF	5,78±1,03 EF	8,5±0,93 DE	6,458±2,04 D	0,566±0,15 G	91,14±0,92 NS
	KNO3	5,6±0,54 D	7,78±1,09 EF	6,06±1,05 EF	7,92±0,79 DE	5,3±2,66 D	0,454±0,18 G	91,04±1,36 NS
	CaCl2	6,6±2,40 BCD	7,7±1,71 EF	6,1±1,74 EF	8,5±2,17 DE	8,332±5,39 D	0,746±0,56 FG	90,96±0,24 NS
Signification f		5,818	3,497	2,217	3,966	6,85	4,746	1,401
probabilité		0,00004	0,0037	0,04747	0,00145	0,00001	0,00031	0,22129

P>0.05 ne sont pas significatifs (ns); P≤0.05 significatif (); P≤0.01 hautement significatif (**); P≤0.001 très hautement significatif (***)*

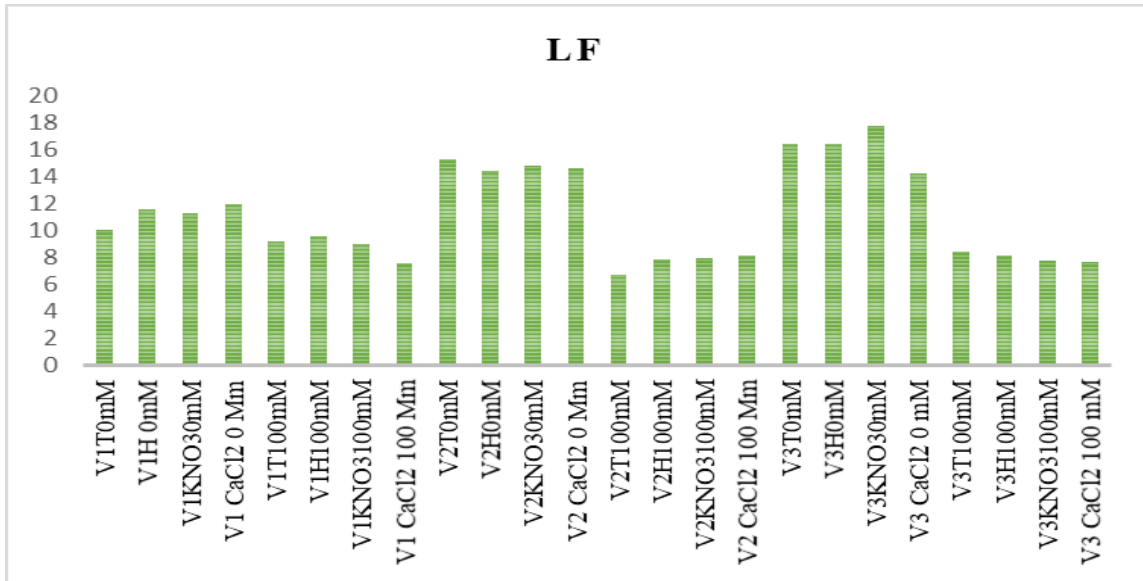


Figure 5.8 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur des feuilles.

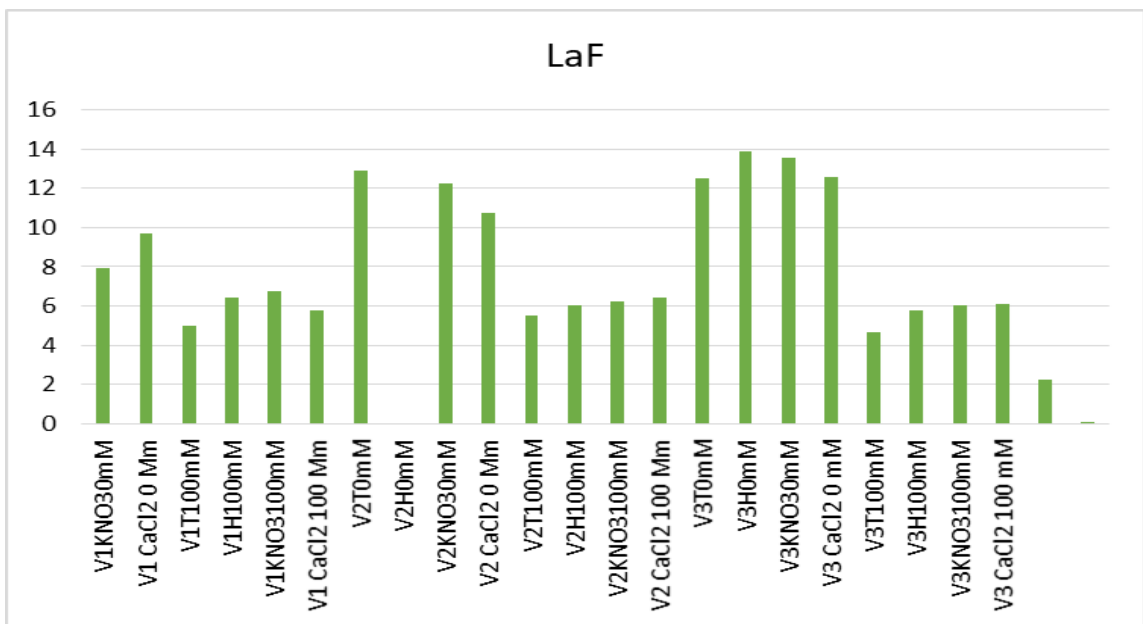


Figure 5.9 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la largeur des feuilles.

5.3.2. Longueur de la partie aérienne

Les résultats de la partie aérienne sont présentés dans la **figure 5.10** et **tableau 5.3**. L’analyse de la variance montre que la longueur totale des plantules est très significativement affectée par la salinité, le type d’amorçage et la variété (**Tableau 9 ; Annexe**).

La longueur de la partie aérienne des trois variétés est améliorée significativement par l'amorçage, la valeur maximale est notée chez l'haloprimum KNO_3 , suivi par l'hydropriming. Pour les deux variétés V1 et V3 tous les types d'amorçage améliorent significativement la longueur de la partie aérienne, la meilleure valeur est notée chez les plantules issues de semences traitées par l'haloprimum KNO_3 en absence de stress, suivi par l'hydropriming. Concernant la variété V2, une nette augmentation de la croissance est notée principalement en conditions stressantes avec l'haloprimum KNO_3 .

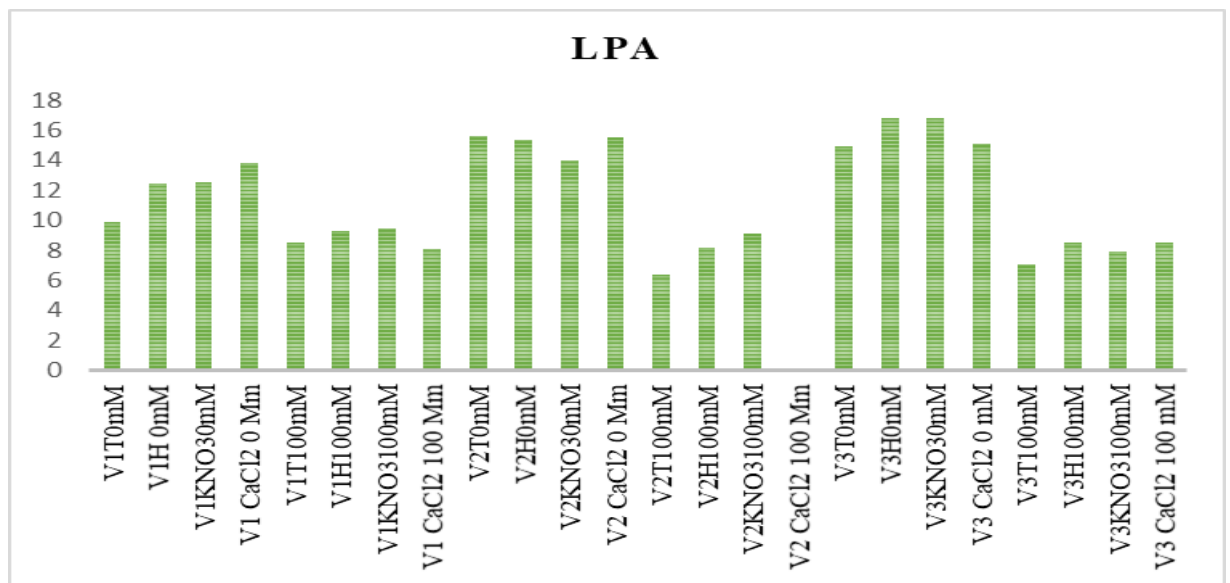


Figure 5.10 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur de la partie aérienne.

5.3.3. Poids frais et sec de la partie aérienne

Les résultats du poids frais et sec de la partie aérienne de la laitue soumise au stress salin et à l'amorçage sont présentés dans le **tableau 5.3** et **figure 5.11** et **5.12**. L'analyse statistique montre pour le poids frais et sec, un effet très hautement significatif des trois facteurs : variété, amorçage et stress salin (**Tableau 10** et **11** ; **Annexe**).

Les résultats du **tableau 5.3** montrent que le poids frais est lié à la concentration saline appliquée, le type d'amorçage et la variété. En effet, une nette augmentation du poids frais est enregistrée chez les plantules non stressées et chez les plantules stressées (100 mM NaCl).

L’amorçage par le KNO₃ et l’hydropriming suivi par le CaCl₂ présente la moyenne la plus élevée du poids frais et sec de la variété V3 par rapport au témoin (graines non traitées) en absence de stress salin (0 mM NaCl).

En condition de stress salin, l’analyse de la variance ne montre pas une différence significative entre les différents types d’amorçage (**tableau 4.3**).

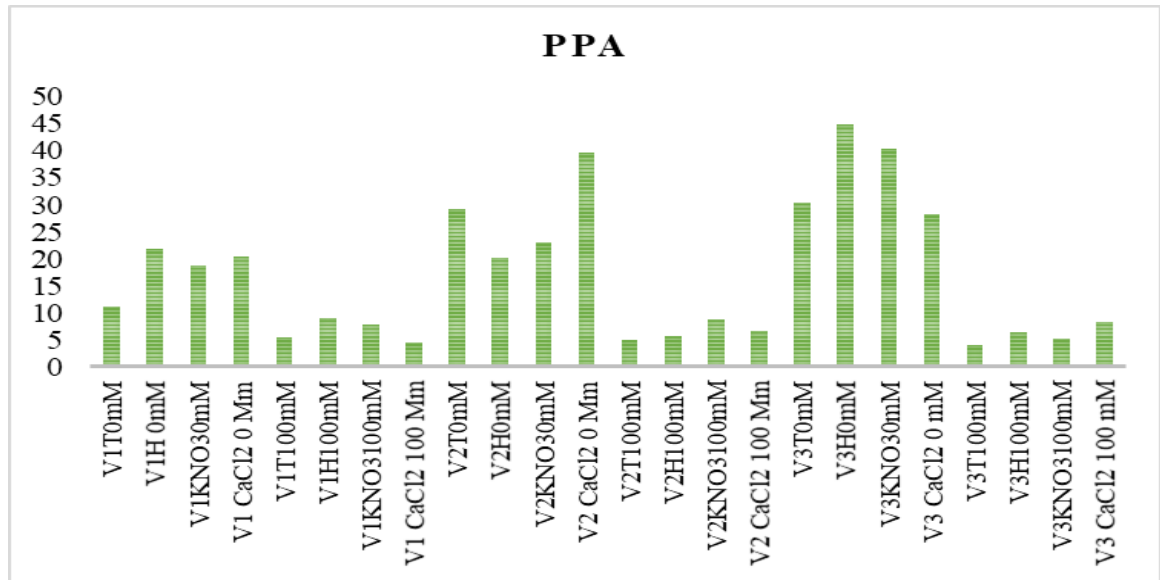


Figure 5.11 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids frais de la partie aérienne.

