

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة العراش - الجزائر -

École Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach Alger



École Doctorale : Biotechnologies végétales

Thèse

Représentée en vue de l'obtention du diplôme de :

Doctorat *en sciences agronomiques*

Option : **Biotechnologies végétales**

Présentée par :

Nabi Fahima

*Réponse de quelques écotypes algériens de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. au stress salin.*

Thèse soutenue publiquement devant le jury composé de :

Président	M^{me} LAOUAR M.	Maître de conférences A	ENSA
Directeur de thèse	M. OUNANE S. M.	Professeur	ENSA
Examineurs	M. AISSAT A.	Professeur	USD de Blida
	Mme ALKAMA N.	Maître de conférences A	Univ. Tizi Ouzou

Année universitaire : 2017-2018

❧ Remerciements ❧

Louange à Dieu le Tout Puissant pour m'avoir permis de réaliser dans de bonnes conditions ce modeste travail, en fortifiant toute l'énergie dont il a bien voulu m'investir.

Ce travail me donne l'occasion d'exprimer mes remerciements à plusieurs personnes sans l'appui desquelles il n'aurait pu voir le jour.

*Je tiens à remercier vivement le Professeur **S. M. OUNANE**, mon promoteur, qui m'a aimablement accueillie au sein de son équipe. Il a veillé à ce que je dispose de bonnes conditions de travail. Qu'il reçoive l'expression de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance pour la confiance qu'il m'a accordée, pour les discussions scientifiques, son soutien, sa rigueur scientifique, son exigence, sa disponibilité, ses conseils, son regard critique sur ce travail qui m'a permis d'avancer dans ma réflexion, pour les encouragements apportés durant ces années, sa confiance, et surtout, pour sa compréhension et sa patience face à mes limites et mes habituels retards.*

J'adresse aussi mes vifs remerciements à tous les membres du jury :

***M^{me} LAOUAR M.**, Maître de conférences à l'ENSA, qui, malgré ses multiples occupations, nous fait l'honneur de présider ce jury. Qu'elle trouve ici l'expression de mon profond respect.*

Je suis également honorée de compter parmi les membres de jury,

***M^{me} ALKAMA N.**, Maître de conférences à l'université de Tizi Ouzou, qui a accepté la lourde tâche d'examinatrice et qui doit se déplacer à Alger, malgré ses nombreuses activités. Qu'elle trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.*

***M. AISSAT**, Professeur à l'université SAAD DAHLAB de Blida (USD), qui a eu l'amabilité d'examiner ce travail. Qu'il soit vivement remercié pour avoir accepté de faire partie du jury.*

*Je remercie vivement **M^{me} N. GHALMI**, Maître de conférences à l'ENSA, pour ses conseils fructueux, ses orientations et son aide scientifique. Elle a mis à ma disposition les graines de niébé qui ont servies pour ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour ses continuels encouragements pendant la réalisation de ce travail.*

*Mes sincères remerciements vont aussi à ma chère amie **Assia CHAKER-HADDADJ**, Maître de conférences à l'USTHB, et à **Sihem TELLAH**, Maître de conférences à l'ENSA, pour son aide précieuse, son soutien moral, ses encouragements et ses conseils.*

*Je tiens à remercier chaleureusement et tout particulièrement ma belle-sœur **Marine Celiier** pour son aide précieuse. Qu'elle trouve ici toute ma reconnaissance et mon affection.*

Nous tenons particulièrement à remercier **M. OUMOUNA MUSTAPHA**, Doyen de la faculté des sciences de l'université de Médéa et **M. ATSAMNIA**, Chef de département SNV à l'université de Médéa.

Qu'il me soit permis d'exprimer mes respectueux remerciements pour son aide précieuse à **M. DJEBBAR Réda**, Maître de conférences à l'USTHB et **MEDDAH BELKACEM** Maître assistant à l'université de Médéa.

Je voudrais aussi remercier mes parents, **ma mère et mon père**. Je ne saurais trouver les mots pour leur exprimer ma gratitude, mon amour et ma reconnaissance, pour leur soutien inconditionnel tout au long de ma vie et plus encore pendant la réalisation de cette thèse. Sans leur précieux soutien, cet accomplissement aurait été impossible. Je remercie mes **sœurs Malika et Hadjer** et mes **frères Brahim et Zouheir**, pour leurs aides précieuses. À eux tous, je souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de succès, en souhaitant que Dieu leur réserve une longue vie.

Enfin, les plus intenses de mes sentiments reviennent à mon mari **Abdelkader Ghalem**, pour m'avoir soutenue et encouragée dans les moments difficiles, pour avoir été toujours présent jusqu'à la fin de la thèse, pour sa patience et sa compréhension. Qu'il trouve ici toute ma reconnaissance et mon affection.

❧ Dédicaces ❧

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 mon cher mari Abdelkader GHALEM.

À mon cher frère Brahim et son épouse Marine

À mon cher frère Zouheir

À mes chères sœurs, Malika et Hadjer

À tous les membres de ma famille

À ma belle-famille, et particulièrement à ma chère belle-mère YAKOUB.

Enfin, à mes chers enfants.

Résumé

Réponses de quelques écotypes algériens de *Vigna unguiculata* au stress salin

La salinité affecte la germination des semences 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 tels que la sécheresse et la salinité. Une autre approche, le supplément en calcium exogène dans la solution d'irrigation saline peut améliorer la tolérance la salinité au stade germination croissance. 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 du niébé, ainsi que les conséquences de l'amorçage (hydropriming et l'halopriming par le NaCl, le CaSO₄ ou le CaCl₂) sur la germination, et la croissance de cette espèce. L'effet de la durée de prétraitement (halopriming NaCl 3 heures ou 6 heures) sur l'émergence et croissance du niébé est également étudié. Les résultats montrent que la salinité à partir de 12 ds m⁻¹ affecte la germination du niébé. Les populations TZ7, EK1 et B23 originaires de Tizi Ouzou, El Kala et Bechar sont plus tolérantes à la salinité à ce stade. L'amorçage permet d'avoir une germination et une émergence plus rapide et mieux synchronisées, et une meilleure croissance en conditions favorables et en conditions de stress salin. L'effet améliorateur de l'amorçage est plus prononcé chez la population A18 originaire d'Adrar, elle-même plus tolérante à la salinité par rapport à la population TZ2 originaire de Tizi Ouzou. L'hydropriming, et l'halopriming par le NaCl ou le CaSO₄ sont plus performants. L'amorçage par le NaCl de 6 heures est plus efficace par rapport à celui de 3 heures. L'apport d'un supplément en calcium atténue les effets négatifs du NaCl et améliore significativement la tolérance au sel du niébé. Il permet une germination plus rapide et synchronisée, une bonne croissance, et un indice de vigueur des plantules élevé. L'effet améliorateur du supplément en Ca⁺⁺ est plus prononcé chez la population A11 originaire d'Adrar qui s'est montrée plus tolérante à la salinité par rapport à la TZ2. Ce travail permet de conclure que l'amorçage des graines et le supplément en Ca⁺⁺, peuvent être très efficaces pour l'amélioration de la production du niébé et en particulier dans des conditions salines défavorables. Les populations A18, A11, TZ7, EK1 et B23 peuvent être recommandées dans les programmes de sélection pour la tolérance au stress salin.

Mots-clés : *Vigna unguiculata*, stress salin, amorçage, hydropriming, NaCl, CaSO₄, CaCl₂, calcium, germination, émergence, croissance.

Abstract

Reponses of some Algerian ecotypes of *Vigna unguiculata* to salt stress

Salinity affects seed germination which is a crucial step in the development cycle of higher plants. Several approaches are used to improve germination and growth plants and increase their tolerance to salinity. Priming grains is one of the physiological methods that ameliorate germination, emergence, and growth under abiotic stress conditions such as drought and salinity. Another perspective is the exogenous calcium supplement in the saline irrigation solution, which can enhance tolerance to salinity at the germination growth stage. This study is a part of this procedure and aims to study the influence of salt stress (NaCl) on the germination, emergence and growth of cowpea, as well as the consequences of priming (hydropriming and halopriming by NaCl, CaSO₄ or CaCl₂) on germination, and growth of this species. The effect of pretreatment duration (NaCl halopriming 3 hours or 6 hours) on the emergence and growth of cowpea is also studied. The results show that salinity from 12 ds m⁻¹ affects the germination of cowpea. The populations TZ7, EK1 and B23 originating from Tizi Ouzou, El Kala and Bechar are more tolerant to salinity at this stage. Priming allows having faster and more synchronized germination and emergence, and better growth under favorable conditions and under salt stress conditions. The improving effect of priming is more pronounced in the A18 population originating from Adrar, itself more tolerant to salinity compared to the TZ2 population originating from Tizi Ouzou. Hydropriming and halopriming with NaCl or CaSO₄ are more efficient. The 6 hour NaCl priming is more efficient than 3 hours. Calcium supplementation attenuates the negative effects of NaCl and significantly ameliorates cowpea salt tolerance. It permits faster and synchronized germination, good growth, and a high seedling vigor index. The enhancement effect of the Ca supplement is more pronounced in the A11 population from Adrar, which has been found to be more tolerant to salinity than TZ2. This work leads to conclude that seed priming and Ca supplementation can be very effective in improving cowpea production and particularly in adverse salt conditions. Populations A18, A11, TZ7, EK1 and B23 can be recommended inbreeding programs for salt stress tolerance.

Key words: *Vigna unguiculata*, salt stress, priming, hydropriming, NaCl, CaSO₄, CaCl₂, calcium, germination, emergence, growth.

ملخص

رد فعل بعض أنواع الشتلات الجزائرية ل *Vigna unguiculata* تحت تأثير الضغط الملحي

تؤثر الملوحة على إنبات البذور وهي خطوة حاسمة في دورة تطوير النباتات العليا. وتستخدم عدة طرق لتحسين إنبات النباتات والنمو وزيادة مقاومتها للملوحة

المعالجة الأولية للحبوب هي إحدى الوسائل الفيزيولوجية التي تحسن الإنبات، البروز و النمو في ظروف من الضغط الغير البيولوجي كالجفاف و الملوحة، هناك منهجية أخرى وهي اضافة الكالسيوم في الري الملحي الذي يسمح بتحسين مقاومة الملوحة في مرحلتي الإنبات و النمو.

هذه الدراسة تصنف جزءا في هذا المنهج و هدفها دراسة تأثير الضغط الملحي NaCl على الإنبات و بروز و نمو الفاصوليا و مع نتائج المعالجة الأولية " hydropriming و l'halopriming بال" NaCl و CaCl₂ او CaSO₄ " على الإنبات، و نمو هذا النوع.

تأثير مدة المعالجة الأولية (NaCl halopriming 3 ساعات أو 6 ساعات) على بروز و نمو الفاصوليا الظرفية قد درس. النتائج تظهر أن الملوحة من درجة في 12 ds m^{-1} تمس بانبات اللوبيا. الشتلات TZ7، EK1 و B23 من تيزي وزو؛ القالة و بشار هم الاكثر مقاومة في مرحلة الإنبات.

التأثير الإيجابي للمعالجة الاولية قد ظهر في الشتلات A18 من أدرار التي هي أكثر مقاومة من الشتلة TZ2 من تيزي وزو . l'halopriming, l'hydropriming بال NaCl او CaSO₄ تمنح نتائج أحسن. المعالجة الأولية بال NaCl لمدة 6 ساعات هي أحسن من المعالجة لمدة 3 ساعات.

إضافة الكالسيوم يخفض الآثار السلبية لل NaCl و يحسن من مقاومة اللوبيا للملوحة بطريقة واضحة، إنه يسمح بانبات سريع ومتجانس ونمو جيد و مؤشر قوة مرتفع بالنسبة للبذور غير الخاضعة للضغط الملحي NaCl، التأثير الإيجابي لإضافة الكالسيوم يظهر بكثرة عند الشتلات A11 من أدرار التي كانت مقاومة أكثر للضغط الملحي من ال TZ2. هذا العمل يسمح باستنتاج ان المعالجة الأولية للبذور بإضافة الكالسيوم مفيدة جدا لتحسين انتاج اللوبيا الظرفية و خاصة في ظروف من الضغط الملحي الغير الملائم.

الكلمات المفتاحية: *Vigna unguiculata*، الضغط الملحي، المعالجة الأولية، hydropriming، NaCl، CaSO₄، CaCl₂، الكالسيوم، الانبات، البروز، النمو

Liste des abréviations

ABA : l'acide abscissique
AFLP : Amplified fragment-length polymorphism
AFNOR NF : Association française de normalisation
ANOVA : analyse de la variance
bZIP : *basic leucine zipper*
C : carbone
Ca SO₄ : sulfate de calcium
Ca⁺⁺ : le calcium
CaCl₂ : chlorure de calcium
CDPK : *Ca²⁺-dependent protein kinases*
Cl : le chlorure
CNGCs : canaux nucléotides cycliques-dépendants
CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides
ddl : degré de liberté
dS : décisiemens
EREBP : *Éthylène-Responsive Element Binding Proteins*
EREBP/AP2 : ethylene-responsive element binding proteins
ESM : Erreur Standard à la Moyenne
F : valeur statistique de Fisher
F.A.O : Food and Agriculture Organization
Gi : grains immatures
GLRs : récepteurs au glutamate
Gm : graines mûrs
Gork : canaux de potassium
HP : hydropriming
IVP : Indice de vigueur des plantules
K⁺ : Potassium
KCl : Chlorure de potassium
KNO₃ : Nitrate de potassium
Laboratoire AIPV : laboratoire d'Amélioration intégrative des Productions Végétales
LSD : test post hoc
M.O : Matière Organique
MAPK : *mitogen activated protein kinase*
Mg⁺⁺ : le magnésium
MYB : proto-oncogene, transcription factor
N : azote
N₂ : Azote
Na Cl : Chlorure de sodium
Na⁺ : sodium
Na₂ SO₄ : Sulfate de sodium
NH₄⁺ : Ammonium
NO₃⁻ : Nitrate
NSCCs : *Non Selective Cation Channels*
P : phosphore
P₂O₅ : pentoxyde de phosphore
PEG : le polyéthylène glycol
pH : potentiel hydrogène
PST : poids sec total
ROS : Reactive Oxygen Species
T0NP : témoin sans priming
VG : Vitesse de germination

Liste des tableaux

N°	Titre du tableau
1	Valeur nutritionnelle de 100 g de la partie comestible des grains mûrs (Gm) et immatures (Gi) et des extrémités de tiges feuillées (TF) de <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. Some Morphological characters of Algerian cowpea landraces, and their geographical location.
3(2)	Final germination percentage(PGP), Germination rate(GR) and salttolerance index (STI) of 5 cowpea landraces grown with different NaCl treatments(for 8 days).
4(3)	Effects of NaCl on the final germination pourcentage, germination rate, speed of germination of cowpeaseeds and salttolerance index: summary of anovaresults
5	Caractéristiques agro morphologiques des populations de niébé étudiées et leur localisation géographique.
6	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming T0NP, hydropriming : HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur le pourcentage de germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) durant 7 jours.
7	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming T0NP, Hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur le pourcentage final de germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).
8	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et amorçage et leurs interactions pour le pourcentage final de germination.
9	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la vitesse de germination.
10	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des radicules.
11	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des hypocotyles.
12	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des épicotyles.
13	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la longueur totale des plantules.
14	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming : T0NP, hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur le poids sec et le poids frais des plantules de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 mM, NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).
15	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour les paramètres poids sec et poids frais.
16	ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour l'indice de vigueur des plantules.
17	Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.
18	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le pourcentage final de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (témoin) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).
19	Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour le paramètre pourcentage final d'émergence.
20	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le taux d'émergence de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (T0NP) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl)

21	Analyse de la variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour le paramètre taux d'émergence.
22	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3heures, NaCl 6 heures) sur le taux de survie de la population A18 soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée : témoin ; T1 : 85 mM NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).
23	Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitements salins et priming et leurs interactions pour le taux de survie
24	Effets du priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur la hauteur des épicotyles, hypocotyles et hauteur totale des plantules de la population 18 soumise aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et résultats d'analyse de la variance.
25	Effets du priming(Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le poids frais des racines, des tiges, des feuilles et le poids frais total des plantules de la population A18 soumises aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et résultats d'analyse de la variance.
26	Effets du priming (Témoin : sans priming, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le poids sec des racines, des tiges, des feuilles et le poids sec totale des plantules de la population A18 soumise aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM) et résultats d'analyse de la variance.
27	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming N0NP, NaCl 3 heures, NaCl 6 heures) sur l'indice de tolérance de niébé soumis à différentes concentrations de NaCl (T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).
28	Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitements salins et priming et leurs interactions pour l'indice de tolérance au stress
29	Caractéristiques agro morphologiques des populations de niébé étudiées et leur localisation géographique.
30	Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ , T4 : 170 mM+ 10 mM CaCl ₂) sur le pourcentage de germination de deux populations (TZ2 et A11) durant 8 jours.
31	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et population et leurs interactions pour le pourcentage final de germination
32	Effets du supplément en calcium sur le pourcentage final de germination, de la population A11 de niébé soumises au stress salin. (Témoin : eau distillée T0 ; T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170 mM de NaCl ; T3 : (85Mm NaCl + 10 mM CaCl ₂) et T4 (170 mM NaCl+10 mM CaCl ₂).
33	Indice de tolérance au stress de deux populations de niébé(TZ2 et A11) soumises au stress salin (T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170 mM de NaCl ; T3 : (85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂) et T4 (170 mM NaCl+10 mM CaCl ₂).
34	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et population et leurs interactions pour l'indice de tolérance au stress.
35	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur de la racicule.
36	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur des hypocotyles
37	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur des épicotyles.
38	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur totale.
39	ANOVA à deux facteurs de l'effet traitements et génotypes et leurs interactions pour l'indice de vigueur des plantules.

Liste des figures

N°	Titre des figures
1	Relation entre le pourcentage de germination et le temps de germination après addition de différents niveaux de salinité.
2	Schéma montrant le processus de germination normale et du processus de priming.
3 (1)	Salt stress effects on germination of cowpea seeds for 8 days. Values represent the mean of three replicates. T0 : control, T1 : EC= 4 dS m ⁻¹ , T2 ; EC= = 8 dS m ⁻¹ , T3 :EC = 12 dS m ⁻¹ et T4 :EC = 16 dS m ⁻¹ , T5:EC = 20 dS m ⁻¹ (DAY).
4 (2)	Speed of germination of 5 cowpea landraces under different salinity. Values represent the mean of three replicates and error bars represent standard deviation. Columns containing same letters indicate no significant difference among treatments; T0 : control, T1: EC= 4 dS m ⁻¹ , T2 ; EC= = 8 dS m ⁻¹ , T3 :EC = 12 dS m ⁻¹ et T4 :EC = 16 dS m ⁻¹ , T5:EC = 20 dS m ⁻¹ .
5	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming T0NP, Hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur la germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à la concentration T1 (85 mM de NaCl).
6	Variation de la vitesse de germination des deux populations de niébé conduites sous différentes concentrations salines (T0 : 0 mM NaCl, T1 : 85 mM NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et différentes situations d'amorçage (Témoin : sans priming T0NP, HP : Hydropriming, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) durant 7 jours.
7	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur la longueur des racines des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM)
8	Effets de la salinité (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM).) sur la croissance du niébé (TZ2 et A18).
9	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur la longueur des hypocotyles des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).
10	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, Hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur la longueur des épicotyles des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).
11	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming, hydropriming HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur la longueur totale des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).
12	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming, Hydropriming : HP, NaCl, CaCl ₂ et CaSO ₄) sur l'indice de vigueur des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).
13	Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3 heures, NaCl 6 heures) sur le pourcentage d'émergence de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (témoin) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) pendant 10 jours.
14	Aspect des graines de deux populations de niébé étudiées TZ2 et A11.

15	Effets du supplément en calcium sur le pourcentage final de germination, de deux populations de niébé (TZ2 et A11) soumises au stress salin. (Témoin : eau distillée ; T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170 mM de NaCl ; T3 : (85Mm NaCl + 10 mM CaCl ₂) et T4 (170 mM NaCl+10 mM CaCl ₂).
16	Effets du supplément en calcium sur le pourcentage final de germination, de la population A11 de niébé soumises au stress salin. (Témoin : eau distillée, T0 ; T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170 mM de NaCl ; T3 : (85Mm NaCl + 10 mM CaCl ₂) et T4 (170 mM NaCl+10 mM CaCl ₂).
17	Variation de la vitesse de germination des deux populations de niébé (A11 et TZ2) sous l'effet des différents traitements testés (T0 : Témoin ; T1 : 85Mm de Nacl ; T2 : 170 Mm de NaCl ; T3 : 85 mM de Nacl + 10 mM CaCl ₂ ; T4 : 170 mM de NaCl + 10 mM CaCl ₂).
18	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10 mM CaCl ₂) sur la longueur des racines (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.
19	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl ₂) sur la longueur des hypocotyles (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.
20	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl ₂) sur la longueur des épicotyles (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.
21	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl ₂) sur la longueur totale (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours
22	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl ₂) sur la croissance plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.
23	Effets des différentes traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl ₂) sur l'indice de vigueur des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.

TABLE DES MATIÈRES

INDEX DES TABLEAUX

INDEX DES FIGURES

RÉSUMÉS

Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	3
1. Stress salin	3
1.1. Caractérisation des sols et eaux salins	3
1.2. Types et causes de la salinité	3
1.2.1. Salinité naturelle ou primaire	3
1.2.2. Salinisation secondaire	4
1.3. Salinité en Algérie	4
1.4. Effets de la salinité sur les plantes	4
1.4.1. Germination	5
1.4.2. Croissance	6
1.5. 3 - Tolérance des plantes à la salinité	7
1.5.3.1. Tolérance au stress osmotique	9
1.5.3.2. Exclusion de Na ⁺	9
1.5.3.3. Tolérance des tissus	9
2. Traitements prégerminatifs des semences (priming ou amorçage)	10
2.1. Processus d'amorçage	10
2.2. Techniques d'amorçage des graines	11
2.2.1. Hydropriming	11
2.2.2. Osmopriming	12
2.2.3. Halopriming	12
2.2.4. Hormone-priming	13
2.3. Mécanismes de l'amorçage	13
3. Rôle du calcium dans la réponse au stress salin	13
4. Le niébé	16
4.1. Origine et répartition géographique du niébé	16
4.2. Description botanique	17
4.3. Répartition de Niébé dans le Monde et en Algérie	18
4.4. Importance de la culture du niébé dans les systèmes de production	19
4.5. Germination du niébé	20
4.6. Croissance	20
Chapitre II : Variations génotypiques de tolérance au stress salin des écotypes algériens de niébé, au stade germination.	21
Résumé	21
Abstract	22
Introduction	22
Material and methods	23
1. Plant materials	23
2. Methods	23
2.1. Germination experiments	23
2.2. Statistical analyses	24

Results	24
Discussion	28
Bibliographie	29
Chapitre III : Étude de l'influence de l'amorçage sur la germination et croissance du niébé sous stress salin	31
1. Matériel végétal	31
2. Méthode d'étude	32
2.1. Traitements prégerminatifs des graines (amorçage ou priming)	32
2.2. Préparation des solutions salines pour l'application du stress	32
2.3. Mise en germination	32
2.4. Paramètres étudiés	33
2.5. Analyse statistique	34
3. Résultats et discussions	34
3.1. Influence de l'amorçage sur la germination sous stress salin	34
3.1.1. Évolution du pourcentage de germination	34
3.1.2. Pourcentage final de germination	37
3.1.3. Vitesse de germination	39
3.1.4. Discussion	41
3.2. Influence de l'amorçage sur la croissance sous stress salin	43
3.2.1. Longueur des racines	43
3.2.2. Longueur des hypocotyles	46
3.2.3. Longueur des épicotyles	48
3.2.4. Longueur totale	49
3.2.5. Poids frais et poids sec des plantules	51
3.2.6. Discussion	53
3.3. Influence de l'amorçage sur l'indice de vigueur des plantules	55
3.3.1. Discussion	57
Chapitre IV : Effets de la durée de l'haloprimum NaCl des graines sur l'émergence et la croissance sous stress salin	59
1. Matériel végétal	59
2. Méthode d'étude	59
2.1. Traitements prégerminatifs des graines (Amorçage ou priming)	59
2.2. Préparation des solutions salines pour l'application du stress	59
2.3. Dispositif expérimental	59
2.4. Conduite de l'essai	60
2.4.1. Préparation du substrat	60
2.4.2. Semis	60
2.4.3. Détermination des besoins en eau de la plante	61
2.4.3. Application du stress salin	61
2.4.5. Paramètres étudiés	61
2.4.6. Analyse statistique	62
3. Résultats et discussions	62
3.1. Influence de l'amorçage sur l'émergence des graines sous stress salin	62
3.1.1. Évolution du pourcentage d'émergence	62
3.1.2. Pourcentage final d'émergence	63
3.1.3. Taux d'émergence	65
3.1.4. Discussion	65
3.2. Influence de l'amorçage sur le taux de survie	66
3.2.1. Discussion	67
3.3. Influence de l'amorçage sur la croissance précoce des plantules	68
3.3.1. Influence de l'amorçage sur la croissance en hauteur des plantules	68
3.3.2. Influence de l'amorçage sur le poids frais (g) des différentes parties des plantules	70
3.3.3. Influence de l'amorçage sur le poids sec (g) des différentes parties des plantules.	72
3.3.4. Discussion	74
3.4. Influence de l'amorçage sur l'indice de tolérance au stress	75
3.4 .1. Discussion	76

CHAPITRE V : Effets du supplément en Calcium (Ca⁺⁺) sur la faculté germinative des graines et la croissance de niébé soumises au stress salin.	77
1. Matériel végétal	78
2. Méthode d'étude	78
2.1. Préparation des solutions salines pour l'application du stress	78
2.2. Protocole de germination au laboratoire	78
2.3. Paramètres étudiés	78
2.4. Analyse statistique	79
3. Résultats et discussions	80
3.1. Effets du supplément en calcium sur la germination des graines sous stress salin	80
3.1.1. Évolution du pourcentage de germination	80
3.1.2. Pourcentage final de germination	82
3.1.3. Vitesse de germination	84
3.1.4. Discussion	87
3.2. Effets du supplément en calcium sur l'indice de tolérance au stress	88
3.2.1. Discussion	90
3.3. Effets du supplément en calcium sur la croissance sous stress salin	90
3.3.1. Longueur des racines	90
3.3.2. Longueur des hypocotyles	92
3.3.3. Longueur des épicotyles	94
3.3.4. Longueur totale	95
3.3.4. Discussion	98
3.4. Effets du supplément en calcium sur l'indice de vigueur des plantules	99
3.4.1. Discussion	101
Conclusion générale	102
Recommandations	104
Références bibliographiques	105

La salinité est un sérieux problème pour l'agriculture dans le monde et particulièrement dans les régions arides et semis arides (Ashraf *et al.*, 2008). D'après Drouhin (1961), l'Algérie est un pays de sels, où la salinisation secondaire, suite à l'irrigation avec des eaux minéralisées entraîne une extension de la salure dans de nombreux périmètres irrigués notamment en milieu saharien (Daoud et Halitim, 1994). La salinité des sols affecte la germination, l'émergence, la croissance et le rendement des plantes (Murillo-Amador *et al.*, 2002 ; Ashraf et Foolad, 2013). La germination, l'émergence et la croissance précoce sont définies comme les phases les plus critiques du cycle de la plante qui déterminent l'établissement des plantes et le rendement (Murillo Amador *et al.*, 2001 ; Baath *et al.*, 2017). La sélection pour la tolérance à la salinité pendant ces stades est importante (Murillo Amador *et al.*, 2002).

L'accumulation de sels solubles dans le sol entraîne une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui limite l'absorption de l'eau par les graines ou par les racines de la plante (Levigneron *et al.*, 1995). Les dommages causés par le sel sur les plantes sont attribués aussi à la toxicité spécifique des ions et du déséquilibre nutritionnel qu'ils provoquent (Foolad *et al.*, 2007). Tous ces effets varient avec les espèces, le type, l'intensité et la durée de la salinité (Parida et Das, 2005).

L'approche biotique pour résoudre ce problème se base sur la gestion, l'exploitation ou la sélection de plantes capables de se développer sur des sols affectés par le sel (Ashraf *et al.*, 2008). Plusieurs techniques sont utilisées depuis plusieurs années. La plus récente est l'amorçage (priming) des semences qui améliore la tolérance à la salinité des plantes (Gholami *et al.*, 2015). C'est une stratégie biologique nouvelle qui permet une germination, et une émergence synchronisée et plus rapide (Sharma *et al.*, 2014) ainsi qu'un meilleur établissement et croissance des plantes en conditions de stress abiotiques tels que la sécheresse ou la salinité (Bewley *et al.*, 2013).

Au cours de l'amorçage, les semences sont hydratées partiellement à un niveau d'humidité suffisant pour permettre le déroulement des processus métaboliques prégerminatifs, mais sans pour autant déclencher la percée de la radicule (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2010). Ainsi, la graine peut revenir à son état initial déshydraté sans que l'embryon ne subisse de dommages (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2010). Dans ces conditions la graine réagit et développe un processus physiologique qui permet de moduler les activités métaboliques de la germination, et prépare la plante pour se défendre rapidement et efficacement contre ce stress (Jisha *et al.*, 2013). Selon Sadeghi et Robati (2015), il existe différentes méthodes d'amorçage des graines,

parmi lesquelles, l'hydropriming (imbibition avec de l'eau), et l'halopriming (trempage dans des solutions de sels : CaCl_2 , CaSO_4 , KCl , KNO_3 ou NaCl , etc).

Une autre technique possible pour réduire l'effet de la salinité sur la germination, la croissance et le rendement des plantes est l'ajout de supplément de calcium à l'eau d'irrigation. Le calcium est bien connu pour avoir un rôle régulateur dans le métabolisme végétal (Rahman *et al.*, 2016). Le supplément en Ca^{2+} permet d'atténuer les effets dépressifs du stress salin en facilitant la sélectivité K^+ / Na^+ qui permet de protéger les membranes cellulaires (Jasim *et al.*, 2016).

Le choix du niébé pour cette étude est dicté par son intérêt tant sur le plan nutritionnel, par son apport en protéines (25%) (Kouadio *et al.*, 2007), que sur le plan agronomique par sa contribution à l'enrichissement du sol en azote grâce à sa capacité de fixer l'azote atmosphérique (Kawapata et Hall, 1985) ce qui lui confère un rôle important dans les systèmes de culture. Le niébé est réputé avoir une bonne tolérance à la sécheresse et aux températures élevées (Hall et Patel, 1985).

Malgré la disponibilité d'une littérature abondante sur le comportement des plantes vis-à-vis du stress salin, la réponse à la salinité des populations locales de niébé reste peu étudiée. Bien que les effets de l'amorçage des graines et le supplément en calcium dans la tolérance à la salinité ont été testés sur plusieurs espèces, l'information sur le niébé et notamment les écotypes algériens n'est pas disponible. La variabilité intraspécifique du niébé est largement répandue en Algérie (Ghalmi *et al.*, 2009) où il est possible de trouver des populations ou des écotypes locaux susceptibles de développer une tolérance à cette contrainte.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre étude qui a pour objectif d'évaluer les effets du stress salin sur la germination, l'émergence et la croissance du niébé et aussi d'étudier les effets de l'amorçage et du supplément en calcium dans l'amélioration de la tolérance du niébé au stress salin à ces stades. L'objectif est de sélectionner des écotypes tolérants à la salinité qui peuvent être introduits dans les programmes de sélection de cette espèce, et la mise au point des techniques pouvant améliorer la tolérance du niébé au stress salin. Pour atteindre cet objectif l'étude sera menée à travers 3 chapitres :

- effets de l'amorçage des graines (l'hydropriming et l'halopriming par le NaCl , le CaSO_4 ou le CaCl_2) sur la germination et la croissance précoce de niébé soumis sous stress salin.
- effets de la durée d'amorçage (halopriming par le NaCl pendant 3 heures ou 6 heures) sur l'émergence et la croissance du niébé.
- effets de l'addition du Calcium (Ca^{++}) exogène sur la germination et la croissance du niébé soumis au stress salin.

1. Stress salin

1.1. Caractérisation des sols et eaux salins

Les sols salins sont caractérisés par une conductivité électrique élevée ($> 4 \text{ dS m}^{-1}$), une faible activité des ions nutritifs, des rapports élevés de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$, Na^+/K^+ , $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, et $\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ dans la solution du sol (Grattan et Grieve, 1993 ; Flowers et Flowers, 2005). L'effet dépressif des minéraux en excès tels que le Na^+ et / ou le Cl^- sur la plante est appelé stress salin (Munns, 2005).

D'après Parida et Das (2005) et Kaewmanee *et al.* (2013), le NaCl est considéré comme le plus important parce que les ions Na^+ et Cl^- sont nocifs pour les plantes quand ils sont accumulés à fortes concentrations. De plus, les concentrations élevées de Na^+ dans la solution du sol entraîne une détérioration de la structure du sol, ce qui exacerbe l'effet de la salinité en empêchant le drainage ainsi que la disponibilité en eau dans le sol (Bennett *et al.*, 2009).

La salinité réduit les rendements des cultures dans de nombreuses régions arides et semi-arides du monde où la pluviométrie est insuffisante pour un lessivage des sels dans la zone racinaire (Ashraf et Foolad, 2013).

Zhu (2001) rapporte que la salinité du sol existait bien avant les activités humaines et l'agriculture, mais ce sont les pratiques agricoles telles que l'irrigation qui l'ont aggravée. Le stress salin est l'une des contraintes majeures qui limite la croissance et le rendement des cultures (Parihar *et al.*, 2015). Ayers et Westcot (1985) définissent les sols ou les eaux d'irrigation affectés par la salinité, comme étant ceux qui contiennent suffisamment de sels solubles susceptibles de compromettre la croissance des plantes.

1.2. Types et causes de la salinité

1.2.1. Salinité naturelle ou primaire

D'après Parihar *et al.* (2015), la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée la salinité primaire. Selon les mêmes auteurs, les sels solubles, principalement le chlorure de sodium, peuvent provenir de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. L'origine des sels peut se trouver dans les matériaux salés plus ou moins récents, qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées (Gaucher et Burdins, 1974).

La salinisation d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches, de la dynamique des eaux (Maniguet, 2003).

1.2.2. Salinisation secondaire

Selon Garg et Manchanda (2008), la salinisation secondaire est le résultat des activités agricoles qui modifient l'équilibre hydrologique du sol, entre l'eau appliquée (irrigation ou pluie) et l'eau utilisée par les cultures (transpiration). Elle est corollaire à l'irrigation, à la fois conséquence de la quantité d'eau apportée, de sa qualité (nature et concentration des sels) de la texture des sols et du climat, et dans les aires de grande irrigation, s'ajoute l'inadéquation du réseau de drainage des eaux usées (Maniguet, 2003).

Les principales causes de la salinisation secondaire sont : a) L'utilisation des cultures annuelles à la place des cultures pérennes ; b) L'extension de l'agriculture en irriguée, le drainage insuffisant, et l'utilisation intense des ressources en eau minéralisées dans un pays soumis à un climat chaud et sec, entraînent inévitablement l'apparition du problème de salinité des sols et des eaux (Parihar *et al.*, 2015). La salinisation des sols affecte plus de 831 millions d'hectares de terres à l'échelle mondiale (FAO, 2005).

1.3. Salinité en Algérie

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). La rareté de la pluie (<100 mm/an) contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées (Dekhinat *et al.*, 2010).

1.4. Effets de la salinité sur les plantes

Les sels provoquent chez les plantes des effets ioniques, osmotiques et nutritionnels (Yeo, 1998 ; Parida et Das, 2005). L'effet initial de la salinité, particulièrement à faibles ou à moyennes concentrations, est dû à ses effets osmotiques (Flowers et Flowers, 2005).

L'effet osmotique est le résultat de la réduction du potentiel hydrique du sol suite à une augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire (Levigneron *et al.*, 1995). Une forme de sécheresse physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence (Hopkins, 2003). Parida et Das (2005) notent que l'altération de l'état hydrique conduit à la réduction de la croissance et la limitation de la productivité des plantes.

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des ions, particulièrement le Na^+ et Cl^- (Levitt, 1980) dans le cytoplasme perturbe l'activité métabolique (Haoula *et al.*, 2007). Les effets nutritionnels surviennent lorsque l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des éléments indispensables tels que le K^+ et le Ca^{++} et le NO_3^- (Haoula *et al.*, 2007).

Le stress salin affecte tous les processus majeurs tels que la germination, la croissance, les pigments photosynthétiques, la photosynthèse, l'état hydrique et le rendement (Parihar *et al.*, 2015).

1.4.1. Germination

La germination est définie comme la phase la plus critique du cycle de la plante qui détermine son rendement (Rajjou *et al.*, 2012). Elle est très sensible à la salinité chez plusieurs espèces telles que le piment (Baath *et al.*, 2017), l'atriplex (Kachout *et al.*, 2016) et l'origan (Laghmouchi *et al.*, 2017).

Les données de la littérature rapportent que la salinité affecte la germination des graines en réduisant l'absorption de l'eau (Chartzoulakis et Klapaki, 2000) durant l'imbibition (Ashraf *et al.*, 2003), suite à la diminution du potentiel hydrique du milieu (Tlig *et al.*, 2008). Dans ces conditions, l'hydrolyse des réserves alimentaires stockées dans les tissus et leurs translocations vers l'axe de l'embryon sont limitées (Misra et Dwivedi, 2004).

La salinité peut aussi affecter la germination, en facilitant l'absorption des ions toxiques, qui peuvent causer des perturbations des activités enzymatiques ou hormonales des semences (Jahromi *et al.*, 2008; Daszkowska-Golec, 2011).

L'effet dépressif de la salinité sur la germination est également attribué au stress oxydatif induit par le stress salin (Das *et al.*, 2015; Zavariyan *et al.*, 2015). Dans ce cas, les systèmes de protection antioxydants présents dans les graines deviennent inefficaces, ce qui conduit à l'inhibition de la germination (Khan *et al.*, 2006). Les niveaux élevés des molécules actives

d'oxygène conduisent à la mort cellulaire, en causant des dommages sur les lipides membranaires, les pigments, les enzymes et les acides nucléiques (Goud et Kachole, 2011).

La salinité peut retarder ou inhiber la germination des graines (Fazlali *et al.*, 2013 ; Nabi *et al.*, 2017). Ansari et Sharif-Zadeh (2012) et Nabi *et al.* (2017) déclarent que l'augmentation des concentrations de sel réduit le pourcentage de germination et augmente le temps de germination.

Läuchli et Grattan (2007) proposent un schéma général montrant une relation entre le pourcentage de germination et le temps de germination après l'addition des solutions d'irrigation à différents niveaux de salinité (figure 1). L'augmentation des concentrations salines augmente le temps de germination en retardant le début de germination (Thiam *et al.*, 2013). Généralement, les faibles concentrations de sel induisent un état de dormance des graines et réduisent la vitesse de germination. Alors que les fortes concentrations de sels inhibent la germination et réduisent le pourcentage de germination (Nabi *et al.*, 2017).

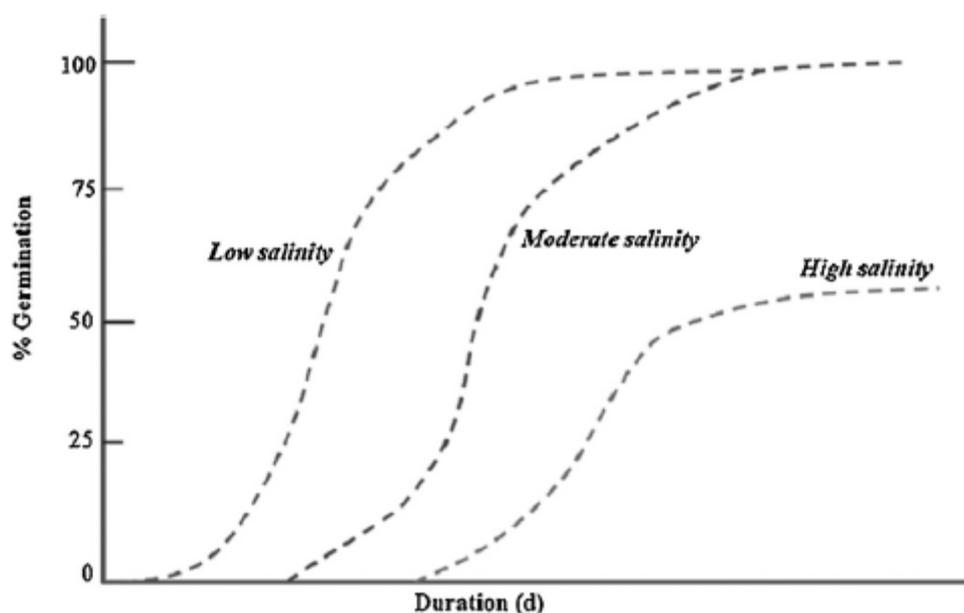


Figure 1. Relation entre le pourcentage de germination et le temps de germination après addition de différents niveaux de salinité (Läuchli et Grattan, 2007).

1.4.2. Croissance

La réduction de la croissance est l'une des premières réponses à la salinité (Parihar *et al.*, 2015). Xiong et Zhu (2002) soulignent que la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. Wang et Nil (2000) rajoutent, que la réponse immédiate au stress salin est la réduction du taux d'expansion de la surface foliaire jusqu'à sa cessation avec l'augmentation des concentrations de sels.

La réduction de la croissance se produit chez toutes les plantes. Elle varie largement avec les différentes espèces végétales (Parida et Das, 2005), la variété à l'intérieur de l'espèce (Ghoulam *et al.*, 2002), le stade de développement à partir duquel la salinité est initiée (Vicente *et al.*, 2004), la durée d'exposition au stress salin, la concentration en sels, la composition en sels (Shannon, 1992), et les interactions avec l'environnement (Shannon, 1997). Elle se traduit par une réduction considérable du nombre de feuilles, du poids frais, du poids sec des feuilles, tiges et racines (Silva *et al.*, 2008).

L'effet dépressif de la salinité sur la croissance des plantes peut être lié aux déséquilibres de l'état hydrique du sol dû aux effets osmotiques des sels (Flowers et Flowers, 2005 ; Parihar *et al.*, 2015). Une forme de sécheresse physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence des feuilles (Hopkins, 2003). De ce fait, l'expansion des feuilles est ralentie et par conséquent la surface foliaire photosynthétique est réduite (Shannon, 1997). Slama (2004) rapporte que l'effet du NaCl sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle, et une diminution de la surface foliaire.

Parmi les autres causes de réduction de la croissance on invoque, les effets toxiques de sels (Levitt, 1980), les déséquilibres ioniques, nutritionnels et hormonaux (Haoula *et al.*, 2007) ou la combinaison de ces facteurs (Yeo, 1998).