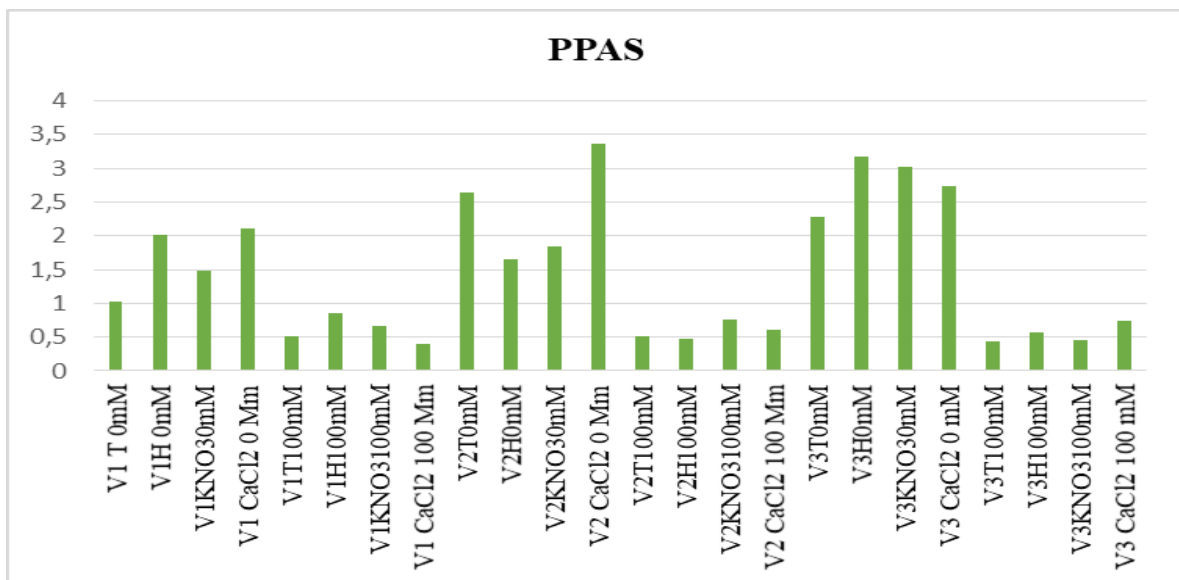


Figure 5.12 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids sec de la partie aérienne.

5.3.4. Teneur relative en eau de la partie aérienne

Les résultats de la teneur relative en eau de la partie aérienne de trois variétés de la laitue soumises au stress salin et à l’amorçage sont présentés dans le **tableau 5.3** et **figure 5.13**. L’analyse statistique montre un effet non significatif pour les trois facteurs étudiés ; variétés, type d’amorçage et stress salin (**Tableau 12 ; Annexe**).

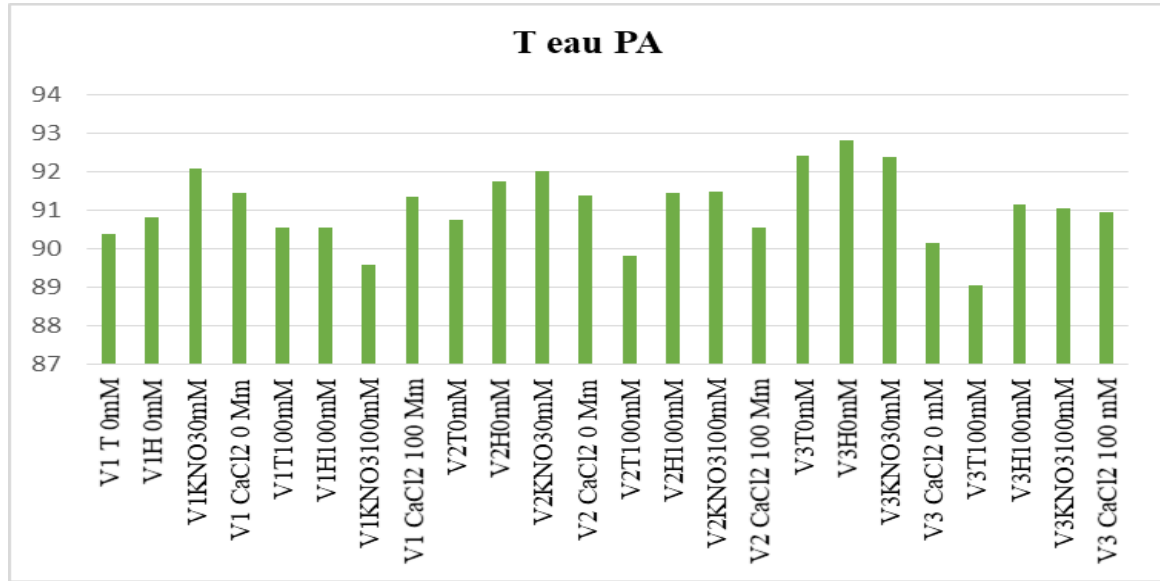


Figure 5.13 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur de partie aérienne en eau.

Tableau 5.4 : Test de signification à trois facteurs de l'effet NaCl, variétés et amorçage et leurs interactions pour les paramètres morphologiques. «LR : longueur de racine ; PR : poids de racine ; PRS : poids de racine sèche ; DC : diamètre de coléoptile ; T eau R : teneur en eau de racines»

Variétés	Amorçage	LR	PR	PRS	DC	T eau R
V1 0mMNaCl	T	7.28±1.89 ABCD	1,056±0,27 NS	0,086±0,03 NS	6.27±1.52 ABC	91,818±1,61 NS
	H	7.32±1.22 ABCD	1,924±0,46 NS	0,132±0,01NS	6.314±0.98 ABC	92,872±1,65 NS
	KNO3	7.42±1.35 ABCD	2,04±0,29 NS	0,162±0,01 NS	4.1±1.13 DE	91,994±0,83 NS
	CaCl2	7.28±0.46 ABCD	1,748±0,55 NS	0,148±0,04 NS	6.536±0.78 AB	91,52±0,68 NS
V1 100mMNaCl	T	6.2±1.09 ABCDEF	0,426±0,09 NS	0,042±0,01 NS	1.148±0.17 GH	90,168±1,91 NS
	H	6.62±1.09ABCDEF	1,26±0,19 NS	0,11±0,01 NS	2.566±0.55 FG	91,156±1,53 NS
	KNO3	5.5±0.70 DEF	2,012±0,10 NS	0,18±0,01 NS	2.324±0.47 FGH	91,06±0,53 NS
	CaCl2	4.88±0.25 F	2,204±0,17 NS	0,192±0,01 NS	1.704±0.86 FGH	91,268±0,66 NS
V2 0mMNaCl	T	7.04±0.91 ABCDE	1,168±0,40 NS	0,116±0,03 NS	5.776±0.87 BC	89,642±2,98 NS
	H	6.96±0.76ABCDE	0,854±0,55 NS	0,066±0,03 NS	4.85±0.87 CD	91,776±1,50 NS
	KNO3	8.26±1.17 A	1,768±0,57 NS	0,132±0,02 NS	5.682±0.60 BC	92,304±0,90 NS
	CaCl2	7.98±1.62 AB	2,546±0,91 NS	0,218±0,06 NS	7.424±1.22 A	91,25±0,91 NS
V2 100mMNaCl	T	4.434±0.76 F	0,632±0,15 NS	0,05±0,02 NS	1.43±0.28 GH	91,794±3,24 NS
	H	4 8±1.15 F	0,912±0,11 NS	0,068±0,01 NS	1.478±0.50 GH	92,584±0,93 NS
	KNO3	4 62±0.84 F	2,218±0,22 NS	0,166±0,01 NS	2.046± 0.41 FGH	92,508±0,31 NS
	CaCl2	4 4± 1.35 F	2,496±0,14 NS	0,21±0,02 NS	0.74±0.37 H	91,604±0,76 NS
V3 0mMNaCl	T	7 42±0.58 ABCD	2,024±0,39 NS	0,388±0,47 NS	6.536± 1.20 AB	80,02±2,44 NS
	H	7 4±0.54 ABCD	3,472±0,44 NS	0,252±0,08 NS	6.184±0.95 ABC	92,73±2,45 NS
	KNO3	7 66±0.36 ABC	3,61±0,57 NS	0,3±0,07 NS	7.408±1.13 A	91,776±1,09 NS
	CaCl2	6 02±0.71 BCDEF	3,446±0,26 NS	0,284±0,02 NS	6.426±0.55 AB	91,758±0,23 NS
V3 100mMNaCl	T	4 4.5± 0.70 F	0,568±0,16 NS	0,04±0,02 NS	1.478±0.64 GH	93,554±1,35 NS
	H	4 5± 0.70 F	1,906±1,16 NS	0,15±0,01 NS	2.108±0.88 FGH	92,046±1,41 NS
	KNO3	4 38±0.93 F	2,188±0,24 NS	0,188±0,02 NS	3.138±0.36 EF	91,428±0,45 NS
	CaCl2	52±1.35EF	2,79±0,47 NS	0,22±0,04 NS	0.86±0.48 H	91,302±0,16 NS
Signification f		2, 2,22	1,945	0,826	2,54	1,357
probabilité		0, 004722	0,0806	0,55396	0,02506	0,23902

5.4. Effet de trois facteurs : variétés, amorçage et stress salin sur la croissance des racicules

5.4.1. Longueur des racines

La **figure 5.14** illustre les résultats de la longueur des racicules. L'analyse de la variance montre que la longueur des racicules est affectée hautement significativement par le stress salin, la variété et par le type d'amorçage (**Tableau 13 ; Annexe**).

Le **tableau 5.4** et la **figure 5.14** montrent que l'amorçage améliore la longueur des racicules en conditions non stressante (0 mM NaCl) et en condition stressante (100 mM NaCl).

En absence de stress salin (0 mM NaCl), l'amélioration de la croissance racinaire varie selon le type d'amorçage. La meilleure croissance racinaire est observée chez les plantules issues des graines ayant subi un haloprimering par le KN03 avec un taux de variation de +1.92 % chez la variété V1, elle est de l'ordre de +17.32 % chez la variété V2 alors qu'il est de 3.51% pour la variété V3. Par ailleurs, nos résultats indiquent qu'une simple imbibition des semences dans l'eau distillée pendant deux heures et demie avant la mise en germination n'a pas un effet significatif sur l'allongement des racicules.

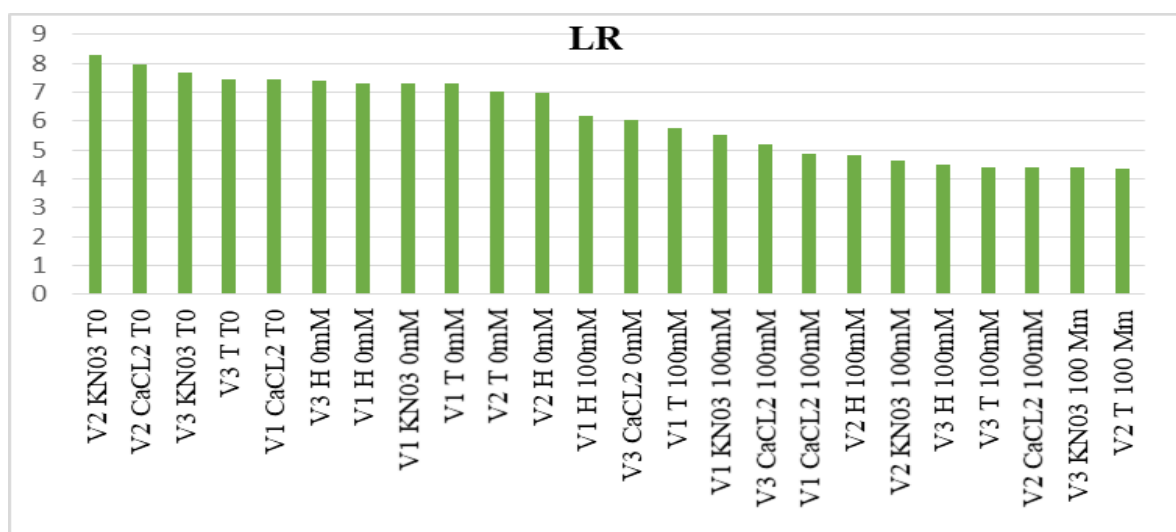


Figure 5.14 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la longueur de racine.

En condition stressante (100 mMNaCl) l'effet de l'amorçage est significatif (**Tableau 5.4, Figure 5.13**). En effet, la croissance des racicules augmente de 6.77 % et de 8.35 % chez les plantes de la variété V1 et V2 issues des graines ayant subi une redéshydratation « hydropriming », et de 16.85% chez les plantules de la variété V3 issues des semences ayant subi une halopriming CaCl₂.

5.4.2. Poids frais et poids sec des racines

Les résultats du poids sec et du poids frais des racines de trois variétés de la laitue soumises au stress salin et à l'amorçage sont présentés dans le **tableau 5.4** et **figure 5.15** et **5.16**. L'analyse statistique montre pour le poids frais et le poids sec des racines, un effet non significatif pour les trois facteurs étudiés ; variétés, type d'amorçage et stress salin (**Tableaux 14 et 15 ; Annexe**).

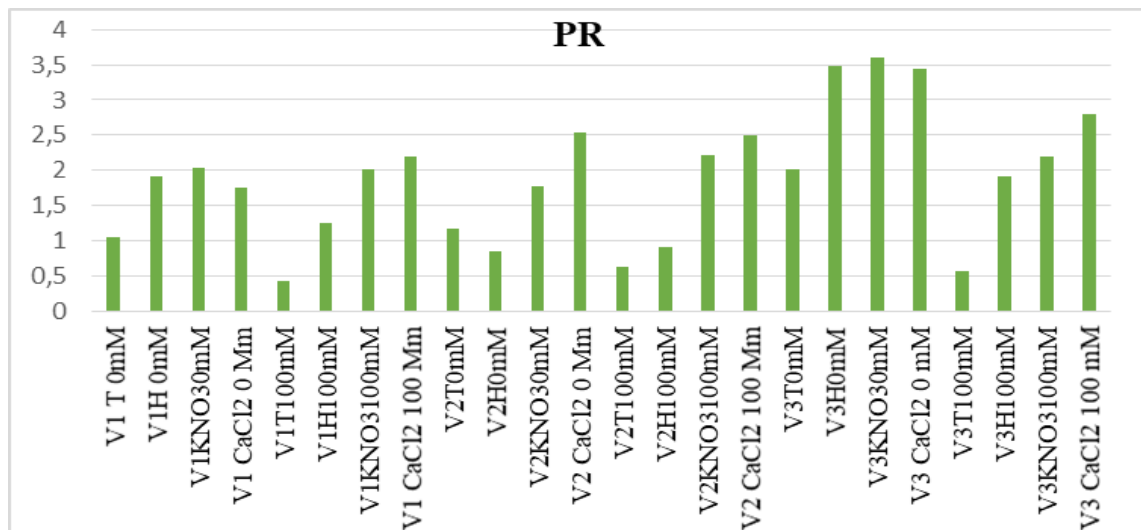


Figure 5.15 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids de racine.

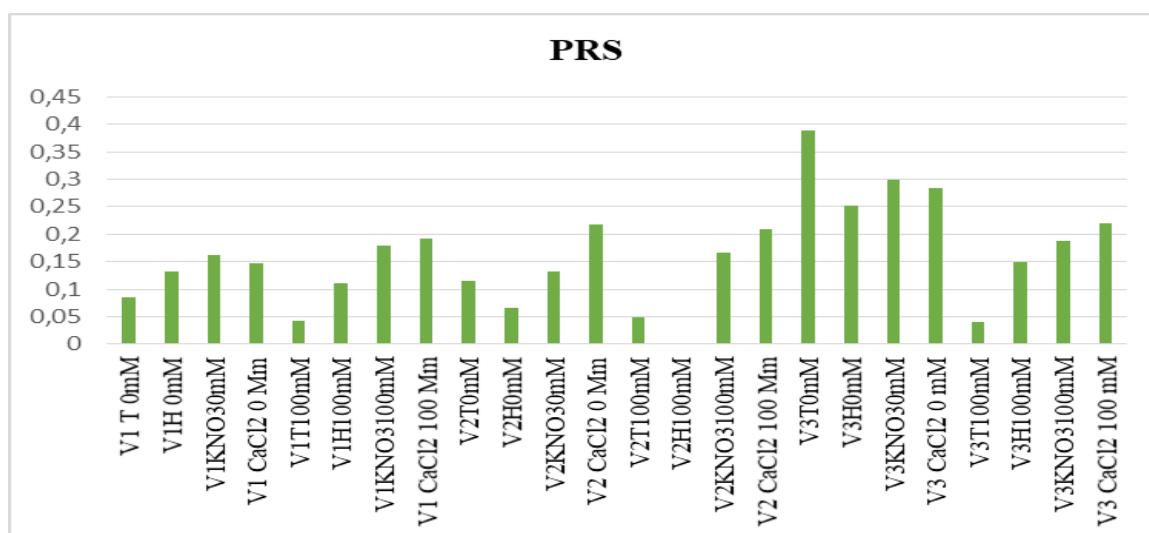


Figure 5.16 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le poids sec de racine.

5.4.3. Diamètre de la coléoptile

Les valeurs de diamètre de la coléoptile sont présentée dans la **figure 5.17** et **tableau 5.4**, l'analyse de la variance montre un effet significatif des facteurs : variété, type d'amorçage et salinité (**Tableau 16 ; Annexe**).

En absence de stress (0 Mm NaCl), l'amorçage des graines améliore significativement le diamètre de la coléoptile ; le maximum est obtenu chez la variété V2 avec le CaCl2 (+ 28%) par rapport au témoin. Concernant la variété V1, tous les types d'amorçage améliorent le diamètre de la coléoptile, avec un maximum observé avec le CaCl2 (+ 4 %) par rapport au témoin. Alors que, pour la variété V3 le maximum du diamètre de la coléoptile est obtenu avec le KNO3 (+13%) par rapport au témoin.

En condition de-stress salin, l'amorçage améliore très significativement le diamètre de la coléoptile (tableau, figure). Tous traitements confondus, une meilleure croissance caractérise les plantules issues de l'haloprimering par KNO3», suivies de celles traitées par l'eau distillée (hydropriming). L'effet de l'amorçage est plus marqué chez la variété V3 (+ de 50.03%) par rapport à la variété V1 et V2. En effet, tous les priming améliorent le diamètre de la coléoptile avec une meilleure tolérance constatée chez le KNO3.

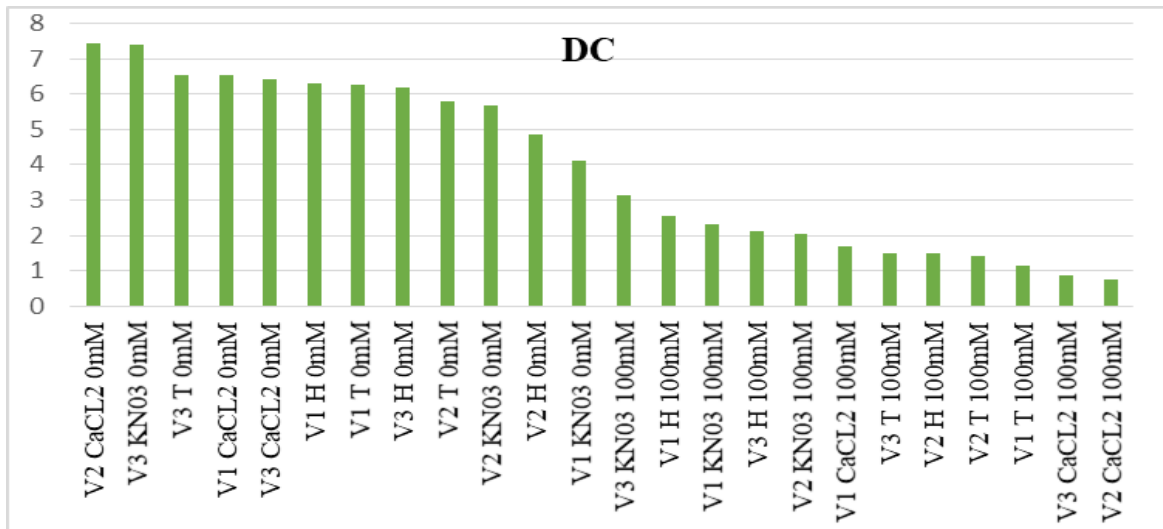


Figure 5.17 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur le diamètre de la coléoptile.

5.4.4. Teneur relative en eau au niveau des racines

Les résultats de la teneur relative en eau au niveau des racines de trois variétés de la laitue soumises au stress salin et à l’amorçage sont présentés dans le **tableau 5.4** et **figure 5.18**. L’analyse statistique montre un effet non significatif pour les trois facteurs étudiés ; variétés, type d’amorçage et stress salin (**Tableau 17 ; Annexe**).

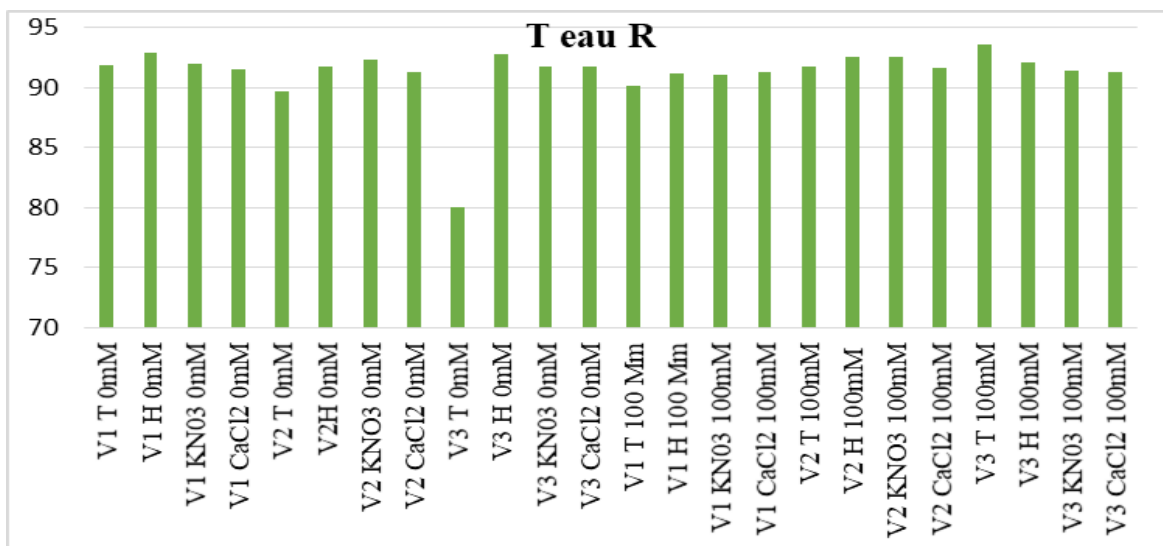


Figure 5.18 : Effet d’interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en eau au niveau des racines.