Munns et Termaat (1986) ont discuté en détail les processus qui réduisent la croissance des plantes. Ils ont distingué les effets à court terme et à long terme du stress salin. À court terme, la sécheresse physiologique n'est pas la cause de la réduction de la croissance des plantes stressées. C'est plutôt l'énergie nécessaire à la croissance qui devient insuffisante pour assurer la croissance, car cette énergie est dépensée pour accumuler les solutés nécessaires à l'ajustement osmotique. La réduction de la croissance est due cependant, à la présence de concentrations toxiques du Na⁺ ou du Cl⁻ dans les feuilles des plantes soumises à une contrainte saline sévère. À long terme, les niveaux modérés de salinité, même pour de longues durées, peuvent causer des réductions significatives de la croissance et du rendement de la plupart des cultures sans symptômes de toxicité ou de dommages foliaires.

1.5. 3- Tolérance des plantes à la salinité

La tolérance des plantes à la salinité est l'aptitude des cultures à résister aux effets excessifs des sels au niveau de la rhizosphère ; elle est évaluée par l'aptitude des végétaux à croître et survivre sur des substrats salins (Parihar *et al.*, 2015).

Les mécanismes génétiques de la tolérance au sel chez les plantes ne sont pas encore totalement compris à cause de leur complexité (Carillo *et al.*, 2011). Les effets de plusieurs gènes qui contrôlent la tolérance à la salinité des différentes espèces interagissent fortement avec les conditions environnementales (Carillo *et al.*, 2011).

Allen *et al.* (1994) suggèrent que la réponse la plus appropriée pour évaluer la tolérance au sel est la mesure de la croissance ou du rendement, en particulier à des taux de salinité modérés. La tolérance au sel, en fait, peut être habituellement évaluée par le pourcentage de production de biomasse dans des conditions salines par rapport aux conditions témoins (non salées) sur une période de temps, ou en terme de survie (Munns, 2002).

La sensibilité à la salinité d'une espèce donnée peut changer pendant l'ontogénèse (Carillo *et al.*, 2011). Des corrélations significatives et non significatives entre la tolérance au stade germination et croissance sont signalées (Bayuelo-Jimenez *et al.*, 2002). Selon El-Swaify (2000), la plupart des cultures sont tolérantes à la salinité durant la germination, sensibles pendant la croissance et deviennent plus tolérantes pendant les stades finaux de croissance.

Des expériences visant à tester les effets du stress salin à différents stades de croissance indiquent que le sorgho, le blé et le niébé sont plus sensibles au cours de la phase végétative et au début du stade reproduction, moins sensibles au cours de la floraison, et tolérants au cours de la phase du remplissage des graines (Maas *et al.*, 1986 ; Maas et Poss, 1989). En revanche, Thomson (1985) rapporte que la germination correspond au stade de développement le plus sensible du cycle de la plante. En effet, Beatty et Ehlig (1973) confirment cette sensibilité durant la germination et signalent une tolérance au cours de la croissance.

Certains chercheurs suggèrent que les différents stades de croissance, tels que la germination, l'émergence, la croissance et le rendement doivent être étudiés séparément lors de l'évaluation du matériel génétique pour la tolérance au sel. De telles évaluations peuvent faciliter le développement des cultivars présentant des caractéristiques de tolérance au sel tout au long de l'ontogénèse de la plante (Foolad et Lin, 1997). Murillo-Amador *et al.* (2001), signalent que la sélection de tous les caractères est souhaitable durant la phase de germination et de croissance précoce.

Les mécanismes de tolérance à la salinité se répartissent en trois catégories : la tolérance au stress osmotique, l'exclusion de Na^+ des limbes des feuilles et la tolérance tissulaire (Munns et Tester, 2008).

1.5.3.1. Tolérance au stress osmotique

La croissance des plantes stressées est principalement limitée par l'effet osmotique de la salinité (James *et al.*, 2008). La tolérance osmotique implique la capacité de la plante à tolérer la sécheresse physiologique due au stress salin et à maintenir l'expansion des feuilles et la conductance stomatique (Rajendran *et al.*, 2009).

James *et al.* (2008), constatent une corrélation positive entre la conductance stomatique et le taux de croissance des plantules stressées par le sel, la conductance stomatique élevée est liée à un taux d'assimilation de CO₂ élevé. Cependant, si les concentrations de sel augmentent, elles deviennent toxiques, entraînant la mort des feuilles anciennes, la réduction de la croissance foliaire des jeunes feuilles et la limitation de la production de nouvelles feuilles à cause de la réduction de l'offre en photosynthétats (Carillo *et al.*, 2011). Pour cette raison, l'augmentation de la tolérance osmotique implique l'augmentation de l'aptitude des plantes à continuer la croissance et la production de nouvelles et grandes feuilles et à garder une conductance stomatique élevée (Carillo *et al.*, 2011). Munns et Tester (2008) signalent que l'expansion de la surface foliaire ne peut être assurée que chez les plantes bien irriguées.

1.5.3.2. Exclusion de Na⁺

Ce mécanisme de tolérance implique l'aptitude de la plante à réduire la toxicité ionique en minimisant la quantité de Na⁺ qui s'accumule dans le cytosol des cellules, en particulier celles dans les feuilles transpirantes (Carillo *et al.*, 2011). Ce mécanisme implique une régulation de l'expression de canaux ioniques et des transporteurs spécifiques, permettant le contrôle du transport des ions Na⁺ à travers la plante (Rajendran *et al.*, 2009).

À l'échelle de la plante entière, les ions chlorure de sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et aux feuilles. Là, ils sont très peu retenus et re-véhiculés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes de type *excluder*) (Davenport *et al.*, 2005 ; Dajic, 2006). L'exclusion de Na⁺ par les racines permet de prévenir son effet toxique, grâce à son accumulation à des concentrations élevées dans les feuilles (Munns et Tester, 2008).

1.5.3.3. Tolérance des tissus

Le mécanisme de tolérance des tissus, entraîne une augmentation du taux de survie des vieilles feuilles (Carillo *et al.*, 2011). Ce mécanisme nécessite la compartimentation des ions Na⁺ et Cl⁻ au niveau cellulaire et intracellulaire (Munns et Tester, 2008), et la synthèse et l'accumulation de solutés compatibles dans le cytoplasme (Carillo *et al.*, 2011). Les solutés compatibles jouent un rôle dans l'osmorégulation des plantes de diverses manières, telles que la protection des enzymes de dégradation et la stabilisation des membranes et des protéines (Ashraf et Foolad,

2007). Ils comprennent les composés azotés tels que les acides aminés, les amines et les bêtaïnes, mais aussi organiques, tels que les acides, les sucres et les polyols (Mansour, 2000).

2. Traitements prégerminatifs des semences (priming ou amorçage)

Plusieurs approches sont utilisées depuis plusieurs années afin de résoudre les problèmes posés par l'hétérogénéité de la germination et améliorer la croissance et le rendement des cultures (Basra *et al.*, 2003). La technique la plus fréquente est le traitement prégerminatif des semences, dénommées aussi « amorçage », « durcissement » ou « priming » en anglais.

L'amorçage améliore la germination des graines, permet la levée de la dormance et la synchronisation de la germination, améliore également l'émergence des plantules et la croissance sous conditions de stress salin et peut augmenter la tolérance des plantes au sel (Sivritepe *et al.*, 2003).

C'est une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (Rosental *et al.*, 2014), c'est-à-dire au cours de la phase réversible de la germination. Pendant cette phase, la semence peut revenir à son état initial tout en gardant sa capacité de germination (Ratikanta, 2011).

Au cours de l'amorçage, les semences sont hydratées partiellement à un niveau d'humidité suffisant pour permettre le déroulement des processus métaboliques prégerminatifs, sans pour autant déclencher la percée de la radicule (Rosental *et al.*, 2014). Il entraîne la germination partielle des graines en les trempant dans l'eau ou dans une solution de sels pendant une période spécifiée et les déshydrater avant l'émergence de la radicule (Ashraf et Foolad, 2005).

Le succès du priming dépend de plusieurs facteurs, tels que la durée de l'amorçage, la température à laquelle est conduit le traitement, la méthode de prétraitement, la vigueur de la graine, l'espèce ainsi que la concentration de la solution d'amorçage (Maiti et Pramanik, 2013). L'optimisation de la technique d'amorçage est importante afin d'obtenir les meilleurs résultats (Maiti et Pramanik, 2013).

2.1. Processus d'amorçage

L'amorçage des graines est un traitement prégerminatif qui expose les graines à une certaine solution pendant une certaine période, permettant une hydratation partielle, la germination est interrompue juste avant l'émergence de la radicule à travers les téguments (Hussain *et al.*, 2015).

Lorsque les graines sont imbibées dans l'eau, le processus de germination des graines non dormantes (figure 2) se déroule en trois phases : 1) L'imbibition, 2) Phase de latence et 3) La percée de la radicule à travers les téguments (Bewley *et al.*, 2013).

L'hydratation des graines pendant l'amorçage est contrôlée, le niveau d'hydratation est suffisant pour déclencher les processus physiologiques associés à la phase précoce de germination (métabolisme de prégermination), mais empêche la germination complète de la graine (Papparella *et al.*, 2015). Ceci empêche les graines de rentrer dans la troisième phase de germination, et les maintiennent dans la phase initiale de germination (activation) (Heydecker et Coolbear, 1977) (figure 2). Les graines sont par la suite enlevées de la solution d'amorçage et séchées jusqu'à obtention du niveau initial d'humidité, afin de maintenir l'effet bénéfique de l'amorçage (Varier *et al.*, 2010; Ratikanta, 2011). Le séchage est nécessaire pour permettre le stockage des semences après l'amorçage (Di Girolamo et Barbanti, 2012).

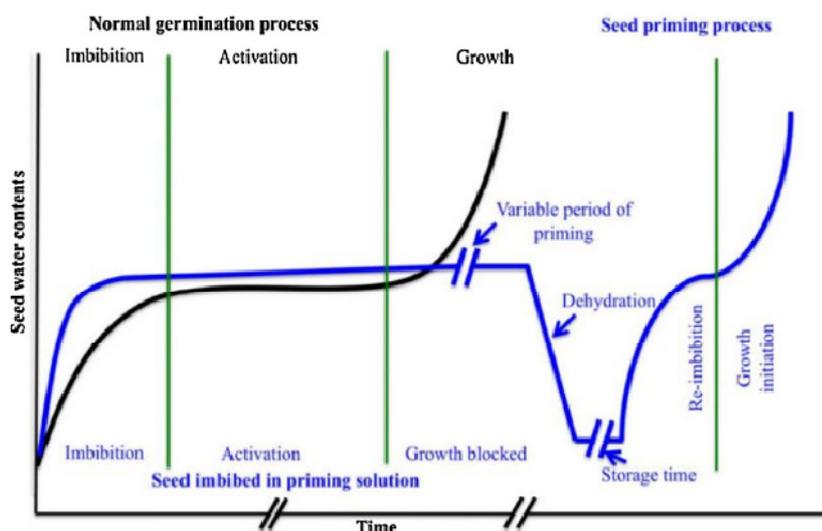


Figure 2. Schéma montrant le processus de germination normale et du processus de priming (Rajjou *et al.*, 2012).

2.2. Techniques d'amorçage des graines

Selon Eskandari (2013), il y a plusieurs techniques d'amorçage utilisées et classées selon les agents de la solution. Celles-ci incluent l'hydropriming, l'osmopriming, l'halopriming, l'humidification, la stratification et le choc thermique. Les quatre premières approches sont les plus communes pour l'amorçage. Les agents d'amorçage communément utilisés incluent des sels inorganiques tels que le CaCl_2 , le KNO_3 , le Na_2SO_4 et le NaCl (PILL et NECKER, 2001).

2.2.1. Hydropriming

L'hydropriming est la technique d'amorçage la plus simple qui consiste à imbiber les semences avec l'eau distillée puis à les déshydrater avant de les semer (Ghassemi-Golezani *et*

al.,2008). Cette technique est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être néfastes pour l'environnement et la santé humaine (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008).

L'hydropriming améliore la germination et la croissance des plantes en conditions normales et en conditions salines (Ashraf *et al.*, 2008), Kaya *et al.* (2006) notent un effet améliorateur de la germination et de la croissance du tournesol sous stress salin. L'hydropriming est efficace pour atténuer l'effet négatif de la salinité par l'amélioration de la germination et la croissance des variétés d'orges (Afzal *et al.*, 2006). Ashraf *et al.* (2008), notent que le mécanisme précis par lequel l'hydropriming améliore la germination, la croissance et le rendement des plantes en conditions normales et en conditions stressantes n'est pas bien connu.

2.2.2. Osmopriming

L'osmopriming est le type d'amorçage des semences le plus communément utilisé, qui consiste à faire subir aux graines un prétraitement osmotique seul ou suivi d'une déshydratation des graines avant l'apparition de la radicule (Nyarko *et al.*, 2006). Cette hydratation contrôlée des semences est réalisée grâce à des agents osmotiques tels que le polyéthylène glycol (PEG), les sels (KNO₃, NaCl, KCl) ou les polyols (mannitol) (Yari *et al.*, 2010).

L'amorçage des graines par l'osmopriming augmente l'activité de la majorité des enzymes impliquées dans la germination des graines et modifie la mobilisation des substances organiques vers différentes parties de l'embryon (Nasri *et al.*, 2011).

2.2.3. Halopriming

L'halopriming consiste à tremper les graines dans une solution de sels inorganiques (Basra *et al.*, 2005). De nombreuses études montrent une amélioration considérable dans la germination des graines, l'émergence, la croissance et le rendement des plantes dans les sols affectés par la salinité suite à l'halopriming des graines (Ashraf et Foolad, 2005). 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).

Nakaune *et al.* (2012), concluent que les effets observés du priming par le NaCl sur la germination de la tomate, sont dus à une augmentation du contenu en gibbérelline, via l'activation du gène de biosynthèse de la gibbérelline, et une augmentation plus tard dans l'expression des gènes impliqués dans l'affaiblissement de l'endosperme. Le priming des graines de piment avec du NaCl, KCl et du CaCl₂ provoque une augmentation marquée des teneurs en proline (Aloui *et al.*, 2014).

2.2.4. Hormone-priming

Le prétraitement des graines avec des concentrations optimales de régulateurs de croissance peut améliorer efficacement la germination, la croissance et le rendement des récoltes sous les conditions normales et sous conditions de stress (Ashraf et Foolad, 2005). Plusieurs régulateurs de croissance sont utilisés communément pour l'hormone-priming, y compris les auxines, les gibbérellines, l'acide abscissique, l'éthylène, l'acide salicylique, et l'acide ascorbique (Fariduddin *et al.*, 2003).

2.3. Mécanismes de l'amorçage

L'amorçage des graines stimule le métabolisme de pré-germination et prépare les graines pour la sortie de la radicule (Bewley *et al.*, 2013). De plus, il réduit la résistance physique de l'endosperme pendant l'imbibition, répare les membranes et développe les embryons immatures (Bewley *et al.*, 2013). Par conséquent, les plantes émergent rapidement, ont une meilleure croissance et résistent aux conditions de stress (Fabunmi *et al.*, 2012).

Les changements physiologiques, biochimiques, cellulaires et moléculaires incluent, la division cellulaire et l'allongement, la fluidité de la membrane plasmique, l'induction des transcrits de protéines moléculaires de stress (*heat-shock proteins* et *late embryogenesis abundant proteins*), et des changements dans l'activité du système antioxydant (Kubala *et al.*, 2015). De plus, l'amélioration dans le processus de germination des graines amorcées est liée à une augmentation du potentiel de synthèse des protéines (Kubala *et al.*, 2015).

La tolérance au stress est accomplie via deux stratégies. En premier, l'amorçage des graines induit une activation des processus pré-germinatifs, tels que le métabolisme énergétique, la mobilisation des réserves, l'expansion de l'embryon et la fragilisation de l'endosperme (Chen et Arora, 2011). Cela facilite le passage de l'état de graines sèches en dormance à un état de germination et mène à une amélioration du potentiel de germination (Benamar *et al.*, 2003). Deuxièmement, l'amorçage impose un stress abiotique sur les graines qui empêche la sortie de la radicule, mais stimule les réponses au stress, et induit une tolérance croisée (Pastoret *et al.*, 2013). Ces deux stratégies créent une 'mémoire d'amorçage' dans les graines qui peut être utilisée lors de l'exposition ultérieure au stress et leur permettre une grande tolérance à ce stress (Chen et Arora, 2011).

3. Rôle du calcium dans la réponse au stress salin

D'une manière générale, les cellules végétales accumulent les ions potassium et excluent le sodium. Le rapport potassium / sodium élevé résultant dans les cellules permet au potassium d'effectuer ses fonctions essentielles que le sodium ne peut pas accomplir (Apse et

Blumwald, 2007). Selon les mêmes auteurs, cette sélectivité en faveur du potassium est particulièrement importante dans les zones arides et semi arides, où l'excès en sels de sodium dans le sol provoque souvent des problèmes graves pour la production végétale.

La présence du NaCl dans le sol inhibe l'absorption de K^+ , Ca^{2+} , P, NO_3^- et NH_4^+ (Shabala *et al.*, 2006; Rahman *et al.*, 2016). Les teneurs en ces éléments dans les parties aériennes des végétaux diminuent en présence de NaCl (Wu and Wang, 2012). Cette diminution est associée à l'inhibition de l'absorption de ces éléments par le système racinaire (Klobus *et al.*, 1988). Le sodium entre en compétition avec le potassium pour les sites d'absorption et les fonctions essentielles telles que l'activation des enzymes, ce qui permet de limiter la croissance des plantes (Jasim *et al.*, 2016).

De plus, la salinité induit la production des formes actives d'oxygène (ROS), parmi l'oxygène singulet (1O_2), le radical superoxyde (O_2^-), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et le radical hydroxyle (OH), suite à l'altération du métabolisme au niveau des mitochondries et chloroplastes (Blumwald *et al.*, 2004). Ces formes actives d'oxygène causent le stress oxydatif dont les effets néfastes se répercutent sur différents composants cellulaires tels que les lipides membranaires, les protéines et les acides nucléiques (Hasanuzzaman *et al.*, 2013; Mishra *et al.*, 2013).

Les plantes éliminent les molécules actives d'oxygène par le système antioxydant non enzymatique (acide ascorbique, glutathionne et tocophérols) et des systèmes antioxydants enzymatiques (exemple : superoxide dismutase, la catalase, ascorbate peroxydase ...ect) (Jithesh *et al.*, 2006 ; Hasanuzzaman *et al.*, 2012).

Dans ces conditions, l'amélioration de l'ajustement osmotique et l'équilibre ionique et du système antioxydant sont nécessaires pour le développement des plantes tolérantes à la salinité (Wu et Wang, 2012 ; Nahar *et al.*, 2015). En d'autres termes, le maintien d'une concentration suffisante en K^+ et Ca^{++} et un rapport de sélectivité K^+/Na^+ élevé dans les parties aériennes (Greenway et Munns 1980), et d'un système antioxydant efficace sont nécessaires pour le fonctionnement normal des cellules et organes (Wutipraditkul *et al.*, 2015).

En tant que macroélément essentiel, le calcium joue des rôles importants tels que la stabilisation des membranes et des parois, l'amélioration du processus métabolique des autres nutriments, la régulation du processus enzymatique et hormonal, et l'amélioration du système de défense antioxydant (Rahman *et al.*, 2016). Le calcium est nécessaire pour permettre un transport suffisant de K^+ ; il est également important pour la sélectivité du transport ionique (Guimarães *et al.*, 2012 ; Shabala et Pottosin, 2014).

Le calcium Ca^{2+} peut réguler l'influx de Na^+ dans les racines. L'ajout de Ca^{2+} à la solution externe peut réduire les effets toxiques de Na^+ en raison de l'inhibition de l'influx unidirectionnel de Na^+ par le Ca^{2+} (Jasim *et al.*, 2016). L'influx de Na^+ , sensible au Ca^{2+} se produit au travers des canaux cationiques non sélectifs (NSCCs - *Non Selective Cation Channels*) (Demidchik et Tester, 2002 ; Shabala *et al.*, 2006), des canaux nucléotides cycliques-dépendants (CNGCs) (Kaplan *et al.*, 2007) ou des récepteurs au glutamate (GLRs) (Davenport, 2002) qui sont bloqués par le Ca^{++} en cas de stress ionique (Demidchik et Maathuis, 2007).

En outre, le supplément en calcium peut inhiber l'efflux de K^+ induit par le Na^+ par la dépolarisation des membranes (Jaleel *et al.*, 2007 ; Shabala et Pottosin, 2014). En effet, Shabala *et al.* (2003) montrent que le supplément en Ca^{++} à la solution saline (NaCl), permet de limiter ou inhiber totalement l'efflux de H^+ , K^+ et NH_4^+ à travers l'épiderme racinaire, induit par le stress salin chez l'orge. Les mêmes auteurs confirment après mesure du potentiel membranaire des cellules épidermiques racinaires, que les niveaux élevés du supplément en calcium sont capables de restaurer (ou dépolariser) le potentiel membranaire jusqu'au même niveau que celui du témoin non soumis au stress salin.

Soualem *et al.* (2014) ont étudié l'effet de l'apport de sulfate de calcium (CaSO_4) chez deux populations algériennes d'*Atriplex halimus* soumises au stress salin ; les résultats montrent une réduction de la croissance avec l'augmentation de la concentration de NaCl . La teneur en Na^+ des feuilles augmente avec l'augmentation du stress salin et entraîne une réduction de la croissance des plantes. En réponse à l'intensité du stress salin et à l'apport de calcium (CaSO_4), les plantes accumulent plus de sucres solubles, de proline et de K^+ , le calcium atténue l'effet négatif de la salinité sur la croissance.

JASIM *et al.* (2016) ont étudié l'efficacité du calcium à différentes concentrations dans l'amélioration de la tolérance à la salinité du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). Ils indiquent que le calcium exogène améliore la croissance en hauteur, la surface foliaire, les teneurs en chlorophylle, la teneur relative en eau, les teneurs en proline, l'activité peroxydase, les teneurs en K^+ et le rapport K^+/Na^+ . Ces auteurs constatent que le calcium exogène peut améliorer le système de défense antioxydant des plantes au stress salin, ils suggèrent l'existence d'une corrélation (lien) entre l'enzyme antioxydant (peroxydase) et l'ion calcium impliqué dans la stimulation de la croissance et l'amélioration de la tolérance au sel.

Les événements précoces de l'adaptation des plantes au stress commencent par les mécanismes de perception puis de signalisation, via une transduction de signaux et de messagers

afin d'activer les diverses réponses physiologiques et métaboliques, y compris l'expression de gènes de réponse au stress (HANANA *et al.*, 2011).

Le calcium joue un rôle en tant que molécule messenger secondaire principale dans différents aspects de la croissance et du développement des plantes et la tolérance au stress, y compris la salinité (Jaleel et Azooz, 2009). Dans les cellules, le stress osmotique stimule initialement l'influx de Ca^{2+} et inhibe son efflux (Beffagna *et al.*, 2005).

En outre, les flux de Ca^{2+} induits par le stress osmotique sont liés à l'acide abscissique (ABA) (Diedhiou *et al.*, 2008). En effet, l'ABA peut induire la libération de Ca^{2+} . Ce dernier peut à la fois activer des récepteurs Ca^{2+} dépendants et jouer un rôle dans la transduction du signal (Diedhiou *et al.*, 2008).

Selon Mahajan *et al.* (2008), des augmentations transitoires de Ca^{2+} cytosolique sont perçues par les différentes cascades de phosphorylations : CDPK (*Ca²⁺-dependent protein kinases*) (Chinnusamy et Zhu, 2003), MAPK (*mitogen activated protein kinase*) (Rodriguez *et al.*, 2010), protéines phosphatases, etc. Ces protéines kinases par la suite induisent l'expression des facteurs de transcriptions tels que : EREBP (*Ethylene-Responsive Element Binding Proteins*), EREBP/AP2 (Liu *et al.*, 1998), bZIP (*basic leucine zipper*) (Jakoby *et al.*, 2002) et MYB (Abe *et al.*, 1997).

Ce sont les éléments clés qui contrôlent et modulent les voies d'adaptation au stress abiotique chez la plante (Golldack *et al.*, 2011). Les facteurs de transcription à leur tour activent l'expression des gènes de réponse au stress tels que les gènes codant des LEA-like, les antioxydants, la synthèse d'osmolytes, les enzymes, les transporteurs, etc... qui vont conduire à la mise en place des mécanismes de tolérance au stress (HANANA *et al.*, 2011).

D'après Rahman *et al.* (2016), l'apport supplémentaire de calcium aux plantules de riz stressées par le sel, améliore l'hémostase ionique par inhibition de l'influx de Na^+ et la fuite des ions K^+ à travers les canaux cationiques non sélectifs (NSCCs - *Non Selective Cation Channels*) et les canaux de potassium (Gork). Selon les mêmes auteurs, le calcium améliore également la détoxification des molécules actives d'oxygène par le renforcement du système de défense antioxydant.

4. Le niébé

4.1. Origine et répartition géographique du niébé

Selon Brink et Belay (2006), *Vigna unguiculata* L. Walp est originaire d'Afrique, où l'on trouve une grande diversité génétique chez le type sauvage sur tout le continent. L'Afrique

australe étant la plus riche, il est introduit à Madagascar mais c'est en Afrique de l'Ouest que l'on trouve la plus grande diversité génétique de niébé cultivé (Timko *et al.*, 2007).

L'origine précise de la culture du niébé est un sujet de spéculations et de discussions depuis de nombreuses années. Baudoin et Marechal (1985) proposent l'Afrique de l'Est et du Sud comme centre de diversité primaire, et l'Afrique de l'Ouest et centrale comme centre de diversité secondaire. Faris (1965), en se basant sur une description cytologique et morphologique des formes sauvages et cultivées du niébé, montre que l'Afrique de l'Ouest, et probablement le Nigeria, est le centre d'origine du niébé. Le centre de domestication de la plante reste encore incertain et plusieurs hypothèses sont formulées en fonction des auteurs. Certains auteurs proposent l'Afrique de l'Ouest comme le centre de domestication (Rawal, 1975 ; Marechal *et al.*, 1978).

Pasquet (1994) considère le nord-est de l'Afrique comme un éventuel centre de domestication du niébé. Cette hypothèse est également partagée par Coulibaly *et al.* (2002) qui se basant sur les marqueurs moléculaires AFLP et montrent que la diversité génétique est plus grande chez les formes spontanées originaires de l'Est de l'Afrique que chez celles de l'Ouest. Selon Verderdorgh et Baudoin (2001) le niébé est originaire de l'Afrique où il a été domestiqué au Néolithique.

4.2. Description botanique

Le niébé est une plante annuelle, autogame, herbacée, à port variable, à tige érigée, rampante, volubile, à croissance déterminée ou indéterminée. Elle peut atteindre 60 cm de hauteur (Borget, 1989). Le nombre chromosomique est $2n=22$ (Verdcourt, 1970).

Le système racinaire du niébé est généralement bien développé, ce qui permet à la plante de bien exploiter le sol. Les racines portent des nodules qui contiennent les bactéries fixatrices d'azote (Maxted *et al.*, 2004).

Les feuilles de niébé sont toujours pétiolées stipulées généralement (Maxted *et al.*, 2004). Les deux premières feuilles sont opposées, sessiles et entières, tandis que les autres feuilles sont alternatives, pétiolées et trifoliées (Moore *et al.*, 2008). Les fleurs ont une structure papilionacée, bractéolé, lancéolé ou large-oblong, le calice de forme tubulaire, la corolle est mauve, rose, blanche ou bleutée. Les pédicelles sont courts de 1-3 mm, (Maxted *et al.*, 2004 ; Brink et Belay, 2006).

Les gousses sont de taille variable (13-30 cm), elles sont droites à linéaire-oblong, rectangulaires, cylindriques, aplaties, ou légèrement incurvées, plus ou moins comprimées avec une ex-

trémité aigüe (Timkoet *al.*, 2007). Les graines sont ovoïdes, réniformes et sensiblement plus petites que celles des haricots verts, peu ridées, on trouve 8 à 20 graines par gousse. Elles sont de couleur variable (généralement blanches) et munies d'une tâchenoire «œil» autour du hile (Couplan et Corbesie, 2005).

4.3. Répartition de Niébé dans le Monde et en Algérie

Dans le monde, la superficie annuelle cultivée du niébé s'élève à plus de 12,5 millions d'hectares, dont 9,8 millions sont réalisés en Afrique de l'Ouest, ce qui en fait la plus grande zone de production et de consommation du niébé dans le monde. Sa production annuelle mondiale varie entre 3,1 et 3,3 millions de tonnes de graines sèches dont plus de 64% sont produits en Afrique (Pasquet, 1994).

En Algérie, le niébé est une espèce qui présente une grande diversité génétique (Ghalmi *et al.*, 2009). Il est introduit depuis fort longtemps dans le pays mais n'a jamais été cultivé à très grande échelle.

La présence de formes cultivées du niébé en Algérie est signalée pour la première fois par certains auteurs (Singhet *al.*, 1997). Les écotypes locaux sont maintenus dans les régions les plus reculées (montagnes de Kabylie, oasis du Sahara, le littoral d'El Kala). Ils sont utilisés dans l'art culinaire traditionnel de certaines régions où on leur attribue parfois des vertus thérapeutiques.

Le niébé est généralement cultivé sur des petites superficies relevant souvent du jardinage, ce qui peut causer à long terme son extinction. Les fermiers pratiquant la culture traditionnelle du niébé, que ce soit par choix ou par nécessité, conservent et développent cette ressource en préservant les écotypes locaux et le savoir-faire local associé (Ghalmi *et al.*, 2009).

Ces formes cultivées sont également citées par Trabut (1935) dans son répertoire des noms indigènes des plantes sous le nom berbère de *Tadelaght*. Anoun et Echikh (1990) entreprirent la première étude biosystématique des formes cultivées. Un premier travail de collecte d'échantillons de graines des cultivars traditionnels du niébé a eu lieu en 1996 par une équipe de chercheurs du Centre de Recherche Scientifique et Technique des Régions Arides (CRSTRA, Algérie), dans deux régions différentes en Algérie : les oasis du Touat (sud-ouest) et les montagnes de la Kabylie dans le nord de l'Algérie (Echikh *et al.*, 1997).

Echikh (2000) a présenté une étude iso-enzymatique des formes cultivées de *Vigna unguiculata* collectées dans les montagnes de Kabylie au nord et les oasis du Touat au sud. Par ailleurs, une caractérisation agromorphologique et génétique des écotypes locaux de niébé, collectés dans différentes régions de l'Algérie, a été réalisée par Ghalmi *et al.* (2009).

4.4. Importance de la culture du niébé dans les systèmes de production

Le niébé est cultivé pour ses graines sèches en Afrique de l'Ouest, en Inde et aux USA, pour ses gousses vertes en Afrique de l'Est et comme fourrage très prisé par le bétail en Australie (West et Francois, 1982). Il constitue une bonne source d'engrais vert et de matière organique dans les sols pauvres, particulièrement en zones semi arides (Ehlers et Hall, 1997 ; Murillo Amador *et al.*, 2006). Avec son taux en protéines de 23 % à 25 % (tableau 1), le niébé est l'une des sources de protéines la moins chère pour les populations démunies (Brink et Belay, 2006 ; Kouadio *et al.*, 2007).

Tableau 1: Valeur nutritionnelle de 100 g de la partie comestible des grains mûrs (Gm) et immatures (Gi) et des extrémités de tiges feuillées (TF) de *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

	Eau (g)	Énergie (kcal)	Pro- téines (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Vitamine A (UI)	Ca (mg)	Mg (mg)	P (mg)
Gi	77,2	90	3,0	0,4	18,9	0	126	51	53
Gm	12,0	336	23,5	1,3	60,0	50	110	184	424
TF	89,8	29	4,1	0,3	4,8	712	63	43	9

Source: (Brink et Belay, 2006).

Le niébé est une culture tropicale que l'on rencontre sous différentes conditions climatiques allant du semi-aride au sub-humide (Lush et Rawson, 1979) ; comme c'est le cas du Sahel ou du Sahara algérien (Echikh, 2000). Plusieurs variétés sont cultivées dans des zones tropicales et sub-tropicales où la salinité est le principal facteur limitant la productivité des cultures (Murillo-Amador *et al.*, 2006).

Le niébé est réputé avoir une bonne tolérance à la sécheresse et aux températures élevées (Hall et Patel, 1985). Il est considéré comme une culture améliorante grâce à sa capacité de fixer l'azote atmosphérique et à sa symbiose avec les mycorhizes (Kawapata et Hall, 1985). Il peut également donner un rendement élevé lorsque les conditions sont favorables, notamment avec l'irrigation d'appoint (Turk *et al.*, 1980).

Dans les associations culturales avec le sorgho, le maïs, le coton ou le mil, il constitue un engrais vert (un apport de 60-70 kg/ha d'azote) ainsi qu'une plante de couverture pour empêcher

la dégradation des sols cultivés. Il joue un rôle important dans la rotation des cultures, grâce à la propriété de certains cultivars d'inhiber la reproduction des nématodes (Ehlers et Hall, 1997).

4.5. Germination du niébé

La germination du niébé est épigée. Les deux premières feuilles vraies sont opposées, sessiles, entières, tandis que le reste des feuilles sont alternes, pétiolées, et trifoliées. La structure de la plante varie selon le génotype, la température de croissance, et la photopériode (Chaux et Foury, 1994).

4.6. Croissance

Le niébé est une plante annuelle herbacée ou vivace, grimpante, rampante ou plus ou moins érigée des saisons estivales, cultivée comme plante annuelle, exige une température minimale de croissance de 18°C pendant tout le stade végétatif, avec une température optimale d'environ 28°C pendant le stade gousse (Moore *et al.*, 2008). Le niébé ne tolère pas le gel et les températures supérieures à 35°C qui provoquent la chute des fleurs et des gousses (Brink et Belay, 2006).

Les réserves contenues dans les cotylédons assurent la croissance vigoureuse de la plante (Charrier *et al.*, 2001). Le niébé est une plante à jour court (Timko *et al.*, 2007).

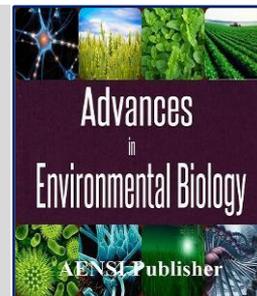
Les génotypes précoces peuvent arriver à maturité en 60 jours, alors que les génotypes tardifs ont besoin de plus de 170 jours pour arriver à maturité, et parfois jusqu'à 240 jours pour que les dernières gousses mûrissent (Moore *et al.*, 2008).

Chapitre II : variations génotypiques de tolérance au stress salin des écotypes algériens de niébé, au stade germination.

Résumé

Le peu d'information disponible sur les effets de la salinité sur la germination du niébé algérien nous a incité à étudier les niveaux de tolérance au sel de cinq populations (EK1, TZ7, A17, B23 et IS13) du niébé *Vigna unguiculata* (L.) Walp. L'objectif de cette étude est de déterminer les variations génotypiques entre les populations de niébé en terme de stress salin. Le pourcentage de germination journalier et final, l'indice de tolérance au stress et la vitesse de germination sont déterminés sous différentes concentrations de NaCl (T0 (témoin, eau distillée), T1: 4 dS m⁻¹, T2 : 8 dS m⁻¹, T3 : 12 dS m⁻¹, T4 : 16 dS m⁻¹ et T5 (20 dS m⁻¹) pendant 8 jours dans des conditions contrôlées. Des tests statistiques sont effectués sur les différents paramètres étudiés pour mettre en évidence la relation entre le stress salin et la germination du niébé. Le pourcentage de germination, le pourcentage final de germination et la vitesse de germination diminuent significativement avec l'augmentation de la concentration de NaCl à partir de 12 dS m⁻¹. Les réponses génotypiques sont significatives pour tous les caractères de germination, qui sont généralement retardés par le stress salin. Les indices de tolérance au stress permettent de classer les populations de niébé en populations tolérantes (EK1, TZ7 et B23) et autres sensibles (A17 et IS13). Le pourcentage final de germination d'EK1, TZ7 et B23 est significativement réduit à partir de 16 dS m⁻¹ (TZ7) et 20 dS m⁻¹ (EK1 et B23). Sur la base des résultats de l'expérience, on peut envisager d'inclure les génotypes tolérants dans le programme d'amélioration du niébé et dans les futures études génétiques sur la tolérance au sel.

MOTS-CLÉS: Salinité, populations locales, Maghreb, *Vigna unguiculata*, germination.



Evaluation of Algerian Cowpea genotypes for salt tolerance at germination stage

¹Fahima NABI, ¹Assia Chaker-Haddadj, ¹Sihem Tellah, ²Abdelkader Ghalem, ¹Ghania Ounane, ¹Naima Ghalmi, ³Réda Djebbar and ¹Sidi Mohamed Ounane

¹Laboratoire "Amélioration intégrative des Productions Végétales (AIPV), Département de production végétale. École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), Avenue Hassan Badi, 16004, El Harrach, Alger Algérie.

²Département de chimie, Université Saad Dahleb, Rue de Soumaa Soumaa, Blida, Algerie.

³Laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes, faculté des Sciences Biologiques. Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB). BP 32. El Alia. 16025 Bab Ezzouar Alger (Algérie)

Address For Correspondence:

Fahima NABI, Laboratoire "Amélioration intégrative des Productions Végétales (AIPV), Département de production végétale. École Nationale Supérieure Agronomique (ENSA), Avenue Hassan Badi, 16004, El Harrach, Alger Algérie. Phone : +213 (0) 556 39 05 01; E-mail: fahimanabi@yahoo.com

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY). <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Received 8 January 2017; Accepted 28 April 2017; Available online 24 May 2017

ABSTRACT

The lack of information about the effects of salinity on germination of Algerian cowpea prompted us to study the salt tolerance levels of five populations (EK1, TZ7, A17, B23 and IS13) of cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. The objective was to determine genotypic differences among Cowpea accessions in terms of salt stress. In this study, Daily and final germination percentage, as well as salt tolerance index and speed of germination of the seeds of 5 cowpea landraces were determined under various salt (NaCl) stresses with electrical conductivities of T0 (control, distilled water), T1 (4 dS m⁻¹), T2 (8 dS m⁻¹), T3 (12 dS m⁻¹), T4 (16 dS m⁻¹), T5 (20 dS m⁻¹) for 8 days under controlled conditions. Statistical tests were performed on the various parameters studied to highlight the relationship between the salt stress and the germination of cowpea. Germination percentage, final germination percentage and speed of germination decreased significantly with increased NaCl concentration (from EC 12 dS m⁻¹). Genotypic responses were significant for all germination traits, which were all generally retarded by salt stress. Salt total and salt ranking tolerance indices grouped the cowpea landraces into tolerant (EK1, TZ7 and B23) and susceptible ones (A17 and IS13). Final germination percentage of EK1, TZ7 and B23 has been reduced significantly from 16 dS m⁻¹ (TZ7) and 20 dS m⁻¹ (EK1 and B23). Based on the results of the experiment, The tolerant genotypes can be considered for inclusion in Cowpea breeding programme and in future genetic studies for salt tolerance.

KEYWORDS

Salinity, landraces, Maghreb, *Vigna unguiculata*, germination

INTRODUCTION

Salinity is one of the major abiotic stresses for crop production in many parts of the world [2] including the south of Algeria. These regions are predominantly arid to semiarid and are affected by salinity due to low rainfall, high evapotranspiration and saline groundwater. With the persistent drought in these regions, the surface water availability for irrigation has declined and groundwater is increasingly used by farmers for irrigation. Djili et al. [12] indicated that the salinity, which was initially lower than 2 dS/m in surface horizons, increased to more than 12 dS/m after five irrigations, they showed that secondary salinisation is a factor of soil degradation, substantially reducing crop yields. Due to the salinization and reduction of available water resources, growers in the south of Algeria facing

great challenges to even grow crops. Therefore, identifying alternative crops that are salt tolerant is imperative for sustaining some economic viability for growers in this region of Algeria.

Copyright © 2017 by authors and Copyright, American-Eurasian Network for Scientific Information (AENSI Publication).

The accumulation of soluble salts in soils leads to an increase in osmotic pressure of the soil solution, which may limit the absorption of water by the seeds or by the plant roots. Salt damage to plants is attributed to the reduction in water availability, toxicity or specific ions, and nutritional imbalance caused by such ions [16]. However, the magnitude of the effect of salinity varied with the plant species, type and level of salinity. There are interspecies, intraspecies and intercultivar variations, and even individual lines differ at different ontogenetic stages to salt tolerance, which provides scope for selection of genotypes for salt tolerance [35].

Earlier studies of many crop, including *Vigna unguiculata*, suggests that salt tolerance is a developmentally regulated, stage specific phenomenon such that tolerance at one stage of plant development may not be correlated with tolerance at other developmental stages [28;15]. Therefore, specific stages throughout the ontogeny of the plant, such as germination and emergence, seedling survival and growth, and vegetative and reproductive growth, should be evaluated separately during the assessment of germplasm for salt tolerance. Such assessments may facilitate development of cultivars with salt tolerance characteristics throughout the ontogeny of the plant [2]. Screening and selection for any characters are desired at the earliest developmental stage possible [31].

Germination of seeds, one of the most critical phases of plant life [35], is greatly influenced by salinity [43]. Salinity may cause significant reductions in the rate and final percentage of germination, which in turn may lead to uneven stand establishment and reduced crop yields [16]. Ashraf and Foolad [2] proved that genetic information regarding seed germination and related traits could help improve seedling emergence in saline soils through breeding programs. Rapid, uniform, and complete germination is a prerequisite for successful transplant production and stand establishment in vegetable crops [16].

Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) is a species widely grown for different purposes, for example as a fodder crop for livestock, as a green vegetable and as a dry bean [39]. The cultivated area of cowpeas worldwide was estimated as being 14 million ha in 2000 [36] with the most production being in Africa in the Sudanian Savanna zone and the Sahelian zone. Most of the areas where cowpeas are grown are semiarid [23]. Cowpea, is reputed to be the most drought and heat resistant crop in semi-arid Africa [21] and tolerate low soil fertility due to their high rate of nitrogen fixation [23]. However, production is constrained by susceptibility to biotic and abiotic stresses and the absence of improved cultivars [40]. According to the divisions for classifying crop tolerance to salinity, cowpea is a moderately sensitive crop [27] but exhibits greater salt tolerance during later stages of plant growth [28]. Therefore, cowpea can play an important role in agricultural development, particularly in the Algerian Sahara where the drought and salinity frequently limit crop production. The effect of salinity on the germination, vegetative growth, or yield of cowpea has been studied [39;28;30;31;20;40]. However, there are no data about the salinity tolerance of current cowpea accessions from Algeria. For this reason, the main aim of the present study is to provide the first information on the tolerance of cowpea during germination stage to salinity changes and to establish their possible range of salinity tolerance and information about the promising and diverse genotypes which may help to execute further research on breeding programs for genetic improvement of cowpea for saline environment. Therefore, the present study was undertaken to evaluate the effect of salinity on seed germination in 5 genotypes of Algerian cowpea and further to assess their genotypic variation.

MATERIAL AND METHODS

1. Plant materials :

Seeds of 5 cowpea landraces were collected from several areas across Algeria during years 2003, 2004, and 2005 [19]. The seeds were conserved ex situ (seeds dried and stored at -20°C and multiplied in a field collection) at the “Institut Technique des Cultures Maraichères” (ITCM Staouali, Algiers). Based on the locations in which they were collected, the cowpea landraces were assigned the following names: EK1, TZ7, A17, IS13 and B23 native respectively of El Kala, Tizi Ouzou, Adrar, In Salah and Bechar. The selection of cultivated accessions was based on contrasting seed size, colour and origin. Some agromorphological features of cowpea landraces, as well as their geographical and climatic distribution within the Algerian territory, are reported in table 1. Kabylie is a region in the North of Algeria, part of the Tell Atlas located at the edge of the Mediterranean Sea. Its climate is sub-humid with a temperate winter and rainfall >700 mm/year. Local soils, which are composed of clay-sand to marl, are often degraded on the slopes. El Kala is located in the extreme Northeast of Algeria in a triangle of coastal plains and hills bounded by the Mediterranean Sea and the Tunisian border. The climate of El Kala is humid to sub-humid with mild winters with annual average precipitation of 910–1,300 mm. Several soil types are present: marshes, boggy soil, dunes, and wet meadows that become dry in the summer. The oases of the Sahara are characterized by a hyper-arid climate with cold winters and very hot, dry summers. Seasonal variation may be huge, from over 50°C during summer days, to temperatures below freezing during winter nights. Daily variation is also very important. Not only does the Sahara receive very little rain, but precipitation events are also extremely irregular, ranging from 1 to 180 mm/year with a high degree of evapotranspiration. Local soils are mainly comprised of sand.

2. Methods:

2.1. Germination experiments:

Seeds were surface sterilized in 5% sodium hypochlorite solution for 5 min, subsequently washed with distilled water and air-dried before being used in the germination experiments to avoid fungus attack. Petri dishes (9 cm diameter) containing two disks of Whatman No. 1 filter papers were prepared. Three replications of 10 seeds of the landraces EK1, TZ7, A17, IS13 and B23 of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), were submitted to germination test in germinator at $25^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ and $80\% \pm 1\%$ of relative humidity, according to a totally randomized design.

These seeds germinated in "germitest" papers imbibed in distilled water (H_2O) or in sodium chloride (NaCl) solutions in a proportion of 2,5 times the weight of the paper [10]. The NaCl concentrations were 0, 4, 8, 12, 16 and 20 dS m^{-1} , which electrical conductivity (EC , dS m^{-1}) was measured with a conductivimeter. Petri dishes were tightly sealed using parafilm to prevent evaporation; thus minimizing changes in concentration of salt solutions. seeds were considered to be germinated with the emergence of the radical [9].

Germination parameters calculation:

The final germination percentage (FGP) was calculated by using the following equation:

$$\text{FGP} = N_g/N_t \times 100 \quad (1)$$

N_g is the number of the germinated seeds on the last day of counting (day 8) and N_t is the total seeds in each treatment.

The speed of germination (SG, without unit), was calculated using the equation below, as described by Maguire (29), and Shahba et al. (34), respectively.

$$\text{SG} = \frac{\sum i [g_i - g_{(i-1)}]}{t} \quad (2)$$

g_i is the total germination percentage on an incubation day i , minus the total germination percentage on the previous day $g_{(i-1)}$, and divided by the incubation day i .

The Salt tolerance index (STI) status of each genotype was determined as a ratio of germination response (mean value) under salt stress to control condition [18] (3)

2.2. Statistical analyses :

The experiments were carried out in factorial completely randomized design (CRD). Factor-1: Genotypes having 5 levels and Factor 2: Salinity having 6 levels with three replications where each replication consisted of 10 samples. The statistical analyses of germination data were done using IBM statistics SPSS 21 software for Windows, for analyse of variance, and means were separated by least significant difference (LSD) using SPSS statistical software. The averages followed by the same alphabetical letter are not significantly different with the threshold from 5%.

Results:

The anova for final germinal poucentage, speed of germination and salt tolerance index showed that all factors (salinity and genotype) and all interactions of factors were significant at $P < 0.05$ (Table 3).

Five cowpea landraces showed different germination percentages (Figure 1, Table 2) and speed of germination (Figure 2) in both non-treated control and treatments with salinity. For non-treated control, the germination percentages were as follows: 100% for the landraces EK1, TZ7 and B23, which is achieved the third day and the fourth day for A17. For the population IS13 the final germination pourcentage (81, 47%) is attained the seventh day (Figure 1). IS13 showed a significant lower ($P < 0.05$) final germination pourcentage at non-treated control than the other landraces, while no significant differences were observed among the other three landraces. The speed of germination for non-treated control showed a similar trend with germination percentages, as shown in Figure 2. The speed of germination (mean and SD) were as follows: B23 ($0,46 \pm 0,01$) > TZ7 ($0,46 \pm 0,03$) > EK1 ($0,44 \pm 0,02$) > A17 ($0,33 \pm 0,03$) > IS13 ($0,28 \pm 0,02$). IS13 and A17 showed a significant lower ($P < 0.05$) speed of germination than the other landraces while no significant differences were observed among the other three landraces.

For the salinity treatments (Figure 1), seed germination showed three effects of increasing salinity in the germination medium. However, the magnitude of these effects varied among landraces At salinities 4, 8 and 12 and dS/m , there was a delay in germination (Figure 1) but no significant reduction in final germination percentage. However, both 12 and 16 and 20 dS/m^{-1} significantly ($P < 0.05$) delay and reduced final germination percentage (Table 2). Germination was completely inhibited in the presence of higher salt concentrations.

The first effect of salt stress is noted for EC of 4, 8, 12, 16 dS/m^{-1} in EK1 and B23, EC of 4, 8 and 12 dS/m in TZ7, EC of 4 and 8 dS/m^{-1} in A17, EC of 4 dS/m^{-1} in IS13 respectively.

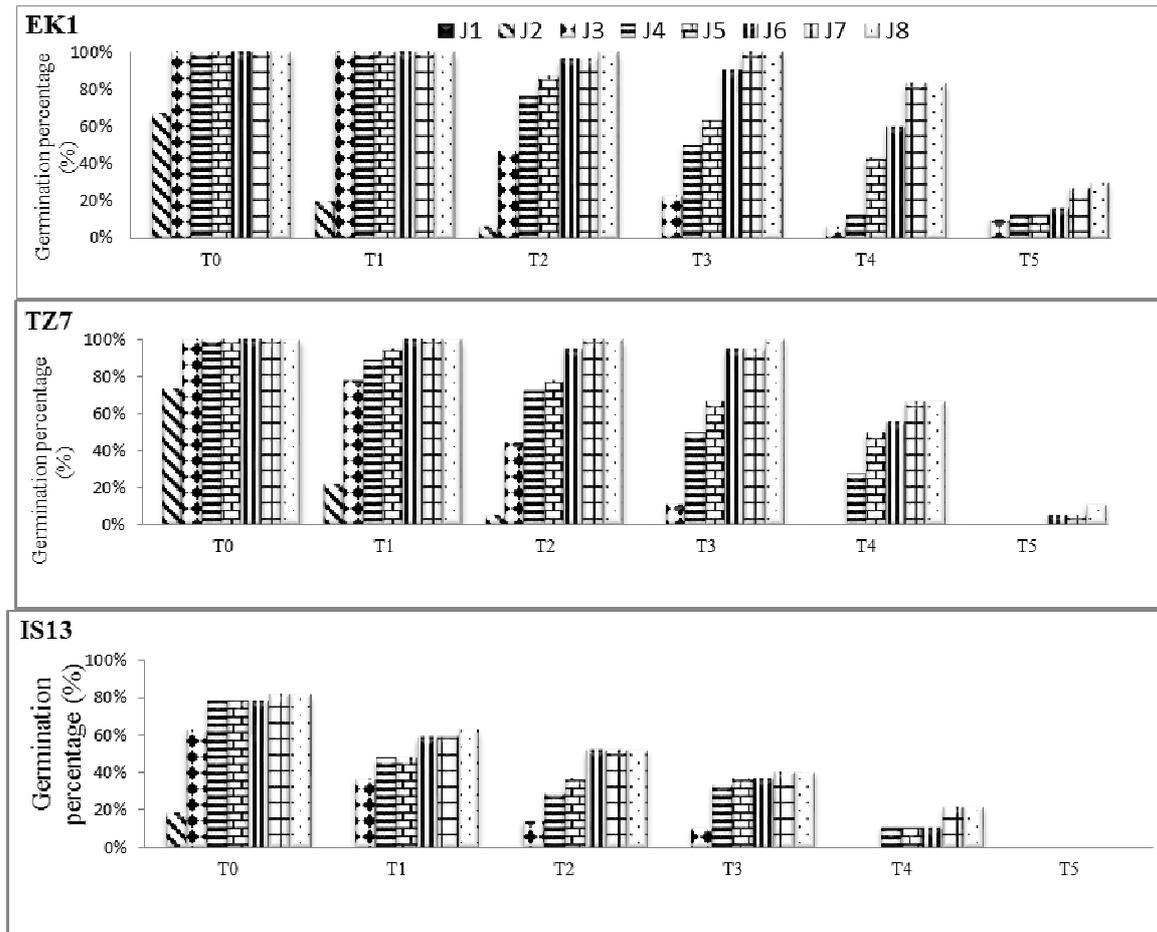
The second effect is showed in EC of 20 dS/m^{-1} in EK1 and B23, EC of 16 dS/m^{-1} in TZ7, EC of 12, 16 and 20 dS/m in A17 and EC of 4, 8, 12, 16 and 20 dS/m^{-1} in IS13 respectively. The delay in germination was very obvious for IS13 and A17, with the first seeds only germinating respectively on day 3 and 5 at 12 dS/m^{-1} . In most of the genotypes completion of germination at higher salt concentrations (16 dS/m^{-1}) was also delayed to 3 day (EK1,) and 4 day (TZ7, IS13 and B23) and 7 day (A17) from the start of incubation.

Germination percentages declined sharply with 12, 16 and 20 dS/m^{-1} treatments (Table 2). At these NaCl concentrations, differences among the genotypes were significantly different. TZ7, EK1 and B23 had final germination percentages relatively high with the 16 dS/m^{-1} treatment (83,33%, 66,66% and 83,33), while IS13 and A17 had lower

germination percentages with the same NaCl treatment (22,22% and 5,56%). The germination percentages of EK1 and B23 were significantly ($P < 0.05$) reduced with the 20 dS/m^{-1} , and TZ7 with the 16 dS/m^{-1} . IS13 showed a significant lower ($P < 0.05$) final germination percentage at all level of salt stress than the other landraces.

These results showed that 12 and 16 dS/m^{-1} treatments can be used effectively to identify sensitive and highly resistant genotypes respectively (Table 2). The third effect of salt stress was observed for EC of 20 dS/m^{-1} in all landraces, germination of A17 and IS13 was completely inhibited at this salt concentrations. Responses of cowpea speed of germination to salinity showed a similar trend with germination percentages, as shown in Figure 2.

Concerning the salt tolerance index of genotypes (Table 2). The salt tolerance index varied between 0,39 and 1 with T3, 0,06 and 0,83 with T4, 0 and 0,30 with T5. EK1 (1), TZ7 (1) and B23 (0,83) were the best performing genotypes with the T3 treatment; The tolerance indices of genotypes with lower performances than EK1, TZ7 and B23, were above 0,50 (IS13) and 0,39 (A17) with the T3 treatment. EK1 (0,83), TZ7 (0,67) and B23 (0,83) were the best performing genotypes with the T4 treatment; the other genotypes IS13 and A17 did not perform well their salt tolerance indices were respectively 0,06 and 0,27 with the T4 treatment.



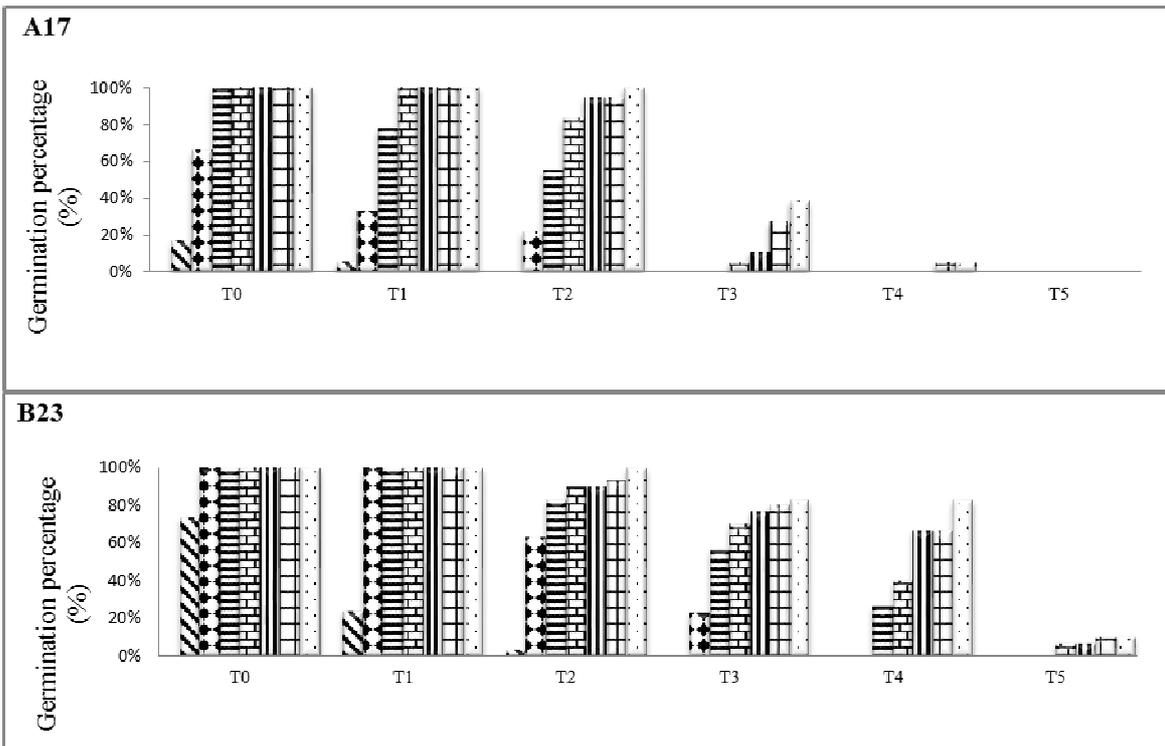
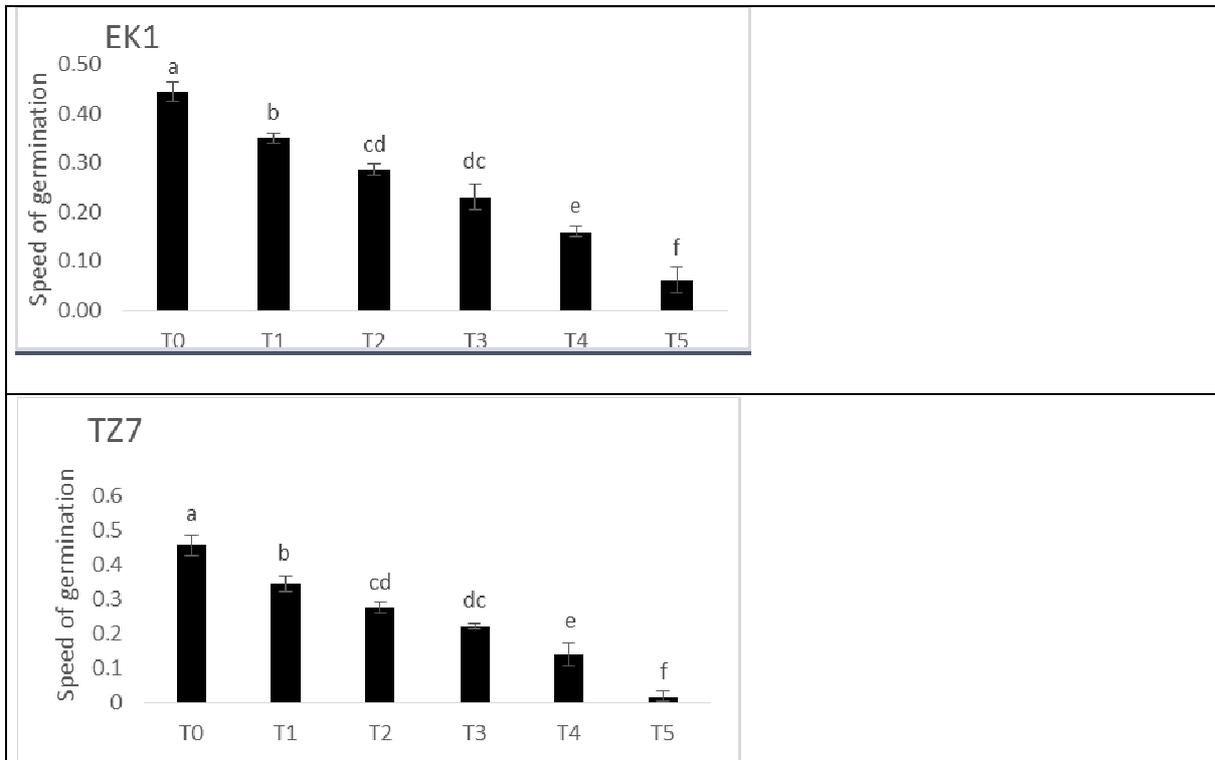


Fig. 1: Salt stress effects on germination of cowpea seeds for 8 days. Values represent the mean of three replicates. T0 : control, T1 : EC= 4 dS m⁻¹, T2 ; EC= 8 dS m⁻¹, T3 :EC = 12 dS m⁻¹ et T4 :EC = 16 dS m⁻¹, T5:EC = 20 dS m⁻¹ (DAY)



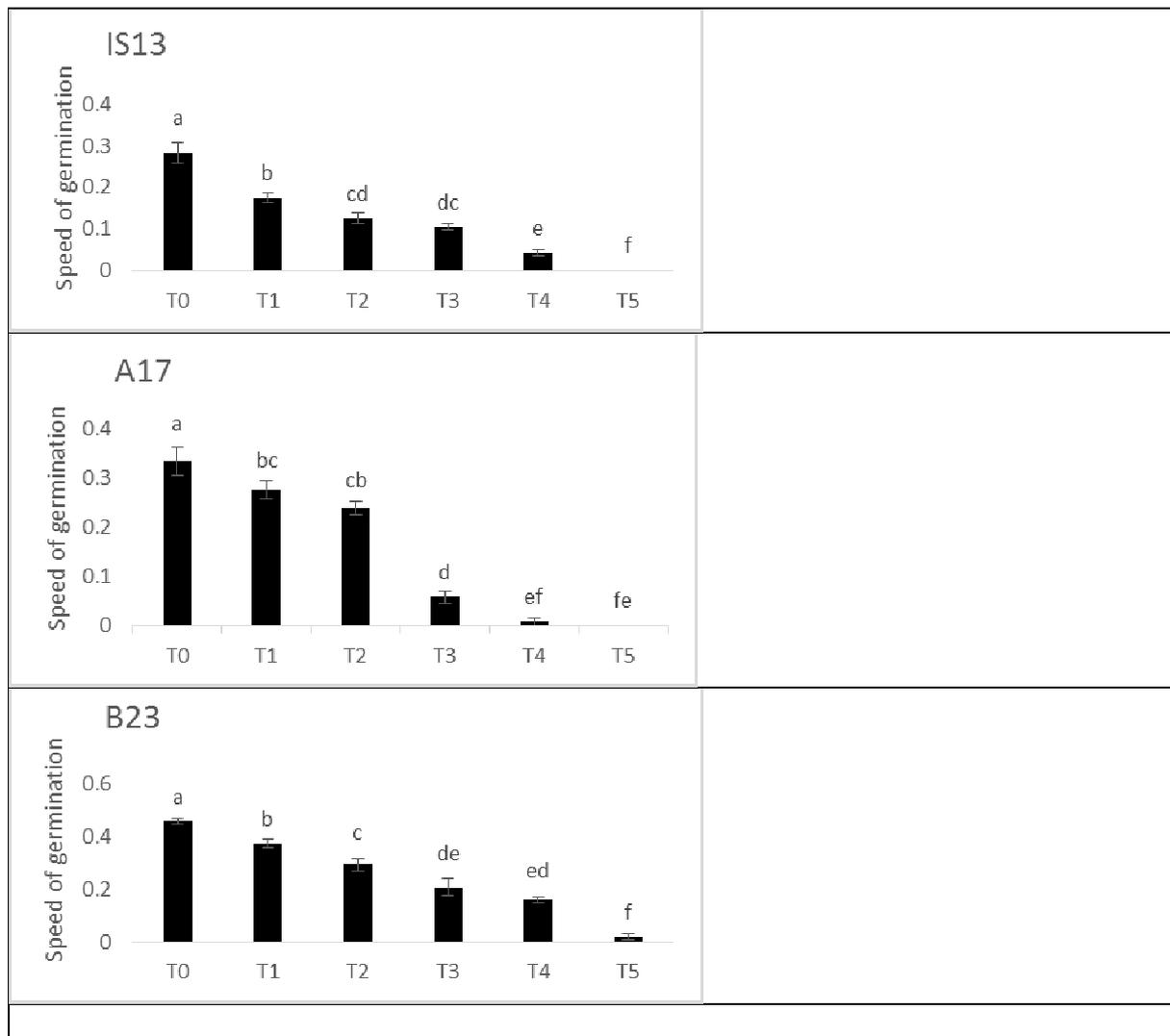


Fig. 2: Speed of germination of 5 cowpea landraces under different salinity. Values represent the mean of three replicates and error bars represent standard deviation. Columns containing same letters indicate no significant difference among treatments; T0 : control, T1: EC= 4 dS m⁻¹, T2 : EC= 8 dS m⁻¹, T3 :EC = 12 dS m⁻¹ et T4 :EC = 16 dS m⁻¹, T5:EC = 20 dS m⁻¹

Table 1: Some Morphological characters of Algerian cowpea landraces, and their geographical location.

Accession	Geographical origin	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Seed colour	Eye colour	Seed weight (g 100 seed)
EK1	Tonga Ouest, El Kala	08°31E	36° 53N	2.2	white	brown	23,43
TZ7	TiziOuzou, Kabylie	03°95E	36°54N	344	white	black	29,20
IS13	In Salah, Sahara	02°30 E	27°14 N	265	black	Absent	7,28
A17	Bouda, Adrar, sahara	00°11W	27°49N	279	cream	Absent	8,66
B23	El Ouata, Bechar, sahara	01°83W	29°86N	419	cream	Absent	9,87

Table 2: Final germination percentage (PGP) and salt tolerance index (STI) of 5 cowpea landraces grown with different NaCl treatments (for 8 days).

	Salt concentration (dSm ⁻¹)											
	T0		T1		T2		T3		T4		T5	
Genotypes	FGP (%)	STI	FGP (%)	STI	FGP (%)	STI	FGP (%)	STI	FGP (%)	STI	FGP (%)	STI
EK1	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	83,33±6,67aA	0,83aA	30,00±15,28aB	0,30aB
TZ7	100±00aA	1,00aA	100±00aA	1,00aA	100±00aA	1,00aA	100±00aA	1,00aA	66,66±16,67aB	0,67Ba	11,11±11,11aC	0,11Ca
IS13	81,47±7,41bA	0,77bA	62,96±3,70bB	0,51bB	51,85±7,41bB	0,64ABb	40,74±3,70bB	0,50Bb	22,22±6,41bC	0,27Bb	0±0bD	0,00Cab
A17	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	38,89±11,11bB	0,39Bb	5,56±5,56bC	0,06Cb	0±0bC	0,00Cbc
B23	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	100±00aA	1,00Aa	83,33±8,82aA	0,83Aa	83,33±8,82aA	0,83Aa	10,00±5,77aB	0,10Ba

Note: Within each column, the same lower case letter indicates no significant difference among genotypes. Within each lignes the same capital letters indicates no significant difference among treatments (P < 0.05). Les valeurs sont représentées par les moyennes ±ESM. T0 : control, T1: EC= 4 dS m⁻¹, T2 : EC= 8 dS m⁻¹, T3 :EC = 12 dS m⁻¹ et T4 :EC = 16 dS m⁻¹, T5:EC = 20 dS m⁻¹

Table 3: Effects of NaCl on the final germination pourcentage, speed of germination of cowpea seeds and sal tolerance index: summary of anova results

Source of variation	df	Final germination percentage(%)			Speed of germination			Salt tolerance index		
		Mean square	F value	P level	Mean square	F value	P level	Mean square	F value	P level
Salinity	5	16.354,077	131,236	0,000***	2808,961	281,204	0,000***	1,854	116,931	0,000***
Genotype	4	5.730,005	45,981	0,000***	696,914	69,768	0,000***	,454	28,619	0,000***
SalinityXGenotype	20	761,361	6,110	0,000***	36,868	3,691	0,000***	7,521	4,742	0,000***
Error	60	124,616			9,989			1,586		
Total	90									

*** Significant at $P < 0,0001$

Discussion:

Acceptable growth of plants in arid and semi-arid lands which are under exposure of salinity stress is related to the ability of seeds for best germination under unfavorable conditions [33]. Thus, screening of genotypes at the early stages may be an important criterion for selecting salt tolerant genotypes, thus saving considerable time. Germination potential of seeds in saline environments could be correlated with the tolerance at later growth stages [2]. However, salt tolerance at early growth stages is not always correlated with that in the following growth stages [5]. In the present investigation, we focused on evaluation of the potential tolerance of cowpea genotypes traditionally grown in different climatic regions of the Algerian Maghreb to salt stress at germination stage.

The results showed that the seed germination significantly delayed under salinity condition in all the genotypes, maximum seed germination occurred in distilled water. The susceptible genotypes required more number of days for germination as compared to those of tolerant genotypes. Increase in salinity levels significantly reduced the germination percentage and speed of germination of the 5 cowpea landraces with varying response.

Several investigations of seed germination under salinity stress have indicated that seeds of most species attain their maximum germination in distilled water and are very sensitive to elevated salinity at the germination and seedling phases of development [26].

The delay in germination of cowpea observed in the higher salinity treatments had been reported in Mungbean [33], Tomato [24] and *Origanum*[26]. Kaveh *et al.* [24] indicate that ascending salt concentrations not only prevent the seed germination, but also extend the germination time by delaying the start of germination.

Generally, low salt concentration delays germination by inducing a state of dormancy, and not appreciably reduce the final percentage germination [4]. Meanwhile, high salt concentration inhibits the seed germination and decreases the germination percentage and increases germination time (1 ; 35).

Although external salinity of 4, 8 and 12 dS/m^{-1} NaCl delayed cowpea seed germination, the final percent germination after 8 days was not affected in some genotypes, such as TZ7, EK1 and B23. However, at 16 and 20 dS/m^{-1} there was both a delay in germination and in the final germination percentage (Figure 1, Table2). Cowpea seeds germination was significantly reduced when electrical conductivity in sand culture exceeded 12 dS/m^{-1} [39], decreasing 30% when exposed to 15.6 dS/m^{-1} [30], decreased when treated with NaCl 100 mol m^{-3} , the equivalent to 10.2 dS/m^{-1} [10]. Similar results were obtained in our study because germination of A17, TZ7 seeds decreased significantly when treated respectively with NaCl 12 and 16 dS/m^{-1} . However, These values are lower compared to those obtained in our study because germination pourcentage of EK1 and B23 decreased significantly when treated with NaCl 20 dS/m^{-1} . In the present study, all landraces were not able to germinate rapidly under the highest salt stress level germination (20 dS/m^{-1}), germination was completely inhibited in some genotypes (IS13 and A17) at this salt concentrations. This is due to the fact that an increase in salinity causes an excessive negative osmotic potential [38]. Similar results were observed for *Vigna unguiculata* (32 ; 38). Bernstein [7] indicate that this concentration is higher than what is observed in most saline agricultural soils (75-170 mM).

It has been reported by several authors that salt stress can affect seed germination by decreasing the ease with which the seeds take up water (osmotic stress) [25], because the activity and events normally associated with germination are delayed and/or proceed at a reduced rate [41]. Salinity can also affect germination by facilitating the uptake of toxic ions (ion toxicity), which can cause changes to certain enzymatic or hormonal activities of the seed [11].

The first effect of salinity is similar to that shown for *Vigna unguiculata* [39] and may be considered to be purely an osmotic effect as germination was merely delayed. Reduced final germination at higher concentrations of NaCl 16 and 20 dS/m may be an osmotic or toxic effect or a combination of both [39]. Physiological studies to distinguish between the two effects are limited but evidence suggests that low water potential of the germination medium is a major limiting factor [8]. In the context of this discussion, the term salt tolerance during seed germination was used only to refer to situations where the seed germinated rapidly under salt stress conditions. No distinction was made between osmotic and ionic effects of the salinity stress.

Germination failure under saline conditions was also ascribed to oxidative stress induced by salinity [42].

Heavy seeds germinated in greater numbers and more quickly than light seeds [37]. Our results suggest a relationship between salinity tolerance and the seed weight. Seeds of EK1, TZ7 and B23 were heavier than seeds of IS13 and A17 (Table1), and it may be one of the reasons why germination for EK1, TZ7 and B23 seeds were greater than for IS13 and A17 seeds at all NaCl concentrations.

On the basis of results of germination percentage and salt tolerance index, our investigation demonstrated genetic variation in seed germination responses to salinity among five cowpea landraces. This study indicated that EK1, TZ7 and B23 had superior germination performance at low, moderate and high levels of salt stress. These landraces are identified as the most tolerant, being able to germinate rapidly under both control (nonstress) and salt stress conditions. These landraces ranked well in final germination percentage, speed of germination and salt tolerance index. Foolad *et al.* [16] indicate that germination processes that facilitate rapid germination under salt and nonstress conditions possibly were controlled by similar genetic and physiological mechanisms. Conversely, the other landraces (IS13 and A17) germinated rapidly under control conditions but germinated poorly at the highest salt stress level, thus exhibiting low salt tolerance index. Thus, in these landraces, the physiological processes required for germination were sensitive to stress [6]. These landraces may be deficient in genetic elements required for coping with salinity [14].

There was a high level of variation in germination percentage under salinity. The differences in germination among the landraces were greater in the presence of salinity in comparison to the absence of salinity. These differences can be attributed to genotypic variation in germination response being expressed to a greater degree under stress than under non-stress conditions [41]. Certain genes may be stress-inducible and expressed only under salt-stress conditions [14].

In conclusion, the results of this study demonstrate that salt tolerance during germination exists within Algerian cowpea landraces. Knowing the difference in salt tolerance between species and genotypes of special importance to ecological and economic aspects, allowing proper agricultural production in regions that are facing this problem. Cultivar EK1, TZ7 and B23 appears to be more tolerant to salt stress than cultivar A17 and IS13. EK1, TZ7 and B23, represent a genetic resource for improvement of salt tolerance of cowpea. The desirable traits governing salt tolerance can be introduced in to the susceptible or recurrent genotypes through breeding for the genetic improvement of cowpea for saline soils in near future. Further studies are recommended 1) screen more salt tolerant Cowpea genotypes, which are suitable to grow in Algerian Sahara soils ; 2) assess whether these genotypes characterized as tolerant based on their responses to salt stress in germination stage, maintain their degree of salt tolerance till crop maturity.

REFERENCES

- [1] Ansari, O., F. Sharif-Zadeh, 2012. Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 8: 253-261.
- [2] Ashraf, M and M.R. Foolad, 2013. Crop breeding for salt tolerance in the era of molecular markers and marker-assisted selection. *Plant Breeding*, 132: 10-20.
- [3] Ashraf, M and P.J.C. Harris, 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci.*, 166: 3-16.
- [4] ATAK, M., M.D. KAYA., G. KAYA., Y. IKILI and C.Y. ÇİFTÇÜ, 2006. Effects of NaCl on the germination, seedling growth, and water uptake of triticale. *Turk J Agric For*, 30: 39-47.
- [5] Baath, G.S., M.K. Shuklaa., P.W. Boslanda, R.L. Steinerb and S.J. Walker, 2017. Irrigation water salinity influences at various growth stages of *Capsicum annuum*. *Agricultural Water Management*, 179: 246-253.
- [6] BAYUELO-JIMÉNEZ, J.S., R. GRAIG and J.P. LYNCH, 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, 42: 1584-1594.
- [7] Bernstein, L., 1962. Salt-affected soils and plants. In *The problem of the arid zones*. Proc. UNESCO Symp. UNESCO, Paris pp: 139-174.
- [8] BRADFORD, K.J., 1995. Water relations in seed germination. In : *Seed development and germination*, eds. Kigel, J. and G. Galili. Marcel Dekker, New York, pp: 351-396.
- [9] Côme, D., 1970. *Les obstacles à la germination*. Paris : Masson & Cie.
- [10] Dantas, B.F., L. Saribeiro and C.A. Aragao, 2005. Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes*, 27: 144-148.
- [11] Daszkowska-Golec, A., 2011. Arabidopsis seed germination under abiotic stress as a concert of action of phytohormones. *OMICS*, 15: 763-774.
- [12] Djili, k., Y. Daoud, A. Gaouar and Z. Beljoudi, 2003. La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*, 4: 241-6.
- [13] Foolad, M.R. and G.Y. Lin, 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience*, 32: 296-300.
- [14] Foolad, M.R., 2004. Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. *Plant Cell, Tissue Organ Cult.*, 76 : 101-119.
- [15] Foolad, M.R., L.P. Zhang and P. Subbiah, 2007. Common QTLs rate of tomato seed germination under different stress and nonstress conditions. *Int. J. Plant Genomics*, 2007, Article ID 97386, 10pages, doi:10.1155/2007/97386.

- [16] Gene, Y., M. Tester and G.K. McDonald, 2010: Calcium requirement of wheat in saline and non-saline conditions. *Plant Soil*, 327: 331-345.
- [17] Ghalmi, N., M. Malice and J.M. Jacquemin and S.M. Ounane, 2009. Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. *Genet. Res. Crop Evol.*, 57: 371-386.
- [18] Gogile, A., M. Andargie and M. Muthuswamy, 2013. The response of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for salt stress during germination and seedling Stage. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 9: 73-84.
- [19] Goufo, P., J.M. Moutinho-Pereira, T.F. Jorge, C.M. Correia, M.R. Oliveira, E.A.S. Rosa, C. António and H. Trindade, 2017. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) Metabolomics: Osmoprotection as a Physiological [20]Strategy for Drought Stress Resistance and Improved Yield. *Front. Plant Sci.*, 8: 586.
- [21] Hall, A.E., 2012. Phenotyping cowpeas for adaptation to drought. *Front. Physiol.*, 3: 155.
- [22] Kaveh, H., H. Nemat, M. Farsi, S.V. Jartoodeh, 2011. How salinity affect germination and emergence of tomato lines. *J. Biol. Environ. Sci.*, 5 : 159-163. Dans ibrahim
- [23] KHALIL, C., E. BOUFOUS and A. E. MOUSADIK, 2011. Diversity of salt tolerance during germination in *Medicago ciliaris* (L.) and *Medicagopolymorpha* (L.). *Atlas Journal of Plant Biology*, 1: 6-12.
- [24] Laghmouchi, Y., O. Belmehdi, A. Bouyahya, N.S. Senhaji and J. Abrini, 2017. Effect of temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum compactum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10: 156-160.
- [25] Maas, E.V. and G.J. Hoffman, 1977. Crop salt tolerance-current assessment. *J. Irrig. Drain Div. ASCE*, 103: 115-134.
- [26] Maas, E.V. and J.A. Poss, 1989. Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. *Irrigation Science*, 10: 313-320.
- [27] Maguire, J.D., 1962. Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2 : 176-177.
- [28] Murillo-Amador, B. and E. Troyo-Dieguez, 2000. Effect of salinity on the germination and seedlings characteristics of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 40(3): 433-438.
- [29] MURILLO-AMADOR, B., E. TROYO-DIEGUEZ, A. LOPEZ-CORTES, H.G. JONES, F. AYALACHAIREZ and C.L. TINOCO-OJANGUREN, 2001. Salt tolerance of cowpea genotypes in emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 41: 81-88.
- [30] MURILLO-AMADOR, B., R. LOPEZ-AGUILAR., C. KAYA., J. LARRINAGA MAYORAL and A. FLORES-HERNANUEZ, 2002. Comparative Effects of NaCl and Polyethylene Glycol on Germination, Emergence and Seedling Growth of Cowpea. *J. Agronomy & Crop Science.*, 188: 235-247.
- [31] Sehrawat, N., M. Yadav, K.V. Bhat, R.K. Sairam and P.K. Jaiwal, 2014. Evaluation of mungbean genotypes for salt tolerance at early seedling growth stage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3: 108-113.
- [32] Shahba, M.A., Y.L. Qian and K.D. Lair, 2008. Improving seed germination of salt grass under saline conditions. *Crop Sci.*, 48(2): 756-762.
- [33] Sharma, P., V. Sardana and S.S. Banga, 2013. Salt tolerance of Indian mustard (*Brassica juncea*) at germination and early seedling growth. *Environmental and Experimental Biology*, 11: 39-46.
- [34] Singh, B.B., J.D. Ehlers, B. Sharma and F.R. Freire Filho, 2002. Recent progress in cowpea breeding. In : Challenge and Opportunities for Enhancing Sustainable Cowpea Production, eds. Fatokun, C. A., S. S. Tarawali, B.B. Singh, P.M. Kormawa, and M. Tamò (Ibadan:IITA), 22-40.
- [35] Song, J., H. FAN., Y. ZHAO, Y. JIA, X. DU and B. WANG, 2008. Effect of salinity on germination, seedling emergence, seedling growth and ion accumulation of a euhalophyte *Suaeda salsa* in an intertidal zone and on saline inland. *Aquatic Botany*, 88: 331-337.
- [36] Thiam, M., A. Champion., D. Diouf., S.Y. Mame Ourèye, 2013. NaCl effects on in vitro germination and growth of some Senegalese cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.) Cultivars. *ISRN Biotechnol.*, 11.
- [37] West, D.W. and L.E. Francois, 1982. Effects of Salinity on Germination, Growth and Yield of Cowpea. *Irrig. Sci.*, 3: 169-175.
- [38] Win, K.T. and A.Z. Oo, 2015. Genotypic difference in salinity tolerance during early vegetative growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) from Myanmar. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4: 449-455.
- [39] Yildirim, E. and I. Guvenc, 2006. Salt Tolerance of Pepper Cultivars during Germination and Seedling Growth. *Turk. J. Agric. For.*, 30: 347-353.
- [40] Zavariyan, A., M. Rad, M. Asghari, 2015. Effect of seed priming by potassium nitrate on germination and biochemical indices in *Silybum marianum* L. under salinity stress. *Int. J. Life Sci.*, 9: 23-29.
- [41] Zhang, H., G. Zhang, X. Lü, D. Zhou, X. Han, 2015. Salt tolerance during seed germination and early seedling stages of 12 halophytes. *Plant Soil*, 388(1): 229-241.

Chapitre III : Étude de l'influence de l'amorçage sur la germination et croissance précoce du niébé sous stress salin.

Cette étude concerne l'effet des différentes méthodes de l'amorçage des graines (hydro-priming et haloprimering par le NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur les performances germinatives de deux populations (TZ2 et A18) de niébé soumises au stress salin.

1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de deux populations de niébé. Les deux populations, TZ2 et A18 originaires respectivement de la Kabylie (Tizi Ouzou) et du Sahara (Adrar), proviennent de la collection du laboratoire AIPV (Ghalmi *et al.*, 2009). Les deux populations sont contrastées et présentent des origines géographiques et des caractéristiques agromorphologiques différentes (tableau 5).

Les principaux caractères agromorphologiques des populations étudiées et leur localisation géographique sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Caractéristiques agro morphologiques des populations de niébé étudiées et leur localisation géographique.

Population	TZ2	A18
Origine géographique	Tizi Ouzou, Kabylie	Adrar, Sahara
Longitude	03°95E	27°49N
Latitude	36°54N	27°49N
Altitude (m)	344	279
Couleur des graines	Blanche à hile noir	Beige brune
Longueur des graines (cm)	0,6	0,8
Forme des graines	Rénal	Rhomboïde
Texture des graines	ridé	lisse
Poids de 100 graines (g)	17,271	11,171
Type de climat	Climat de type méditerranéen avec un hiver doux, pluvieux et un été chaud et sec.	Climat désertique avec un hiver froid et un été très chaud et sec.

2. Méthode d'étude

2.1. Traitements prégerminatifs des graines (amorçage ou priming)

Des graines saines, de même taille, sont sélectionnées pour cette étude. Elles sont stérilisées dans une solution d'hypochlorite de sodium 5% pendant 5 minutes, puis rincées trois fois à l'eau distillée.

Quatre solutions sont préparées pour le priming des graines, dont trois solutions salines (halopriming) de même molarité (80 mM) et une solution pour l'hydropriming (l'eau distillée). Les trois premières solutions sont préparées en dissolvant la quantité appropriée de NaCl ou CaSO₄ ou CaCl₂ dans de l'eau distillée jusqu'à dissolution complète. La concentration de 80 mM de chaque sel est choisie sur la base des expériences antérieures qui montrent qu'elle ne provoque pas une inhibition de la germination (Nabi *et al.*, 2017).

Les graines des deux écotypes (TZ2 et A18) sont trempées pendant 4 heures à température ambiante dans les solutions d'amorçage. Les graines non amorcées sont stérilisées pour servir de témoin sanspriming. Soit :

- Le témoin non amorcé T0NP.
- L'hydropriming (HP) : eau distillée.
- L'halopriming : NaCl : 80 mM de NaCl = 4,675 g/l
- L'halopriming : CaSO₄ : 80 mM de CaSO₄ = 10,89 g/l
- L'halopriming : CaCl₂ : 80 mM de CaCl₂ = 8,88 g/l.

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 48 heures.

2.2. Préparation des solutions salines pour l'application du stress

Le NaCl est généralement le sel soluble prédominant dans les eaux d'irrigation et dans les sols affectés par les sels (Snoussi et Halitim, 1998). Ainsi, des concentrations de NaCl croissantes sont utilisées pour évaluer l'effet du priming sur la germination du niébé sous stress salin. Les concentrations utilisées sont : T0 : 0 mM de NaCl (eau distillée) ; T1 : 85 mM (4,9 g/l) de NaCl et T2 : 170 mM (9,94 g/l de NaCl).

2.3. Mise en germination

Après avoir subi l'amorçage, les graines sont ensuite placées dans des boîtes de Pétri de 9 cm de diamètre et 1,3 cm d'épaisseur, contenant deux couches de papier filtre, et mises à germer à l'obscurité dans une étuve à 25°C. Chaque essai comporte 30 graines, soit 3 répétitions de 10 graines par boîte de Pétri. Afin de minimiser les changements de concentrations salines, les

boîtes de Pétri sont fermées hermétiquement à l'aide du papier film, pour empêcher l'évaporation. Dans chaque boîte de Pétri sont versés 10 ml d'eau distillée (T0) pour les graines témoins et 10 ml de solution saline pour les graines stressées à T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 Mm de NaCl.