5.5. L'effet de l'amorçage sur les paramètres biochimique de la laitue en condition non stressante et sous stress salin

5.5.1. Teneur en chlorophylle « total, « a » et b »

Tableau 5.5 : Effet des différents types d'amorçage et de NaCl sur la teneur en chlorophylle « total», « a » et b » et de la teneur en proline de trois variétés de la laitue.

Variétés	Amorçage	Ch T	Ch a	Ch b	Proline
V1 0mM NaCl	T	7,93±0,05 E	3,65±0,01 F	4,28±0,05 E	2,74±0,2 H
	H	8,11±0,03 D	3,69±0,02 E	4,42±0,04 D	2,88±0,13 H
	KNO3	8,7±0,07 C	3,9±0,03 C	4,8±0,1 C	3,77±0,09 H
	CaCl2	9,45±0,03 A	4,12±0,02 A	5,33±0,02 A	3,89±0,09 H
V1 100Mm NaCl	T	6,43±0,01 H	3,12±0,03 J	3,31±0,03 J	28,81±0,53 DE
	H	7,32±0,03 F	3,45±0,01 G	3,87±0,04 H	25,59±0,21 DE
	KNO3	7,9±0,02 E	3,8±0,02 D	4,1±0,03 G	32,37±0,65 CD
	CaCl2	9,03±0,06 B	3,99±0,01 B	5,04±0,06 B	38,98±0,39 BC
V2 0mM NaCl	T	5,02±0,04 O	2,81±0,01 M	2,21±0,03 O	3,02±0,24 H
	H	5,23±0,06 M	2,86±0,02 L	2,37±0,04 N	3,23±0,15 H
	KNO3	6,88±0,01 G	3,41±0,03 H	3,47±0,02 I	3,39±0,02 H
	CaCl2	6,26±0,01 I	3,2±0,02 I	3,06±0,02 L	16,54±21,42 FG
V2 100mM NaCl	T	4,27±0,01 S	2,56±0,01 O	1,71±0,01 R	27,57±0,13 DE
	H	4,11±0,05 T	2,83±0,04 LM	1,83±0,03 Q	27,39±0,31 DE
	KNO3	5,14±0,05 N	0,94±0,02 S	4,2±0,02 F	28,21±0,26 DE
	CaCl2	5,65±0,03 L	2,82±0 LM	2,83±0,02 M	50,71±0,18 A
V3 0mM NaCl	T	4,48±0,01 R	2,57±0,01 O	1,91±0,02 P	2,88±0,38 H
	H	4,83±0,01 P	2,69±0,01N	2,14±0,02 O	2,85±0,11 H
	KNO3	6,13±0,04 J	2,97±0,02 K	3,16±0,03K	2,45±0,15 H
	CaCl2	5,01±0,04 O	2,83±0,02 LM	2,19±0,02 O	3,87±0,2 H
V3 100mM NaCl	T	3,63±0,07 U	2,26±0,01 R	1,36±0,06 S	19,67±0,91 EF
	H	4,66±0,01 Q	2,36±0,01 K	1,76±0,05 R	9,16±0,34 GH
	KNO3	5,96±0,02 K	2,85±0,01 LM	3,11±0,01 KL	15,56±0,32 FG
	CaCl2	4,3±0,05 S	2,45±0,03 P	1,85±0,02 QP	44,72±0,28 AB
Signification f		216,85	1921,35	119,79	2,83
probabilité		0	0	0	0,01915

$P > 0.05$ ne sont pas significatifs (ns) ; $P \leq 0.05$ significatif (*); $P \leq 0.01$ hautement significatif (**); $P \leq 0.001$ très hautement significatif (***)

Les variations de la teneur en chlorophylle totale, « a » et « b » des feuilles sont présentées dans les **figures 5.19 et 5.20 ; tableau 5.5**.

En absence de stress salin, l'analyse des résultats obtenus indique que les taux les plus élevés sont enregistrés chez les feuilles des plantules issues à partir des graines amorcées par l'haloamorçage CaCl₂ suivi par KNO₃ avec une valeur de 9.45, 4.12 et 5.33 respectivement pour la teneur en chlorophylle « total » « a », et « b » chez la variété « Abondance» (**figures 5.19 et 5.20**).

Par contre, chez les feuilles des plantules issues à partir des graines amorcées par l'haloamorçage KNO₃ et CaCl₂ à 100 mM de NaCl on observe une augmentation de la teneur en chlorophylle total de 9.03 et 7.9 chez la variété « abondance » (amorcée par CaCl₂ et KNO₃ respectivement par rapport au témoin).

Les résultats montrent que le stress salin (100 mMNaCl) provoque une forte dégradation des chlorophylles « a », « b » et « total » chez les plantules issues de graines non amorcées. Contrairement aux plantules issues de graines ayant subi un traitement de prégermination (KNO₃ ou CaCl₂) pour lesquelles les teneurs sont plus élevées et les feuilles plus vertes (**figures 5.19 et 5.20**).

Ce qui indique que la teneur en chlorophylle diminue à la fois en fonction de l'intensité du stress mais aussi en fonction de la variété. Par contre l'amorçage des graines par l'haloamorçage (CaCl₂ ou KNO₃) avant leur germination améliore les teneurs en chlorophylle « a », « b » et « total ».

Ces données confrontées au test statistique (ANOVA) à l'aide de l'analyse de la variance et la comparaison des moyennes, révèlent des différences très hautement significatives (P=0) pour l'effet d'interaction variété, type d'amorçage et stress salin (**Tableaux 18, 19 et 20 ; Annexe**).

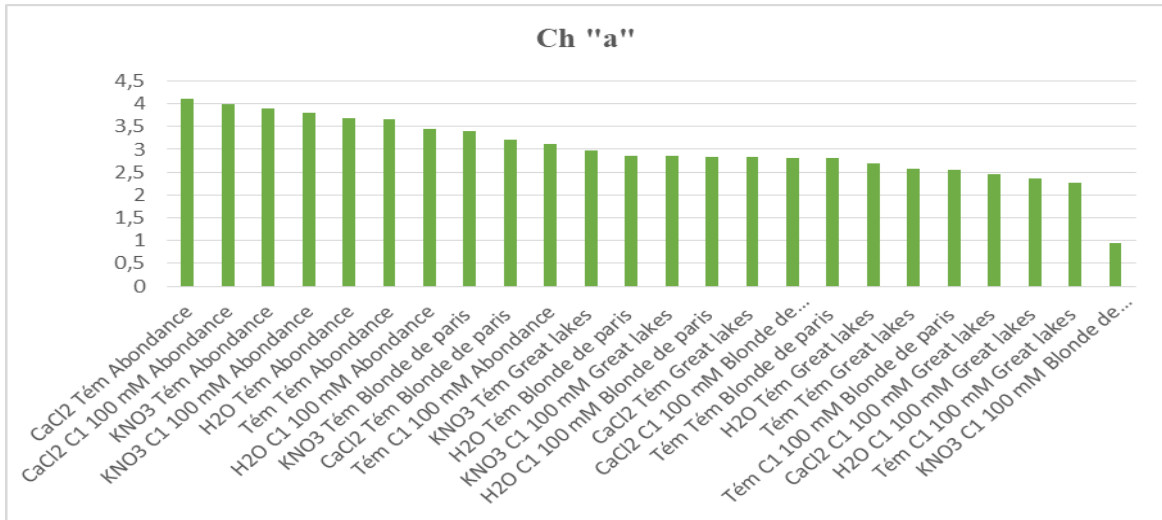


Figure 5.19 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle « a » au niveau des feuilles

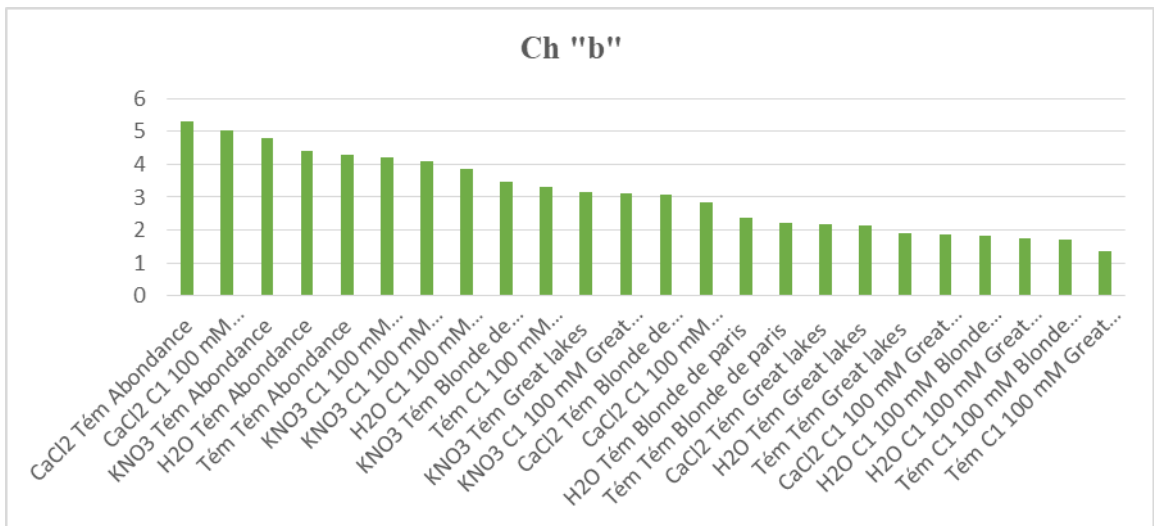


Figure 5.20 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle « b » au niveau des feuilles.

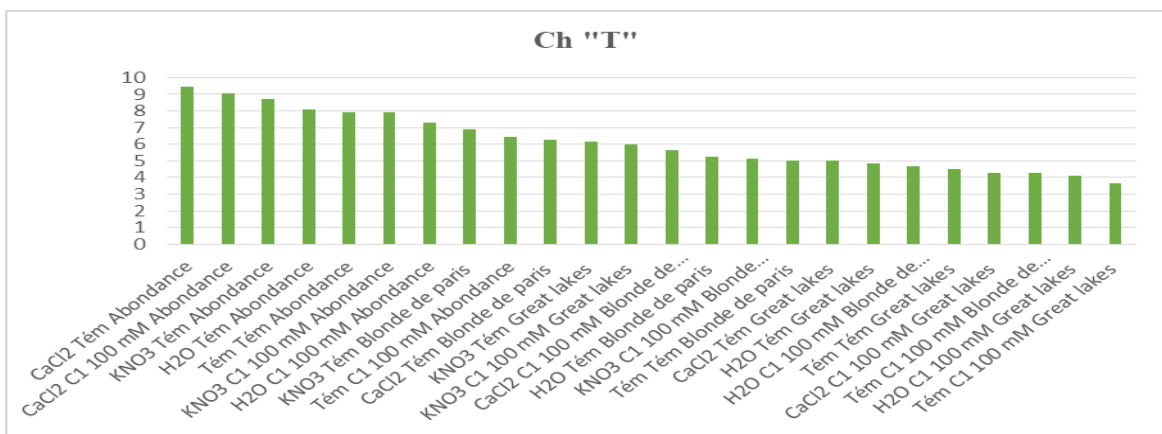


Figure 5.21 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en chlorophylle «total » au niveau des feuilles.

5.5.2. Teneur en proline

Les résultats et les analyses statistiques indiquent que l'amorçage des graines stimule significativement ($p=0.01$) l'accumulation de la proline au niveau des feuilles. Toutefois, l'augmentation de la teneur en proline diffère selon le type d'amorçage, la variété et l'intensité du stress salin (**figure 5.22 et tableau 5.5**), (**tableau 21 ; Annexe**).

En effet, nous remarquons qu'en condition de stress salin, chez les trois variétés de la laitue, c'est l'haloamorçage avec $CaCl_2$ qui induit la plus forte augmentation de la teneur en proline libre par rapport au témoin (sans amorçage).

En absence d'amorçage, le stress salin (100 mMNaCl) provoque une augmentation hautement significative de la teneur en proline au niveau des feuilles (**figure 5.22 et tableau 5.5**).

Nos résultats montrent que le traitement et plus particulièrement l'haloamorçage avec $CaCl_2$ favorise la production de la proline libre chez les feuilles des trois variétés de la laitue.

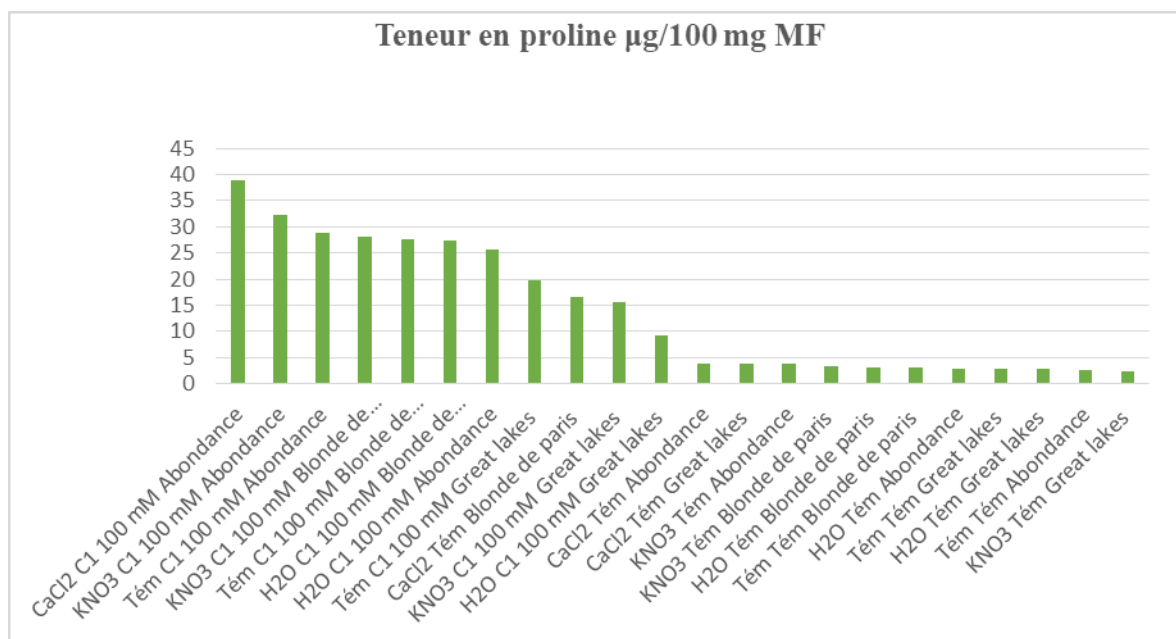


Figure 5.22 : Effet d'interaction variétés, amorçages, et NaCl, sur la teneur en proline au niveau des feuilles.

DISCUSSION

Les résultats obtenus, présentés dans le tableau 5.1, ainsi que la figure 5.1, mettent en évidence que le stress salin 100 Mm de Na Cl, entraîne une diminution du taux final de germination, corroborant ainsi les conclusions des études antérieures menées sur la laitue (**Ben Madani et Belouadah, 2017**). Selon **Maas et Poss (1989)**, cette diminution dans le taux de germination final, conjugué à la réduction de la moyenne de germination quotidienne des différents génotypes en fonction de l'augmentation de la salinité, s'explique par le temps nécessaire à la mise en place, par la graine, de mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

D'après **Nasri et al. (2011)**, le prétraitement des graines de laitue avec une solution de nitrate de potassium (KNO₃) a provoqué une augmentation du taux de germination, de l'élongation de la racine et de la longueur des pousses en condition de stress salin. En comparant le pré-traitement des graines avec 1% de NaCl et 3% de KNO₃, on peut observer des effets sur le pouvoir germinatif et la croissance précoce de *Brassica napus* en présence de NaCl et CaCl₂ (0, 50, 100, 150 et 200 mM). **Abdollahi et al, (2012)** ont constaté une nette amélioration des performances de la germination en présence de salinité chez les graines prétraitées avec du NaCl, en particulier avec du KNO₃ à une concentration de 3 %.

L'impact d'amorçage des graines avec des concentrations croissantes (0 mM, 3 mM, 4.5 mM et 6 mM) d'acide gibbérellique (GA₃) a été étudié sur la germination de la laitue en conditions de salinité (**Mahmoudi et al, 2012**).

Les résultats de la germination mettent en évidence que l'amorçage améliore les performances de germinatives de la laitue dans des conditions normales (0mMNaCl) et stressantes (100 mMNaCl) (tableau 4. 1 et figure 4.1), confirment ainsi les études antérieures portant sur plusieurs espèces (**Abdollahi et al, 2012 ; Mahmoudi et al, 2012 ; Gholamiet al, 2015**). Ces auteurs ont confirmé que l'amorçage constitue une méthode efficace pour améliorer les processus de germination en favorisant une germination rapide et synchronisée, ainsi qu'une tolérance plus efficace au stress salin.

D'autres auteurs expliquent cette germination rapide et synchronisée, par une activation des processus prégerminatifs qui induisent des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives au niveau des graines (**Maroufi et al, 2011 ; Farahmandfar et al, 2013**), telles que la réparation des membranes (**Jowkar et al, 2012**), l'augmentation des activités des enzymes antioxydantes (**Ahmed et al, 2012**), telles que la catalase, la dismutase superoxyde (**Sedghi et al, 2014**). Les résultats de la germination montrent que l'amorçage des graines par le CaCl_2 , KNO_3 , et l'hydropriming sont plus efficaces en conditions non stressantes et stressantes avec un pourcentage de germination meilleur.

Les résultats de cette étude concernant l'effet bénéfique du CaCl_2 sur la germination en conditions stressantes et non stressantes, sont conformes avec ceux obtenus par d'autres chercheurs (**Afzalet al. (2008). Iqbal et al. (2006) ; Bikash et al, 2024**). Ces auteurs expliquent que l'amorçage par le CaCl_2 augmente la proportion d'absorption du Ca^{2+} par les graines, et permet de limiter les effets négatifs de Na^+ et autres ions en milieu salin.

Cette étude fait ressortir aussi que l'amorçage par le CaCl_2 améliore la tolérance au stress salin pendant la germination est en accord avec les travaux d'**Iqbal et al. (2006) et Bikash et al, 2024. Afzalet al. (2008)**, notent que les semences amorcées par des sels de calcium ont l'avantage de maintenir une bonne germination sous des conditions salines probablement en raison du rôle du calcium dans la protection des membranes cellulaires contre le stress. Le meilleur taux germination et tolérance plus vigoureuse aux stress osmotique sous l'effet d'amorçage observées chez la variété « Abondance », peuvent être expliquées par la présence d'une adaptation à la salinité chez cette variété.

Cette étude montre clairement que l'halopriming KNO_3 et CaCl_2 améliore tous les paramètres de croissance (plante entier, partie aérienne et partie racinaire) étudiés en conditions normales (0 mM NaCl) et stressantes (100 mM NaCl). Des résultats similaires sont signalés par **Khan et al. (2009)**, qui soulignent une amélioration de la croissance des hypocotyles et des épicotyles des plantules issues de graines amorcées par le NaCl . Ces auteurs suggèrent que cette amélioration est due à la germination précoce et rapide induites par l'amorçage des graines. D'autre part, **Varier et al, (2010)**, expliquent les effets positifs de l'amorçage sur la croissance par une accélération de la réplication nucléaire, de la division cellulaire et l'élargissement des cellules au niveau des racines.

Notre recherche met en évidence que les effets positifs observés pendant la phase de germination et d'émergence se traduisent par une croissance et un développement accrus des racines, que ce soit en l'absence de stress (0mMNaCl) ou dans des conditions stressantes (100mMNaCl). Ces constatations rejoignent celles d'autres chercheurs ayant observé une amélioration de la croissance racinaire chez les plantules issues de graines prétraitées. Ceci a été observé, notamment, chez le tournesol (**Kathiresan et Gnanarethinam, 1985**), le blé (**Yari et al, 2010**), le fenouil (**Neamatollahi et al, 2009**), le riz (**Esmaili et Heidarzade, 2012**), la sauge (**Dastanpoor et al, 2013**), le maïs (**Bismillah khan et al, 2015**) et le soja (**Mehri, 2015**). Ces auteurs ont expliqué cette augmentation de la croissance racinaire par une accélération de la réplication nucléaire, l'élargissement des cellules et la division cellulaire au niveau des racines (**Farrooq et al, 2007**). De plus, des études ont démontré que les grains de riz soumis à un traitement prégerminatif présentent des teneurs plus élevées en calcium (**Rehman et al, 2011**), en potassium et en phosphore, favorisant ainsi le développement précoce des racines (**Ajouri et al, 2004**).

Les résultats des teneurs en chlorophylle « total », « a » et « b » montrent que l'amorçage des graines de la laitue par l'haloamorçage avec KNO₃ et CaCl₂ et par l'hydroamorçage provoque une augmentation marquée des teneurs en proline et en chlorophylle en conditions favorable et stressante par rapport aux graines non traité. ces resultats sont en accorde avec ceux obtenus par **ALOUI et al., (2014)** sur le piment. L'acquisition de la tolérance à la salinité chez le concombre, induite par l'amorçage avec du CaCl₂, pourrait être due à l'activation du système antioxydant et à l'accumulation de la proline (**JOSHI et al., 2013**).

Les événements précoces de l'adaptation des plantes au stress salin commencent par les mécanismes de perception puis de signalisation, via une transduction de signaux et de messagers afin d'activer les diverses réponses physiologiques, biochimique et métaboliques, y compris l'expression de gènes de réponse au stress (**HANANA et al., 2011**)

CONCLUSION

L'objectif de ce travail est d'étudier la réponse au stress salin de trois variétés de laitue (*Lactuca sativa* L.) aux stades de germination, de croissance et de tester l'effet de l'amorçage sur la tolérance à la salinité de cette espèce.

Cette étude porte sur l'amorçage en utilisant l'haloprimer (KNO₃ ou CaCl₂) et, l'hydropriming dans des conditions favorables et stressantes (NaCl). Les résultats ont montré que, chez les graines non amorcées, le stress salin (100 mM de NaCl) a des effets variables en fonction de l'interaction entre variété et type d'amorçage. La salinité, à 100 mM NaCl affecte de manière significative le taux de germination et de croissance (longueur des racines, nombre de feuilles, de la longueur totale des plantules, du poids frais et du poids sec des plantules...). En revanche, l'amorçage des graines améliore significativement la tolérance en atténuant les effets néfastes du stress salin sur les performances de germination. Il favorise une germination rapide et synchronisée ainsi qu'une amélioration des paramètres de croissance que ce soit en conditions favorables ou sous stress salin. Cette amélioration varie selon le type d'amorçage, l'intensité du stress salin et la variété. L'hydroamorçage et l'haloamorçage se révèlent plus efficaces tant dans des conditions favorables que dans des conditions de stress. La variété "Abondance" se distingue par une plus grande tolérance à la salinité et une meilleure réponse à cette contrainte lorsqu'elle est soumise à l'amorçage par rapport aux deux autres variétés.

Les analyses biochimiques (teneur en proline, en sucres solubles, en chlorophylle totale, a et b) ont également révélé des modifications significatives, notamment des niveaux accrus de proline, de sucres avec diminution de la teneur en chlorophylle totale, essentiels pour atténuer les effets dépressifs du stress salin (NaCl) et favoriser la croissance et le développement des plantules de la laitue en condition de salinité élevée.