Le dispositif est un bloc randomisation totale, avec deux populations (TZ2 et A18), 3 traitements salins (T0, T1, T2), 3 répétitions, 5 niveaux de priming (Témoin : sans priming, HP : hydropriming, halopriming NaCl, CaSO₄ et CaCl₂), soit un total de 90 boites de Pétri.

Chaque répétition comprend trois facteurs : **facteur 1** : Représente les différents traitements de solutions salines appliqués : (T0) ; eau distillée ; (T1) Solution saline concentrée à 85 mM (4,97 g/l) de NaCl ; (T2) Solution saline concentrée à 185 mM/l (9,94g/l) de NaCl; **facteur 2** : Représente les deux populations (TZ2 et A18) et **facteur 3** : représente 5 niveaux de priming utilisés : Témoin (sans priming : T0NP) ; HP : hydropriming ; NaCl ; CaSO₄ et CaCl₂.

Les solutions sont versées dans les proportions de 2,5 fois le poids du papier (Dantas *et al.*, 2005). Le critère de germination retenu correspond au moment où la radicule perce les enveloppes, selon la définition de Côme (1970).

2.4. Paramètres étudiés

La germination des graines est relevée quotidiennement pour chaque lot durant 07 jours pour établir :

- **L'évolution du pourcentage de germination (cinétique de germination).**

Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif, le pourcentage de graines germées est compté quotidiennement jusqu'au 7^{ème} jour de l'expérience (Hadjlaoui *et al.*, 2007).

- **La vitesse de germination (sans unité) :** elle est calculée par la formule ci-dessous décrite par Maguire (1962), et Shahba *et al.*, (2008).

$$VG = \sum_i [g_i - g_{(i-1)} / i]$$

VG : Vitesse de germination

g : Le pourcentage de germination le jour (i)

g (i-1) : Pourcentage de germination le jour qui précède le jour (i)

- **Le pourcentage final de graines germées (PFG) :** est calculé selon Ruan *et al.* (2002) par l'équation suivante :

$$PFG = \frac{N_g}{N_t} * 100$$

Ng : c'est le nombre de graines germées le dernier jour (j7)

Nt : le nombre total de graines dans chaque traitement

- **Les paramètres de croissance** : la longueur des racines, des hypocotyles, des épicotyles, et la longueur totale des plantules (cm) sont mesurés sur les trois premières graines qui germent dans chaque traitement.

Le poids secs (g) et le poids frais (g) des plantules sont mesurés, le poids sec est déterminé après séchage à 50 °C pendant 48 h (Böhm, 1979).

- **L'indice de vigueur des plantules (IVP)** : est calculé en utilisant la formule suivante, telle que décrite par Memon *et al.* (2013).

$$\text{IVP} = [\text{Longueur totale des plantules (cm)} * \text{FGP}]$$

2.5. Analyse statistique

La signification statistique des résultats obtenus au cours de cette étude est testée par : une analyse de la variance à 3 facteurs : facteur traitement salin, facteur population et facteur priming. Le test de la plus petite différence significative (LSD) à un risque d'erreur de 0,05 % est aussi calculé. Les moyennes, suivies de différentes lettres alphabétiques sont différentes significativement au seuil 5%. Le logiciel IBM statistics SPSS 21 est utilisé pour effectuer ces tests. Les courbes sont réalisées par l'Excel 2013. Les barres d'erreurs (ESM) sont calculées selon la formule d'ESM suivante :

$$\text{ESM} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \text{ avec } \delta \text{ (écart type)} = \sqrt{\frac{\sum(xi-X)^2}{n-1}}$$

3. Résultats et discussions

3.1. Influence de l'amorçage sur la germination sous stress salin

La germination est étudiée à travers l'évolution du pourcentage de germination (tableau 5), le pourcentage final de germination (tableau 6) et la vitesse de germination (figure 5). Les tableaux des tests statistiques réalisés par le logiciel SPSS 10 sont placés en annexe 1.

3.1.1. Évolution du pourcentage de germination

La réponse des deux populations à l'amorçage des graines varie selon le type du priming, la concentration saline et la population.

En général, l'augmentation de la salinité à partir de T2 (170 Mm de NaCl) induit un retard de la germination et une réduction hautement significative du pourcentage final de germination chez le témoin sans amorçage et les graines qui sont traitées par les différentes méthodes d'amorçage durant 7 jours de germination (tableau 06 et tableau 07). Cet effet est largement atténué par l'amorçage des graines qui induit une amélioration significative du pourcentage de germination, notamment pendant les premiers jours ainsi que du pourcentage final de germina-

tion (tableau 06). En effet, les graines amorcées germent rapidement et mieux par rapport aux graines non amorcées, en conditions normales et en conditions de stress salin.

Tableau 6 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming T0NP, hydropriming : HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur le pourcentage de germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) durant 7 jours.

		Évolution journalière du pourcentage de germination (%)							
		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	
TZ2	T0	T0NP	0	16,66 ^A	56,66 ^A	83,33 ^A	86,66 ^A	86,66 ^A	86,66 ^A
		HP	0	60,00 ^B	76,66 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A
		NaCl	0	53,33 ^B	60,00 ^A	80,00 ^A	83,33 ^A	83,33 ^A	83,33 ^A
		CaSO ₄	0	73,33 ^B	83,33 ^{AB}	90,00 ^A	90,00 ^A	90,00 ^A	90,00 ^A
		CaCl ₂	0	50,00 ^B	50,00 ^{AC}	70,00 ^A	70,00 ^A	70,00 ^A	70,00 ^A
		moyenne totale	0	50,66 ^a	65,33 ^a	83,33 ^a	84,66 ^a	84,66 ^a	84,66 ^a
	T1	T0NP	0	16,66 ^A	33,33 ^A	56,66 ^A	56,66 ^A	56,66 ^A	63,33 ^A
		HP	0	76,66 ^C	83,33 ^B	90,00 ^B	90,00 ^B	90,00 ^B	96,66 ^B
		NaCl	0	40,00 ^{AB}	50,00 ^{AB}	76,66 ^{AB}	86,66 ^B	86,66 ^B	86,66 ^{AB}
		CaSO ₄	0	46,66 ^B	50,00 ^{AB}	66,66 ^{AB}	70,00 ^{AB}	70,00 ^{AB}	70,00 ^A
		CaCl ₂	0	46,66 ^B	53,33 ^{AB}	66,66 ^{AB}	73,33 ^{AB}	73,33 ^{AB}	76,66 ^{AB}
		moyenne totale	0	45,33 ^b	54 ^b	71,33 ^b	75,33 ^a	75,33 ^a	78,66 ^a
	T2	T0NP	0	0,00 ^A	6,66 ^A	26,66 ^A	33,33 ^A	33,33 ^A	36,66 ^A
		HP	0	20,00 ^B	20,00 ^A	26,66 ^A	36,66 ^A	36,66 ^A	36,66 ^A
		NaCl	0	13,33 ^{AB}	13,33 ^A	23,33 ^A	33,33 ^A	33,33 ^A	36,66 ^A
		CaSO ₄	0	3,33 ^{AB}	3,33 ^A	6,66 ^A	6,66 ^B	6,66 ^B	6,66 ^B
		CaCl ₂	0	20,00 ^B	20,00 ^A	23,33 ^A	33,33 ^A	33,33 ^A	33,33 ^{AB}
		moyenne totale	0	11,33 ^c	12,66 ^c	21,33 ^c	28,66 ^b	28,66 ^b	30,00 ^b
A18	T0	T0NP	0	20,00 ^A	63,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A
		HP	0	76,66 ^C	90,00 ^A	96,66 ^A	96,66 ^A	96,66 ^A	100,00 ^A
		NaCl	0	63,33 ^{BC}	83,33 ^A	90,00 ^{AB}	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A
		CaSO ₄	0	76,66 ^C	86,66 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A	93,33 ^A
		CaCl ₂	0	60,00 ^B	70,00 ^A	76,66 ^B	86,66 ^A	86,66 ^A	90,00 ^A
		moyenne totale	0	59,33 ^a	78,66 ^a	90 ^a	92,66 ^a	92,66 ^a	94,00 ^a
	T1	T0NP	0	13,33 ^A	53,33 ^A	76,66 ^{AB}	90,00 ^A	90,00 ^A	96,66 ^A
		HP	0	56,66 ^B	86,66 ^B	90,00 ^A	96,66 ^A	96,66 ^A	100,00 ^{AB}
		NaCl	0	56,66 ^B	73,33 ^{AB}	93,33 ^A	96,66 ^A	96,66 ^A	96,66 ^A
		CaSO ₄	0	53,33 ^{AB}	66,66 ^{AB}	80,00 ^{AB}	86,66 ^A	86,66 ^A	90,00 ^A
		CaCl ₂	0	53,33 ^{AB}	63,33 ^{AB}	66,66 ^{AB}	83,33 ^A	83,33 ^A	83,33 ^{AC}
		moyenne totale	0	46,66 ^b	68,66 ^b	81,33 ^b	90,66 ^a	90,66 ^a	93,33 ^a
	T2	T0NP	0	0,00 ^A	23,33 ^A	50,00 ^A	70,00 ^A	70,00 ^A	73,33 ^A
		HP	0	46,66 ^C	50,00 ^{AC}	76,66 ^B	86,66 ^A	86,66 ^A	86,66 ^A
		NaCl	0	6,66 ^A	30,00 ^A	73,33 ^{AB}	90,00 ^A	90,00 ^A	90,00 ^A
		CaSO ₄	0	23,33 ^B	23,33 ^A	60,00 ^{AB}	73,33 ^A	73,33 ^A	76,66 ^A
		CaCl ₂	0	0,00 ^A	0,00 ^{AB}	50,00 ^A	66,66 ^A	66,66 ^A	66,66 ^A
		Moyenne totale	0	15,33 ^c	25,33 ^c	62,00 ^c	77,33 ^b	77,33 ^b	78,66 ^b
ESM		0	8,00	9,20	8,14	8,27	8,27	7,98	
Salinité (df=2)		0	75,02 ^{***}	92,65 ^{***}	83,80 ^{***}	53,61 ^{***}	53,61 ^{***}	58,57 ^{***}	
Population (df=1)		0	2,54 ^{ns}	16,24 ^{***}	41,31 ^{***}	63,04 ^{***}	63,04 ^{***}	69,07 ^{***}	
Priming (df=4)		0	26,16 ^{***}	8,56 ^{***}	5,43 ^{***}	3,80 ^{**}	3,80 ^{**}	4,16 ^{**}	

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les différentes lettres majuscules et minuscules sur la même colonne sont différentes significativement (P < 0,05). Les valeurs de F sont présentées. Niveau de signification sont comme suit : ns, *P < 0,05, **P < 0,01 et ***P < 0,001. ns : non significatif, significatif, hautement significatif et très hautement significatif. ESM : erreur standard à la moyenne.

En conditions favorables (T0), la germination des graines non traitées par l'amorçage (T0NP) commence le 2^{ème} jour avec un pourcentage de 20% et 16,67% (A18 et TZ2 respectivement), puis elle évolue rapidement à partir du 3^e jour. La TZ2 enregistre des pourcentages de germination qui dépassent les 80% le quatrième jour pour atteindre 86,66 % le 7^{ème} jour. La population A18 atteint un pourcentage de germination maximum (93,33%) le troisième jour.

L'application de l'amorçage au témoin non stressé, induit une amélioration significative dans l'évolution du pourcentage de germination des deux populations, principalement la A18. Les graines germent rapidement dans tous les priming avec des pourcentages de germination élevés, particulièrement pour l'hydropriming et le priming par le CaSO₄. Ce comportement est bien observé le 2^{ème} jour de la germination des graines traitées par l'hydropriming avec un pourcentage de 60% et 76,67% pour la TZ2 et A18 respectivement, soit une augmentation significative de l'ordre de 260,14% et 283,3% respectivement par rapport au témoin sans priming. Elle évolue ensuite rapidement avec une augmentation des pourcentages de germination par rapport au témoin sans priming, de l'ordre de 35 % et 42 % (TZ2 et A18 respectivement) le 3^{ème} jour, puis le maximum de germination soit 93,33% et 100% (TZ2 et A18) est obtenu respectivement le 5^{ème} et 7^{ème} jour.

En conditions de stress salin, en général, le stress salin induit un retard et une réduction du pourcentage de germination. L'amorçage améliore la germination, cependant, l'effet varie avec la population, l'intensité du stress et la méthode de priming.

Dans le cas de stress modéré (T1 : 85 mM de NaCl), (tableau 6), il n'existe pas une différence notable dans l'évolution du pourcentage de germination des graines de l'A18 et celle du témoin (T0). Cependant la TZ2 enregistre un retard et une réduction du pourcentage de germination. En effet, la germination diminue à partir du troisième jour (33,33% contre 56,66% chez le témoin), la réduction se poursuit jusqu'au 7^{ème} jour pour atteindre un pourcentage final de 63,33 % contre 86,66% chez le témoin.

En revanche, l'amorçage améliore significativement le pourcentage de germination sous stress modéré du 2^{ème} jour jusqu'au 7^{ème} jour. Cette amélioration se traduit par une accélération de la germination et une augmentation du nombre de graines germées, mais elle varie selon la méthode d'amorçage et le génotype (tableau 6).

En effet, la germination des graines amorcées de la TZ2, varie de 40% à 77 % le deuxième jour contre environ 17 % (témoin sans priming), l'augmentation se poursuit jusqu'au 7^{ème} jour, ou elle atteint des pourcentages qui varient entre 70% à 96,67% contre 63,33% (témoin sans priming) (tableau 6).

De même, l'amorçage améliore la germination des graines de la population A18 sous stress modéré. En effet, la germination de graines amorcées varie de 53,33% à 56,67% contre 13,33% (témoin non amorcé le deuxième jour), l'amélioration se poursuit chaque jour jusqu'au 7^{ème} jour. En général, les meilleurs pourcentages de germination durant les 7 jours sont observés chez les graines traitées par l'hydropriming et par le NaCl (tableau 6).

Dans les conditions de stress sévère (170 mM de NaCl), la germination des deux populations est retardée et réduite significativement (tableau 6). Chez la population A18, la germination des graines non amorcées commence le 3^{ème} jour, avec une réduction de l'ordre de -63%, -46 % et -24%, les 3^{èmes}, 4^{èmes} et 5^{èmes} jours respectivement par rapport au témoin non amorcé.

Cependant, l'amorçage améliore la tolérance des graines à cette concentration T2 en accélérant la germination et en augmentant le nombre graines germées. L'hydropriming et le priming par le NaCl et le CaSO₄ sont les plus efficaces. Par exemple, le 2^{ème} jour, l'hydropriming et le priming par le CaSO₄ augmentent significativement la germination de l'ordre de 46% et 23% par rapport au témoin non amorcées (tableau 6).

La TZ2 est plus affectée par la concentration 170 mM que la A18. La germination est retardée et réduite significativement. Elle commence le troisième jour, puis diminue de l'ordre de -88%, -86% et -57% les 3^{ème}, 4^{ème} et 7^{ème} jours respectivement. Cet effet est minimisé par l'hydropriming et le priming NaCl qui accélèrent et augmentent la germination des graines, particulièrement le 2^{ème} et le 3^{ème} jour (tableau 6).

3.1.2. Pourcentage final de germination

Les résultats du pourcentage final de germination sont consignés dans le tableau 7 et la figure 5. L'analyse statistique (tableau 8) indique des effets très hautement significatifs du stress salin et population, hautement significatif du facteur amorçage.

À la lecture du tableau 7, le stress salin réduit le pourcentage final de germination du niébé. La TZ2 est la plus affectée ; les réductions sont de l'ordre de 36 % et 136 % (en T1 et T2 respectivement) pour le témoin sans amorçage. L'amorçage atténue l'effet dépressif du stress modéré avec des pourcentages d'augmentations significatifs de l'ordre de 53%, 37% et 21% pour l'hydropriming, le priming NaCl et le priming CaCl₂ respectivement. En conditions favorables, l'hydropriming, le priming CaSO₄ et CaCl₂ améliorent aussi le pourcentage final de germination de la TZ2.

Tableau 7 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming T0NP, Hydropriming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur le pourcentage final de germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).

<u>Pourcentage final de germination</u>				
<u>T0 (0 mM NaCl) 85 mM de NaCl 170 mM de NaCl</u>				
TZ2	T0NP	86,66±23,09 ^A	63,33±11,54 ^A	36,66±15,27 ^A
	HP	93,33±11,54 ^A	96,66±5,77 ^B	36,66±20,81 ^A
	NaCl	83,33±28,86 ^A	86,66±5,77 ^{AB}	36,66±5,77 ^A
	CaSO ₄	90,00±10,00 ^A	70,00±17,32 ^A	6,66±5,77 ^B
	CaCl ₂	70,00±20,00 ^A	76,66±20,81 ^{AB}	33,33±20,81 ^{AB}
	Moyenne totale	84,66±18,84 ^a	78,66±16,84 ^a	30,00±17,72 ^b
	A18	T0NP	93,33±11,54 ^A	96,66±5,77 ^A
HP		100,00±0,00 ^A	100,00±0,00 ^{AB}	86,66±11,54 ^A
NaCl		93,33±11,54 ^A	96,66±5,77 ^A	90,00±10,00 ^A
CaSO ₄		93,33±5,77 ^A	90,00±10,00 ^A	76,66±15,27 ^A
CaCl ₂		90,00±10,00 ^A	83,33±11,54 ^{AC}	66,66±20,81 ^A
moyenne totale		94,00±8,28 ^a	93,33±8,99 ^a	78,66±14,57 ^b

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les valeurs sont représentées par la moyenne ± l'écartype.

Les différentes lettres majuscules et minuscules sur la même colonne sont différentes significativement (P < 0,05).

L'A18 n'est affectée qu'au stress sévère (T2), avec une réduction de l'ordre de 27 %. Cet effet négatif de la salinité est atténué particulièrement par l'hydropriming et l'halopriming NaCl; les pourcentages d'augmentations sont de l'ordre de 18% et 23% respectivement. Les résultats du tableau 6 montrent que même en conditions favorables et sous stress modéré, l'hydropriming améliore le pourcentage final de l'A18.

Tableau 8 : ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et amorçage et leurs interactions pour le pourcentage final de germination.

Source de variation	ddl	moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	11194,44	58,57	0,000***
Population	1	13201,11	69,07	0,000***
Amorçage	4	795,556	4,16	0,005**
Salinité * population	2	3414,444	17,86	0,000***
Salinité * amorçage	8	168,056	0,87	0,539 ^{ns}
Population * amorçage	4	95,556	0,50	0,736 ^{ns}
Salinité * population * amorçage	8	254,722	1,33	0,245 ^{ns}
Erreur	60	191,11		
Total	90			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

D'après les résultats du test post hoc (LSD), le classement suivant est obtenu pour les trois facteurs : Les traitements : T2 < T1 < T0 ; les populations : TZ2 < A18 et l'amorçage : CaCl₂, CaSO₄, Témoin T0NP < NaCl < HP.

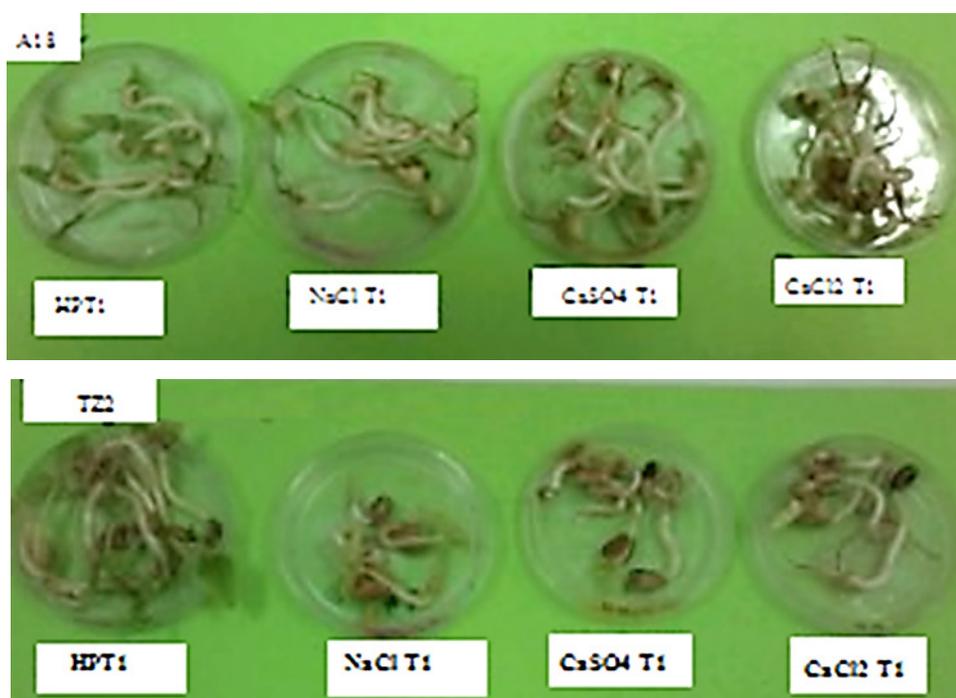


Figure 5: Effets des différentes méthodes de priming (Hydropriming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur la germination de deux populations (TZ2 et A18) soumises à la concentration T1 (85 mM de NaCl).

3.1.3. Vitesse de germination

La figure 6 présente les résultats de la vitesse de germination. L'analyse statistique indique que les effets de la salinité, de l'amorçage, et du génotype sont très hautement significatif sur la vitesse de germination (tableau 9).

La figure 6 montre que le stress salin modéré induit un ralentissement de la vitesse de germination de l'ordre de -29% et -8 % (TZ2 et A18 respectivement). Le stress sévère, par contre, provoque des réductions plus importantes de la vitesse de germination de l'ordre de -69 % et -41% (TZ2 et A18 respectivement). Ces effets sont cependant largement atténués par l'amorçage des graines qui permet une accélération très hautement significative de la vitesse de germination en conditions favorables et en conditions de stress. Cette amélioration dépend étroitement du type d'amorçage, de la dose de sel et du génotype.

Ainsi, une vitesse rapide caractérise les semences amorcées par le CaSO₄, le CaCl₂, le NaCl et l'hydropriming, soumises ou non au stress salin, pour les deux populations. Les graines qui ont subi l'hydropriming enregistrent les meilleures valeurs de vitesse de germination pour les deux populations. En effet, la vitesse de germination de l'A18 augmente de l'ordre de 41 %, 39

% et 75% (T0, T1 et T2 respectivement) ; et de l'ordre de 37%, 109 % et 52% (T0, T1 et T2 respectivement) pour la TZ2.

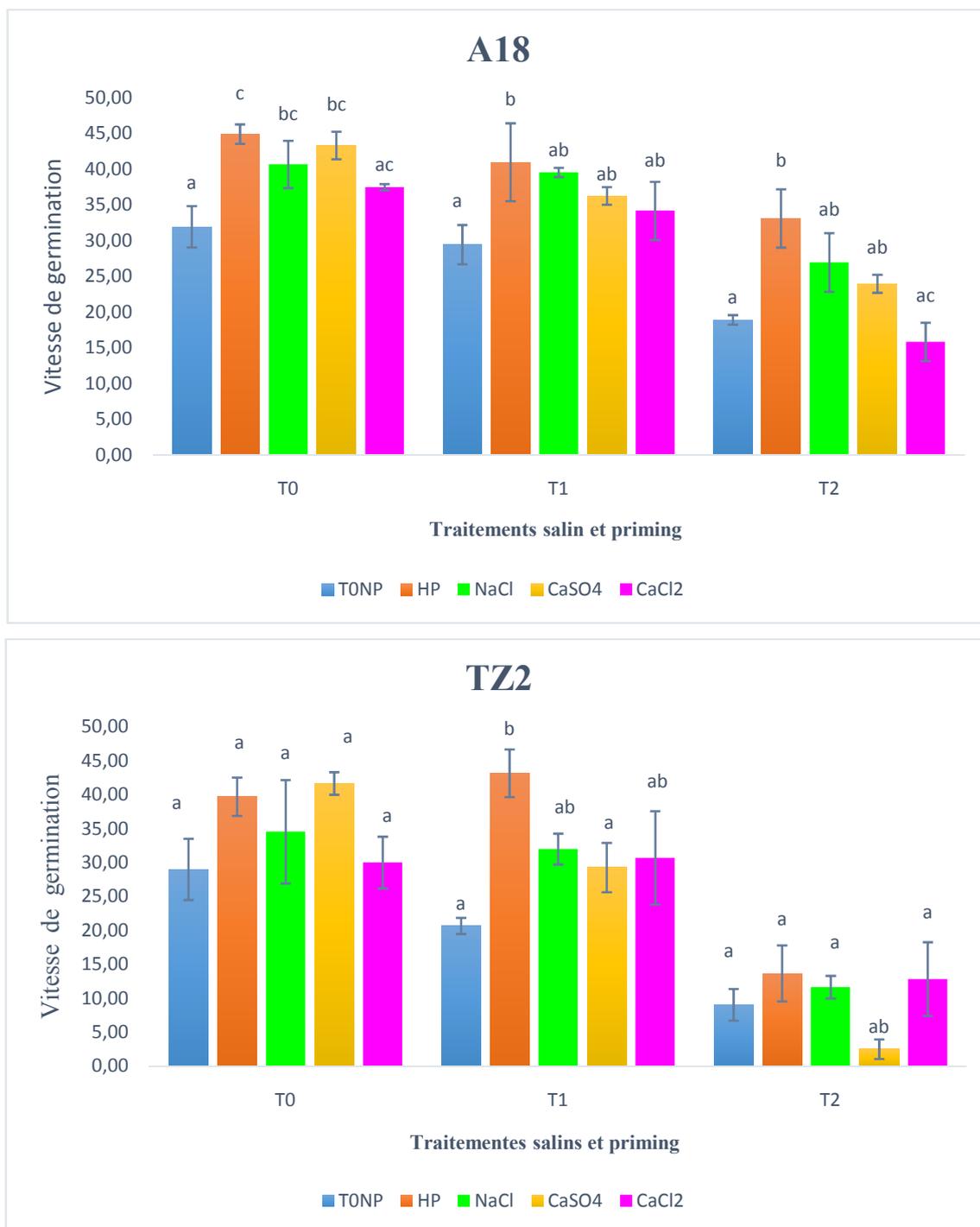


Figure 6 : Variation de la vitesse de germination des deux populations de niébé (A18 et TZ2) conduites sous différentes concentrations salines (T0 : 0 mM NaCl, T1 : 85 mM NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et différentes situations d'amorçage (Témoins : sans priming T0NP, HP : Hydropriming, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) durant 7 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement salin, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

En comparant les populations, tous traitements confondus, la A18 enregistre les meilleures valeurs de vitesse de germination.

Tableau 9: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, géotypes et priming et leurs interactions pour la vitesse de germination.

source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	3573,41	98,12	0,000***
Population	1	1371,08	37,65	0,000***
Priming	4	405,68	11,14	0,000***
Salinité *population	2	203,67	5,59	0,006**
Salinité *priming	8	51,78	1,42	0,206 ^{ns}
Population *priming	4	21,23	0,58	0,676 ^{ns}
Salinité*population*priming	8	50,50	1,38	0,221 ^{ns}
Erreur	60	36,41		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement.

D'après les résultats du test post hoc (LSD), le classement suivant est obtenu pour les trois facteurs : les traitements : T2 < T1 < T0 ; les populations : TZ2 < A18 et l'amorçage : Témoin T0 NP < CaCl₂, CaSO₄ < NaCl < HP.

3.1.4. Discussion

Les résultats (tableau 6, tableau 7 et figure 5 et 7) obtenus indiquent que le stress sévère (170 Mm de Na Cl) retarde la germination des graines et induit une réduction du pourcentage final de germination, ce qui confirme les études antérieures sur le niébé (Murillo-Amador et Troyo-Dieguez, 2000). Maas et Poss (1989) expliquent que ce retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la moyenne de germination journalière des géotypes avec l'augmentation de la concentration saline, est dû au temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne.

La réduction de la germination observée dans cette étude sous l'effet du stress sévère, peut être due aux effets osmotiques (Neamatollahi et Bannayan, 2009) ou toxiques des sels, qui peuvent perturber certaines activités enzymatiques ou hormonales de la graine (Yildirim et Guvenc, 2006).

La réduction du pourcentage de germination et le ralentissement de la vitesse de germinations observés dans cette étude seraient dus à la grande absorption des ions Na⁺ et Cl⁻ pendant la germination, qui se traduit par une toxicité cellulaire et par conséquent une inhibition ou ralentissement de la vitesse de germination et donc du pourcentage de germination (Grattan et Grieve, 1999).

Les résultats de la germination démontrent que l'amorçage améliore les performances de germinatives du niébé sous conditions normales et stressantes (tableau 6, tableau 7 et figure 5) et de ce fait, confirment les études antérieures sur plusieurs espèces telles que la nigelle (Gholami *et al.*, 2015). Ces auteurs ont confirmé que le priming est une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives en permettant une germination rapide et synchronisée, ainsi qu'une tolérance plus efficace au stress salin.

Dans cette étude, l'amorçage améliore la vitesse et le pourcentage de germination (tableau 6 et figure 5 et 7). Plusieurs auteurs suggèrent que cette amélioration est due à des modifications au niveau de la graine, telles que l'accélération de l'absorption de l'eau, ce qui permettra la croissance de l'embryon à l'intérieur et augmente la vitesse de germination (Elouaer et Hanachi, 2012) ; l'embryon s'étend et comprime l'endosperme. Il stimule et prépare le métabolisme des graines pour la sortie de la radicule (Farooq *et al.*, 2007a).

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 peroxydase et la dismutase superoxyde (Sedghi *et al.*, 2014).

Les résultats de la germination montrent que l'amorçage des graines par le NaCl, le CaSO₄ et l'hydropriming sont plus efficaces en conditions non stressantes et stressantes avec un pourcentage de germination meilleur et une vitesse de germination plus rapide. L'effet positif de CaCl₂ apparaît surtout sur l'évolution du pourcentage de germination et sur la vitesse de germination sous stress modéré.

Ces résultats rejoignent ceux de Gholami *et al.* (2015), qui expliquent que l'effet bénéfique de l'halopriming par le NaCl sur la germination sous stress salin et en conditions normales, est dû à la non toxicité du NaCl suite à l'accumulation des ions au niveau de l'embryon. Des résultats similaires sont trouvés sur l'effet bénéfique du priming par le NaCl pour plusieurs espèces, telles que la tomate (Nakaune *et al.*, 2012) et le poivron (Khan *et al.*, 2009).

Les résultats de cette étude concernant l'effet positif de l'hydropriming concordent avec ceux obtenus par Kaya *et al.* (2006) sur le tournesol et Sharma *et al.* (2014) sur le gombo. Cette technique est peu coûteuse et évite l'utilisation de produits chimiques qui peuvent être néfastes pour l'environnement et la santé humaine (Ghassemi-Golezani *et al.*, 2008).

Les résultats de cette étude concernant l'effet bénéfique du CaSO_4 sur la germination en conditions stressantes et non stressantes, sont conformes avec ceux obtenus par d'autres chercheurs (Afzal *et al.*, 2008). Ces auteurs expliquent que l'amorçage par le CaSO_4 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 modéré pendant la germination. En accord avec les travaux de Afzal *et al.* (2008), Iqbal *et al.* (2006) 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 ou en raison de son rôle dans l'équilibre hormonal.

3.2. Influence de l'amorçage sur la croissance précoce sous stress salin

La croissance précoce des deux populations de niébé (TZ2 et A18) est étudiée par la mesure de la longueur des racines, des hypocotyles, des épicotyles et de la longueur totale en conditions normales et stressantes (NaCl 85 mM et 170 mM de NaCl), ainsi que le poids frais, le poids sec des plantules et l'indice de vigueur des plantules le 7^{ème} jour de germination.

En général, l'augmentation de la salinité affecte tous les paramètres de croissance. Le priming permet une amélioration significative de la croissance en conditions normales et en conditions de stress salin chez les deux populations tous traitements confondus. Mais les effets varient selon le type d'amorçage, la population et l'intensité du stress salin.

3.2.1. Longueur des racines

La figure 7 illustre les résultats de la longueur des racines. L'ANOVA montre que la longueur des racines est affectée très hautement significativement par le stress salin et le génotype et significativement par le priming (tableau 10).

Les figures 8 et 9 montrent que l'amorçage améliore la longueur des racines en conditions favorables ; le maximum est obtenu avec les graines amorcées par le CaSO_4 (environ 6 cm contre 4 cm pour le témoin).

La longueur des racines de la population A18 est améliorée par tous les primings, avec un maximum obtenu à partir des graines amorcées par le NaCl suivi du CaSO_4 (6,99 cm et 6,10 cm respectivement) par rapport au témoin non amorcé (5,03 cm). Pour la TZ2, l'hydropriming, le priming NaCl et CaSO_4 améliorent la longueur des racines, avec un maximum obtenu avec les graines amorcées par le CaSO_4 (6,43 cm) (figure 7).

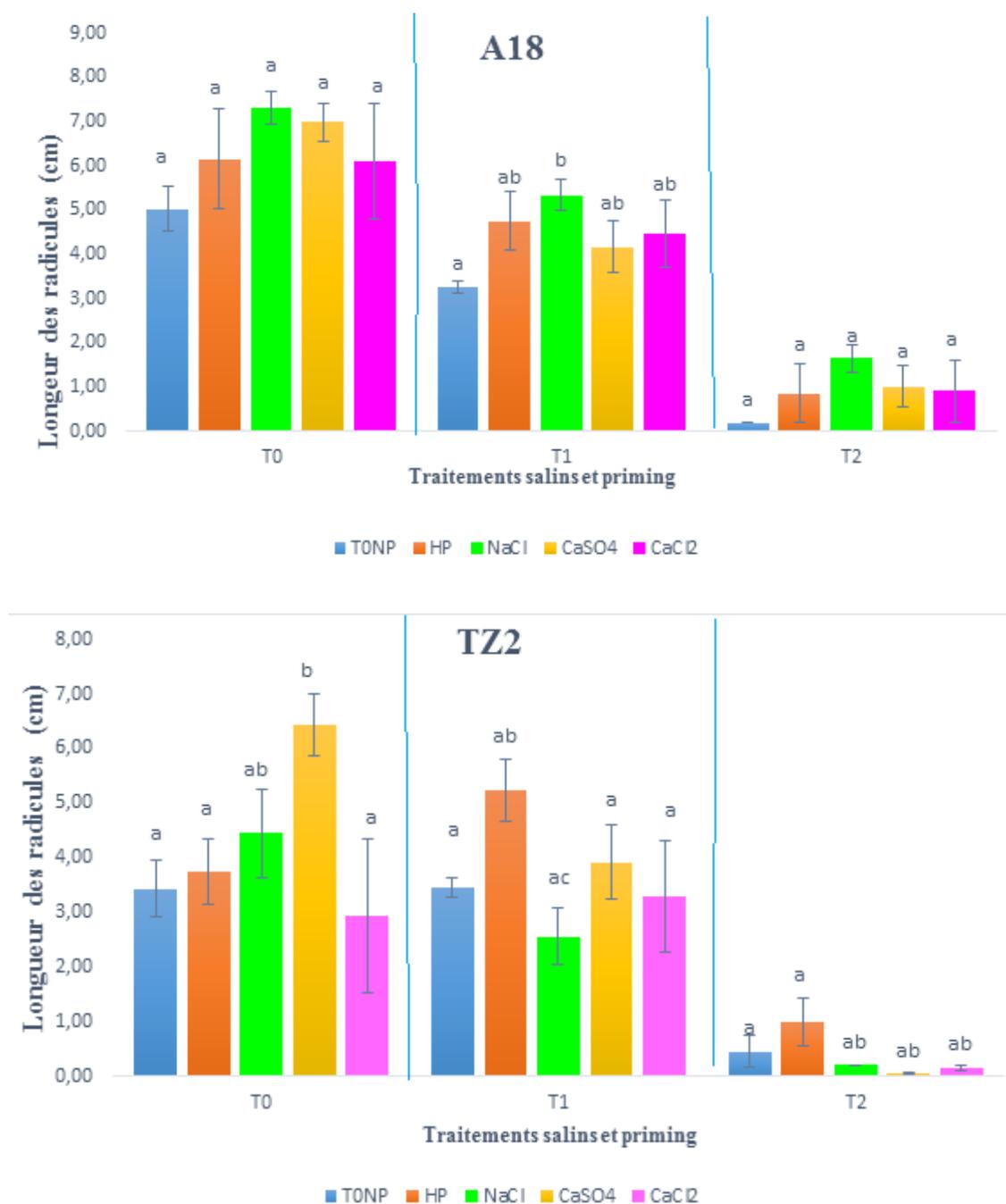


Figure 7: Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming TONP, hydro-priming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur la longueur des racines des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Les différentes lettres minuscules sont différentes significativement ($P < 0,05$) pour chaque traitement salin.

Sous stress modéré (85 mM de NaCl), le priming améliore également la croissance en longueur des racines (figure 6). Chez la population A18, une nette amélioration est observée, sous l'effet de tous les primings. Le maximum est obtenu avec le NaCl suivi de l'hydropriming, du CaCl₂ et de CaSO₄. Les pourcentages d'augmentation sont de l'ordre de 62% et 44% et 36%

et 27% respectivement. Cependant, pour la TZ2, l'amélioration est notée uniquement avec l'hydropriming suivi du CaSO₄ ; elle est de l'ordre de 51% et 13% respectivement.

Par ailleurs, les résultats de la figure 7 indiquent qu'en conditions de stress sévère (170 mM de NaCl), l'amorçage améliore l'allongement des racines. Les meilleures valeurs sont obtenues avec l'hydropriming (0,8 cm et 0,9 cm) pour l'A18 et TZ2 respectivement.

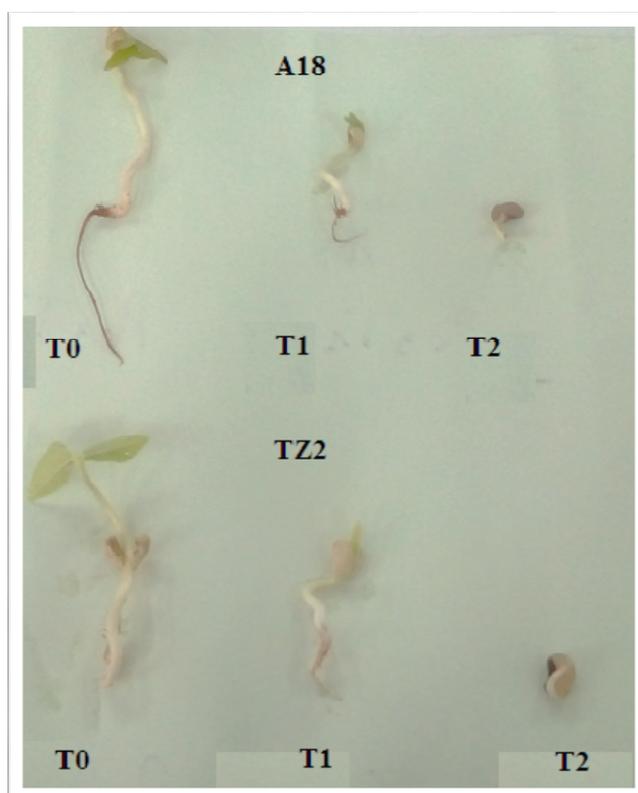


Figure 8 : Effets de la salinité (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM) sur la croissance des populations de niébé (TZ2 et A18).

Tableau 10: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, géotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des racines.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	171,335	139,565	0,000***
Population	1	28,595	23,293	0,000***
Priming	4	4,215	3,433	0,014*
Salinité *population	2	5,567	4,535	0,015*
Salinité *priming	8	2,306	1,879	0,080 ^{ns}
Population *priming	4	3,343	2,723	0,038*
Salinité*population*priming	8	0,869	0,708	0,683 ^{ns}
Erreur	60	1,228		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.2. Longueur des hypocotyles

Les valeurs de la longueur des hypocotyles sont présentées dans la figure 9. L'analyse de variance montre un effet très hautement significatif des facteurs salinité et génotype ; non significatif du priming ; hautement significative de l'interaction salinité, population priming (tableau 11).

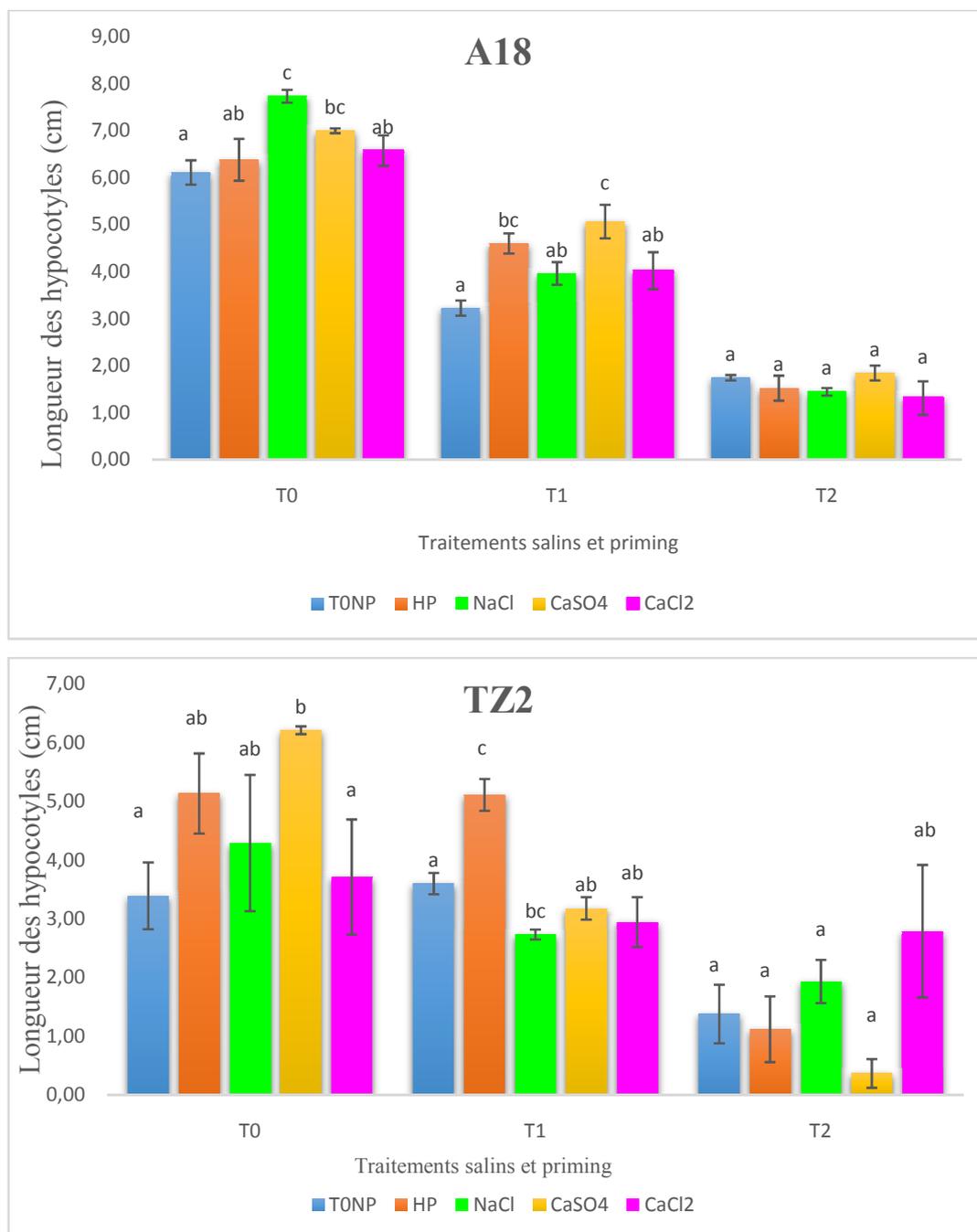


Figure 9 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, hydropriming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur la longueur des hypocotyles des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 mM NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement salin, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

En conditions favorables, le priming améliore significativement la longueur des hypocotyles; le maximum est obtenu avec le CaSO₄ (6,60 cm) par rapport au témoin (4,75 cm) (figure 9). Concernant la population A18, tous les priming améliorent la longueur des hypocotyles, avec un maximum observé avec le NaCl suivi du CaSO₄ et de l'hydropriming (7,73 cm, 7,00 cm et 6,57 cm respectivement) par rapport au témoin (6,11 cm). Alors que, pour la TZ2 le maximum de la longueur des hypocotyles est obtenu avec le CaSO₄ suivi de l'hydropriming et du NaCl (6,62 cm, 5,13 cm et 4,29 cm) par rapport au témoin (3,39 cm).

Sous stress modéré (85 mM de NaCl), le priming améliore significativement l'allongement des hypocotyles (figure 9). Tous traitements confondus, une meilleure croissance caractérise les plantules issues de l'hydropriming (4,85 cm), suivies de celles traitées par le CaSO₄ (4,12 cm), chez les deux populations.

L'effet de l'amorçage est plus marqué chez la population A18 par rapport à la TZ2 (figure 9). En effet, tous les priming améliorent la croissance des hypocotyles avec une meilleure tolérance constatée chez le lot CaSO₄; l'augmentation est de l'ordre de 57%. Quant à la TZ2, la croissance est améliorée uniquement sous l'effet de l'hydropriming avec une augmentation de l'ordre de 41% par rapport au témoin.

Sous stress sévère (170 mM de NaCl), la longueur des hypocotyles est affectée significativement chez les plantules témoins ainsi que les plantules amorcées. Cependant, le priming améliore la croissance. Pour la TZ2, le CaCl₂ permet une meilleure croissance, alors que pour l'A18, c'est le CaSO₄ suivi du NaCl qui permettent l'amélioration de la croissance des hypocotyles.

Tableau 11: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des hypocotyles.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	127,186	195,728	0,000***
Population	1	21,452	33,014	0,000***
Priming	4	1,644	2,531	0,050 ^{ns}
Salinité *population	2	9,299	14,310	0,000***
Salinité *priming	8	2,406	3,702	0,001**
Population *priming	4	,820	1,262	0,295 ^{ns}
Salinité*population*priming	8	2,309	3,553	0,002**
Erreur	60	0,650		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.3. Longueur des épicotyles

Les résultats de la longueur des épicotyles sont présentés dans la figure 10. L'analyse de la variance montre que la longueur des épicotyles est très hautement significativement affectée par la salinité et le priming, mais l'effet génotype est non significatif (tableau 12). L'interaction de tous les facteurs est significative.

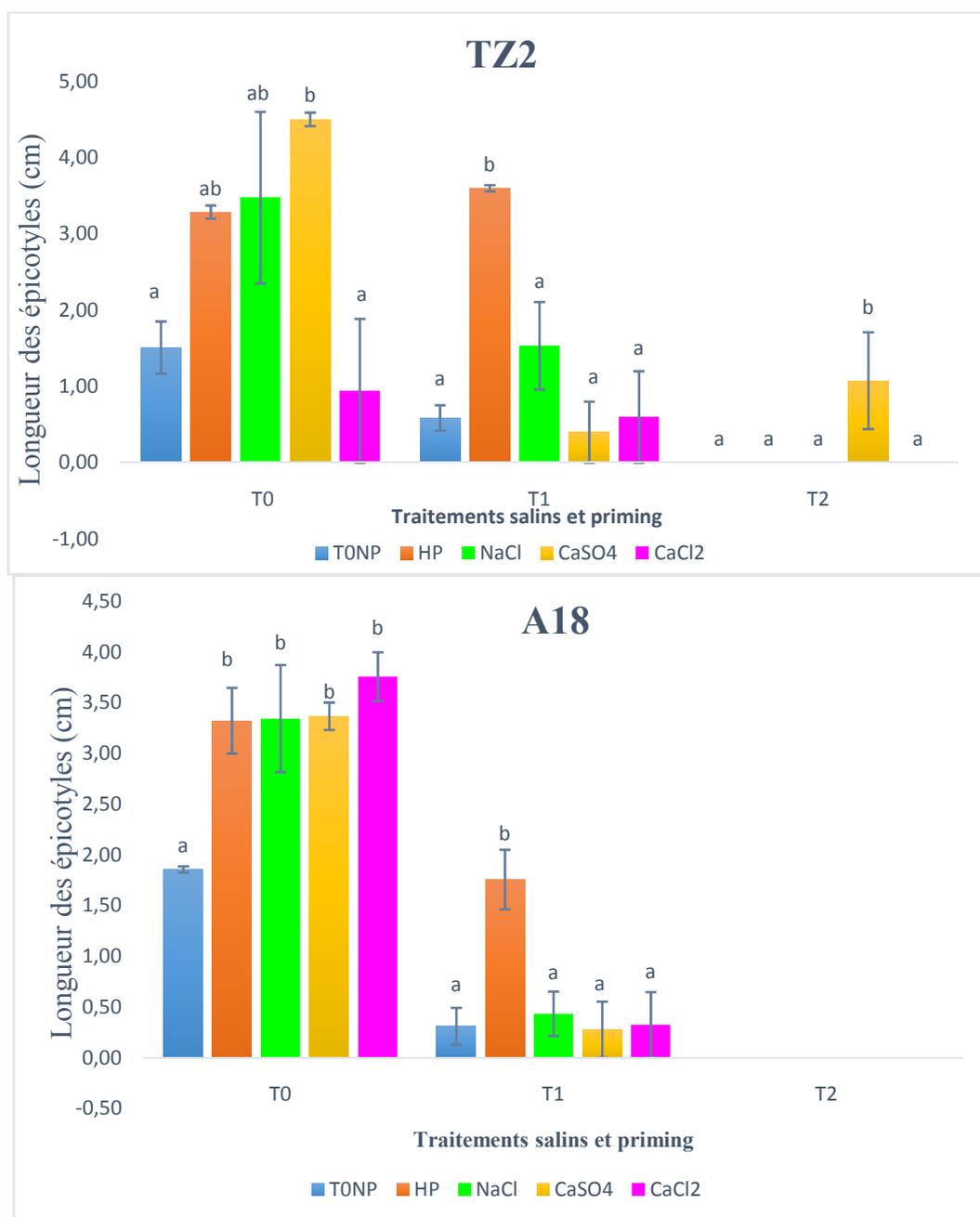


Figure 10 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoïn : sans priming T0NP, Hydropriming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur la longueur des épicotyles des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement salin, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Sous stress modéré (85 mM de NaCl), le priming améliore significativement l'allongement des épicotyles. Pour la TZ2, l'amélioration est notée avec l'hydropriming suivie du NaCl ; elle est de l'ordre de 520% et 163% respectivement. Pour la population A18, une nette augmentation est notée uniquement chez le lot hydropriming, avec une augmentation de 464% (figure 10).

En conditions de stress salin sévère (170 mM de NaCl), les plantules issues des graines amorcées et celles non traitées n'ont pas formé d'épicotyles, à l'exception du lot CaSO₄ de la population TZ2 (figure 10).

Tableau 12: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, géotypes et priming et leurs interactions pour la longueur des épicotyles.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	62,942	143,573	0,000***
Population	1	0,767	1,750	0,191 ^{ns}
Priming	4	4,823	11,002	0,000***
Salinité *population	2	2,313	5,275	0,008**
Salinité *priming	8	3,101	7,074	0,000***
Population *priming	4	1,894	4,320	0,004*
Salinité*population*priming	8	1,244	2,838	0,010*
Erreur	60	0,438		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.4. Longueur totale

Les résultats de la longueur totale sont présentés dans la figure 11. L'analyse de la variance montre que la longueur totale des plantules est très hautement significativement affectée par la salinité, le priming et le génotype (tableau 13).

Tous traitements confondus, la longueur totale des deux populations est améliorée significativement par le priming, la valeur maximale est notée chez l'hydropriming suivi du priming par le CaSO₄ puis le priming NaCl, et enfin le CaCl₂. Pour l'A18, tous les priming améliorent significativement la longueur totale, la meilleure valeur est notée chez les plantules issues de semences traitées par le NaCl, suivi par le CaSO₄, l'hydropriming et le CaCl₂. Concernant la TZ2, une nette augmentation de la croissance est notée principalement en conditions non stressantes et en conditions de stress salin 85 mM, avec l'hydropriming, le CaSO₄ et le priming par le NaCl.

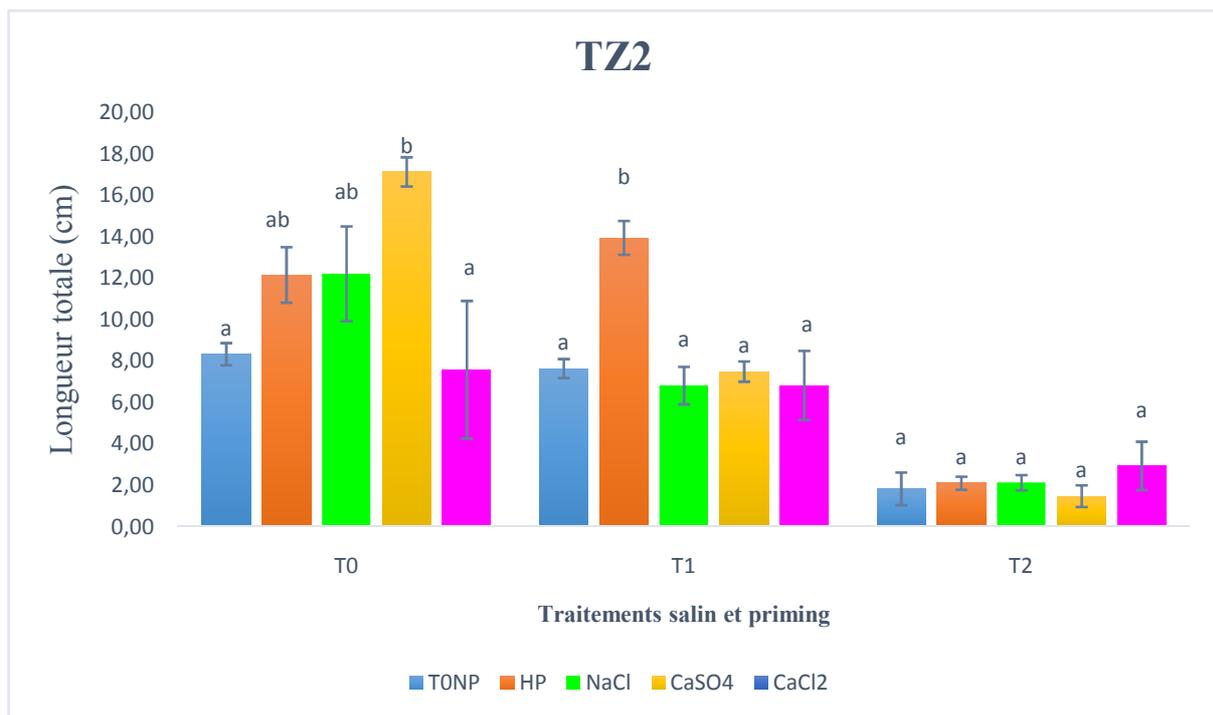
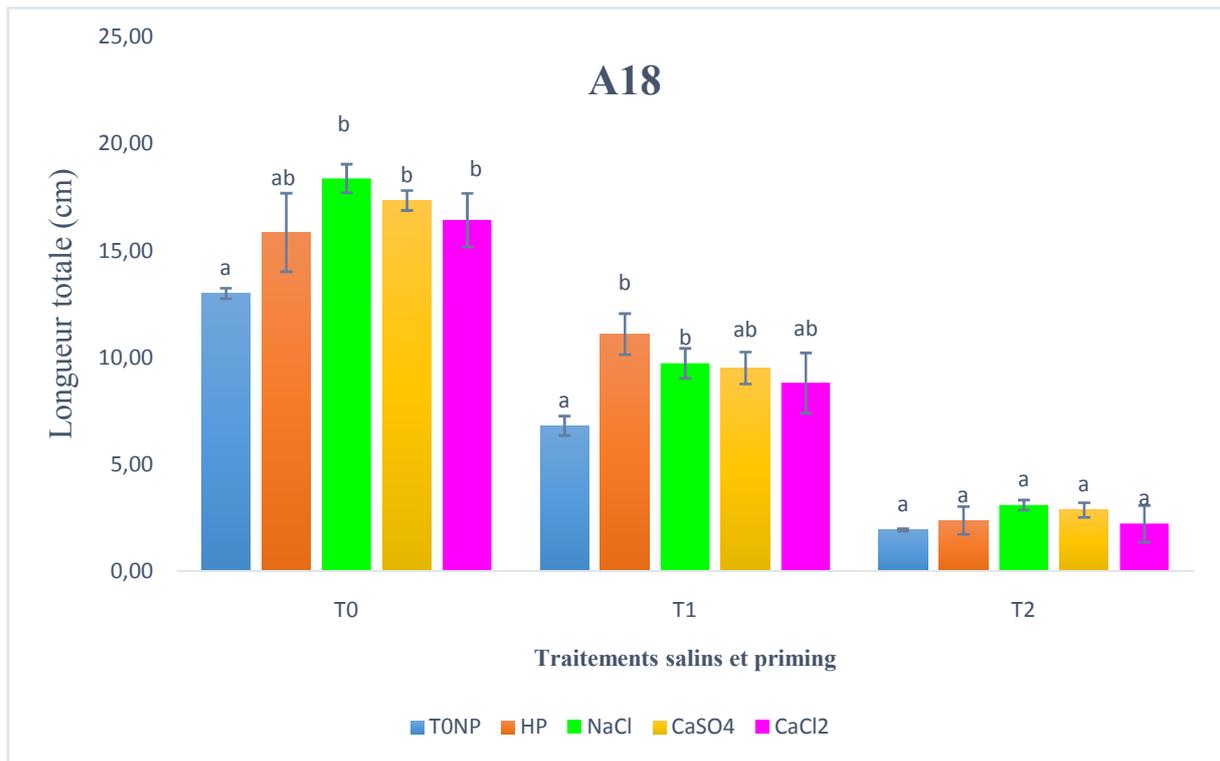


Figure 11 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming, hydropriming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur la longueur totale des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

En conditions favorables, la figure 11 montre que, pour l'A18, tous les priming améliorent significativement la longueur totale, le maximum est obtenu avec le NaCl (18,39 cm contre 13 cm pour le témoin sans priming). Quant à la TZ2, le priming NaCl, le CaSO₄ et l'hydropriming augmentent la longueur totale ; le maximum est observé avec le CaSO₄ (17,14 cm contre 8,34 cm pour le témoin).

Sous stress modéré (85 mM de NaCl) (Figure 11), toutes les méthodes d'amorçage permettent une augmentation significative de la longueur totale des plantules de la A18, les valeurs varient de 8,81 cm à 11,10 cm ; la valeur maximale est obtenue avec l'hydropriming (11,10 cm) par rapport au témoin (6,81 cm). Chez la TZ2, c'est l'hydropriming uniquement qui permet une augmentation significative de la longueur totale (13,95 cm) par rapport au témoin (7,64 cm).

Sous stress sévère (170 mM de NaCl), toutes les méthodes d'amorçage permettent une amélioration de la longueur totale des plantules de la population A18. La meilleure valeur est obtenue avec le priming NaCl (3,1 cm) par rapport au témoin (1,9 cm). Chez la TZ2 stressée à 170 mM, tous les types de priming permettent une amélioration de la longueur totale, avec une valeur maximale notée avec le CaCl₂ (2,9 cm) par rapport au témoin (1,8 cm).

Tableau 13: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, géotypes et priming et leurs interactions pour la longueur totale des plantules.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	1006,293	269,734	0,000***
Population	1	82,867	22,212	0,000***
Priming	4	29,096	7,799	0,000***
Salinité *population	2	44,092	11,819	0,000***
Salinité *priming	8	19,361	5,190	0,000***
Population *priming	4	8,355	2,240	0,075 ^{ns}
Salinité*population*priming	8	8,272	2,217	0,038*
Erreur	60	3,731		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.5. Poids frais et poids sec des plantules

Les résultats du poids sec et du poids frais des plantules de niébé soumises au stress salin et au priming sont présentés dans le tableau 14. L'analyse statistique montre pour le poids frais et le poids sec des jeunes plantules, un effet très hautement significatif du stress salin, et un effet non significatif pour les facteurs population et priming (tableau 15).

Tableau 14 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : non priming : T0NP, hydro-priming HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur le poids sec et le poids frais des plantules de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 mM, NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM).

		Poids frais (g)			Poids sec (g)		
		T0	T1	T2	T0	T1	T2
TZ2	T0NP	1,36 ^A	1,22 ^A	0,03 ^A	0,15 ^A	0,11 ^A	0,00 ^A
	HP	1,53 ^A	1,37 ^A	0,03 ^{AB}	0,14 ^A	0,15 ^A	0,00 ^A
	NaCl	1,32 ^A	1,11 ^A	0,03 ^{AB}	0,14 ^A	0,25 ^A	0,00 ^A
	CaSO ₄	1,54 ^A	0,99 ^A	0,05 ^B	0,15 ^A	0,11 ^A	0,00 ^A
	CaCl ₂	1,26 ^A	1,16 ^A	0,50 ^{AB}	0,11 ^A	0,11 ^A	0,08 ^B
	moyenne Totale	1,40 ^a	1,17 ^b	0,13 ^c	0,14 ^a	0,15 ^a	0,01 ^b
A18	T0NP	1,01 ^A	0,78 ^A	0,25 ^A	0,13 ^A	0,10 ^A	0,06 ^A
	HP	1,06 ^A	0,92 ^{AB}	0,32 ^{AB}	0,09 ^B	0,18 ^A	0,07 ^A
	NaCl	1,16 ^A	0,91 ^{AB}	0,66 ^B	0,10 ^{AB}	0,24 ^A	0,12 ^A
	CaSO ₄	1,04 ^A	1,16 ^B	0,40 ^{AB}	0,10 ^{AB}	0,12 ^A	0,15 ^A
	CaCl ₂	1,30 ^A	1,03 ^{AB}	0,21 ^A	0,10 ^{AB}	0,11 ^A	0,02 ^A
	moyenne Totale	1,11 ^a	0,96 ^b	0,37 ^c	0,10 ^a	0,15 ^a	0,087 ^b
TZ2+A18	T0NP	1,19 ^A	1,00 ^A	0,14 ^A	0,14 ^A	0,10 ^A	0,03 ^A
	HP	1,29 ^A	1,14 ^A	0,17 ^A	0,12 ^{AB}	0,16 ^{AB}	0,03 ^A
	NaCl	1,24 ^A	1,01 ^A	0,35 ^A	0,12 ^{AB}	0,24 ^B	0,06 ^A
	CaSO ₄	1,29 ^A	1,07 ^A	0,23 ^A	0,12 ^{AB}	0,11 ^A	0,07 ^A
	CaCl ₂	1,28 ^A	1,09 ^A	0,36 ^A	0,11 ^B	0,11 ^A	0,05 ^A
	total	1,26 ^a	1,06 ^b	0,25 ^c	0,12 ^a	0,15 ^a	0,05 ^b
ESM		0.12	0.12	0.12	0.03	0.03	0.03

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions, l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement salin, Les différentes lettres majuscules et minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$)

Les résultats du tableau 14 montrent que le poids sec des plantules est lié à la concentration saline appliquée, le type d'amorçage et la population. En effet, une nette régression du poids sec est enregistrée au fur et à mesure que l'intensité du stress salin augmente.

Tous traitements confondus et pour les deux populations, c'est l'amorçage par le NaCl qui présente la moyenne la plus élevée du poids sec (0,14 g / plantule) par rapport au témoin (0,09 g/plantule) non amorcé. Le poids sec de la population A18 enregistre une augmentation pour tous les priming, et sous les deux concentrations salines (85 et 170 mM de NaCl). Cependant, le poids sec de la population TZ2 n'augmente que sous l'effet du priming par le CaCl₂ (tableau 14).

En ce qui concerne le poids frais, l'augmentation de l'intensité du stress salin induit une réduction de ce paramètre (tableau 14 et tableau 15). Cependant, le priming améliore le poids frais des jeunes plantules en conditions stressantes et en conditions non stressantes (tableau 14 et tableau 15). Mais ce paramètre biométrique est étroitement lié au type de priming et de la population.

Pour la population A18, soumise au stress modéré (85 mM de NaCl), l'amélioration est notée avec tous les types de priming, essentiellement chez les lots CaSO₄ suivis du CaCl₂, de l'hydropriming et du NaCl. Sous stress sévère (170 mM de NaCl), les moyennes les plus élevées sont notées pour les lots NaCl suivis de CaSO₄ et de l'hydropriming (tableau 14). Pour la population TZ2 (tableau 14), une amélioration du poids frais des plantules chez le lot hydropriming et le NaCl (au stress modéré) et le lot CaCl₂ (au stress sévère) est enregistrée.

Tableau 15: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour les paramètres poids sec et poids frais.

Source de variation	Poids sec				Poids frais			
	ddl	moyenne des carrés	F	p	ddl	moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	0,079	18,839	0,000***	2	8,612	172,027	0,000***
Population	1	0,004	1,015	0,318 ^{ns}	1	0,166	3,324	0,073 ^{ns}
Priming	4	0,008	1,892	0,123 ^{ns}	4	0,044	0,888	0,477 ^{ns}
Salinité *population	2	0,021	4,946	0,010*	2	0,607	12,124	0,000***
Salinité *priming	8	0,007	1,726	0,111 ^{ns}	8	0,024	0,489	0,859 ^{ns}
Population *priming	4	0,002	0,569	0,686 ^{ns}	4	0,078	1,566	0,195 ^{ns}
Salinité*population*priming	8	0,004	0,991	0,452 ^{ns}	8	0,136	2,707	0,013*
Erreur	60	0,004			60	0,050		
Total	90				90			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.6. Discussion

Les résultats de cette étude montrent que le stress salin sévère induit une réduction de tous les paramètres de croissance précoce étudiés (longueur des racines, longueur des hypocotyles, longueur des épicotyles, longueur totale, poids frais et le poids sec des plantules. Ces résultats concordent avec ceux d'autres chercheurs qui indiquent que la salinité affecte la croissance duniébé (Gogile *et al.*, 2013 ;Thiam *et al.*, 2013 et El-Shaieny, 2015), du maïs (Khodarahmpouret *al.*, 2012), de la fève (CHAKER-HADDADJ *et al.*, 2014) et de la betterave (Ghoulam et Fares, 2001).

Plusieurs auteurs ont tenté d'expliquer ce comportement. Munns (2002) signale que la salinité provoque une augmentation considérable des concentrations de sodium et de chlorure et réduit par conséquent l'accumulation du phosphore et du potassium. Le rapport K⁺/Na⁺ diminue considérablement sous l'effet de la salinité (Turan *et al.*, 2010). D'après Greenway et Munns (1980),

la réduction des concentrations du potassium peut inhiber le développement de la plante en réduisant la capacité d'ajustement osmotique et en affectant les fonctions métaboliques de façon défavorable.

Les résultats de la croissance démontrent que l'amorçage atténue l'impact négatif de la salinité sur les paramètres de croissance précoce. En effet, l'amorçage améliore la longueur des racines, la longueur des hypocotyles, la longueur des épicotyles, la longueur totale, le poids frais et le poids sec des plantules du niébé soumis aux conditions stressantes et aux conditions favorables. Ce qui confirme les études antérieures sur le melon (Sivritepe *et al.*, 2003) et le blé (Basra *et al.*, 2003). Tous ces auteurs ont montré que le priming est une méthode efficace pour améliorer la croissance et permettre une tolérance plus efficace vis-à-vis du stress salin.

Khan *et al.* (1992) suggèrent que l'amélioration de la croissance peut être due à la germination synchronisée et à l'émergence rapide des graines amorcées.

Les résultats de cette étude indiquent que l'amorçage des graines par le NaCl, le CaSO₄ et l'hydropriming est efficace dans l'amélioration des paramètres de croissance aussi bien en conditions non stressantes que stressantes. Ils rejoignent ceux de Sivritepe *et al.* (2003) qui indiquent que le priming par le NaCl atténue l'effet négatif de la salinité sur la croissance des plantules de melon. Des résultats similaires sont rapportés par Khan *et al.* (2009), qui soulignent que l'amorçage par le NaCl est efficace pour atténuer les effets dépressifs de la salinité sur la croissance en permettant une augmentation significative de la longueur des hypocotyles, des racines et du poids sec des plantules.

Les résultats de cette étude concernant l'effet positif de l'hydropriming sur la croissance en conditions favorables concordent avec ceux obtenus par Ghassemi-Golezani *et al.* (2008) sur le pois chiche et par Singh *et al.* (2011) sur le niébé.

Cette étude montre également, que l'hydropriming induit une amélioration de la croissance en conditions de stress salin, des résultats similaires sont rapportés par Jorjandi et Sharifi Sirchi (2012), qui notent que l'hydropriming est plus efficace pour améliorer la longueur des racines, la longueur des hypocotyles, le poids frais et le poids sec des plantules de luzerne sous stress salin. Selon ces mêmes auteurs, cette amélioration est due à l'augmentation de l'absorption d'eau et à l'activation des processus métaboliques et biochimiques durant les premières phases de germination. Fabunmu *et al.* (2012) constatent que l'hydropriming améliore la croissance sous stress hydrique du niébé.

Les résultats de cette étude concernant l'effet améliorateur du CaSO₄ sur la croissance précoce en conditions stressantes et non stressantes, sont conformes aux résultats d'autres cher-

cheurs (Afzal *et al.*, 2008), qui expliquent que l'amorçage par le CaSO_4 augmente la proportion d'absorption du Ca^{2+} par les graines et par conséquent, induit une meilleure germination, en limitant les effets négatifs de Na^+ et autres ions en milieu salin. Ashraf *et al.* (2003) et Bakht *et al.* (2011), expliquent que l'amorçage permet l'augmentation de l'accumulation des ions Ca^{2+} et le K^+ et diminue la concentration de Na^+ , ce qui permet d'assurer un ajustement osmotique et de limiter l'impact négatif des ions Na^+ .

Les résultats de cette étude montrent que l'amorçage par le CaCl_2 améliore la tolérance du niébé au stress salin en améliorant la croissance. Une nette amélioration est aussi notée pour le poids sec et poids frais des plantules de la TZ2. Des résultats similaires sont rapportés par Tamimi (2016), qui trouve que le priming par le CaCl_2 améliore le poids sec des plantules d'orge et stimule la tolérance à la salinité. Rajendra *et al.* (2005) soulignent que le calcium joue le rôle de messenger, en envoyant un signal aux cellules pour initier rapidement la division cellulaire mitotique, qui permet une meilleure croissance ; ce qui suggère que la meilleure croissance serait due à l'augmentation de la division cellulaire mitotique au niveau des méristèmes apicaux.

3.3. Influence de l'amorçage sur l'indice de vigueur des plantules

Les résultats de la figure 12 et du tableau 16 indiquent qu'en général, l'indice de vigueur diminue très hautement significativement avec l'augmentation du stress salin. Cependant, l'amorçage des graines induit une amélioration très hautement significative de cet indice en conditions normales ainsi qu'en conditions de stress salin.

Tous traitements confondus, les meilleurs indices sont obtenus dans le lot de l'hydropriming, suivi du CaSO_4 et du NaCl (figure 13). Les pourcentages d'augmentation sont de l'ordre de 65%, 44% et 40% respectivement chez les deux populations.

Pour l'A18, tous les priming améliorent significativement l'indice de vigueur des plantules en conditions normales et sous stress. Le maximal est obtenu chez le lot NaCl avec une augmentation de l'ordre de 41% en conditions normales et de 97% sous stress sévère (170 mM de NaCl). Sous stress salin modéré, le maximal est obtenu au niveau du lot hydropriming (67,92% d'augmentation).

Pour la TZ2, en conditions normales (figure 12), les priming CaSO_4 , NaCl et l'hydropriming améliorent significativement l'indice de vigueur des plantules, avec un maximum obtenu avec le CaSO_4 (110,59% d'augmentation). En conditions stressantes, une nette amélioration de l'indice de vigueur est observée sous l'effet de l'amorçage par tous les priming. Le CaCl_2 donne le meilleur résultat en conditions de stress salin sévère (54,07%). En conditions de stress salin modéré, le maximum d'augmentation est obtenu avec l'hydropriming (182,6%).

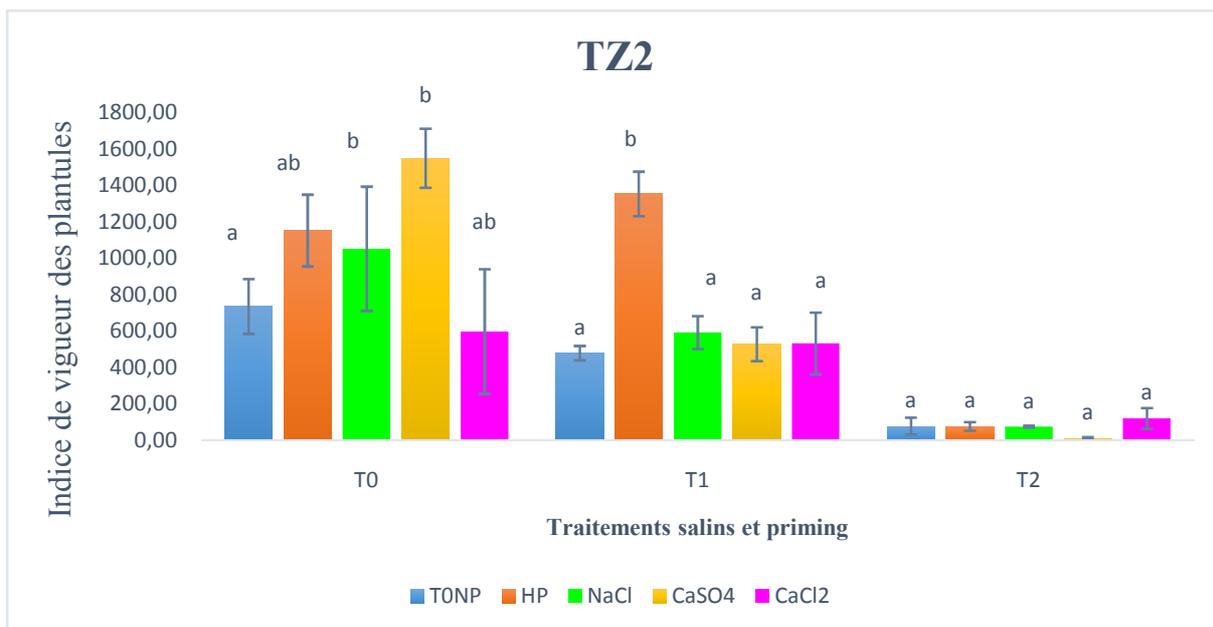
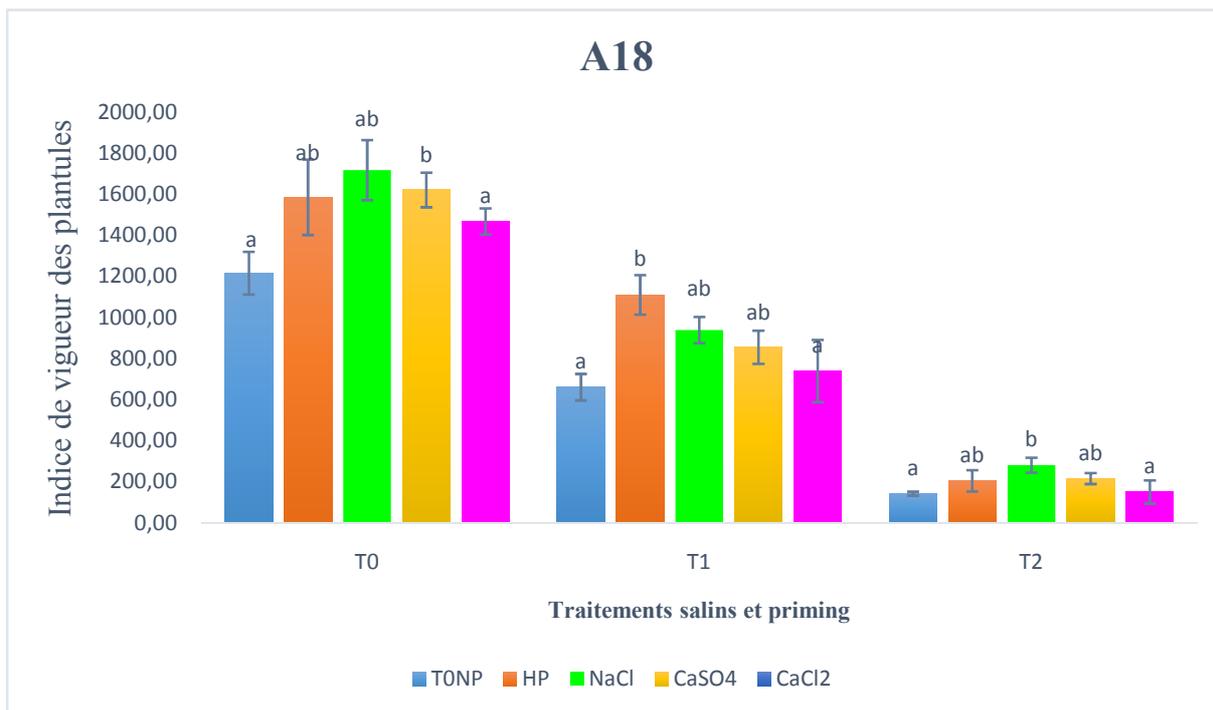


Figure 12 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, Hydropriming : HP, NaCl, CaCl₂ et CaSO₄) sur l'indice de vigueur des plantules âgées de 7 jours, de deux populations (TZ2 et A18) soumises à différentes concentrations de NaCl (T0 : 0 Mm NaCl, T1 : 85 mM et T2 : 170 mM). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Tous traitements confondus, l'A18 présente un indice de vigueur (860,6) supérieur significativement par rapport à celui de la TZ2 (596,35).

Tableau 16: ANOVA à trois facteurs de l'effet traitement, génotypes et priming et leurs interactions pour l'indice de vigueur des plantules.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	9701559,078	185,817	0,000***
Population	1	1571149,904	30,093	0,000***
Priming	4	398734,763	7,637	0,000***
Salinité *population	2	323171,756	6,190	0,004***
Salinité *priming	8	209708,246	4,017	0,001**
Population *priming	4	68131,683	1,305	0,278 ^{ns}
Salinité*population*priming	8	79696,147	1,526	0,167 ^{ns}
Erreur	60	52210,227		
Total	90			

F : valeur statistique de Fisher. P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.3.1. Discussion

Cette étude montre que l'indice de vigueur des plantules est réduit significativement avec l'augmentation du stress salin. Cependant, l'amorçage des graines induit une amélioration significative de cet indice en conditions normales, et permet aussi la tolérance au stress salin. L'effet diffère selon la dose de sel, la population et le type de priming. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Khajeh-Hosseini *et al.* (2003), qui suggèrent que la longueur des plantules contribue à un indice de vigueur élevé des plantules. Ce dernier est affecté considérablement par l'augmentation de la salinité suite à la réduction de la longueur des plantules.

La présente étude confirme également qu'une grande tolérance au sel est acquise par les plantules issues des graines amorcées par rapport à celles qui ne sont pas traitées. En effet, les meilleures valeurs de l'indice de vigueur sont dues à l'amélioration de la longueur totale des plantules sous l'effet du priming. Des résultats semblables sont aussi rapportés par Sivritepe *et al.* (2003) et Khajeh-Hosseini *et al.* (2003).

Les résultats de ce travail indiquent que les meilleurs indices de vigueur des plantules sont obtenus avec l'hydropriming, suivi du CaSO₄ et le NaCl. Des résultats similaires sont présentés par Abbasdokht *et al.* (2010) sur le blé et Sharma *et al.* (2014) sur le gombo, qui notent l'efficacité de l'hydropriming dans l'amélioration de l'indice de vigueur des plantules soumises sous stress salin. De même, Khan *et al.* (2009) trouvent également que l'halopriming NaCl améliore l'indice de vigueur des plantules de piment stressées par le sel. Farooq *et al.* (2005) concluent dans leur étude que les graines soumises à un amorçage par le NaCl entraînent une amélioration de la germination et de la vigueur des semis. Cette amélioration est due à la levée de la dormance des graines amorcées par rapport aux graines non amorcées.

La population A18 présente des indices de vigueur des plantules supérieurs significativement par rapport la TZ2. Elle présente également les meilleures germination et croissance en conditions normales et en conditions de stress salin. Ceci permet de penser que l'A18 serait mieux tolérante au sel que la TZ2.

Yildirim et Guvenc (2006) soulignent que ces différences de tolérance peuvent être attribuées aux variations génotypiques qui sont exprimées à un degré élevé sous contrainte saline. BASRA *et al.* (2002), suggèrent une relation entre la tolérance à la salinité et l'origine géographique des populations. En effet la population A18 qui s'est montrée tolérante à la salinité est d'origine saharienne (Adrar), qui est caractérisée par un climat désertique chaud typique de la zone saharienne hyper-aride, alors que la population TZ2 est originaire de Tizi Ouzou qui se situe dans la zone du climat méditerranéen. Les conditions climatiques des régions chaudes et semi-arides, sont un facteur majeur dans la création de sols salins et l'établissement d'une végétation tolérante au sel (ROSENTAL *et al.*, 2014).

Les résultats montrent également une variabilité de réponse à l'amorçage entre les deux populations étudiées. Le priming améliore la germination et la croissance des deux populations sous stress salin mais cet effet est plus prononcé chez la population A18. Les meilleures germination et croissance sous l'effet du priming observées chez l'A18, peuvent être expliquées par la présence d'une adaptation à la salinité chez ce génotype (Bakht *et al.*, 2011).

Chapitre IV : Effets de la durée de l'halopriming NaCl des graines sur l'émergence et la croissance sous stress salin.

Cette expérience est réalisée pour évaluer les effets de la durée de l'amorçage par l'halopriming (NaCl) des graines sur l'émergence et la croissance de la population A18, soumise à différentes solutions salines de NaCl.

1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de la population A18 de niébé (décrite précédemment dans le chapitre III)

2. Méthode d'étude

2.1. Traitements prégerminatifs des graines (Amorçage ou priming)

Les graines sont stérilisées dans une solution d'hypochlorite de sodium 5% pendant 5 minutes, puis rincées trois fois à l'eau distillée. Deux solutions salines de NaCl de même molarité (80 mM) sont préparées pour le priming des graines. Les solutions sont préparées en dissolvant la quantité appropriée de NaCl dans de l'eau distillée. La concentration de sel de 80 mM est choisie sur la base des expériences antérieures qui n'ont montré aucune inhibition de la germination (Nabi *et al.*, 2017).

Pour le premier lot, les graines de de la population A18 sont trempées pendant 3 heures dans la première solution de NaCl à 80 mM ; le deuxième lot de graines est trempé pendant 6 heures dans la solution de NaCl à 80 mM. L'amorçage s'effectue à température ambiante dans les solutions d'amorçage. Les graines non traitées par l'amorçage (témoin) sont utilisées comme témoin sans priming (T0NP). 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 48 heures.

2.2. Préparation des solutions salines pour l'application du stress

Des concentrations de NaCl croissantes sont utilisées pour évaluer l'effet du priming sur l'émergence et la croissance du niébé. Les concentrations utilisées sont : T0 : l'eau distillée ; T1 : 85 mM de NaCl (4,97 g/l) et T2 : 170 Mm de NaCl (9,94 g/l).

2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est une randomisation totale avec 3 répétitions, 1 population (A18), 3 traitements salins, 3 niveaux de priming (NaCl 3heures, NaCl 6heures et le témoin sans priming T0NP). Soit un total de 27 pots.

Chaque répétition comprend deux facteurs :

- Facteur 1 : Représente les différents traitements de solutions salines appliqués : (T0) : c'est l'eau distillée ; (T1) Solution saline concentrée à 85 mM de NaCl (4,97 g/l) ; (T2) Solution saline concentrée à 185 mM de NaCl (9,94g/l).
- Facteur 2 : représente 3 traitements : traitement des graines avec priming NaCl 80 mM 3heures ; NaCl 80 mM pendant 6heures, et les graines non traitées par l'amorçage (T0NP).

2.4. Conduite de l'essai

2.4.1. Préparation du substrat

Des pots en plastique de 9 cm de largeur, 6 cm de hauteur et 4 cm de profondeur sont remplis d'un mélange de sol, de terreau et de sable de rivière (préalablement rincé abondamment à l'eau et stérilisé à l'étuve (80°) pendant 2h), dans des proportions de : 1/3 :1/3 :1/3 respectivement. Dans le but de caractériser le sol utilisé dans notre expérimentation, les principales caractéristiques physico chimiques qui déterminent le gradient de la fertilité du sol sont analysées (tableau 17).

Tableau 17 : Résultats d'analyses physico-chimiques du sol.

Paramètres		Méthodes d'analyse	Résultats	Normes	Interprétations
Granulométrie (%)	Argile	Pipette de Robinson	44	AFNOR NF X 31-107	Texture argileuse
	Limon		24		
	sable		32		
pH		pH-mètre	8.2	NF ISO 10-390	Sol basique
Conductivité électrique (mS/cm)		Conductimètre	0.12	NF ISO 11 265	Sol non salé
P ₂ O ₅ assimilable (ppm)		Méthode JO-RET-HEBERT	47,2	NF X31-161	Teneur élevé en phosphore
N total (%)		Méthode Kjeldhal	0.15	NF ISO 11261	Sol moyennement riche en azote
C (%)		Méthode Anne	0.13	NF ISO 10694	Sol faiblement humifère
M.O. (%)		C (%) * 1.72	2.55		

4.2. Semis

Une pré-irrigation est réalisée une semaine avant le semis dans le but d'éviter le déplacement des graines. La méthode Murillo-Amador *et al.* (2001) est suivie pour le semis et le suivi. Le semis est effectué manuellement, à raison de 10 graines pour chaque répétition choisies au hasard.