Les différents types d'amorçage ont permis de distinguer des méthodes simples, moins chères et très efficaces pour améliorer les performances germinatives et de croissance de la laitue en conditions favorables et de stress salin défavorables. Les résultats de ce travail ont permis d'identifier une variété de la laitue tolérante à la salinité qui est « Abondance » qui peut être proposée dans les programmes d'amélioration et de sélection.

Les perspectives ;

Afin de répondre à certaines questions qui restent posés, ces perspectives sont suggérées :

- Il convient d'approfondir les études sur d'autres variétés, ce à fin de procéder à une évaluation plus précis de la tolérance de cette espèce à la salinité. Cette démarche permettra ensuite d'intégrer ces données dans les programmes d'amélioration et de sélection de l'espèce ;

- Effectuer une analyse génétique pour distinguer les différentes variétés examinées en recourant aux méthodes de biologie moléculaire, dans le but de caractériser les gènes impliqués dans la tolérance aux stress salin ;

- Il convient d'explorer différentes méthodes d'amorçage des graines en utilisant différents agents tel que le NaCl, KCl, l'hormone priming (AG3, AIA) et le double hydropriming, en variant les durées d'amorça ;

- Analyser les mécanismes biochimiques et physiologiques qui contrôlant la germination des graines et qui sont liés à la tolérance au stress salin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alem C, et amri A., (2005).** "Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in biology and biotechnology* ", vol.4, n°1, p: 20-31.
- Altunkaya A. ET V. Gokmen. (2009).** "Effect of various anti-browning agents on phenolic compounds profile of fresh lettuce (*L. Saliva*). *Food chemistry*", vol: 117, p: 122-126.
- Azevedoneto A.D., prico J.T., enea-filho J., braga de abreu C.E., Gomes-filho E. (2006).** "Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes". *Environ. Exp. Bot.* p: 235-241.
- Bartels, D., and sunkar, R. (2005).** "Drought and salt tolerance in plants.crit". *Rev. Plant sci.* p: 23- 58.
- Basra S.M.A., afzal I., anwar S., anwar-ul-haq M., shafiq M., majeed K, (2006).** "Alleviation of salinity stress by seed invigoration technics in wheat (*triticumaestivum* l.)", *seed technology.* P: 36-46.
- Beaulieu, R. (2006).** "L'approvisionnement en eau : contraintes et perspectives ; colloque sur l'irrigation. Craaq 2006", p : 37-48.
- Ben madani R, belouadah A, (2017).** "Test de germination dans des conditions de stress salin et caractérisation phénotypique de quelques variétés de la laitue cultivée dans la région de m'sila".
- Beniast J., bourdouxhe L, defrancq-d hondt M. Et navez S., (1987).** "Guide pratique du maraichage au sénégal collection cahier d'information_ n°1, imprimé sur les presses de l'imprimerie saint-paul, dakar 4e trimestre 1987, sénégal".
- Bismillah khan M., hussain M., raza, farooq S., jabran K., (2015).** "Seed priming with cacly and ridge planting for improve drought resistance in maize". *Turk jagric for,* p : 1405-1416.
- Blancard D, lot H. Et maisonneuve B. (2003).** "Maladies des salades - identifier, connaître et maîtriser. Ed. Inra, paris" p : 375.
- Boucelha L. Et djebbar R, (2019).** "Synthèse sur le priming des graines. Université des sciences et de technologie houari boumediene (usthb), algérie". P : 6.

- Bradford K.J, (1986).** "Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Hort science". P: 1105-1112.
- Chinnusamy V, (2004).** "Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. J of experimental botany". P : 225-236.
- Collin F, Iizot J.F, (2003).** "Produire des semences de laitue dans un itinéraire agrobiologique. Fiche tec. Itab (institut technique de 'agriculture biologique)". P : 4.
- De vries I.M. (1997).** "Origin and domestication of *lactuca sativa* l. "Genetic resources and crop evolution, vol: 44, p: 165-174.
- Debeza., chatbi W., bouzid S., (2001).** "Effet du nacl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*atriplexhalimus* l.", Cahiers d'etudes et de recherches francophones /agricultures, vol : 10, no : 2, p : 135- 138.
- Djili K, (2000).** "Contribution à la connaissance des sols du nord de l'algérie : création d'une banque de données informatises et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisations des données pédologique". Thèse doc. Ina. Alger. P: 384.
- Dreywood, R. (1946).** "Qualitative test for carbohydrate material. Industrial & engineering chemistry analytical edition". 18(8), p: 499-499.
- Dupont S.M, Z. Mondin, G. Williamson ET K.R. Priece. (2000).** "effect of variety, processing and storage on the flavonoid glycoside content and composition of lettuce and endive". Journal of agricultural and food chemistry, vol. 48, p: 3957-3964.
- Elmhirst J., (2006).** "Profil de la culture de la laitue de serre au canada. Ontario (canada)". P: 28.
- Emmett B., (1992).** "Pest of composite crops: lettuce. Vegetable crop pests". (Cd. By rg mckinlay) crc press, boca raton, fl, usa, p: 74-86.
- Esmaili M.A., heidarzade A., (2012).** "Investigation of different osmopriming technics on seed and seedling properties of rice (*oryza sativa*) genotypes. Int. Res. J. Appl. Basic sci., 3(2), p: 242-246.
- Funk V.A., bayer R.J., keeley S., chan R., watson L., gemeinholzer B., schilling E., panero J.L., baldwin B.G., garcia-jacas N., susanna A., jansen R.K., (2005).** "Everywhere but antarctica: using a supertree to understand the diversity and distribution of the compositae". Biologiske skrifter, p: 343–374.

- Gab/Frab. (2009).** "laitues, batavias, *lactuca sativa* – astéracées". Fich tec. N°11, 2p. (Groupement des agriculteurs biologiques/la fédération régionale des agriculteurs biologiques).
- Gargominy, O., tercerie, S., régnier, C., ramage, T., dupont, P., daszkiewicz, P. & poncet, L. (2019).** "Taxref v13, référentiel taxonomique pour la france : méthodologie, mise en œuvre et diffusion. Muséum national d'histoire naturelle, paris. Rapport patronat". P : 63.
- Gaucher E, burdin S., (1974).** "Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés". Paris : puf : 234 p.
- Gelormini G, (1995).** "Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initalisation : aspects méthodologiques et fondamentaux", thèse nouveau doctorat, p : 17.
- Ghassemi-golezani K., chadordo0z-jeddi A., nasrullah zadeh S., moghaddam M., (2010).** "Influence of hydropriming duration on fielded performance of pinto bean (*phaseolus vulgaris* l.) Cultivars. African journal of agricultural researc3". P: 893-897.
- Grattan S. R. And grievé C. M., (1999).** "Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops". Sci. Hort., p: 127-157.
- Greenway H., munns R., (1980).** "Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes". Ann. Rev. Plant physiol 31, p: 149-190.
- Harris D., rashid A., hollington PA., jashi L., riches C., (2002).** "Prospects of improving maize yields with « on farm » seed priming in rajbhndari, n.p".
- Hasegawa P.M., bressan, R.A., zhu, J.K. And bohnert, H.J., (2000).** "Plant cellular and molecular responses to high salinity". Annu. Rev. Plant physiol. Plant mol. Biol. Pp: 463-499.
- Hernandez JA, talavera JM, martinez-gomez P, dicenta F, sevilla F, (2001).** "Response of antioxidant enzymes to plum poxvirus in two apricot cultivars". Physiol plant. 2001; p: 11-313-321.
- Heydecker W, higgins J., gulliverr. L., (1973).** "Accelerated germi osmotic seed treatment". Natur, p : 42-44.
- Hopkin W.G., (2003).** "Physiologie végétale - traduction de la 2ed.américane par serge rambour révision scientifique de charles-marie evradr boeck univ. Bruxelles". P 445-460
- Hosseinzadeh-mahootchi A., ghasemi-golezani K, zehtab- Salmasi S., tourchi M., (2013).** "Influence of seed invigoration and water supply on morpho-physiological traits of chickpea". Int. J. Agron. Plant. Prod., p : 782-786.

- Hubac C, guerrier D., ferran J., (1969).** "Résistance à la sécheresse du *carex pachystylis* j." Gay, plante du désert du neguev. Oecol. Plant. P : 325-346.
- ITCMI, (2010).** "Fiches techniques valorisées des cultures maraîchères et industrielles la culture de laitue, alger".
- Johnson WS, jackson LE, ochoa O, peleman J, van wijk R, st.clair DA, michelmore RW (2000).** "A shallow-rooted crop and its wild progenitor differ at loci determining root architecture and deep soil water exploitation". Theor appli genet, p: 1066-1073.
- Judd W.S., campbell C.S., kellogg E.A., stevens P.F., (1999).** "Plant systematics: a phylogenetic approach. Sinauer associates, sunderland, ma".
- Kesseli RY, paran I, michelmore RW (1994).** "Analysis of a detailed genetic linkage map of *lactuca sativa* (lettuce) constructed from rflp and rapd markers". Genetics, p: 1435-1446.
- Khan. Aa, taokl, knypl Js, borkowska B., powell Le, (1978).** "Osmotic conditioning of seed: physiological and biochemical changes". Acta horticulturae, p: 267-278.
- Kheddache A., (2005).** "Endurcissement des graines de (*cedrusaltantica mametti*) en vue de sa régénération par semis en conditions de stress hydrique". Thèse de magister, université mouloud mammeri, tizi-ouzou, 85p.
- Kuepper G., bachmann J. ET Thomas R, (2002).** "Laitues et légumes-feuilles de spécialité : production biologique".
- Labrie, M. Et ménard F. (2012).** "Les jardins laurentiens". Val-morin. Qc. In http://www.lesjardinslaurentiens.com/laitues_histoire.html. Consultée le 29 février 2013.
- Lallouche, B. Boutekrabt, A. Hadjkouider, B. Riahi, L. Lamine, S., & zoghlami, N. (2017).** "Use of physio-biochemical traits to evaluate the salt tolerance of five opuntia species in the algerian steppes". Pak. J. Bot, 49(3), 837-845.
- Landryb. S and R. W. Michelmore, (1987).** "Methods and applications of restriction fragment length polymorphism analysis to plants". P: 25-44. In: tailoring genes for crop improvement: an agricultural perspective, edited by g. Brueningj., harada and a. Hollaendepr lenum press, new york.
- Matais A.M., (2007).** "Conditionnement nutritionnel en serre de transplants de laitues boston et iceberg *lactuca sativa* l cultivés en mottes cubiques". Québec (canada).

- Mehri S., (2015).** "Effect of seed priming on yield and yield components of soybean". Am- Euras. J. Agric. Environ. Sci, p: 399-403.
- Melonl. D.a., oliva. M.a., ruiz. H.a., martinez. C.a., (2001).** "Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress". J. Plant Nutr. P : 599-612.
- Messiaen, C.M., blancard, D, rouxel, F. & lafon, R, (1991).** "Les maladies des plantes maraîchères". 3rd edition. Inra, paris, france. P : 552.
- Michaelson M, price HJ, ellison JR, johnston JS (1991).** "Comparison of plant DNA contents determined by feulgen micro spectrophotometry and laser flow cytometer". Am j bot, p: 183-188.
- Moosavi A., tavakkol-afshari R., sharif-zadeh E, aynehaband A., (2009).** "Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars". Journal of food, agriculture and environment, p: 353-358.
- Mulabagal V., M. Ngouajio, A. Nair, Y. Zhang, A.L. Gottumukkala ET M.G. Nair. (2010).** "in vitro evaluation of red and green lettuce (*lactuca saliva*) for functional food properties".
- Nasri, N., kaddour, R., rabhi, M., plassard, C, & lachaal, M. (2011).** "Effect of salinity on germination, phytase activity and phytate content in lettuce seedling". Acta physiologiae planetarium, p : 935-942.
- Nicolle C., A. Camat, D. Fraisse, J.L. Lamaison, E. Rock, H. Michel, P. Amoureux etc. Remesy. (2004).** "characterisation and variation of antioxidant micronutrients in lettuce (*lactuca saliva folium*)". Journal of the science of food and agriculture, vol: 84, p: 2061-206.
- Niu X., rsesan R A., hasegawa P.M., pardo J.M., (1995).** "Ion homeostasis in NaCl stress environments". Plant physiology. p : 735-742.
- Ouhibi C., (2015).** "Effets des rayonnements UV-C sur la réponse de la laitue romaine *lactuca sativa* var claudius aux contraintes biotiques et abiotiques, avignon".
- Parentc., (2008).** "Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes". C.r. Biologies p : 255-261. polytechnique fédérale de lausanne, p : 23.
- Parida, A.K; das, A.B. (2005).** "Salt tolerance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and environmental safety". p : 324-349.
- Phelippe. D., (2001).** "Introduction à la science du sol". Dunod, paris, p: 263- 264- 265.

- Pill WG., necker AD., (2001).** "The effects of seed treatments on germination and establishment of kentucky bluegrass (*poa pratense* L.)". Seed sci. Technol. P: 65-72.
- Pitrat M, foury C (2004).** "histoires de légumes - des origines à l'orée du xxie siècle", chapitre 12: laitues (*maisonneuve* b). Inra, paris.
- Plamondon-duchesneau, L. (2011).** "Gestion de l'irrigation des laitues romaines (*lactuca sativa* L.) Cultivées en sol organique". Mémoire de maîtrise. Département de phytologie. Université laval. Québec. Canada. 80p.
- Radford K.J, (1986).** "Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions". Hort science, p: 1105-1112.
- Rahnama H., ebrahimzadeh H. (2005).** "The effect of nacl on antioxidant enzyme activitie".
- Ramirez J.C, (2015).** "Développement d'une culture durable de laitue de transformation en sol mineral", québec, canada.
- Reddy P., (2012).** "Biopriming of seeds. In: recent advances in crop protection". Springer. New delhi. P : 978-81-322-0723-8.
- Ryder E.J., (1999).** "Genetics in lettuce breeding: past, present and future". In: lebeda a., křístková e. (eds), eucarpia leafy vegetables 99. Olomouc, palacký university, p: 225– 231.
- Smirnoff N., (1995).** "Tansley review no. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation". New phytol. P : 125 :27-58.
- Snoussi S A., halitim A., (1998).** "Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols". P : 289-298.
- Suzuki H., khan Aa., (2001).** "Effective temperatures and duration for seed humidification in snapbean (*phaseolus vulgaris* L.)". Seed sci. Technol. P: 381-389.
- Taylor G., harman G.E. (1990).** "Concepts and technologies of selected seed treatments". Ann. Rev. Phytopatho., p : 321-339.
- Thicoïpé J.P. (1997).** "Laitues, centre technique interprofessionnel des fruits et légumes". Paris.
- Tilahun-tadesse F, nigussie-dechassa R., bayu W., gebeyehu S., (2013).** "Effect of hydropriming and pregerminating rice seed on the yield and terminal moisture stress mitigation of rain-fed lowland rice". Agriculture, forestry and fisheries, p : 89-97.
- Tremblin G. Et coudret A., (1986).** "Salinité, transpiration et échanges de co2 chez *haloepelisamplexicaulis* (vahl.)", ung. Plant. P : 417-431.

- Troll, W., & lindsley, J. (1955).** "A photometric method for the determination of proline". Journal of biological chemistry, p: 655-660.
- Truco MJ, antonise R, lavelle D, ochoa O, kozik A, witsenboer H, fort SB, jeuken MJ, kesseli RV, lindhout P, michelmore RW, peleman J (2007)** a high-density, integrated genetic linkage map of lettuce (*lactuca* spp.). Theor appl genet 115:735–746. Université de constantine. Université du roi souad.
- Waycott, W. Et E.J. Ryder. (1993).** "Adaptation of lettuce to high-temperature environments". In: kuo, c. George (éd.), "adaptation of food crops to température and water stress", proceedings of an international symposium, taiwan, 13-18 august 1992. Asian vegetable research and development center, taipei. P: 285-295.
- Yari L., aghaalikani M., khazaei G., (2010).** " Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*triticum aestivum* l.)". Journal of agricultural and biological science, p: 1-6.
- Yeo, A. R., & flowers, T. J. (1986).** "Salinity resistance in rice (*oryza sativa* l.) And a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils". Functional plant biology, p : 161-173.
- Zorrig, (2010).** Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*lactuca sativa*". Thèse doctorat en agronomie, 250p.

ANNEXE I

Protocoles expérimentals

1.1. Dosage de la proline

La proline est dosée par la méthode de **Troll et Lindsley (1954)**, simplifiée et mise au point par **Drier et Goring (1974)**. Cette méthode se base sur la coloration rouge produite par l'interaction de la proline avec de la ninhydrine dans un tampon acide.

Extraction

100mg de matériel végétal, est prélevé puis mis dans de tube à essai auquel on ajoute 2ml de méthanol à 40%, le tout est ensuite porté au bain marie à 85 0 C pendant une heure.

Les extraits peuvent être conservés dans les piluliers en plastique au congélateur.

Préparation de la solution mère de proline S 1

20mg de proline sont mis dans une fiole jaugée de 100ml sur lequel on verse du méthanol à 40% jusqu'à atteindre 100ml.

Préparation de la solution mère de proline S 2

-10ml de la solution mère S 1 est porté dans une nouvelle fiole jaugée de 100ml, on ajuste à 100ml avec du méthanol 40%, on obtient une solution S 2 de 20µg/ml de proline.

-10 fioles jaugées de capacité 10ml sont prises et numérotées de 1 à10.

-On porte dans chacune d'elle 1à10ml de la solution S 2, puis chacune est ajustée à10ml avec du méthanol 40%.

- ensuite 11 tubes à essai sont numérotés de T0à T10 dont chacun contiendra :

T0=1ml du méthanol qui servira à faire le zéro à la lecture de la DO

T1= 1ml prélevé de la fiole n°1, soit 2µg de proline

T2= 1ml prélevé de la fiole n°2, soit 4µg de proline

T3= 1ml prélevé de la fiole n°3, soit 6µg de proline

T4= 1ml prélevé de la fiole n°4, soit 8µg de proline

T5= 1ml prélevé de la fiole n°5, soit 10 μ g de proline

T6= 1ml prélevé de la fiole n°6, soit 12 μ g de proline

T7= 1ml prélevé de la fiole n°7, soit 14 μ g de proline

T8= 1ml prélevé de la fiole n°8, soit 16 μ g de proline

T9= 1ml prélevé de la fiole n°9, soit 18 μ g de proline

T10= 1ml prélevé de la fiole n°10, soit 20 μ g de proline

Préparation du Réactif

On mélange dans une bouteille en verre :

- 300ml d'acide acétique
 - 80ml d'acide ortho phosphorique D=1,7
 - 120ml d'H₂O stérile
- } solution A

Soit n le nombre de tube à dosé (extraits et étalons)

On met dans un bécher

- (n+4)25mg de ninhydrine
 - (n+4) ml de la solution A
 - (n+4) ml d'acide acétique
- } solution B Agiter

Dosage

- Porté le bain marie à 100 C°
- Prendre 1ml de l'extrait Mettre
- 2ml de la solution B
- Ces tubes sont mis au bain marie pour une demi-heure
- On obtient une coloration rose

- Laisser refroidir
- Puis additionner 5ml de benzène à chaque tube
- Deux phases se distinguent : une supérieure et une inférieure,
- on agite les tubes Finalement
- on pipete la phase organique qu'on dépose dans des tubes propres contenant chacun une spatule de Na₂SO₄ (une pincée).
- La lecture de la densité optique se fait à 528nm.

La teneur en proline est donnée par l'équation:

$$Y = 2 * 1000 * X$$

$$MF * 115.13$$

Y= teneur en proline; 115.13= masse molaire de la proline; MS= masse de matière sèche;
0,45 y = 0,0191x + 0,0612; R² = 0,992

1.2. Teneur en chlorophylle

L'extraction de la chlorophylle **a** et **b** est réalisée selon la méthode **Francis et al 1970** qui consiste à une macération des feuilles (0,1g) dans 10ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75% et 25%) de volume et (80% et 40%) de concentration.

Les feuilles sont Coupées en petits morceaux et mises dans des boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière), 48H plus tard, on procède à la lecture ces densités optiques des solutions avec spectrophotomètres, à deux longueurs d'ondes (645nm et 663nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

$$\text{Chl A (ug/gMF)} = 12,7 \times \text{DO}(663) - 2,59 \times \text{DO}(645) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl B (ug/gMF)} = 22,9 \times \text{DO}(645) - 4,68 \times \text{DO}(663) \times V / 1000 \times W$$

$$\text{Chl totale (ug/gMF)} = \text{Chl A} + \text{Chl B}$$

ANNEXE II

Tableau 1: Analyse de la variance de taux de germination

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	26875,97	119	225,849				
Var. Facteur 1	11096,72	2	5548,358	780,542	0		
Var. Facteur 2	8579,1	3	2859,7	402,302	0		
Var. Facteur 3	5440,533	1	5440,533	765,374	0		
Var. Inter F1*2	388,75	6	64,792	9,115	0		
Var. Inter F1*3	540,617	2	270,309	38,027	0		
Var. Inter F2*3	43,668	3	14,556	2,048	0,11076		
Var. Inter F1*2*3	104,182	6	17,364	2,443	0,03042		
Var résiduelle 1	682,4	96	7,108			2,666	8,47%

Tableau 2: Analyse de la variance de la longueur total des plants

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	2862,077	119	24,051				
Var. Facteur 1	20,109	2	10,055	2,609	0,07697		
Var. Facteur 2	41,146	3	13,715	3,558	0,01706		
Var. Facteur 3	2149,688	1	2149,688	557,751	0		
Var. Inter F1*2	5,405	6	0,901	0,234	0,96321		
Var. Inter F1*3	174,433	2	87,217	22,629	0		
Var. Inter F2*3	0,479	3	0,16	0,041	0,98809		
Var. Inter F1*2*3	100,813	6	16,802	4,359	0,00067		
Var résiduelle 1	370,004	96	3,854			1,963	11,21%

Tableau 3: Analyse de la variance du poids frais total des plants

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	21559,83	119	181,175				
Var. Facteur 1	1492,924	2	746,462	26,971	0		
Var. Facteur 2	536,748	3	178,916	6,465	0,00057		
Var. Facteur 3	13295,39	1	13295,39	480,39	0		
Var. Inter F1*2	906,371	6	151,062	5,458	0,00008		
Var. Inter F1*3	1527,27	2	763,635	27,592	0		
Var. Inter F2*3	110,961	3	36,987	1,336	0,26632		
Var. Inter F1*2*3	1033,25	6	172,208	6,222	0,00002		
Var résiduelle 1	2656,922	96	27,676			5,261	28,22%

Tableau 4: Analyse de la variance du poids sec total des plants

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	150,749	119	1,267				
Var. Facteur 1	8,383	2	4,191	20,099	0		
Var. Facteur 2	4,671	3	1,557	7,467	0,00019		
Var. Facteur 3	93,085	1	93,085	446,372	0		
Var. Inter F1*2	6,853	6	1,142	5,477	0,00008		
Var. Inter F1*3	9,139	2	4,569	21,912	0		
Var. Inter F2*3	1,954	3	0,651	3,124	0,02909		
Var. Inter F1*2*3	6,643	6	1,107	5,309	0,00011		
Var résiduelle 1	20,02	96	0,209			0,457	28,52%