Les graines sont semées dans chaque pot, à une profondeur de 5 mm et à une distance égale entre elles. Afin de maintenir une humidité élevée et de réduire l'évaporation, les pots sont couverts de sacs en plastique transparents, jusqu'au début de l'émergence. Les sacs sont enlevés au fur et à mesure que l'émergence commence.

2.4.3. Détermination des besoins en eau de la plante

Les besoins en eau de la culture sont déterminés par la méthode dite directe d'Aussenac *et al.*(1982), en utilisant les pots comme des cuves lysimétriques ; cette méthode se base sur le concept du bilan hydrique qui se traduit par la formule suivante :

$$\text{Bilan} = \text{Apport} - \text{Percolation.}$$

Dont, Bilan : l'eau consommée (ml), Apport : irrigation (ml), percolation : l'eau de drainage (ml).

Deux pots de plants de niébé sont utilisés comme cases lysimétriques. Les mesures du bilan sont effectuées pendant un mois. La percolation est mesurée 24h après l'irrigation qui a permis d'établir une dose d'irrigation de 30 ml d'eau (par jour).

2.4.4. Application du stress salin

Le traitement salin est appliqué dès le semis avec des irrigations salines un jour sur deux, pendant 13 jours (6 irrigations salines). Le témoin reçoit l'eau distillée. Une graine est considérée comme émergée lorsque l'hypocotyle est visible au-dessus de la surface du substrat (Murillo-Amador *et al.*, 2002).

2.4.5. Paramètres étudiés

Les paramètres mesurés sont retenus pour leur sensibilité au stress salin.

- **Évolution du pourcentage d'émergence** : le pourcentage de graines émergées est compté quotidiennement jusqu'au 10^{ème} jour de l'expérience (Murillo-Amador *et al.*, 2001)
- **Taux d'émergence** : Le nombre de graines émergées est enregistré quotidiennement (taux d'émergence), et calculé, selon la formule de Maguire (1962).

$$M = \frac{n_1}{t_1} + \frac{n_2}{t_2} + \dots + \frac{n_{10}}{t_{10}}$$

n_1, n_2, \dots, n_{10} est le nombre de graines émergées aux instants t_1, t_2, \dots, t_{10} (pendant dix jours).

- **Pourcentage final d'émergence** : est calculé après 10 jours (Murillo-Amador *et al.*, 2001)
- **Taux de survie** : est calculé selon la méthode décrite par Murillo-Amador *et al.* (2006). Il représente le pourcentage des plantules ayant survécues quatorze jours dans des conditions de stress. Le pourcentage de survie est calculé pour chaque traitement le 14^{ème} jour.

$$\text{Taux de survie \%} = \frac{\text{Nombre de plantules ayant survécu}}{\text{Nombre de graines germées}} * 100$$

- **Paramètres de croissance** : les paramètres de croissance sont mesurés le 14^{ème} jour après le semis :
 - La hauteur des hypocotyles, des épicotyles et la hauteur totale sont mesurées.
 - Le poids sec et le poids frais des racines, des feuilles, des tiges et le poids total sont mesurés. Le poids sec est déterminé après séchage de chaque partie des plantules à 80 ° C pendant 48 h (Böhm, 1979).
- **Indice de tolérance au stress** : Pour déterminer la tolérance d'un génotype, un indice (ITS) égal au rapport de la valeur du poids sec total de la plante sous stress sur celle du poids sec total de la plante du témoin, est calculé. Il est considéré que les plantes tolérantes ont un indice de tolérance plus élevé que les plantes sensibles (Seydi, 2003).

$$\text{ITS} = \left(\frac{\text{PST à } S_x}{\text{PST à } S_1} \right) * 100$$

PST = poids sec total, S1 = traitement témoin, Sx = traitement salin.

2.4.6. Analyse statistique

La signification statistique des résultats est testée par une analyse de la variance à deux facteurs (facteur traitement salin et facteur priming). Le test de la plus petite différence significative (LSD) à un risque d'erreur de 0,05 % est aussi calculé. Les moyennes, suivies de différentes lettres alphabétiques sont différentes significativement au seuil 5%. Le logiciel IBM statistics SPSS 21 est utilisé pour effectuer ces tests. Les courbes sont réalisées par l'Excel 2013. Les barres d'erreurs (ESM) sont calculées selon la formule d'ESM suivante

$$\text{ESM} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \text{ avec } \delta \text{ (écart type)} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - X)^2}{n-1}}$$

3. Résultats et discussions

3.1. Influence de l'amorçage sur l'émergence des graines sous stress salin

3.1.1. Évolution du pourcentage d'émergence

L'évolution du pourcentage d'émergence de la population A18 soumis au stress salin et au priming est illustrée par la figure 13. La réponse du niébé à l'amorçage des graines varie selon la durée du priming NaCl (3 heures ou 6 heures) et l'intensité du stress salin. Les tableaux des tests statistiques réalisés par le logiciel SPSS 10 sont placés en annexe 2.

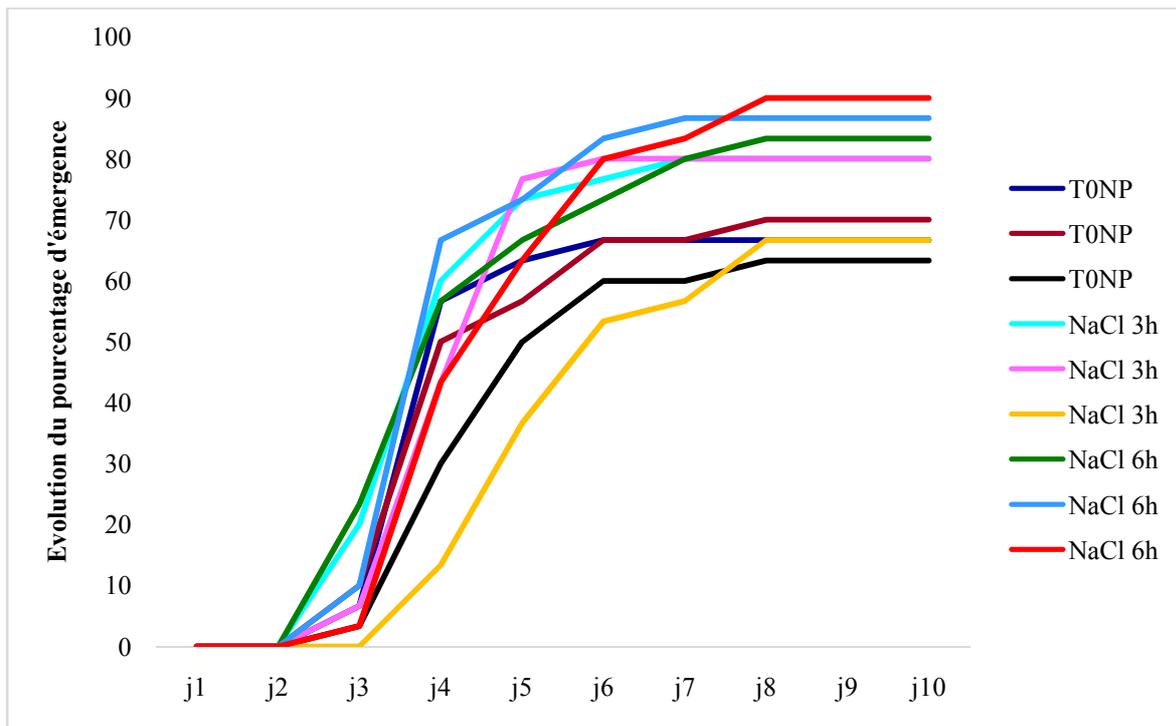


Figure 13 : Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3 heures, NaCl 6 heures) sur le pourcentage d'émergence de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (témoin) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) pendant 10 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions.

L'évolution du pourcentage d'émergence présentée dans la figure 13, montre que les courbes relatives aux pourcentages d'émergences des graines non amorcées sont situées en dessous de celles des graines amorcées (Figure 13). Elles diminuent au fur et à mesure que la concentration de sel augmente.

En conditions favorables, l'haloprimering NaCl permet une accélération de l'émergence des graines, avec des pourcentages élevés pour l'haloprimering 6 heures par rapport à l'haloprimering 3 heures. De même, en conditions de stress modéré à sévère, l'émergence est meilleure avec l'haloprimering 6 heures.

3.1.2. Pourcentage final d'émergence

Les résultats obtenus avec les différentes méthodes de priming sur le pourcentage final d'émergence des graines de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl sont présentés dans le tableau 18. L'analyse de la variance montre un effet non significatif de tous les facteurs sur le pourcentage final d'émergence (tableau 19).

Selon les résultats du tableau 18, le pourcentage final d'émergence des graines amorcées par le NaCl se caractérise par une meilleure émergence par rapport aux graines sans priming. Cette caractéristique dépend étroitement de la durée de l'amorçage et du traitement salin. Les graines amorcées 6 h dans le NaCl atteignent un pourcentage d'émergence plus élevé (86.66

%) par rapport aux graines amorcées 3 heures d'imbibition dans le NaCl (75.55 %) et par rapport au témoin sans priming (66,66%).

Tableau 18: Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le pourcentage final de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (témoin) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).

	Pourcentage final d'émergence (%)				
	T0NP	NaCl 3h	NaCl 6h	Total	ESM
T0	66,66 ^{aA}	80,00 ^{aA}	83,33 ^{aA}	76,66 ^a	9.81
T1	70,00 ^{aA}	80,00 ^{aA}	86,66 ^{aA}	78,88 ^a	12.17
T2	63,33 ^{aA}	66,66 ^{aA}	90,00 ^{aB}	73,33 ^a	4.30
Moyenne totale	66.66 ^a	75.55 ^{ab}	86.66 ^b		
ESM	18.05	10.88	9.02		

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les différentes lettres majuscules sur la même ligne sont différentes significativement ($P < 0,05$). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$).

En conditions favorables, ainsi qu'en conditions stressantes, plus la durée de l'amorçage est longue, plus l'émergence des graines est performante. Cela est confirmé en conditions favorables par l'augmentation du pourcentage d'émergence de 66,66% chez le témoin sans priming à 80% et 83,33% quand l'amorçage des graines dans le NaCl est de 3 heures et 6 heures respectivement. En conditions stressantes, la même amélioration sous l'effet du priming NaCl est notée, avec une amélioration significative du pourcentage final d'émergence observée pour les graines stressées à 170 Mm de NaCl (tableau 18). En effet, le pourcentage d'émergence passe de 63,33% (témoin sans priming) à 66,66 % et 90,00 % pour les graines amorcées respectivement dans du NaCl 3heures et NaCl 6 heures.

Tableau 19: Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour le paramètre pourcentage final d'émergence.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	158,333	158,333	0,632 ^{ns}
Priming	3	918,519	918,519	0,067 ^{ns}
Salinité *Priming	6	99,074	99,074	0,935 ^{ns}
Erreur	24	338,889	338,889	
Total	36			

(F : valeur statistique de Fisher, P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement

3.1.3. Taux d'émergence

Les résultats du taux d'émergence sont consignés dans le tableau 20. L'analyse de la variance montre un effet non significatif de tous les facteurs sur le taux d'émergence (Tableau 21). Tous traitements confondus, ce paramètre est affecté positivement par l'effet de la durée d'amorçage des graines. Le taux d'émergence augmente avec l'augmentation de la durée d'haloprimer des graines à 6 heures de NaCl (2,02), par rapport aux graines amorcées à 3 heures de NaCl (1,75), et au témoin sans priming (1,62).

Tableau 20: Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le taux d'émergence de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée (T0NP) ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).

	Taux d'émergence				
	T0NP	NaCl 3h	NaCl 6h	Total	ESM
T0	1,663 ^{aA}	2,036 ^{aA}	2,056 ^{aA}	1,91 ^a	0.41
T1	1,676 ^{aA}	1,970 ^{aA}	2,100 ^{aA}	1,91 ^a	0.37
T2	1,520 ^{aA}	1,250 ^{aA}	1,920 ^{aA}	1,56 ^a	0.20
Moyenne totale	1,620 ^a	1,752 ^a	2,025 ^a		
ESM	0.38	0.29	0.34		

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les différentes lettres majuscules sur la même ligne sont différentes significativement ($P < 0,05$). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$).

En conditions favorables (tableau 20) et en conditions de stress salins 85 mM et 170 mM de NaCl, les meilleures valeurs du taux d'émergence sont enregistrées dans le lot de graines imbibées 6 heures dans le NaCl (2,05, 2,1 et 1,92) par rapport aux graines amorcées 3 heures dans le NaCl (2,03, 1,97 et 1,25) et aux graines témoins sans priming (1,66, 1,67 et 1,52).

Tableau 21: Analyse de la variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour le paramètre taux d'émergence.

Source de variation	ddl	moyenne des carrés	F	P
Salinité	2	0,376	1,059	0,367 ^{ns}
Priming	2	0,385	1,085	0,359 ^{ns}
Salinité *Priming	4	0,122	0,344	0,845 ^{ns}
Erreur	18	0,355		
Total	27			

(F : valeur statistique de Fisher, P : n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.1.4. Discussion

Le stress salin retarde et réduit l'émergence des graines du niébé. Ces effets peuvent être atténués par l'haloprimer NaCl qui améliore l'émergence aussi bien en conditions favo-

rables qu'en conditions stressantes. Dans tous les cas, l'halopriming de 6 heures est plus efficace que celui de 3 heures.

En condition de stress salin sévère (170 Mm de NaCl), le pourcentage et le taux d'émergence sont faibles, Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par d'autres chercheurs qui notent un effet négatif de la salinité sur l'émergence chez plusieurs espèces, telles que le niébé (Murillo-Amador *et al.*, 2002 et Thiam *et al.*, 2013), le céleri (*Apium graveolens* L.), Le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.) et le persil (*Petroselinum crispum* Mill.) (Soliman and El-Shaieny, 2014).

Murillo-Amador *et al.* (2002), suggèrent que l'effet dépressif de la salinité est dû aux effets osmotiques des sels. Evelin *et al.* (2009) soulignent que la toxicité ionique, due aux ions sodium et chlore, ainsi que le déséquilibre nutritionnel de la plante induisent la réduction de l'émergence. Cicek et Cakirlar (2002) notent que, la salinité affecte le développement des racines et des hypocotyles, ce qui se traduit par un retard de l'émergence.

Les résultats de cette étude montrent que l'halopriming améliore l'émergence du niébé en conditions normales et en conditions stressantes. Il permet d'obtenir une émergence plus rapide et un pourcentage d'émergence plus élevé. Ces résultats montrent que l'amorçage des graines provoque manifestement une stimulation de la tolérance au stress salin. Ils confirment les études antérieures sur d'autres espèces telles que la canne à sucre (Patade *et al.*, 2009) et le poivron (Aloui *et al.*, 2014). Le prétraitement des graines est considéré comme une technologie permettant d'assurer une émergence rapide et synchronisée des plantules (Cicek et Cakirlar, 2002 ; Soughiret *et al.*, 2013).

Dans cette expérience il est avéré que la durée de l'amorçage augmente aussi son efficacité. Ainsi, l'halopriming est plus efficace avec 6 heures d'imbibition et conforte les résultats obtenus par Ghassemi-Golezani *et al.* (2008), qui montrent que 6 heures de priming représentent la durée optimale pour améliorer les performances germinatives du niébé en conditions normales. Cette durée serait suffisante pour permettre le déroulement des processus métaboliques prégerminatifs. Maiti et Pramanik (2013) montrent que la durée d'amorçage est un facteur principal qui influe sur l'efficacité du priming. Les meilleurs résultats de l'amorçage au NaCl (6 heures) peuvent être dus à l'absorption des ions Na^+ et Cl^- par la graine, en maintenant un gradient de potentiel d'eau permettant l'absorption de l'eau pendant la germination des semences.

3.2. Influence de l'amorçage sur le taux de survie

Les résultats sur le taux de survie des graines de la population A18 soumises au stress salin et au priming sont présentés dans le tableau 22. L'analyse de la variance (tableau 23)

montre un effet très hautement significatif de la salinité, non significatif du priming et de l'interaction salinité * priming.

Tableau 22: Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming T0NP, NaCl 3heures, NaCl 6heures) sur le taux de survie de la population A18 soumise à différentes concentrations de NaCl (T0 : eau distillée : témoin ;T1 : 85 mM NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).

	Taux de survie				
	T0NP	NaCl 3h	NaCl 6h	Total	ESM
T0	100.00 ^{aA}	96.66 ^{aA}	81.48 ^{aA}	92.71 ^a	10.86
T1	77,78 ^{bA}	71,29 ^{abA}	84,72 ^{aA}	77,93 ^a	11.85
T2	37,30 ^{cA}	48,45 ^{bA}	51,00 ^{aA}	45,58 ^b	10.38
moyenne totale	71.69 ^a	72.13 ^a	72.40 ^a		
ESM	5.27	10.75	14.93		

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les mêmes lettres majuscules sur la même ligne ne sont pas différentes significativement ($P < 0,05$). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$).

En conditions favorables (tableau 22), le meilleur taux de survie est atteint chez le lot sans priming (100%). En conditions de stress salin, l'amorçage améliore le taux de survie qui représente le nombre de plantules continuant leur croissance après leur germination.

Les résultats du tableau 22 indiquent que les graines amorcées 6 heures dans du NaCl tolèrent mieux le stress salin. En effet, environ 85% et 51% des plantules issues de graines imbibées dans 6 heures de NaCl ont pu survivre respectivement sous stress salin 85 mM et 170 mM de NaCl, contre environ 71 % et 48% des plantules issues des graines imbibées dans 3heures de NaCl et 78 % et 37% de plantules issues de graines témoins sans priming.

Tableau 23: Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour le taux de survie

Source de variation	Taux de survie			
	ddl	moyenne des carrés	F	p
Salinité	2	5229,195	14,276	0,000***
Priming	2	1,156	0,003	0,997 ^{ns}
Salinité *Priming	4	292,906	0,800	0,541 ^{ns}
Erreur	18	366,290		
Total	27			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.2.1. Discussion

Les résultats montrent que l'amorçage améliore le taux de survie des plantules sous stress salin. L'effet est meilleur avec l'haloprimer 6heures NaCl. Les graines non amorcées ont un taux de survie faible, en particulier sous stress sévère.

La tolérance au stress des graines amorcées peut être expliquée par le fait que l'amorçage provoque un stress abiotique dans les graines qui empêche la sortie de la radicule, mais stimule les réponses au stress, et induit une forte tolérance à cette contrainte, comme le suggèrent Pastor *et al.* (2013). Cette stratégie crée une 'mémoire d'amorçage' dans les graines qui se déclenche lors de l'exposition ultérieure au stress et permet une meilleure tolérance à cette contrainte (Chen et Arora, 2013).

3.3. Influence de l'amorçage sur la croissance des plantules

3.3.1. Influence de l'amorçage sur la croissance en hauteur des plantules

L'effet du priming sur la longueur des épicotyles, des hypocotyles et la hauteur totale des plantules de la population A18 soumise au stress salin est présenté dans le tableau 24. L'analyse de la variance montre un effet significatif de la salinité, non significatif du priming et de l'interaction salinité/priming sur tous les paramètres de croissance en hauteur (tableau 24).

Les résultats du tableau 24 indiquent que l'augmentation de la salinité induit une réduction de tous les paramètres de croissance en hauteur, chez tous les lots de plantules issues de graines amorcées ou non. Mais grâce à l'amorçage des graines on obtient une amélioration de la croissance en hauteur plus ou moins importante en fonction de sa durée.

En effet, les graines qui ont subi l'haloprimering NaCl pendant 6 heures donnent de meilleures valeurs par rapport à celles qui ont été traitées pendant 3 heures seulement et par rapport aussi au témoin sans priming.

En conditions non stressantes, c'est la hauteur des épicotyles et la hauteur totale qui sont améliorées sous l'effet du priming par le NaCl pendant 6 heures (5,51 cm et 9,93 cm respectivement) contre 5,44 cm et 9,54 cm respectivement pour les plantules issues de graines après 3 heures d'imbibition dans du NaCl, et 4,72 cm et 9,75 cm respectivement pour les plantules issues de graines témoins qui n'ont pas subi l'amorçage (tableau 24).

En conditions de stress salin modéré, l'haloprimering de 6 heures a un meilleur effet sur tous les paramètres de croissance en hauteur par rapport à l'haloprimering de 3 heures et le témoin sans priming. En effet, les valeurs de croissance des épicotyles, hypocotyles et hauteurs totales enregistrées sont de l'ordre de 3,32 cm, 3,90 cm et 7,22 cm respectivement, contre 2,41 cm, 3,10 cm et 5,51 cm respectivement pour le lot haloprimering 3 heures, et 2,24 cm, 3,49 cm et 5,73 cm pour le lot témoins sans priming (tableau 24). La même tendance est observée en conditions de stress salin 170 mM de NaCl (tableau 24).

Tableau 24 : Effets du priming(Témoins : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur la hauteur des épicotyles, hypocotyles et hauteur totale des plantules de lapopulation A18 soumise aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et résultats d'analyse de la variance.

	Hauteur (cm)														
	Longueur des épicotyles				Longueur des hypocotyles				Hauteur totale						
	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	Totale	ESM	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM
T0	4,72 ^{aA}	5,44 ^{aA}	5,51 ^{aA}	5,22 ^a	1.14	5,03 ^{aA}	4,10 ^{aA}	4,42 ^{aA}	4,51 ^a	0.43	9,75 ^{aA}	9,54 ^{aA}	9,93 ^{aA}	9,74 ^a	1.19
T1	2,24 ^{a bA}	2,41 ^{bA}	3,32 ^{a bA}	2,65 ^b	0.74	3,49 ^{bcA}	3,10 ^{abA}	3,90 ^{aA}	3,49 ^b	0.46	5,73 ^{a bA}	5,51 ^{bA}	7,22 ^{abA}	6,15 ^b	1.11
T2	1,24 ^{bA}	0,33 ^{cA}	1,76 ^{bA}	1,11 ^c	0.66	2,75 ^{cA}	2,52 ^{bA}	3,04 ^{aA}	2,77 ^b	0.41	4,00 ^{bA}	2,85 ^{bA}	4,81 ^{bA}	3,88 ^c	1.02
Moyenne totale	2,73 ^a	2,73 ^a	3,53 ^a			3,75 ^a	3,24 ^a	3,78 ^a			6,49 ^a	5,97 ^a	7,32 ^a		
ESM	0.89	0.51	0.76			0.39	0.37	0.52			1.20	0.84	1.24		

	Analyse de la variance											
	Longueur des épicotyles				Longueur des hypocotyles				Hauteur totale			
	ddl	Moyenne des carrées	F	P	ddl	Moyenne des carrées	F	P	ddl	Moyenne des carrées	F	P
salinité	2	38,859	23,571	0,000***	2	6,913	12,09	0,00*	2	78,48	21,04	0,00**
Priming	2	1,920	1,165	0,33 ^{n s}	2	,852	1,49	0,25 ^{n s}	2	4,16	1,11	0,34 ^{n s}
Salinité *priming	4	0,621	0,377	0,82 ^{n s}	4	,253	0,44	0,77 ^{n s}	4	0,71	0,19	0,94 ^{n s}
Erreur	18	1,649			18	,571			18	3,72		
total	27				27				27			

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions (F: valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement). Les mêmes lettres majuscules sur la même ligne ne sont pas différentes significativement (P < 0,05). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement (P < 0,05).

3.3.2. Influence de l'amorçage sur le poids frais (g) des différentes parties des plantules

À la lecture du tableau 25, la salinité induit une réduction du poids frais des racines, des tiges, des feuilles et du poids frais des plantules. Cependant, l'amorçage des graines permet une amélioration des valeurs du poids frais que ce soit en conditions stressantes ou non stressantes.

En conditions normales, l'amélioration est notée pour les paramètres feuilles, tiges et poids frais total. Une augmentation significative est enregistrée (tableau 25), surtout pour le poids frais des tiges issues de graines traitées pendant 3 heures.

Les résultats du tableau 25 montrent qu'en conditions de stress salin sévère (170 mM de NaCl) une amélioration du poids frais est observée dans les différentes parties des plantules, avec des valeurs élevées significativement pour le poids frais des feuilles issues des graines après 6 heures d'imbibition dans du NaCl, suivies de celles après 3 heures d'imbibition (0,16 g et 0,12 g respectivement) par rapport au témoin (0,07 g).

Tableau 25 : Effets du priming (Témoins : sans priming T0NP, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le poids frais des racines, des tiges, des feuilles et le poids frais total des plantules de la population A18 de *Vigna unguiculata*. Walpssoumissées aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et résultats d'analyse de la variance.

Poids frais (g)																				
Poids des racines					Poids des Feuilles					Poids des tiges					Poids totale					
T0NP	NaCl3h	NaCl6h	total	ESM	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	total	ESM	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM	T0NP	NaCl3h	NaCl6h	total	ESM	
T0	0,06 ^{aA}	0,03 ^{aA}	0,03 ^{aA}	0,04 ^a	0,02	0,18 ^{aA}	0,31 ^{aA}	0,26 ^{aA}	0,25 ^a	0,06	0,20 ^{aA}	0,33 ^{ab}	0,22 ^{aAB}	0,25 ^a	0,03	0,44 ^{aA}	0,68 ^{aA}	0,51 ^{aA}	0,54 ^a	0,09
T1	0,06 ^{aA}	0,04 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,03 ^a	0,02	0,09 ^{aA}	0,05 ^{bA}	0,08 ^{aA}	0,07 ^b	0,04	0,17 ^{aA}	0,14 ^{bA}	0,16 ^{aA}	0,16 ^b	0,03	0,33 ^{abA}	0,23 ^{bA}	0,26 ^{aA}	0,27 ^b	0,07
T2	0,02 ^{aA}	0,04 ^{aA}	0,02 ^{aA}	0,02 ^a	0,01	0,07 ^{aA}	0,12 ^{bAB}	0,16 ^{ab}	0,12 ^c	0,01	0,09 ^{bA}	0,13 ^{bA}	0,15 ^{aA}	0,12 ^c	0,03	0,19 ^{bA}	0,30 ^{bA}	0,33 ^{aA}	0,27 ^b	0,05
moyenne totale	0,04 ^a	0,03 ^a	0,02 ^a	0,02 ^a		0,11 ^a	0,16 ^a	0,17 ^a			0,15 ^a	0,20 ^a	0,17 ^a		0,32 ^a	0,40 ^a	0,37 ^a			
ESM	0,02	0,02	0,009			0,03	0,03	0,06			0,02	0,02	0,05		0,05	0,04	0,10			

L'analyse des variances

L'analyse des variances																			
Poids des racines					Poids des Feuilles					Poids des tiges					Poids totale				
ddl	Moyenne des carrée	f	p		ddl	Moyenne des carrée	f	p		ddl	Moyenne des carrée	f	p		ddl	Moyenne des carrée	f	p	
2	0,001	0,4	0,63 ^{ns}		2	0,075	12,443	0,000 ^{***}		2	0,038	10,466	0,001 ^{**}		2	0,224	12,86	0,00 ^{**}	
2	0,002	1,1	0,32 ^{ns}		2	0,007	1,186	0,328 ^{ns}		2	0,005	1,406	0,271 ^{ns}		2	0,016	0,901	0,42 ^{ns}	
4	0,001	0,5	0,70 ^{ns}		4	0,007	1,149	0,366 ^{ns}		4	0,007	1,932	0,149 ^{ns}		4	0,028	1,623	0,21 ^{ns}	
18	0,001				18	0,006				18	0,004				18	0,017			
27					27					27					27				

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions (F: valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement) Les mêmes lettres majuscules sur la même ligne ne sont pas différentes significativement (P < 0,05). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement (P < 0,05).

3.3.3. Influence de l'amorçage sur le poids sec (g) des différentes parties des plantules.

Concernant le poids sec des plantules, l'analyse de la variance montre des effets non significatifs de la salinité, du priming et de l'interaction salinité/priming sur tous les paramètres du poids sec des plantules (tableau 26).

Les résultats du tableau 26 montrent qu'en général, le stress salin induit une réduction du poids sec des différentes parties des plantules. En conditions non stressantes et sous stress modéré (85 mM de NaCl), l'amorçage n'améliore pas les valeurs du poids sec.

Par contre, sous stress sévère (170 mM NaCl), l'amorçage des graines induit une augmentation du poids sec des différentes parties des plantules. Les meilleures valeurs sont obtenues pour le poids sec des feuilles des plantules issues des graines qui ont subi un haloprimering de 6heures.

Tableau 26 : Effet du priming (Témoin : sans priming, NaCl 3h, NaCl 6h) sur le poids sec des racines, des tiges, des feuilles et le poids sec totale des plantules de la population A18 de niébé soumise aux stress salin (T0 : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl) et résultats d'analyses de la variance.

Poids sec (g)																				
Poids des racines				Poids des Feuilles				Poids des tiges				Poids sec total								
TONP	NaCl3h	NaCl6h	total	ESM	TONP	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM	TONP	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM	Témoin	NaCl3h	NaCl6h	Total	ESM	
T0	0,01 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,008 ^{aA}	0,01 ^a	0,003	0,03 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,03 ^{aA}	0,03 ^a	0,01	0,02 ^{aA}	0,02 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,02 ^a	0,005	0,07 ^{aA}	0,05 ^{aA}	0,06 ^{aA}	0,06 ^a	0,01
T1	0,01 ^{aA}	0,00 ^{abA}	0,013 ^{abA}	0,01 ^a	0,003	0,03 ^{abA}	0,02 ^{aA}	0,02 ^{aA}	0,02 ^a	0,01	0,10 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,04 ^a	0,05	0,15 ^{aA}	0,05 ^{aA}	0,05 ^{aA}	0,08 ^a	0,06
T2	0,01 ^{aA}	0,00 ^{bA}	0,006 ^{aA}	0,00 ^a	0,008	0,01 ^{bA}	0,02 ^{aAB}	0,05 ^{aB}	0,02 ^a	0,01	0,01 ^{aA}	0,01 ^{aA}	0,06 ^{aA}	0,03 ^a	0,02	0,03 ^{aA}	0,03 ^{aA}	0,12 ^{aA}	0,06 ^a	0,03
Moyenne totale	0,01 ^a	0,008 ^a	0,009 ^a			0,02 ^a	0,02 ^a	0,03 ^a			0,04 ^a	0,01 ^a	0,03 ^a			0,08 ^a	0,04 ^a	0,08 ^a		
ESM	0,00	0,002	0,002			0,08	0,01	0,01			0,05	0,006	0,02			0,06	0,02	0,03		

Analyse de la variance															
Poids sec des racines				Poids sec des feuilles				Poids sec des tiges				Poids sec total			
ddl	Moyenne des carrées	F	P	ddl	Moyenne des carrées	F	P	ddl	Moyenne des carrées	F	P	ddl	Moyenne des carrées	F	P
2	0,001	0,46	0,63 ^{ns}	2	0,075	12,443	0,000 ^{***}	2	0,038	10,466	0,001 ^{**}	2	0,224	12,86	0,00 ^{**}
2	0,002	1,19	0,32 ^{ns}	2	0,007	1,186	0,328 ^{ns}	2	0,005	1,406	0,271 ^{ns}	2	0,016	0,901	0,42 ^{ns}
4	0,001	0,54	0,70 ^{ns}	4	0,007	1,149	0,366 ^{ns}	4	0,007	1,932	0,149 ^{ns}	4	0,028	1,623	0,21 ^{ns}
18	0,001			18	0,006			18	0,004			18	0,017		
27				27				27				27			

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions (F: valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement) Les mêmes lettres majuscules sur la même ligne ne sont pas différentes significativement (P < 0,05). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement (P < 0,05).

3.3.4. Discussion

Les résultats des paramètres de croissance montrent que sous stress salin sévère (170 mM de NaCl), la croissance des épicotyles, des hypocotyles, la longueur totale, le poids frais et le poids sec des différentes parties des plantules est limitée. Ils rejoignent les résultats obtenus chez plusieurs espèces, telles que le niébé (Murillo-Amador *et al.*, 2001 et El-Shaieny, 2015), la fève (CHAKER-HADDAD *et al.*, 2014) et le blé (*Triticum aestivum* L.) (Abbasdokht *et al.*, 2010).

Cette étude montre clairement que l'haloprimum améliore tous les paramètres de croissance étudiés en conditions normales et stressantes. 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 le priming.

D'autre part, Varier *et al.* (2010), expliquent les effets bénéfiques 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.

L'amélioration de l'allongement racinaire notée dans cette étude est également signalée par Soughir *et al.*, (2013). Ces auteurs indiquent que, les graines de fenugrec ayant subi un haloprimum se caractérisent par des niveaux plus élevés en calcium et en potassium ce qui permet la croissance précoce des racines. De même, An *et al.* (2014) soulignent que le priming améliore significativement la longueur des racines des plantules de soja.

Cette étude montre aussi que le poids frais et le poids sec des différentes parties des plantules sont améliorés par l'effet du priming, ce qui est en accord avec les résultats de Khan *et al.* (2009). Farooq *et al.* (2007b) expliquent que cette amélioration du poids frais et du poids sec des plantules est due à une forte division cellulaire au niveau du méristème apical des racines, qui induit une augmentation de la croissance des plantules.

De même, Basra *et al.* (2005) rapportent une amélioration de la longueur des tiges, des racines, et du poids sec des plantules de blé issues de graines traitées par l'haloprimum.

L'effet positif de l'amorçage dans notre cas dépend étroitement de la durée de l'amorçage. Ainsi, l'haloprimum NaCl est plus efficace avec 6 heures d'imbibition. Ce résultat peut être expliqué par le fait que cette durée est suffisante pour permettre le déroulement des processus métaboliques pré-germinatifs (Maroufi *et al.*, 2011). Maiti et Pramanik (2013) montrent que l'un des facteurs principaux qui influencent les résultats de priming, est la durée d'amorçage.

Kaya *et al.*(2006)concluent que l'effet positif du primingsur la croissance des plantules est dû à l'émergence rapide des plantules induite par l'amorçage.

3.4.Influence de l'amorçage sur l'indice de tolérance au stress

Les résultats sur l'indice de la tolérance au stress de la population A18 soumise au stress salin et au priming sont présentés dans le tableau 27. L'analyse de la variance montre un effet non significatif du facteur salinité, priming, ainsi que l'interaction salinité priming(tableau 28).

Tableau 27: Effets des différentes méthodes de priming (Témoin : sans priming N0NP, NaCl 3heures, NaCl 6heures) sur l'indice de tolérance de niébé soumis à différentes concentrations de NaCl (T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl).

	Indice de tolérance au stress			Total	ESM
	T0NP	NaCl 3h	NaCl 6h		
T1	2,28 ^{aA}	1,37 ^{aA}	0,98 ^{aA}	1,54 ^a	0.93
T2	0,50 ^{aA}	1,41 ^{aA}	2,03 ^{aA}	1,31 ^a	0.67
Moyenne	1.39 ^a	1.39 ^a	1.51 ^a		
ESM	1.05	0.86	0.37		

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les mêmes lettres majuscules sur la même ligne ne sont pas différentes significativement ($P < 0,05$). Les différentes lettres minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$).

Les résultats du tableau 27indiquent que les graines après 6heures d'imbibition dans la solution de NaCl tolèrent mieux le stress salin par rapport à celles après 3heures d'imbibition. Tous traitements salins confondus, les valeurs moyennes d'indice de tolérance au stress sont de l'ordre de 1,51 (NaCl 6heures) contre 1,39 (NaCl 3heures).

Les meilleurs indices de tolérance au stress sont obtenus sous stress sévère (170 mM, NaCl) chez le lot priming 6heures de NaCl (2,03), suivi du lot priming 3heures NaCl (1,41) et du lot témoin (0,5).

Tableau 28: Analyse de variance à deux facteurs de l'effet traitement salin et priming et leurs interactions pour l'indice de tolérance au stress.

	Indice de tolérance au stress			
	ddl	moyenne des carrés	F	P
Salinité	1	0,245	0,123	0,732 ^{ns}
Priming	2	0,027	0,014	0,986 ^{ns}
Salinité *priming	2	3,085	1,550	0,252 ^{ns}
erreur	12	1,991		
total	18			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.4 .1. Discussion

Pour déterminer la tolérance du niébé au stress salin, un indice égal au rapport de la valeur du poids sec total de la plante sous stress sur celle du poids sec total de la plante du témoin est calculé. Il est considéré que les plantes tolérantes ont un indice de tolérance plus élevé que les plantes sensibles(Seydi, 2003).

Les résultats de ce travail confirment que latolérance du niébé au stress salin est augmentée par l'amorçage des graines. L'amorçage des graines par l'halopriming 6 heures est meilleur. Cesrésultats sont en accord avec des étudesantérieures qui confirment que l'amorçage améliore la tolérance des plantes au stress salin (Jisha *et al.*, 2013 ; Sharma *et al.*, 2014 ; Gholami *et al.*, 2015).

CHAPITRE V: Effets du supplément en Calcium (Ca⁺⁺) sur la faculté germinative des graines et la croissance précoce du niébé soumise au stress salin.

Dans cette étude, un essai au niveau du laboratoire est conduit pour étudier l'effet, du NaCl seul ou du NaCl supplémenté par le CaCl₂, sur les performances germinatives de deux populations de niébé (TZ2 et A11) soumises au stress salin. Les deux populations originaires respectivement de la Kabylie (Tizi Ouzou) et du Sahara (Adrar), proviennent de la collection du laboratoire AIPV (Ghalmi *et al.*, 2005).

1. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué de deux populations de niébé (figure 14)



Figure 14: Aspect des graines de deux populations de niébé étudiées : TZ2 et A11.

Les deux populations sont contrastées et présentent des origines géographiques et des caractéristiques agromorphologiques différentes (tableau 29).

Tableau 29: Caractéristiques agro morphologiques des populations de niébé étudiées et leur localisation géographique.

Population	TZ2	A11
Origine géographique	Tizi Ouzou, Kabylie	Adrar, Sahara
Longitude	03°95E	27°49N
Latitude	36°54N	27°49N
Altitude (m)	344	279
Couleur des graines	Blanche à hile noir	Noir
Longueur des graines (cm)	0,6	0,5
Forme des grains	Rénal	Rhomboïde
Texture des graines	ridé	lisse
Poids de 100 graines (g)	17,271	7,47
Type de climat	Climat de type méditerranéen avec un hiver doux, pluvieux et un été chaud et sec.	Climat désertique avec un hiver froid et un été très chaud et sec.

2. Méthode d'étude

2.1. Préparation des solutions salines pour l'application du stress

Le NaCl est généralement le sel soluble prédominant dans les eaux d'irrigation et dans les sols affectés par les sels (Snoussi et Halitim, 1998). Des concentrations de NaCl croissantes sont utilisées pour évaluer l'effet du supplément en calcium sur la faculté germinative du niébé sous stress salin. Les concentrations utilisées sont : T0 : 0 mM de NaCl (eau distillée) ; T1 : 85 mM de NaCl (4,97 g/l) et T2 : 170 mM de NaCl (9,94 g/l). Le supplément de CaCl₂ est rajouté au NaCl pour obtenir deux autres solutions T3 : 85 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂, T4 : 170 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂.

2.2. Protocole de germination au laboratoire

Les graines sont placées dans des boîtes de pétri de 9 cm de diamètre et 1,3 cm d'épaisseur, contenant deux couches de papier filtre, et mises à germer à l'obscurité dans une étuve à 25°C. Chaque essai comporte 30 graines, soit 3 répétitions de 10 graines par boîte de Pétri. Afin de minimiser les changements de concentrations salines, les boîtes de Pétri sont fermées hermétiquement à l'aide du papier film, pour empêcher l'évaporation. Dans chaque boîte de Pétri sont versés 10 ml d'eau distillée (T0) pour les graines témoins et 10 ml de solution saline pour les graines stressées à T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl, T3 : 85 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂ et T4 : 170 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂.

Le dispositif est un bloc randomisation totale, avec deux populations (TZ2 et A11), 5 traitements salins (T0, T1, T2, T3 et T4) et 3 répétitions, soit un total de 30 boîtes de Pétri.

Chaque répétition comprend deux facteurs : facteur 1 : Représente les différents traitements de solutions salines appliqués : (T0) ; eau distillée ; T1 : 85 mM de NaCl et T2 : 170 mM de NaCl, T3 : 85 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂ et T4 : 170 mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂. Facteur 2 : représente les deux populations de niébé (TZ2 et A11).

Les solutions sont versées dans les proportions de 2,5 fois le poids du papier (DANTAS *et al.*, 2005). Le critère de germination retenu correspond au moment où la radicule perce les enveloppes, selon la définition de Côme (1970).

2.3. Paramètres étudiés

La germination des graines est relevée quotidiennement pour chaque lot durant 07 jours pour établir :

L'évolution du pourcentage de germination (cinétique de germination). Pour mieux appréhender la signification physiologique du comportement germinatif, le pourcentage des graines germées est compté quotidiennement jusqu'au 8^{ème} jour de l'expérience (Hadjlaoui *et al.*, 2007).

- **La vitesse de germination (sans unité) :** elle est calculée par la formule décrite par Maguire (1962), et Shahba *et al.* (2008), respectivement.

$$VG = \sum_i [g_i - g_{(i-1)}/i]$$

VG : Vitesse de germination

g : Le pourcentage de germination le jour (i)

g (i-1) : Pourcentage de germination le jour qui précède le jour (i)

- **Le pourcentage final des graines germées (PFG) :** est calculé selon Ruan *et al.* (2002) par l'équation suivante :

$$PFG = \frac{N_g}{N_t} * 100$$

Ng : c'est le nombre de graines germées le dernier jour (j7).

Nt : le nombre total de graines dans chaque traitement

- **Paramètres de croissance :** la longueur des racines, des hypocotyles et la longueur totale des plantules (cm) sont mesurées sur les trois premières graines qui germent dans chaque traitement.
- **Indice de vigueur des plantules (IVP) :** est calculé en utilisant la formule suivante, telle que décrite par Memon *et al.* (2013).

$$IVP = [\text{Longueur totale des plantules (cm)} * FGP]$$

- **Indice de tolérance au stress :** Pour déterminer la tolérance d'un génotype, un indice égal au rapport de la valeur notée sous stress sur celle du témoin, est calculé. Il est considéré que les plantes tolérantes ont un indice élevé (Genc *et al.* 2010).

2.4. Analyse statistique

La signification statistique des résultats obtenus au cours de cette étude est testée par : une analyse de la variance à 2 facteurs (facteur traitement salin, facteur population). Le test de la plus petite différence significative (LSD) à un risque d'erreur de 0,05 % est aussi calculé. Les moyennes, suivies de différentes lettres alphabétiques, sont différentes significativement au seuil 5%. Le logiciel IBM statistics SPSS 21 est utilisé pour effectuer ces tests. Les courbes sont réalisées par l'Excel 2013. Les barres d'erreurs (ESM) sont calculées selon la formule d'ESM suivante :

$$ESM = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \text{ avec } \delta \text{ (écart type)} = \sqrt{\frac{\sum(xi-X)^2}{n-1}}$$

3. Résultats et discussions

Les tableaux des tests statistiques réalisés par le logiciel SPSS 10 sont placés en annexe 3.