Tableau 5: Analyse de la variance du Teneur relative total en eau

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	138,331	119	1,162				
Var. Facteur 1	1,141	2	0,571	0,601	0,55543		
Var. Facteur 2	20,601	3	6,867	7,235	0,00024		
Var. Facteur 3	6,831	1	6,831	7,197	0,00842		
Var. Inter F1*2	6,694	6	1,116	1,175	0,32564		
Var. Inter F1*3	2,216	2	1,108	1,167	0,3159		
Var. Inter F2*3	5,529	3	1,843	1,942	0,12636		
Var. Inter F1*2*3	4,2	6	0,7	0,738	0,62248		
Var résiduelle 1	91,118	96	0,949			0,974	1,07%

Tableau 6: Analyse de la variance de la longueur des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	1531,628	119	12,871				
Var. Facteur 1	86,396	2	43,198	25,976	0		
Var. Facteur 2	9,567	3	3,189	1,918	0,13021		
Var. Facteur 3	1032,651	1	1032,651	620,961	0		
Var. Inter F1*2	15,016	6	2,503	1,505	0,18381		
Var. Inter F1*3	190,635	2	95,318	57,317	0		
Var. Inter F2*3	2,823	3	0,941	0,566	0,64293		
Var. Inter F1*2*3	34,892	6	5,815	3,497	0,0037		
Var résiduelle 1	159,647	96	1,663			1,29	11,58%

Tableau 7: Analyse de la variance de la largeur des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	1277,884	119	10,739				
Var. Facteur 1	110,18	2	55,09	29,822	0		
Var. Facteur 2	6,863	3	2,288	1,238	0,29975		
Var. Facteur 3	796,654	1	796,654	431,257	0		
Var. Inter F1*2	16,018	6	2,67	1,445	0,20466		
Var. Inter F1*3	135,341	2	67,671	36,632	0		
Var. Inter F2*3	10,912	3	3,637	1,969	0,12217		
Var. Inter F1*2*3	24,577	6	4,096	2,217	0,04747		
Var résiduelle 1	177,339	96	1,847			1,359	16,06%

Tableau 8: Analyse de la variance du nombre des feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	249,125	119	2,093				
Var. Facteur 1	4,55	2	2,275	2,814	0,06329		
Var. Facteur 2	12,892	3	4,297	5,316	0,0021		
Var. Facteur 3	95,408	1	95,408	118,031	0		
Var. Inter F1*2	19,183	6	3,197	3,955	0,00148		
Var. Inter F1*3	1,517	2	0,758	0,938	0,39713		
Var. Inter F2*3	9,758	3	3,253	4,024	0,0097		
Var. Inter F1*2*3	28,217	6	4,703	5,818	0,00004		
Var résiduelle 1	77,6	96	0,808			0,899	12,62%

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	1611,343	119	13,541				
Var. Facteur 1	44,311	2	22,156	10,055	0,00015		
Var. Facteur 2	35,427	3	11,809	5,36	0,002		
Var. Facteur 3	1134,491	1	1134,491	514,888	0		
Var. Inter F1*2	7,73	6	1,288	0,585	0,74361		
Var. Inter F1*3	122,163	2	61,081	27,722	0		
Var. Inter F2*3	3,269	3	1,09	0,495	0,6909		
Var. Inter F1*2*3	52,427	6	8,738	3,966	0,00145		
Var résiduelle 1	211,524	96	2,203			1,484	13,09%

Tableau 9: Analyse de la variance de Longueur de la partie aérienne

Tableau 10: Analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	21761,43	119	182,869				
Var. Facteur 1	1489,725	2	744,862	25,339	0		
Var. Facteur 2	295,572	3	98,524	3,352	0,02198		
Var. Facteur 3	13133,16	1	13133,16	446,774	0		
Var. Inter F1*2	1002,072	6	167,012	5,682	0,00005		
Var. Inter F1*3	1729,115	2	864,558	29,411	0		
Var. Inter F2*3	81,653	3	27,218	0,926	0,43316		
Var. Inter F1*2*3	1208,158	6	201,36	6,85	0,00001		
Var résiduelle 1	2821,971	96	29,396			5,422	32,10%

Tableau 11: Analyse de la variance du poids sec de la partie aérienne

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	135,534	119	1,139				
Var. Facteur 1	6,062	2	3,031	14,993	0		
Var. Facteur 2	2,786	3	0,929	4,593	0,00491		
Var. Facteur 3	86,343	1	86,343	427,101	0		
Var. Inter F1*2	5,696	6	0,949	4,696	0,00035		
Var. Inter F1*3	7,348	2	3,674	18,172	0		
Var. Inter F2*3	2,135	3	0,712	3,521	0,01786		
Var. Inter F1*2*3	5,757	6	0,959	4,746	0,00031		
Var résiduelle 1	19,408	96	0,202			0,45	31,44%

Tableau 12: Analyse de la variance du Teneur relative en eau de la partie aérienne

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	271,391	119	2,281				
Var. Facteur 1	3,48	2	1,74	0,962	0,38771		
Var. Facteur 2	31,817	3	10,606	5,864	0,00112		
Var. Facteur 3	10,465	1	10,465	5,786	0,01724		
Var. Inter F1*2	7,758	6	1,293	0,715	0,64032		
Var. Inter F1*3	13,487	2	6,744	3,729	0,02699		
Var. Inter F2*3	15,565	3	5,188	2,869	0,03987		
Var. Inter F1*2*3	15,204	6	2,534	1,401	0,22129		
Var résiduelle 1	173,615	96	1,808			1,345	1,48%

Tableau 13: Analyse de la variance de la longueur des racines

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	310,535	119	2,61				
Var. Facteur 1	7,127	2	3,563	3,54	0,0321		
Var. Facteur 2	1,734	3	0,578	0,574	0,63726		
Var. Facteur 3	176,007	1	176,007	174,861	0		
Var. Inter F1*2	4,517	6	0,753	0,748	0,61434		
Var. Inter F1*3	8,314	2	4,157	4,13	0,01875		
Var. Inter F2*3	2,8	3	0,933	0,927	0,43252		
Var. Inter F1*2*3	13,408	6	2,235	2,22	0,04722		
Var résiduelle 1	96,629	96	1,007			1,003	16,38%

Tableau 14: Analyse de la variance du poids frais des racines

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	109,489	119	0,92				
Var. Facteur 1	22,683	2	11,341	75,251	0		
Var. Facteur 2	43,59	3	14,53	96,409	0		
Var. Facteur 3	7,595	1	7,595	50,394	0		
Var. Inter F1*2	7,35	6	1,225	8,128	0		
Var. Inter F1*3	9,095	2	4,548	30,175	0		
Var. Inter F2*3	2,948	3	0,983	6,52	0,00053		
Var. Inter F1*2*3	1,759	6	0,293	1,945	0,0806		
Var résiduelle 1	14,468	96	0,151			0,388	20,58%

Tableau 15: Analyse de la variance du poids sec des racines

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	1,895	199	0,016				
Var. Facteur 1	0,256	2	0,128	12,118	0,00003		
Var. Facteur 2	0,179	3	0,06	5,647	0,00143		
Var. Facteur 3	0,093	1	0,093	8,813	0,00387		
Var. Inter F1*2	0,052	6	0,009	0,818	0,55994		
Var. Inter F1*3	0,153	2	0,076	7,246	0,00131		
Var. Inter F2*3	0,098	3	0,033	3,093	0,0302		
Var. Inter F1*2*3	0,052	6	0,009	0,826	0,55396		
Var résiduelle 1	1,013	96	0,011			0,103	63,20%

Tableau 16: Analyse de la variance du Diamètre de la coléoptile

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	715,387	119	6,012				
Var. Facteur 1	7,219	2	3,609	5,387	0,00619		
Var. Facteur 2	1,788	3	0,596	0,889	0,45167		
Var. Facteur 3	573,913	1	573,913	856,618	0		
Var. Inter F1*2	26,188	6	4,365	6,515	0,00001		
Var. Inter F1*3	4,087	2	2,043	3,05	0,05067		
Var. Inter F2*3	27,663	3	9,221	13,763	0		
Var. Inter F1*2*3	10,211	6	1,702	2,54	0,02506		
Var résiduelle 1	64,318	96	0,67			0,819	20,78%

Tableau 17: Analyse de la variance de la Teneur relative en eau au niveau des Racine

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	3525,604	119	29,627				
Var. Facteur 1	27,775	2	13,887	0,478	0,62716		
Var. Facteur 2	130,502	3	43,501	1,497	0,21886		
Var. Facteur 3	25,264	1	25,264	0,87	0,35605		
Var. Inter F1*2	88,507	6	14,751	0,508	0,80263		
Var. Inter F1*3	86,113	2	43,056	1,482	0,23087		
Var. Inter F2*3	142,097	3	47,366	1,631	0,18584		
Var. Inter F1*2*3	236,575	6	39,429	1,357	0,23902		
Var résiduelle 1	2788,771	96	29,05			5,39	5,91%

Tableau 18: Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle « a » au niveau des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	33,52	71	0,47				
Var. Facteur 1	1,54	3	0,51	1263,83	0		
Var. Facteur 2	3,48	1	3,48	8585,93	0		
Var. Facteur 3	18,21	2	9,1	22453,75	0		
Var. Inter F1*2	1,31	3	0,44	1079,83	0		
Var. Inter F1*3	3,22	6	0,54	1324,26	0		
Var. Inter F2*3	1,07	2	0,54	1321,75	0		
Var. Inter F1*2*3	4,67	6	0,78	1921,35	0		
Var résiduelle 1	0,02	48	0			0,02	0,67%

Tableau 19: Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle « b » au niveau des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	96,85	71	1,36		0		
Var. Facteur 1	20,23	3	6,74	4763,59	0		
Var. Facteur 2	2,38	1	2,38	1683,02	0		
Var. Facteur 3	63,96	2	31,98	22595,49	0		
Var. Inter F1*2	1,1	3	0,37	258,58	0		
Var. Inter F1*3	7,37	6	1,23	867,74	0		
Var. Inter F2*3	0,74	2	0,37	260,33	0		
Var. Inter F1*2*3	1,02	6	0,17	119,79	0		
Var résiduelle 1	0,07	48	0			0,04	1,22%

Tableau 20: Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle « total » au niveau des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	200,22	71	2,82				
Var. Facteur 1	27,8	3	9,27	5648,98	0		
Var. Facteur 2	11,62	1	11,62	7084,92	0		
Var. Facteur 3	149,27	2	74,63	45500,11	0		
Var. Inter F1*2	0,56	3	0,19	114,07	0		
Var. Inter F1*3	8,43	6	1,41	856,57	0		
Var. Inter F2*3	0,33	2	0,16	99,08	0		
Var. Inter F1*2*3	2,13	6	0,36	216,85	0		
Var résiduelle 1	0,08	48	0			0,04	0,66%

Tableau 21: Analyse de la variance de la teneur en proline au niveau des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
Var. Totale	16986,95	71	239,25				
Var. Facteur 1	2359,32	3	786,44	40,89	0		
Var. Facteur 2	11043,51	1	11043,51	574,21	0		
Var. Facteur 3	667,96	2	333,98	17,37	0		
Var. Inter F1*2	918,29	3	306,1	15,92	0		
Var. Inter F1*3	470,69	6	78,45	4,08	0,00227		
Var. Inter F2*3	276,86	2	138,43	7,2	0,00197		
Var. Inter F1*2*3	327,14	6	54,52	2,83	0,01915		
Var résiduelle 1	923,16	48	19,23			4,39	26,30%