3.1. Effets du supplément en calcium sur la germination des graines sous stress salin

3.1.1. Évolution du pourcentage de germination

Les résultats de l'évolution du pourcentage de germination des graines des deux populations soumises au stress salin et au supplément en calcium sont présentés dans le tableau 30.

D'après les résultats du tableau 30, la cinétique de germination varie distinctement avec le traitement salin appliqué. Le supplément de Ca^{++} atténue l'effet dépressif du sel et améliore la cinétique de germination.

L'analyse de la variance (tableau 30) montre que l'effet du traitement sur l'évolution du pourcentage de germination est significatif chaque jour (du 2^{ème} au 8^{ème} jour), à l'exception du 4^e jour, où aucune différence significative n'est observée. Le maximum de germination est obtenu avec l'eau distillée (témoin : T0). Elle commence rapidement dès le deuxième jour (67%) et atteint 100 % le 5^{ème} jour pour les deux populations (tableau 30). Par contre, en présence du NaCl, seul un retard et une réduction du pourcentage de germination sont constatés. Ces effets varient selon la concentration saline appliquée et la population.

Pour le stress modéré (85 mM de NaCl), il n'existe pas une différence notable dans l'évolution du pourcentage de germination des graines témoins des deux populations et celles soumises au stress salin (tableau 30). La germination des deux populations commence le deuxième jour, avec des pourcentages de 60% et 40% (TZ2 et A11 respectivement) par rapport au témoin (67%). Ces deux populations atteignent des pourcentages finaux comparables au témoin (100%) le 7^{ème} jour.

L'élévation de la concentration saline jusqu'au 170 mM de NaCl (T2) affecte significativement la cinétique de germination des deux populations. En effet, la germination commence le deuxième jour avec une réduction de l'ordre de 60% par rapport au témoin pour les deux populations. Cette réduction se poursuit jusqu'au 8^{ème} jour. Le maximal de germination est atteint le 5^{ème} et 7^{ème} jour (TZ2 et A11 respectivement), avec des réductions de l'ordre de 66,67% (TZ2) et 40% (A11) par rapport au témoin. La population TZ2 est la plus affectée par le sel, avec des réductions des pourcentages finaux de germination de l'ordre de 67% et 40% (TZ2 et A11) respectivement par rapport au témoin.

Le supplément en calcium à la solution saline en NaCl permet d'atténuer l'effet dépressif du stress salin sur la germination. L'effet améliorateur varie selon la concentration de NaCl et de la population (tableau 30).

Le supplément de CaCl₂ à 85 mM de NaCl donne des valeurs de germination comparables au témoin et au traitement 85 mM NaCl. Cependant, une nette amélioration du pourcentage de germination est notée avec le supplément en Ca Cl₂ à 170 mM de NaCl (T4). Elle se traduit par une accélération de la germination des graines et une augmentation des pourcentages de germination.

Tableau 30 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂, T4 : 170mM+ 10mM CaCl₂) sur le pourcentage de germination de deux populations (TZ2 et A11) pendant 8 jours.

Génotype	Salinité	Traitement	J2	J3	J4	J5	j6	j7	j8
TZ2	T0	Témoin	66,66a	76,66 a	86,66a	100 a	100a	100a	100a
	T1	NaCl	60 a	80a	83,33a	93,33a	93,33a	100a	100 a
	T2	NaCl	6,66 b	16,66b	26,66b	33,33b	33,33b	33,33b	33,33b
	T3	NaCl + CaCl ₂	26,66 b	43,33c	70a	83,33ac	86,66ac	93,33a	100 a
	T4	NaCl + CaCl ₂	26,66 b	50c	63,33a	66,66ac	66,66c	66,66c	66,66 c
	moyenne		37,33	53,33	66	75,33	76	78,66	80
A11	T0	Témoin	66,66 a	76,66 a	90a	100a	100a	100a	10a
	T1	NaCl	43,33 b	56,66b	73,33ac	93,33a	96,66a	100	100a
	T2	NaCl	6,66 c	13,33c	30±10 b	43,33 b	50 b	60±10 b	60b
	T3	NaCl + CaCl ₂	63,33a	76,66a	96,66a	100a	100 a	100a	100a
	T4	NaCl + CaCl ₂	26,66d	46,66b	63,33ac	76,66c	93,33 c	93,33a	93,33a
	moyen		41,33	54	70,66	82,66	86	90,66	91,33
ESM			4,082	5,96	3,19	2,21	2,3	2,05	3,16
Signification			**	**	ns	ns	ns	**	**
Traitement (df=4)			32.38***	32.45***	22.98 ^{ns}	51.43***	42.97***	49.26***	53.83***
Population (df=1)			1.2 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1.06 ^{ns}	5.5*	9.37**	17.05**	6.05**

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les différentes lettres majuscules et minuscules sur la même colonne sont différentes significativement ($P < 0,05$). Les valeurs de F sont présentées. Niveau de signification sont comme suit : * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$ et *** $P < 0,001$. ns : non significatif. ESM : erreur standard à la moyenne.

L'amélioration est plus marquée chez la population A11, qui montre une cinétique de germination élevée par rapport au traitement 170 Mm NaCl et comparable à celle du témoin. Elle atteint le maximum le 6^{ème} jour, soit une augmentation de l'ordre de 43%. Les pourcentages

de germination de la population A11 obtenus les 7^{ème} et 8^{ème} jours dans le traitement Ca Cl₂ + 170 mM de NaCl sont comparables au témoin. L'addition de CaCl₂ à 170mM de NaCl améliore aussi de façon significative la cinétique de germination de la TZ2 par rapport au traitement 170 mM de NaCl, mais sans atteindre la valeur du témoin (tableau 30).

3.1.2. Pourcentage final de germination

Les résultats du pourcentage final de germination sont illustrés par les figures 15 et 16. L'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif du traitement salin et du supplément en CaCl₂ sur le pourcentage final de germination et hautement significatif du facteur population et de l'interaction population x traitement est significative (tableau 31).

Les résultats obtenus après huit jours de culture montrent que lorsque le stress appliqué est modéré (85 Mm de NaCl), les deux populations tolèrent cette concentration et montrent un pourcentage de germination final comparable au témoin. En revanche, lorsque le stress est sévère (170Mm de NaCl), les deux populations sont affectées de façon significative.

L'apport en CaCl₂(10 mM) à la concentration 170mM de NaCl (T4) améliore de façon significative le pourcentage de germination des graines par rapport aux graines stressées à la concentration 170 Mm de NaCl (tableau 31). L'amélioration est notée particulièrement chez la population A11. En effet, le pourcentage de germination est de l'ordre de 96% pour les graines stressées à 170mM additionnées du CaCl₂, contre 60 % pour les graines soumises au stress 170mM de NaCl, et il est comparable au témoin (100%).

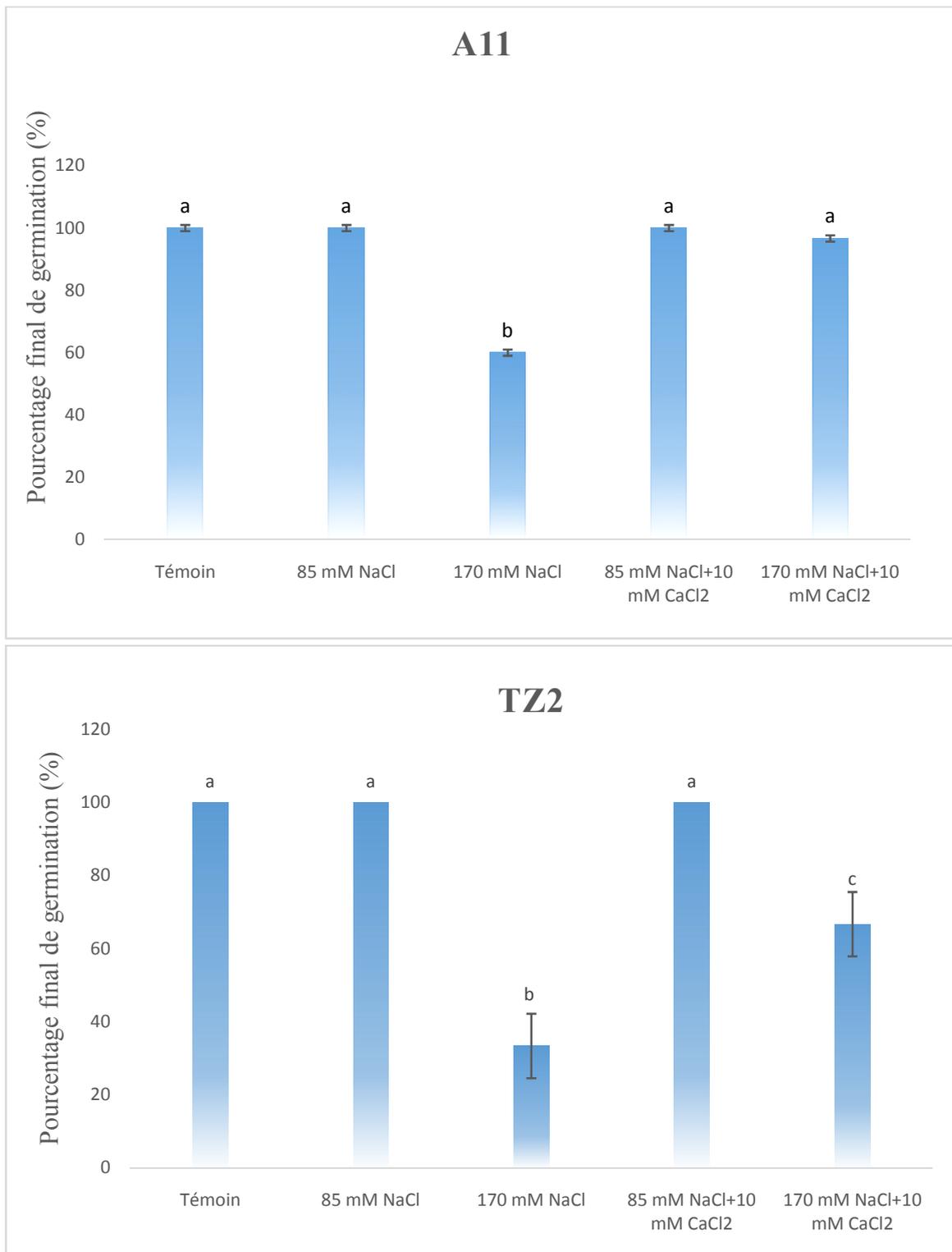


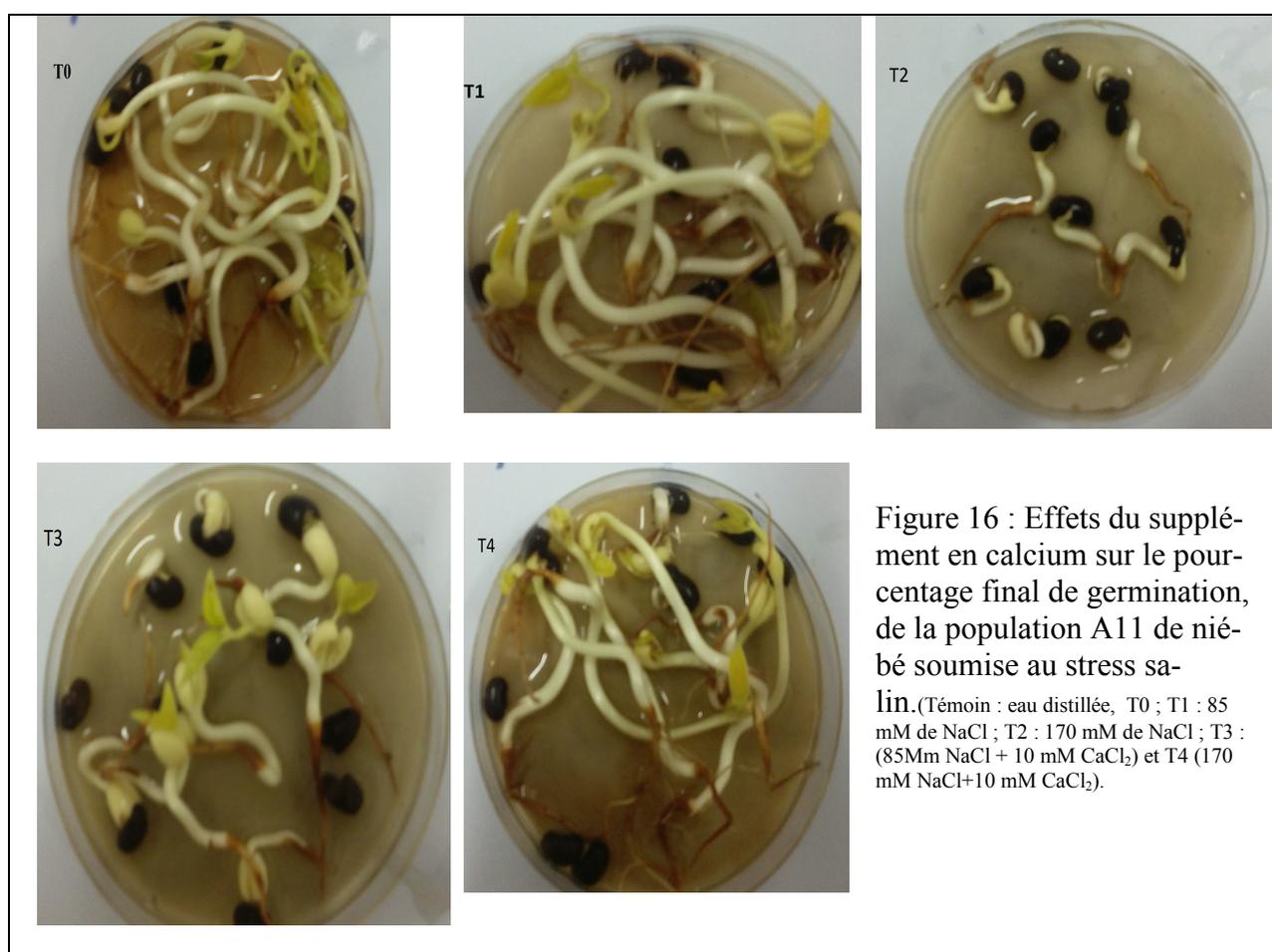
Figure15 : Effets du supplément en calcium sur le pourcentage final de germination, de deux populations de niébé(TZ2 et A11) soumises au stress salin. (Témoin : eau distillée ; T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170mM de NaCl ; T3 : (85Mm NaCl+10mM CaCl₂) et T4 (170mM NaCl+10mM CaCl₂). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Tableau 31: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et population et leurs interactions pour le pourcentage final de germination.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	3230	53,833	0,000***
Population	1	963,333	16,056	0,001**
SalinitéX population	4	363,333	6,056	0,002**
Erreur	20	60		
Total	30			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

Les résultats du test post hoc (LSD) permettent de dégager trois groupes homogènes pour les traitements (T2<T4<T0, T1, T3) et deux groupes homogènes pour les populations (TZ2<A11).



3.1.3. Vitesse de germination

La figure 17 montre l'évolution de la vitesse de germination des graines. Ce paramètre semble varier avec le traitement salin en particulier à des concentrations élevées.

L'analyse de la variance (tableau 32) montre une différence très hautement significative du facteur traitement (NaCl et NaCl + CaCl₂), significative du facteur population et de l'interaction population x traitement.

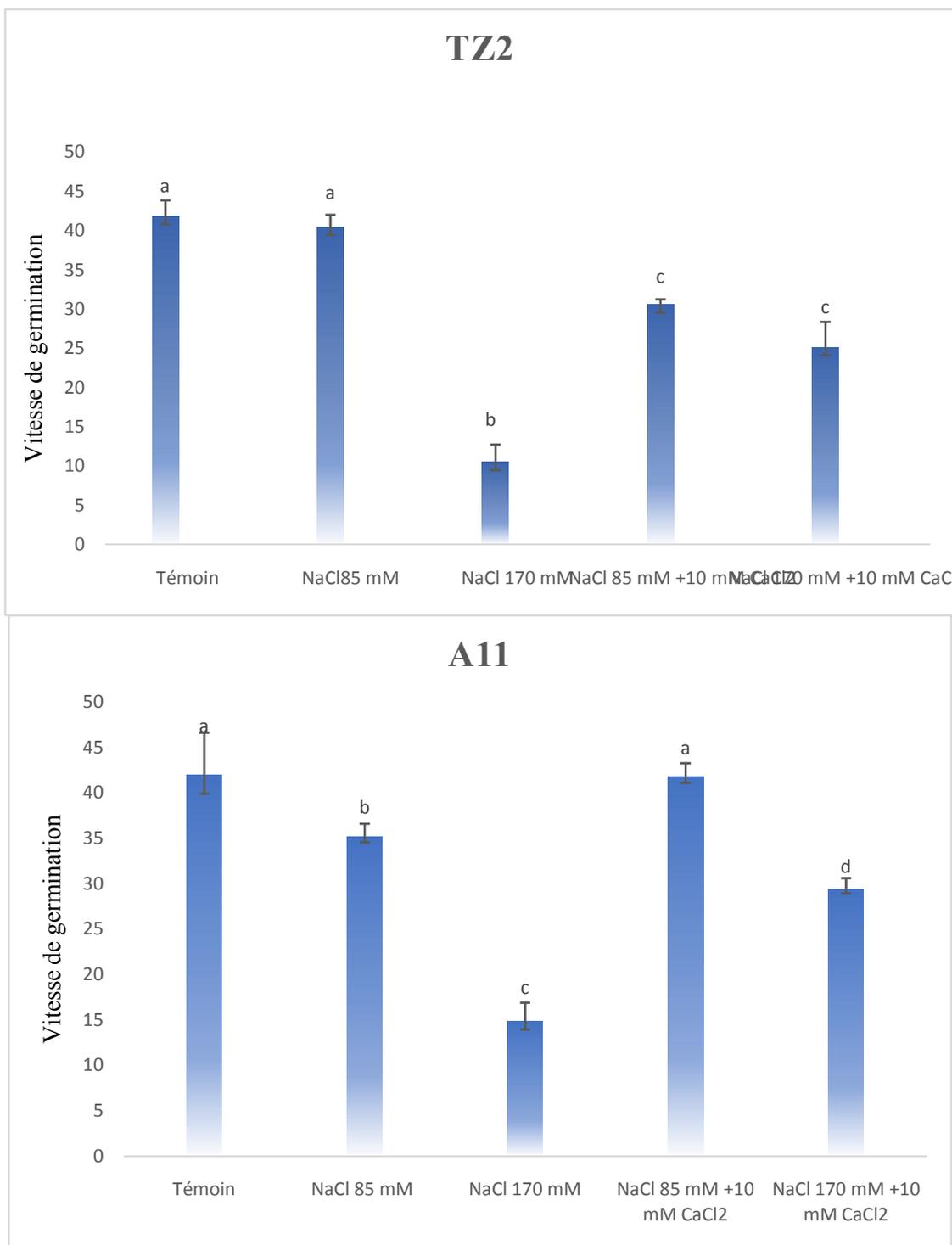


Figure 17 : Variation de la vitesse de germination des deux populations de niébé (A11 et TZ2) sous l'effet des différents traitements testés (T0 : Témoin ; T1 : 85Mm de NaCl ; T2 : 170 Mm de NaCl ; T3 : 85 mMde NaCl + 10mM CaCl₂ ; T4 : 170mM de NaCl + 10mM CaCl₂). Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Dans l'ensemble, les grains séjournant dans l'eau distillée évoluent rapidement quel que soit la population (Figure 17). La vitesse de germination des populations atteint respectivement 41.83 et 42 (TZ2 et A11).

La figure 17 montre que le stress modéré(85 mM de NaCl) ne modifie pas la vitesse de germination, puisqu'elle évolue à un rythme voisin à celle du témoin observé pour la TZ2. En revanche, la population A11 est légèrement affectée par rapport au témoin (35,19 contre 41).Le stress sévère (170 mM de NaCl), provoque un ralentissement significatif de la vitesse de germination, 10.5 et 14.8 pour la population TZ2 et la population A11 respectivement.

Par comparaison, les témoins et les graines soumises à une concentration de 85 mM de NaCl ont une vitesse de germination peu modifiée. Par contre, à 170 Mm de NaCl, la vitesse de germination diminue fortement.

La vitesse germination des graines de la population A11 (41.77) soumises à 85 mM de NaCl+10 mM en CaCl₂ est améliorée significativement par rapport au traitement 85 mM NaCl (35,19) et ne montre aucune différence par rapport aux graines témoins (42). Cependant, la vitesse de la TZ2 n'est pas améliorée.

L'apport au milieu salin (170 mM de NaCl) de 10mM de CaCl₂ fait accélérer la vitesse de germination d'une façon significative par rapport aux grains stressés en milieu salin (170 mM de NaCl). En effet, les vitesses de germination sont de l'ordre de 25% et 29% à 170 mM de NaCl+10 mM en CaCl₂ (TZ2 et A11 respectivement) contre 10% et 14% à 170 mM (TZ2 et A11 respectivement).

Tableau 32: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et population et leurs interactions pour la vitesse de germination.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	812,415	55,643	0,000***
Population	1	65,979	4,519	0,04*
SalinitéX population	4	55,251	3,784	0,02*
Erreur	20	14,600		
Total	30			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

Le test LSD (au seuil $\alpha = 5\%$) réalisé sur les résultats de la vitesse de germination montre quatre groupes homogènes pour les traitements (T2 < T4 < T1. T3 < T0) et deux groupes pour les populations (TZ2 < A11).

3.1.4. Discussion

Les observations de la germination en boîte de Pétri durant les huit jours montrent clairement que les graines des deux populations germent mieux en l'absence du sel. Cela confirme la règle générale sur la germination des halophytes (Grouzis *et al.*, 1976 ; Belkhodja et Bidai.,2004) et des glycophytes (Belkhodja et Soltani, 1992 ; Belkhodja et Bidai, 2004), qui indiquent le caractère commun aux graines, lié à l'expression des conditions optimales de la germination en milieu non salé. Des résultats similaires sont évoqués par d'autres auteurs, qui signalent que les graines de la plupart des espèces atteignent leur maximum de germination en eau distillée (Kachout *et al.*, 2016 ; Laghmouchi *et al.*, 2017;Nabi *et al.*,2017).

Les résultats de cette étude montrent que le stress modéré (85 mM de NaCl) provoque un retard de germination chez le niébé mais sans réduction du pourcentage final de germination. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par d'autres chercheurs (Belkhodja et Bidai, 2004 ;Patel *et al.*,2010 ; Sehrawat *et al.*, 2014).

Cependant, les deux populations montrent une réduction significative du pourcentage de germination dans le cas de la solution saline concentrée (170 mM de NaCl), avec un retard de germination significatif par rapport au témoin. Ce qui confirme les études antérieures sur le niébé (West et François, 1982 ; Murillo- Amador *et al.*,2006 ; Thiam *et al.*, 2013 ; Nabi *et al.*, 2017).

Le retard de germination observé dans cette étude est également noté chez d'autres espèces telles que le pois chiche (Hajlaoui *et al.*,2007), la fève (Benidireet *al.*, 2014) et leharicot (Sehrawat *et al.*, 2014).

Kaveh *et al.* (2011), indiquent que l'augmentation des concentrations de NaCl ne réduit pas uniquement la germination mais induit un allongement dans le temps de germination en retardant son début. Atak *et al.* (2006) notent que les faibles concentrations de sel retardent la germination, en induisant un état de dormance, mais ceci ne provoque pas une réduction du pourcentage final de germination. Cependant Ansari et Sharif-Zadeh (2012) et Sharma *et al.* (2013) soulignent que les fortes concentrations de sel inhibent et réduisent le pourcentage de germination final et augmentent le temps de germination.

L'effet dépressif de la salinité sur la germination constaté dans cette étude peut être dû selon plusieurs auteurs, à la réduction de la facilité d'absorption de l'eau (Chartzoulakis et Klapak, 2000) durant l'imbibition (Murillo-Amador et Troyo-Dieguez, 2000 ; Ashraf *et al.*, 2003), à cause de la diminution du potentiel hydrique du milieu (Khalil *et al.*, 2011). Par conséquent,

l'hydrolyse des réserves alimentaires stockées dans les tissus et leurs translocations vers l'axe de l'embryon sont limitées (Misra et Dwivedi, 2004).

De plus, Abbas *et al.* (2013) soulignent que la salinité affecte la germination, en facilitant l'absorption des ions toxiques, qui peuvent causer des changements dans les activités enzymatiques ou hormonales des semences (Daszkowska-Golec, 2011). Cet effet est également attribué au stress oxydatif induit par la salinité (Zavariyan *et al.*, 2015), car les systèmes de protection antioxydants présents dans les graines deviennent inefficaces.

D'après les résultats de cette étude, la plante réagit différemment selon qu'elle soit stressée par le NaCl ou par la combinaison de NaCl + CaCl₂. En présence du calcium, l'effet de la salinité est atténué pendant la germination. Les graines sont plus précoces à germer et présentent des pourcentages de germination élevés. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus chez d'autres espèces telles que le soja (Yinet *et al.*, 2015), l'arabidopsis (Cheong *et al.*, 2003) et la tomate (Tuna *et al.*, 2007).

L'effet protecteur du calcium exogène pendant la germination sous stress salin, observé dans cette étude, est expliquée par Mohamedet BASSALAH (2015), qui indiquent que le Ca⁺⁺ améliore la germination en favorisant l'hydratation des graines. Selon les mêmes auteurs, le Ca⁺⁺ agit au niveau de la membrane en augmentant sa conductivité et en facilitant le passage de l'eau dans la graine.

Ces résultats concernant les effets bénéfiques de l'adjonction de Ca²⁺ sur la tolérance au sel sont signalés par d'autres chercheurs (Mohamedet BASSALAH, 2015). Le Ca⁺⁺ améliore le fonctionnement du métabolisme cellulaire et maintient un niveau élevé du rapport K⁺/Na⁺ (Rahman *et al.*, 2016). Le dysfonctionnement de la membrane cellulaire dû au stress salin est bien exprimé dans sa perméabilité accrue aux ions et aux électrolytes (Lutts *et al.*, 1996). L'ajout de calcium à la solution nutritive saline réduit la perméabilité de la membrane plasmique aux ions Na⁺. La réduction de la perméabilité membranaire aux ions Na⁺ par le Ca²⁺ réduit l'accumulation des ions Na⁺ (Anbu et Sivasankaramoorthy, 2014).

3.2. Effets du supplément en calcium sur l'indice de tolérance au stress

Les résultats de l'indice de tolérance au stress sont présentés par le tableau 33. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative du facteur traitement (NaCl et NaCl + CaCl₂), significative du facteur population et de l'interaction population x traitement (tableau 34).

Tableau 33 : Indice de tolérance au stress de deux populations de niébé (TZ2 et A11) soumises au stress salin et au supplément e CaCl₂ (T1 : 85 mM de NaCl ; T2 : 170mM de NaCl ; T3 : (85 mM NaCl+10mM CaCl₂) et T4 (170mM NaCl+10mM CaCl₂).

Traitements	A11	TZ2
85 mM NaCl	1±0 .03a	1±0 a
170 mM de NaCl	0.6±0.03b	0,33±0,15 b
85 mM NaCl+10 mM CaCl ₂	1±0,03 a	1±0 a
170 mM NaCl+10 mM CaCl ₂	0.96±0.03 a	0,66± 0,15 c
Total	0,91±0,16	0,8±0,28

Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Sous traitement salin (tableau 33), le stress sévère (170 mM de NaCl) provoque une forte inhibition de la germination des graines par rapport au stress modéré (85 mM de NaCl). L'indice de tolérance au stress à cette concentration (85 mM NaCl) reste identique avec le témoin (1) pour les deux populations. En comparant les populations, la TZ2 affiche un indice plus faible (0.33) par rapport à la population A11 (0,60) à la concentration de NaCl 170 mM.

Tableau 34: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et population et leurs interactions pour l'indice de tolérance au stress.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	0,323	53,833	0,000***
Population	1	0,096	16,056	0,001**
SalinitéXpopulation	4	0,036	6,056	0,002**
Erreur	20	0,006		
Total	30			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

Le chlorure de calcium complémentaire ajuste ce paramètre par rapport aux plantules stressées avec du NaCl seul. Il y a une augmentation significative de l'indice de tolérance des plantules traitées avec (NaCl+CaCl₂) par rapport à celles stressées au NaCl seul.

Avec le traitement 85 mM NaCl + 10 mM de CaCl₂, l'indice de tolérance au stress atteint le même seuil que celui des graines stressées à 85 mM NaCl (T1) (tableau 33). À 170mM NaCl + 10 mM de CaCl₂, ce paramètre subit une nette variation puisqu'il augmente la tolérance des plantules au stress salin par rapport à celles stressées à 170 mM de NaCl. Il atteint environ 0.96 et 0,66 pour la A11 et TZ2 respectivement, soit une augmentation de l'ordre de 37% et 50 % respectivement.

3.2.1. Discussion

Les résultats de l'indice de tolérance des plantules montrent que la population A11 est tolérante à la salinité par rapport à la population TZ2. L'apport en calcium augmente la tolérance des graines soumises à un stress salin sévère.

Plusieurs chercheurs soulignent l'existence d'une variabilité génétique de tolérance à la salinité (Grouzis *et al.*, 1976 ; Bayuelo-Jiménez *et al.*, 2002 ; Thiamet *et al.*, 2013).

Yildirim et Guvenc (2006) soulignent que ces différences peuvent être attribuées aux variations génotypiques qui sont exprimées à un degré élevé sous contrainte saline.

Il convient de noter que l'effet positif des sels supplémentaires sur la croissance des plantes était plus fort chez l'A11 que chez la TZ2. Les données de la littérature rapportent que les cultivars / espèces sensibles au sel sont plus sensibles au Ca^{2+} supplémentaire que les tolérants au sel (Elphick *et al.*, 2001 ; Sacala *et al.*, 2005).

3.3. Effets du supplément en calcium sur la croissance précoce sous stress salin

Pour mieux étudier le comportement des deux populations vis-à-vis du stress salin, la longueur de la racine, la longueur d'hypocotyle et la longueur totale sont mesurées le dernier jour de l'expérimentation (8^{ème} jour). Les résultats sont présentés dans les figures 19, 20, 21 et 22.

3.3.1. Longueur des racines

L'analyse de la variance (tableau 35) montre que le stress salin sévère (170 mM de NaCl) engendre des réductions très hautement significatives de la longueur des racines. L'effet population et l'interaction population x salinité ne sont pas significatifs.

La figure 18 montre que la longueur maximale des racines est atteinte chez le témoin (l'eau distillée), quelle que soit la population, avec une valeur avoisinant 50 mm.

Les résultats obtenus montrent que quelle que soit les concentrations de NaCl utilisées (85 mM et 170 mM de NaCl), une réduction de la longueur de la racine des graines stressées par rapport au témoin est observée.

La concentration 85 mM de NaCl induit une diminution de la longueur des racines par rapport au témoin non stressé, de l'ordre 36 % et 22 % (A11 et TZ2 et respectivement). La concentration 170 mM de NaCl provoque une diminution significative de la longueur racinaire de l'ordre de 84% par rapport au témoin chez les deux populations.

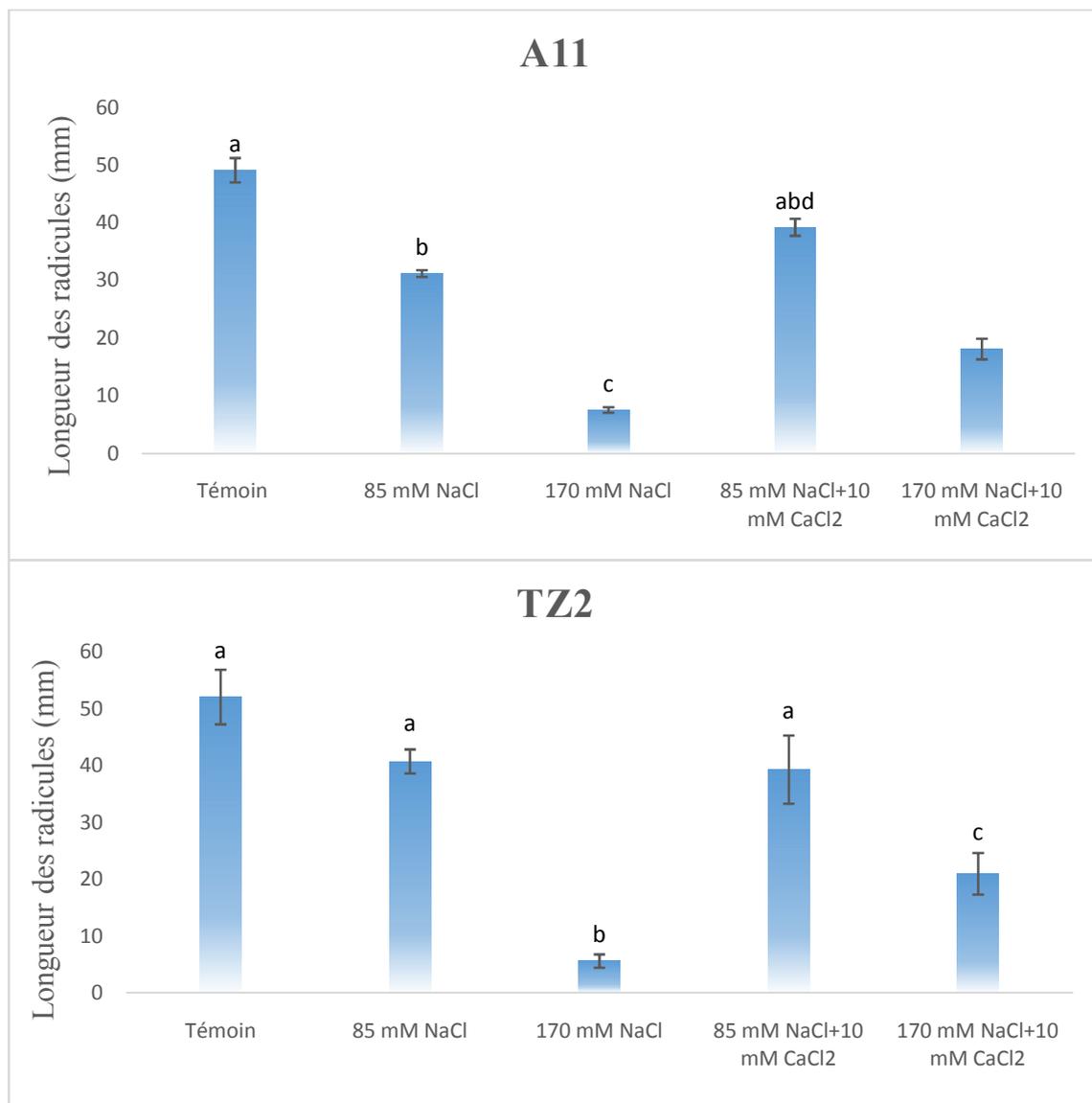


Figure 18 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur la longueur des racicules (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement ($P < 0,05$).

Le supplément en calcium 85mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂, se traduit par une amélioration de la longueur des racicules par rapport aux plantules traitées à 85 mM de NaCl de l'ordre de 26 % pour les graines de la population A11. Le même supplément provoque aussi une augmentation significative de la longueur racinaire chez les graines traitées à 170 mM de NaCl+10 mM de CaCl₂ (T4). Les pourcentages d'augmentation sont de l'ordre de 140 % et 271% (A11 et TZ2) respectivement par rapport au traitement 170 Mm de NaCl.

L'examen établi par le logiciel SPSS et les résultats du test post hoc (LSD), permettent de classer les populations selon la longueur des racicules sous stress salin et le supplément en

CaCl₂, en quatre groupes homogènes pour les traitements (T2<T4<T1, T3< T0) et deux groupes homogènes pour les populations (A11<TZ2).

Tableau 35: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur de la racicule.

Source	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	1803,265	67,7	0,000***
Population	1	56,033	2,104	0,162 ^{ns}
Salinité* population	4	28,08	1,054	0,405 ^{ns}
Erreur	20	26,637		
Total	30			
Total corrigé	29			

F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.3.2. Longueur des hypocotyles

Les résultats sont représentés par la figure de la longueur des hypocotyles²⁰. L'analyse statistique (tableau 36) révèle un effet très hautement significatif du traitement salin et du supplément en Ca Cl₂ sur la longueur des hypocotyles, le facteur population et l'interaction population x traitementsont hautement significative.

En l'absence de sel, la longueur maximale des hypocotyles est enregistrée chez les témoins avec une valeur moyenne de 60 mm chez les deux populations.

Après une semaine d'observation, les deux populations soumises aux traitements salins montrent des réductions significatives de la longueur des hypocotyles. Pour chacune des populations, le taux de réduction de la longueur des hypocotyles par rapport au témoin est de 33,60 % pour la TZ2 et de 11,76 % pour l'A11, quand elles subissent un stress modéré (85 mM de NaCl).

Le stress sévère (170 mM de NaCl) affecte considérablement la longueur des hypocotyles avec un taux de réduction avoisinant 88 % pour la TZ2 et 77 % pour l'A11.

Sous traitement de NaCl + CaCl₂, les résultats (figure 19) indiquent des longueurs élevées des hypocotyles comparativement à celles des graines stressées au NaCl seul. À 85 mM de NaCl +10 mM de CaCl₂, les longueurs des hypocotyles de la TZ2 et l'A11 est de 55,42mm et 60,26mm respectivement avec des taux d'augmentation de 26,73 % et 2,65 % respectivement par rapport aux graines stressées à 85 mM de NaCl (T1).

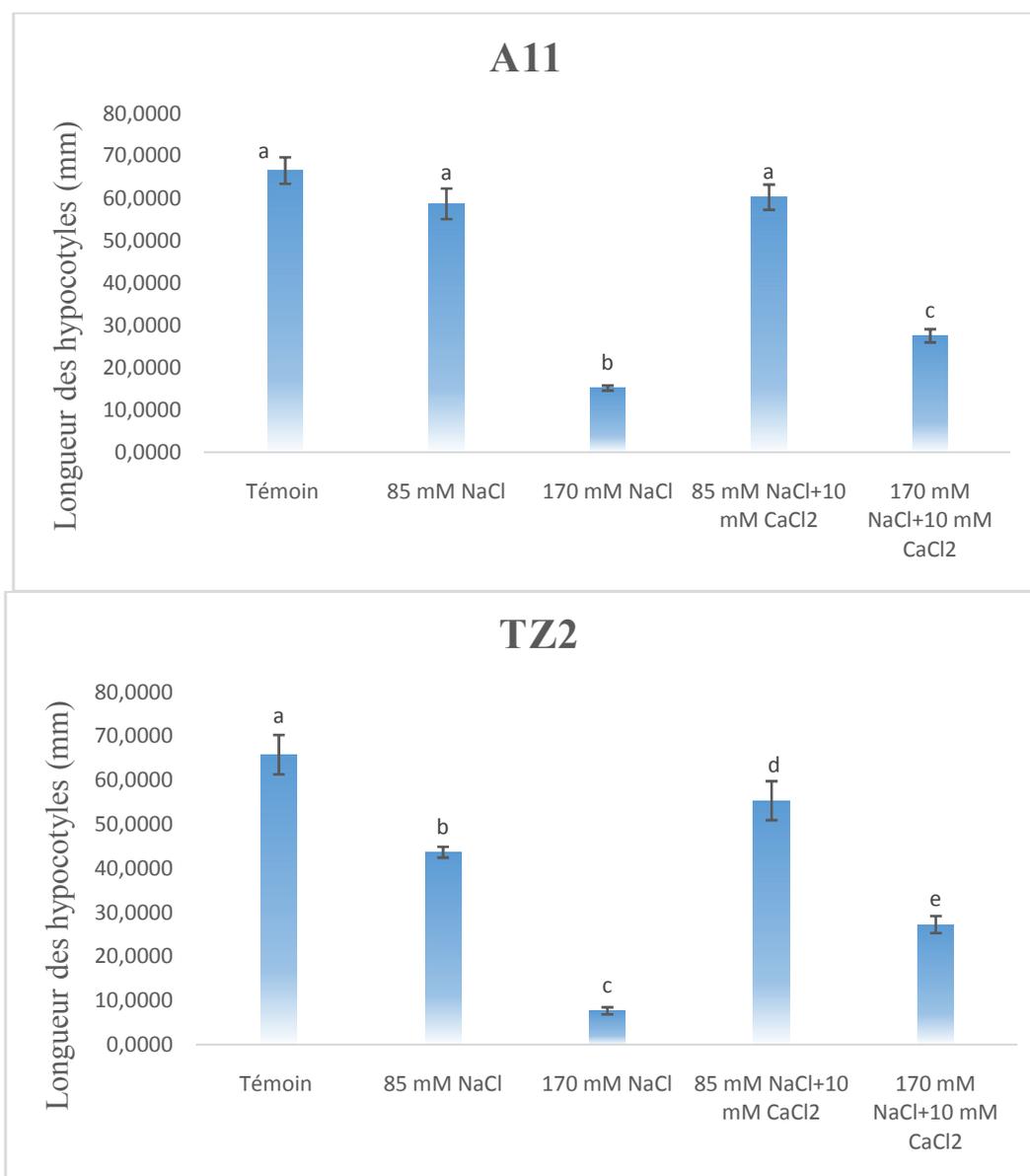


Figure 19 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur la longueur des hypocotyles (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement ($P < 0,05$).

Tableau 36 : ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur des hypocotyles

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	3090,576	129,078	0,000***
Population	1	237,622	9,924	0,005**
Salinité* Population	4	54,383	2,271	0,097**
Erreur	20	23,943		
Total	30			
Total corrigé	29			

F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.3.3. Longueur des épicotyles

L'analyse de la variance (tableau 37) montre que les effets du stress salin et du supplément en calcium sont très hautement significatives sur la longueur des épicotyles. L'effet population n'est pas significatif. L'interaction population x salinité est hautement significative

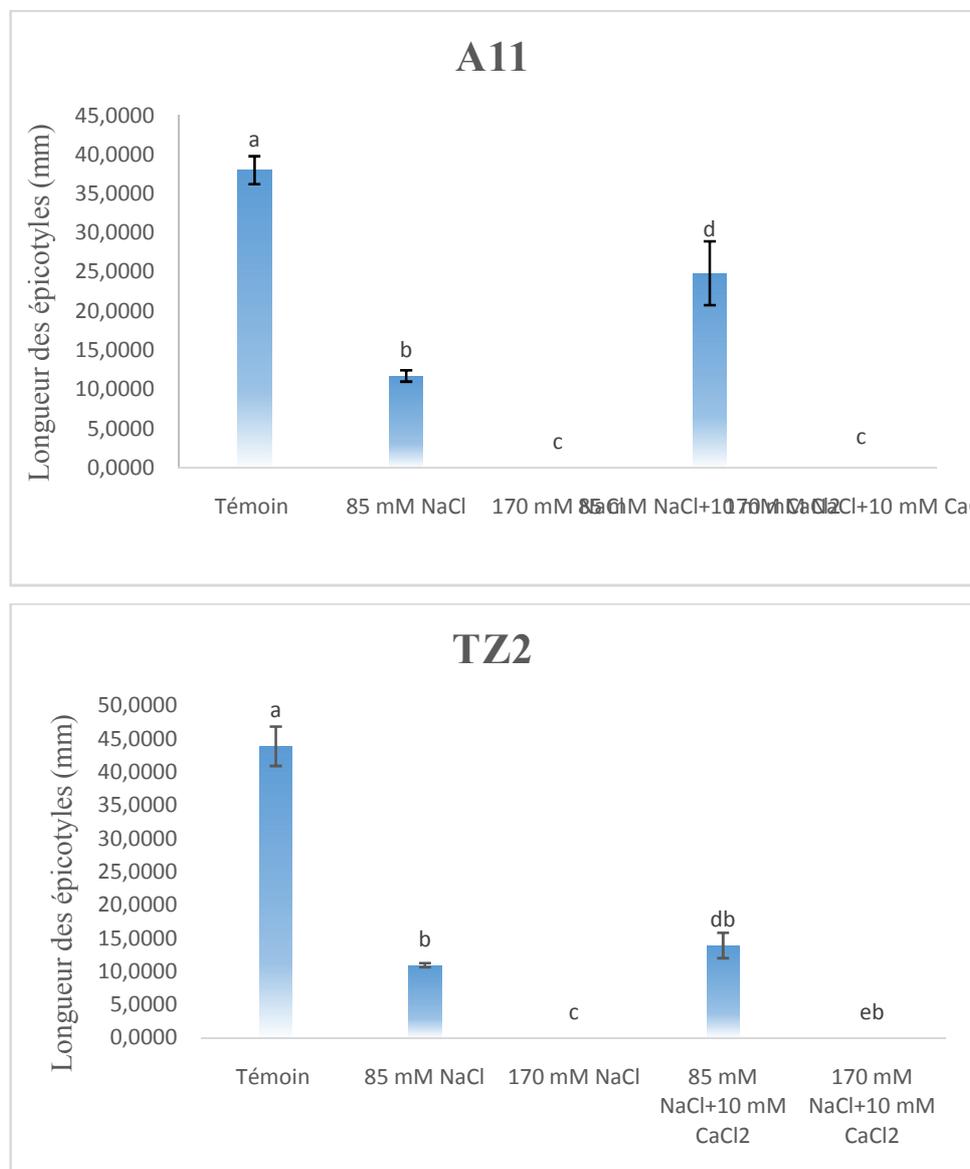


Figure 20 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur la longueur des épicotyles (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

La figure 18 montre que la longueur maximale des épicotyles est atteinte chez le témoin (l'eau distillée), quelle que soit la population. Les résultats obtenus montrent que quelle que soit les concentrations de NaCl utilisées (85 mM et 170 mM de NaCl), une réduction de la longueur des épicotyles des graines stressées par rapport au témoin est observée.

La concentration 85 mM de NaCl induit une diminution de la longueur des épicotyles par rapport au témoin non stressé, de l'ordre 69 % et 75 % (A11 et TZ2 et respectivement). À la concentration 170 mM de NaCl les plantules des deux populations n'ont pas formé des épicotyles.

Le supplément en calcium 85mM de NaCl + 10 mM de CaCl₂, se traduit par une amélioration de la longueur des racicules par rapport aux plantules traitées à 85 mM de NaCl de l'ordre de 111 % et 27% pour les graines de la population A11 et TZ2 respectivement.

Tableau 37 : ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur des épicotyles

Source	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	1731,843	175,846	0,000***
Population	1	10,288	1,045	0,319 ^{ns}
Salinité* Population	4	55,565	5,642	0,003**
Erreur	20	9,849		
Total	30			
Total corrigé	29			

F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.3.4. Longueur totale

La longueur totale des plantules est mesurée le 8^{ème} jour (figure 21 et figure 22). L'analyse de la variance (tableau 37) montre un effet très hautement significatif des facteurs traitement (NaCl et NaCl + CaCl₂), les facteurs population et l'interaction population x traitement sur la longueur totale des plantules sont non significatifs (tableau 38).

En milieu non salé (témoin), la longueur totale maximale est enregistrée le 8^{ém} jour de germination. Elle atteint environ 160 mm chez les deux populations. Sur le plan élancement de la plantule, nos résultats montrent qu'un stress salin de l'ordre de 85 mM de NaCl (T1) affecte la longueur totale des accessions testées de la même manière (figure 20). En effet, le taux de réduction de la longueur totale par rapport au témoin varie de 41 % et 34 % pour la TZ2 et l'A11 respectivement.

Après l'adjonction de la solution saline 170 mM de NaCl (T2), les longueurs totales de plantules des deux populations sont affectées de façon significative, les taux de réduction atteignent environ 91% et 85% pour la TZ2 et l'A11 respectivement par rapport au témoin.

Sous traitement de NaCl + CaCl₂, le supplément en calcium permet une amélioration significative de la longueur des plantules par rapport aux plantules soumises à NaCl seul. En effet, la longueur totale des plantules atteint les 109,77 mm et 124,33mm pour la TZ2 et la

A11 respectivement, contre 95,44 mm et 101,66 mm respectivement à la concentration 85 mM de NaCl (T1) ; soit une augmentation de l'ordre de 15 % et 23% respectivement. L'amélioration est aussi observée chez les graines imbibées avec 170 mM de NaCl +10 mM de CaCl₂ qui présentent une longueur des plantules de 50 mm et 45,66 mm pour la TZ2 et l'A11 respectivement, contre respectivement 14,44 mm et 22,77 mm à la concentration 170 Mm de NaCl, soit une amélioration de l'ordre de 246 % et 100 % (TZ2 et A11 respectivement).

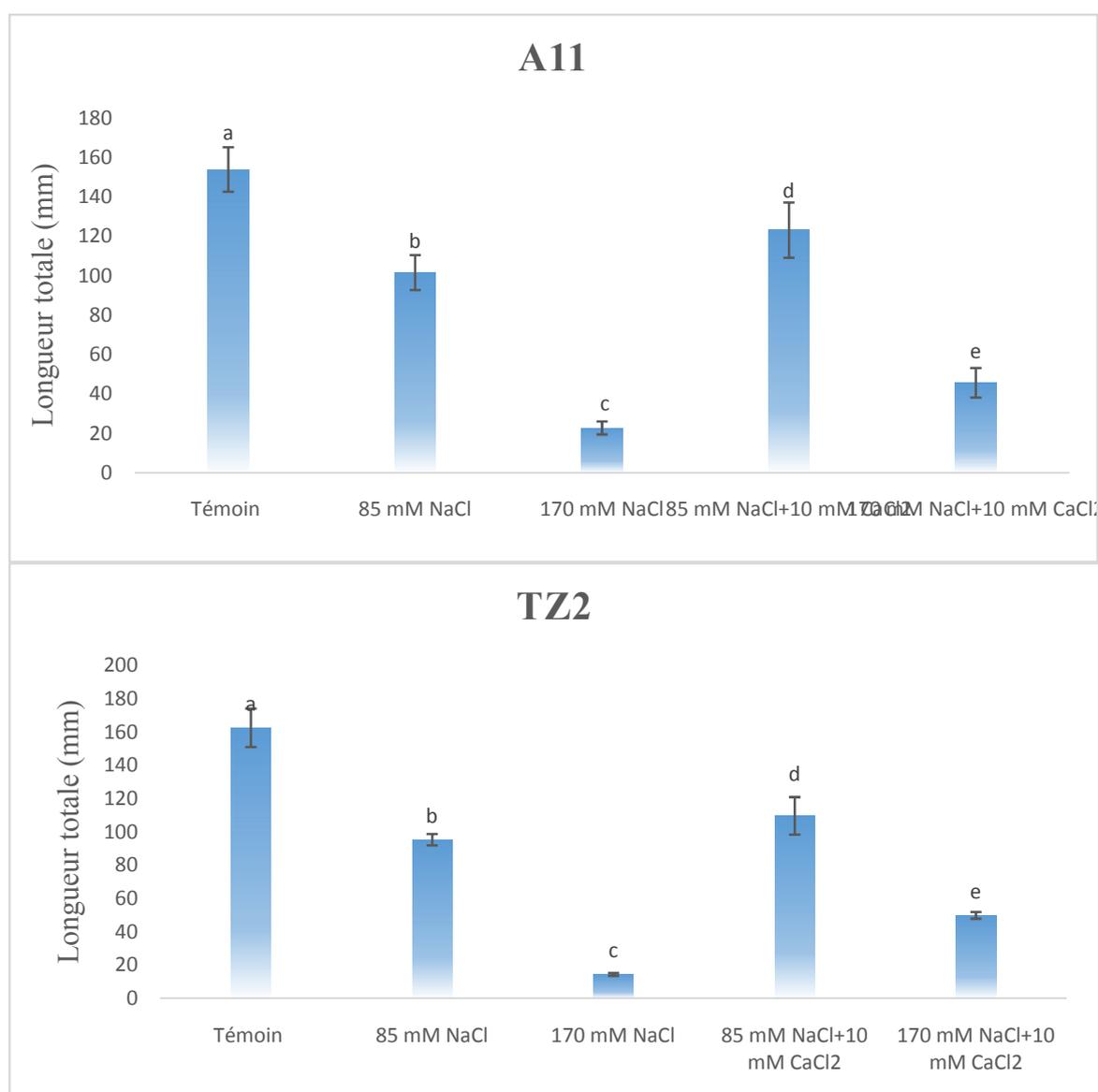


Figure 21 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur la longueur totale (mm) des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement (P < 0,05).

Tableau 38: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitement et génotypes et leurs interactions pour la longueur totale.

Source	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	18447,931	159	0,000***
Population	1	67,5	0,58	0,45 ^{ns}
Salinité * population	4	126,676	1,09	0,39 ^{ns}
Erreur	20	115,774		
Total	30			
Total corrigé	29			

F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

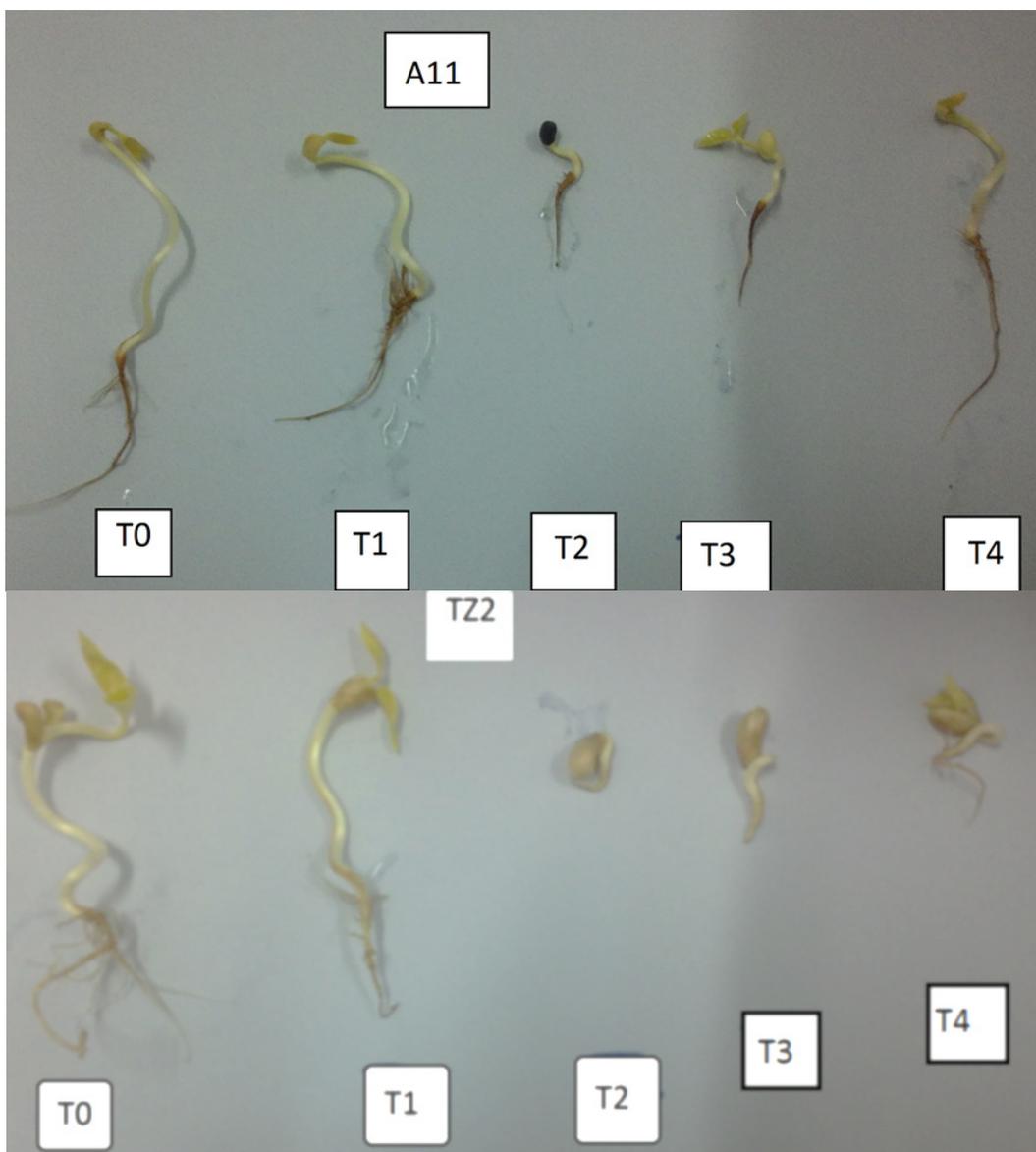


Figure 22 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur la croissance plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours.

3.3.4. Discussion

Les résultats concernant l'effet d'un supplément en Ca^{2+} sur les paramètres de croissance précoce des graines de niébé soumises à un stress salin montrent que les meilleures valeurs enregistrées sont obtenues avec des graines imbibées avec de l'eau distillée chez les deux populations. Plusieurs travaux concordent avec ces résultats, sur la même espèce (Sehrawat *et al.*, 2014) ; sur l'orge (El Goumi *et al.*, 2014) et sur le tournesol (Shila *et al.*, 2016).

Afin d'expliquer l'influence de la salinité sur les paramètres de croissance des plantes, les longueurs de la partie aérienne et racinaire sont mesurées. Il en ressort que des fluctuations importantes sont observées sous contraintes salines. Ainsi, la salinité exerce une action dépressive et entraîne une forte diminution de la longueur des hypocotyles et de la racine par rapport aux témoins. Néanmoins, cette influence reste variable en fonction des concentrations de sels (NaCl), où les plantules soumises aux concentrations de NaCl élevées (170 mM) sont les plus affectées par rapport à celles sous stress salin modéré (85 mM de NaCl). Ces résultats sont semblables à ceux rapportés par Atak *et al.* (2006) sur le triticale, Thiam *et al.* (2013) et NABI *et al.* (2017) sur le niébé et El Goumi *et al.* (2014) sur l'orge.

La réduction des paramètres de croissance peut être due aux effets osmotiques et/ou toxiques des ions Na^+ et Cl^- ou aux déséquilibres nutritionnels (Evelin *et al.*, 2009; Thiam *et al.*, 2013) qui entraînent des réductions des divisions cellulaires (Benmahioul *et al.*, 2009).

Les résultats obtenus montrent que l'application du supplément de calcium ($\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$), influe d'une manière positive et significative sur la croissance des plantules sous stress salin. Cet effet bénéfique du calcium est signalé sur plusieurs espèces telles que *Vigna rayon* L. (Manivannan *et al.* (2007), *Sorghum bicolor* (Jafari *et al.*, 2009) ; *Lycopersicon esculentum* Mill. (Rab et Haq, 2012 et Parvin *et al.*, 2016)), *Cornus stolonifera* (Renault, 2005); *Cassia angustifolia* (Arshi *et al.*, 2006); *Gossypium hirsutum* (Amuthavalli *et al.*, 2012); *Arachis hypogaea* (Sivasankaramoorthy, 2013) *Cajanus cajan* (Sivasankaramoorthy, 2013) et *Oryza sativa* (Anbu et Sivasankaramoorthy, 2014).

Cependant, des résultats différents sont rapportés par Kwon *et al.* (2009) sur *Brassica rapa*. Ces auteurs indiquent que l'addition de Ca^{2+} supplémentaire à la solution nutritive salinisée n'a pas d'effet améliorant sur la croissance des plantules.

L'effet protecteur du calcium observé dans cette étude est expliqué par plusieurs chercheurs. Sacala *et al.*, (2005) indiquent que le NaCl présent dans le milieu d'enracinement interagit avec les nutriments des plantes et peut provoquer une perturbation nutritionnelle, en particulier une carence en calcium et potassium. La carence en calcium réduit la croissance en hauteur

des plantes en réduisant la division cellulaire au niveau du méristème terminal (Rajendra *et al.*, 2005).

L'augmentation de l'influx des ions Ca^{2+} , liée à l'addition de Ca^{2+} au milieu nutritif peut être responsable de l'augmentation de la division cellulaire, et par conséquent, l'augmentation de la croissance en hauteur des plantules (Jasim *et al.*, 2016) et peut réduire les effets délétères de la salinité (Elphick *et al.*, 2001).

Jasim *et al.* (2016) mentionnent que le calcium est bien connu pour avoir un rôle régulateur dans le métabolisme et que les ions calcium peuvent entrer en compétition avec les ions sodium pour les sites de liaison membranaire. Par conséquent, il est suggéré que des niveaux élevés de calcium peuvent protéger la membrane cellulaire des effets néfastes de la salinité (Anet *et al.*, 2014).

Parvin *et al.* (2016) confirment que l'application du calcium exogène dans le milieu salé de la tomate réduit la concentration de Na^+ , via l'augmentation des concentrations de K^+ et Ca^{++} , et diminue le rapport Na^+/K^+ , ce qui réduit les symptômes de toxicité et les effets toxiques des sels.

3.4. Effets du supplément en calcium sur l'indice de vigueur des plantules

L'analyse de la variance montre un effet très hautement significative du facteur traitement (NaCl et $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$), non significative du facteur population et de l'interaction population x traitement (tableau 39) sur l'indice de vigueur des plantules.

Les résultats obtenus pour ce paramètre (figure 23) montrent que les plantules nourries avec l'eau distillée atteignent un seuil maximal de 1540 pour la population A11 et 1626,66 pour la TZ2. Ce ratio diminue considérablement lorsque les plantules reçoivent la solution saline à 85 mM de NaCl (T1). En effet, l'indice de vigueur des plantules de la TZ2 atteint 954,44 tandis que celui des plantules de la population A11 atteint 1016,66.

Une baisse sensible et significative de ce paramètre est enregistrée, soit 49,66 et 135,66 pour la TZ2 et la A11 respectivement, dès que la concentration en sel augmente à 170 Mm de NaCl .

L'addition du chlorure de calcium au chlorure de sodium (85 mM + 10 mM CaCl_2) augmente l'indice de vigueur des plantules (1097,77 et 1232,22 pour la TZ2 et A11 respectivement) par rapport aux plantules stressées avec du NaCl 85 mM. Les taux d'augmentation sont de l'ordre de 7% (A11) et de 13% (TZ2).

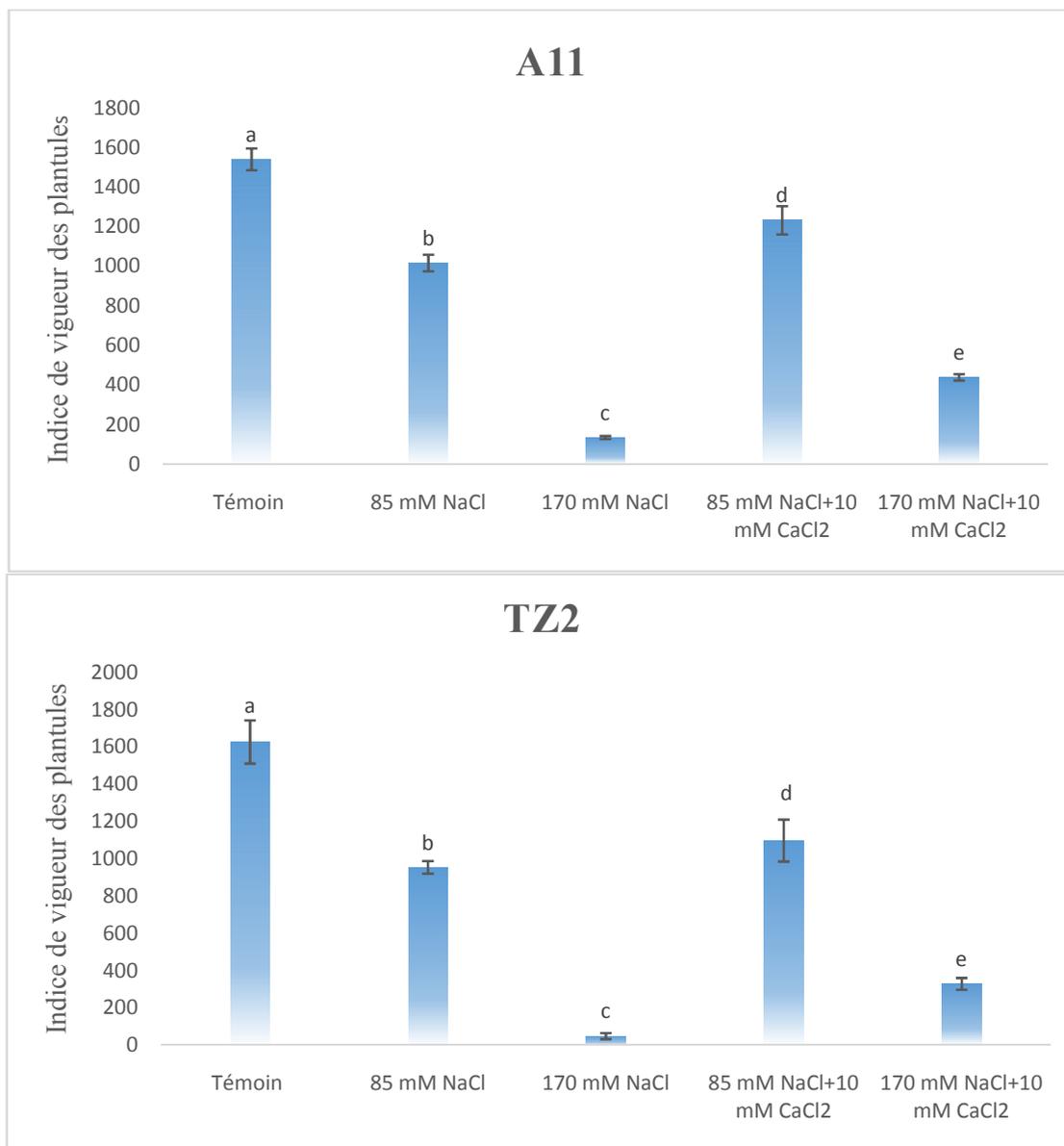


Figure 23 : Effets des différents traitements (Témoin : eau distillée, T1 : 85 mM de NaCl, T2 : 170 mM NaCl, T3 : 85 mM NaCl+10 mM CaCl₂ et T4 : 170 Mm+ 10mM CaCl₂) sur l'indice de vigueur des plantules de deux populations (TZ2 et A11) âgées de 8 jours. Chaque valeur représente la moyenne de trois répétitions. Les bars d'erreur représentent l'ESM (erreur standard à la moyenne). Pour chaque traitement, les différentes lettres minuscules sont différentes significativement ($P < 0,05$).

L'amendement du milieu par le calcium provoque une augmentation significative des indices de vigueur des plantules dans le cas du traitement 170 mM de NaCl +10mM de CaCl₂ par rapport au plantules stressées à 170 mM de NaCl. Les valeurs obtenues sont de 329,77 et 439,22 (TZ2 et A11 respectivement), soit des augmentations de l'ordre de 564 % et 223 % pour la TZ2 et l'A11 respectivement.

Tableau 39: ANOVA à deux facteurs de l'effet traitements et génotypes et leurs interactions pour l'indice de vigueur des plantules.

Source de variation	ddl	Moyenne des carrés	F	P
Salinité	4	2167978,170	187,792	0,000***
Population	1	27988,893	2,424	0,135 ^{ns}
SalinitéX population	4	11314,818	,980	0,441 ^{ns}
Erreur	20	11544,563		
Total	30			

(F : valeur statistique de Fisher, P: n'est pas significative (ns), * (5%), ** (1%), *** (0,1%) représentent le niveau de signification : significatif, hautement significatif et très hautement significatif respectivement).

3.4.1. Discussion

Cette étude montre que l'indice de vigueur des plantules, qui est estimé par le rapport du pourcentage final de germination et la longueur totale des plantules (Memon *et al.*, 2013), est réduit significativement avec l'augmentation du stress salin. Cependant, le supplément en calcium atténue l'effet dépressif de la salinité et améliore la tolérance au sel, ce qui est confirmé par les valeurs d'indice de vigueur des plantules élevées. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Khajeh-Hosseini *et al.* (2003), qui suggèrent que, la longueur des plantules contribue à un indice de vigueur des plantules élevé. Nos résultats ont bien montré que la longueur des racines et pourcentage final de germination (figure 15 et figure 21) sont améliorés suite à l'addition du calcium supplémentaire, ce dernier a contribué à l'amélioration des indices de vigueur des plantules.

La population A11 présente les meilleurs indices de vigueur des plantules par rapport à la population TZ2. BASRA *et al.* (2002), suggèrent une relation entre la tolérance à la salinité et l'origine géographique des populations. En effet la population A11 qui s'est montré tolérante à la salinité est d'origine saharienne (Adrar), qui est caractérisée par un climat désertique chaud typique de la zone saharienne hyper-aride, alors que la population TZ2 est originaire de Tizi Ouzou qui se situe dans la zone du climat méditerranéen. Les conditions climatiques des régions chaudes et semi-arides, sont un facteur majeur dans la création de sols salins et l'établissement d'une végétation tolérante au sel (ROSENTAL *et al.*, 2014).

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'étudier la réponse au stress salin de quelques populations algériennes de niébé aux stades de germination, émergence et croissance précoce et de tester l'effet de l'amorçage et du supplément en calcium sur la tolérance à la salinité de cette espèce.

Le premier essai, consacré à l'étude de la réponse au stress salin de quelques populations au stade germination a permis de conclure que cette contrainte provoque à ce stade des effets variables en fonction de la concentration de sels et du génotype de niébé. La salinité, à partir de 12 dS m^{-1} ($9,72 \text{ g/l}$), réduit significativement la germination. Les populations EK1, TZ7, et B23 originaires respectivement d'El Kkala, TiziOuzou et Bechar tolèrent mieux la salinité par rapport aux populations A17 et IS13 originaires respectivement d'Adrar et In Salah.

Plusieurs approches ont été proposées pour améliorer cette tolérance. Les plus récentes concernent la technique d'amorçage des graines avant les semis et l'addition du calcium pour atténuer les effets de la salinité.

Le deuxième essai concerne l'amorçage avec l'hydropriming, l'halopriming par le NaCl ou CaSO_4 ou CaCl_2 , a permis de montrer que chez le témoin non amorcé, le stress sévère (170 mM de NaCl : $9,94 \text{ g/l}$) affecte significativement tous les paramètres de germination et de croissance précoce (longueur des racines, des hypocotyles, des épicotyles, de la longueur totale, du poids frais et du poids sec) et l'indice de vigueur des plantules. Chez les graines traitées par contre l'amorçage améliore significativement la tolérance en atténuant les effets dépressifs de la salinité sur les performances germinatives. Il permet une germination rapide et synchronisée ainsi qu'une amélioration des paramètres de croissance aussi bien en conditions favorables que sous stress salin. Cette amélioration varie selon la méthode priming, l'intensité du stress salin et le génotype. L'hydropriming et l'halopriming par le NaCl ou le CaSO_4 , sont plus efficaces en conditions normales et en conditions stressantes. La population A18 originaire d'Adrar est plus tolérante à la salinité et répond mieux à la salinité quand elle subit l'amorçage par rapport à la TZ2 originaire de TiziOuzou.

Le troisième essai a permis d'étudier l'effet de la durée d'amorçage sur l'émergence et croissance de la population A18 et confirme que la durée de l'amorçage modifie largement la tolérance des plantules à la salinité. En effet l'halopriming NaCl de 6 heures assure une meilleure tolérance par rapport à celui de 3 heures en améliorant l'émergence et la croissance des plantules sous stress sévère (170 mM de NaCl).

Le supplément en calcium est une autre approche d'amélioration de la tolérance au stress salin qui a été testée sur deux populations de niébé (A11 et TZ2). Les résultats montrent que le

l'addition du CaCl_2 au NaCl atténue l'effet dépressif de la salinité sur les performances germinatives et la croissance du niébé. Il améliore aussi l'indices de vigueur des plantules et l'indice de tolérance au stress. L'effet protecteur du calcium est plus prononcé chez la population A11 originaire d'Adrar par rapport à la TZ2 originaire de TiziOuzou.

Les différentes méthodes utilisées (amorçage et supplémentation) ont permis de distinguer des techniques simples, moins chères et très efficaces pour améliorer la productivité du niébé en conditions salines défavorables.

Les résultats de ce travail ont permis d'identifier quelques populations tolérantes à la salinité telle que la TZ7, la EK1, la B23, la A18 et l'A11 qui peuvent être proposées dans les programmes de sélection.

Recommandations

Pour répondre à certaines questions qui restent posées, ces recommandations sont proposées :

- Multiplier les essais sur d'autres populations provenant d'autres régions de l'Algérie, compte tenu de l'importance de cette espèce dans les régions arides et semi-arides, ce qui permettra de mieux évaluer la tolérance du niébé à la salinité et de l'intégrer dans les programmes d'amélioration de cette espèce.
- Procéder à la discrimination génétique entre les différents géotypes étudiés en utilisant les techniques de biologie moléculaire, afin d'identifier les gènes responsables de la tolérance à la salinité.
- Tester d'autres types d'amorçages des graines par d'autres agents, exemple, le KNO₃, KCL, l'hormone priming (acide abscissique, acide gibbérellique) et le double hydropriming, avec des durées d'amorçage différentes.
- Etudier les mécanismes, biochimiques et physiologiques régissant l'amorçage des graines, impliqués dans la tolérance au stress salin

Références bibliographiques

1. ABBAS M.K., ALI A.S., HASAN H.H. and GHAL R.H., 2013 - Salt Tolerance Study of Six Cultivars of Rice (*Oryza sativa* L.) During Germination and Early Seedling Growth. *Journal of Agricultural Science.*, 5(1) :1-10.
2. ABBASDOKHT H., EDALATPISHE M.R. and GHOLAMI A., 2010 - The Effect of Hydropriming and Halopriming on Germination and Early Growth Stage of Wheat (*Triticum aestivum* L.).*International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 4(8) : 551- 555.
3. ABE H., YAMAGUCHI-SHINOZAKI K., URAO T., IWASAKI T., HOSOKAWA D., SHINOZAKI K., 1997 - Role of Arabidopsis MYC and MYB homologs in drought- and abscisic acid-regulated gene expression. *Plant Cell*, 9: 1859-1868.
4. AFZAL I., BASRA S. M. A., HAMEED A. and FAROOQ M., 2006 - Physiological enhancements for alleviation of salt tolerance in spring wheat. *Pak. J. Bot.*, 38 : 1649–1659.
5. AFZAL I., RAUF S., BASRAAND S.M.A. and MURTAGA G., 2008 - Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress. *Plant Soil Environ.*, 54 : 382-388.
6. AHMED Z., SHEIKH M.A., HAMEED A. and SALAH UDDIN., 2012. Investigation of antioxidant enzymes and biochemical changes in the wheat seeds (freed) induced by different pre-sowing treatments. *World Appl. Sci. J.*, 18(1): 31-36.
7. ALLEN J.A., CHAMBERS J.L., and STINE M., 1994 - Prospects for increasing the salt tolerance of forest trees: a review. *Tree Physiology*, 14 (7-8-9) : 843-853.
8. ALOUI H., SOUGUIR M., LATIQUE S. and HANNACHI C., 2014 - Germination and growth in control and primed seeds of pepper as affected by salt stress. *Cercetari Agron. Moldova.*, 47: 83–95.
9. AMUTHAVALLI P., ANBU D., and S. SIVSANKARAMOORTHY S., 2012 - Effect of calcium chloride on growth and biochemical constituents of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), *Int. J. Res. Bot.*, 2(3) : 9-12.
10. ANBU D., SIVASANKARAMOORTHY S., 2014 - Ameliorative effect of CaCl₂ on growth, membrane permeability and nutrient uptake in *Oryza sativa* grown at high NaCl salinity. *International Letters of Natural Sciences*, 3: 14-22.
11. AN P., LI X., ZHENG Y., ENEJI A. E. AND INANAGA S., 2014 - Calcium effects on root cell wall composition and ion contents in two soybean cultivars under salinity stress . *Can. J. Plant Sci.*, 94 : 733-740.
12. ANOUN N. et ECHIKH N., 1990 - Etude bio systématique d'une légumineuse saharienne : le Tadelaght. Mémoire DES, Univ. Sci. Technol. "Houari Boumedienne", Bab Ezzouar, Algérie, 101 p.
13. ANSARI O., SHARIF-ZADEH F., 2012- Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 8 : 253–261.
14. APSE M.P., AND BLUMWALD E., 2007- Na⁺ transport in plants. *FEBS Lett.* 581(12) : 2247–2254.
15. ARSHI A., ABDIN M.Z. and Iqbal M., 2006- Sennoside content and yield attributes of *Cassia angustifolia* Vahl. as affected by NaCl and CaCl₂. *Sci. Hortic.*, 111: 84-90.
16. ASHRAF M., RAFFIA M. Z., and ASHRAF M. Y., 2003 - Time-course changes in the inorganic and organic components of germinating sunflower achenes under salt (NaCl) stress. *Flora.*, 198: 26–36.
17. ASHRAF M. and FOOLAD M. R., 2005 - Pre-sowing seed treatment a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Adv Agron.*, 88 : 223–271.

18. ASHRAF M., and Foolad M. R., 2007 -Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2) : 206-216.
19. ASHRAF M., ATHAR HR., HARRIS PJC. And KWON TR., 2008 - Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Adv Agron.*, 97: 45–110.
20. ASHRAF M. and FOOLAD M.R., 2013- Crop breeding for salt tolerance in the era of molecular markers and marker-assisted selection. *Plant Breeding*, 132: 10-20.
21. ATAK M., KAYA M.D., KAYA G., IKILI Y., and ÇİFTÇÜ C.Y., 2006- Effects of NaCl on the germination, seedling growth, and water uptake of triticale. *Turk J Agric For.*, 30: 39-47.
22. AUSSENAC G., GRANIERA A., NAUD R., 1982 – Influence d’une éclaircie sur la croissance et le bilan hydrique d’un jeune peuplement de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb.) franco). *Canadian Journal of Forest Research*, 12 (2): 222-231.
23. AYERS R. S. and WESTCOT D. W., 1985 - Water quality for agriculture. FAO, Rome, 174 p.
24. BAATH G.S., SHUKLAA M.K., BOSLANDA P.W, STEINERB R.L., and WALKER S.J., 2017 - Irrigation water salinity influences at various growth stages of *Capsicum annuum*. *Agricultural Water Management*, 179: 246-253.
25. BEFFAGNA N, BUFFOLI B. nd BUSI C., 2005 - Modulation of reactive oxygen species production during osmotic stress in *Arabidopsis thaliana* cultured cells : involvement of the plasmamembrane Ca²⁺-ATPase and H⁺-ATPase. *Plant Cell Physiol.*, 46 : 1326-1339.
26. BAKHT J., ISLAM A., TAYYUB M., ALI H and SHAFI M., 2011 - Antimicrobial potentials of *Eclipta alba* by disc diffusion method. *Afr. J. Biotechnol.*, 10:7668-7674.
27. BASRA S.M.A., PANNU I.A. and AFZAL I., 2003 - Evaluation of seedling vigor of hydro and matrimprimed wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.*, 5(2) : 121-123.
28. BASRA S.M.A., AFZAL I., HAMEED A. and RASHID R.A., 2005 - Inducing salt tolerance in wheat by seed vigor enhancement techniques. *Int. J. Agric. Biol.*, 2(1): 173-179.
29. BASRA S.M.A., ZIA M.N., MAHMOOD T., AFZAL I., KHALIQ A., 2002 – Comparison of different invigoration techniques in wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Pak. J. Arid. Agric.*, 5 : 11-16.
30. BAUDOIN J.P. and MARÉCHAL R., 1985 - Cowpea taxonomy, origin and germplasm. In: Cowpea research, production and utilization. Singh S.R., Rachie K.O (ed). Wiley, New York, 3-9.
31. BAYUELO-JIMÉNEZ J.S., GRAIG R. and LYNCH J.P., 2002 - Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci.*, 42: 1584-1594.
32. BEATTY K. D. and EHLIG C. F., 1973 - A technique for testing and selecting for salt tolerance in sugarbeet. *J. Am. Soc. Sugar Beet Technol.*, 17: 295-299.
33. BELKHODJA M., et SOLTANI N., 1992- Réponses de la fève (*Vicia faba* L.) à la salinité : Etude de la germination de quelques lignées à croissance déterminée. *Bull Soc Bot Fr.*, 139 : 357-368.
34. BELKHODJA M. et BIDAI Y., 2004 - Réponse des graines d’*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15 (4): 331-335.
35. BENAMAR A., TALLON C. and MACHEREL D., 2003 – Membrane integrity and oxidative properties of mitochondria isolated from imbibing pea seeds after priming or accelerated ageing. *Seed. Sci. Res.*, 13 : 35-45.

36. BENIDIRE L., DAOUİ K., FATEMI Z.A., ACHOUAK W., L. BOUARAB L. and OUFDOU K., 2015 - Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba* L. *J. Mater. Environ. Sci.*, 6 (3) :840-851.
37. BENMAHIOUL B., DAGUIN F. et KAIDHARCHE M., 2009 - Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies*, 32: 164-170.
38. BENNETT S.J., BARRETT-LENNARD E.G. and COLMER T.D., 2009 - Salinity and waterlogging as constraints to salt land pasture production: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129: 349–360.
39. BEWLEY J.D., BRADFORD K.J., HILHORST H.W.M. and NONOGAKI H., 2013 - Seeds physiology of development. In: *Germination and Dormancy*, 3rd ed. Springer, New York.
40. BLUMWALD E., GROVER A. et GOOD A.G. 2004 - Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. « New directions for a diverse planet ». In : Proceedings of the 4th International Crop Science Congress. 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia.
41. BÖHM W., 1979. Methods of Studying Root Systems, Springer-Verlag, Berlin.
42. BORGET M., 1989 – Les légumineuses vivrières. Ed Maisonneuve et Larousse, Paris, 4-161.
43. COULIBALY S., PASQUET R.S., PAPA R. et GEPTS P., 2002 - AFLP analysis of the phonetic organization and genetic diversity of *Vigna unguiculata* L. Walp. Reveals extensive gene flow between wild and domesticated types. *Theor. Appl. Genet.*, 104: 358-366.
44. COUPLAND G. and CORBESIE L.R. , 2005 - Photoperiodic flowering of Arabidopsis: integrating genetic and physiological approaches to characterization of the floral stimulus. *Plant Cell Environ.*, 28: 54–66.
45. DAJIC Z., 2006 - Salt stress. In : *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants*. Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. and Janardhan Reddy K. (eds.), Netherlands., Springer, 41-99.
46. DANTAS B. F., SARIBEIRO L. and ARAGAO C. A., 2005 - Physiological response of cowpea seeds to salinity stress. *Revista Brasileira de Sementes*, 27: 144-148.
47. DAOUY Y. et HALITIM A., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse*, 3 (5) : 151-160.
48. DAS P., NUTAN K.K., SINGLA-PAREEK S.L. and PAREEK A., 2015 - Oxidative environment and redox homeostasis in plants: dissecting out significant contribution of major cellular organelles. *Front. Environ. Sci.*, 2 :70.
49. DASZKOWSKA-GOLEC A., 2011- Arabidopsis seed germination under abiotic stress as a concert of action of phytohormones. *OMICS*, 15 : 763–774.
50. DAVENPORT R. , 2002- Glutamate receptors in plants. *Ann Bot.*, 90: 549-557.
51. DAVENPORT R., JAMES R., ZAKRISSON – PLOGANDER A., TESTER M. and MUNNS R., 2005 - Control of Sodium Transport in Durum Wheat. *Plant Physiology*, 137 : 807-818.
52. DEKHINAT S., BENSÄÏD R., BENSIDZ., KOREIBF. et MOUNAY., 2010 - Analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie algérienne (Biskra, Algérie). *Sciences & Technologies*, 31 : 9-14.
53. DEMIDCHIK V. and MAATHUIS F.J. 2007 - Physiological roles of non selective cation channels in plants : from salt stress to signalling and development. *New Phytol*, 175: 387-404.
54. DEMIDCHIK V. and TESTER M., 2002 - Sodium fluxes through non selective cation channels in the plasma membrane of protoplasts from *Arabidopsis* roots. *Plant Physiol.*, 128 : 379–387.

55. DIEDHIOU C.J., POPOVA O.V., DIETZ K.J. and GOLLDACK D., 2008 - The SNF1-type serine-threonine protein kinase SAPK4 regulates stress-responsive gene expression in rice. *BMC Plant Biol*, 8: 49.
56. DI GIROLAMO G. and BARBANTI L., 2012 - Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Ital. J. Agron.* 7 :178–188.
57. DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A. et BELJOUDI Z., 2003 - La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*, 14(4): 241-246.
58. DOUAOUI A. et HARTANI T., 2008 - Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chellif. In :Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Troisième atelier régional du projet Sirma, M. Kuper, A. Zaïri (eds.), Nabeul, Tunisie, 4-7 juin 2007, 1-5 p.
59. DROUHIN G., 1961 - Expérience algérienne d'utilisation des eaux saumâtres pour l'irrigation avec référence particulières aux sols salins. U.N.E.S.C.O, Paris, 239-244.
60. ECHIKH N., AHMED-SAÏD T., BRAC DE LA PERRIÈRE R.A., 1997 - Collecting local *Vigna unguiculata* L. (Walp.) landraces in Algeria. *Plant Genet. Resour. News.* 112: 73-76.
61. ECHIKH N., 2000 - Organisation du pool génétique de formes sauvages et cultivées d'une légumineuse alimentaire, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Ph.D. thesis, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium, 307 pp.
62. EHLERS J. D. and HALL A. E., 1997 - Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). *Field Crop Research*, 53: 187-204.
63. EL GOUMI Y., FAKIRI M., LAMSAOURI O. and BENCHEKROUN M., 2014-. Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barley physiological traits in three Moroccan barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *J.Mater. Environ. Sci.*, 5(2): 625-632.
64. ELOUAER M.A. and HANNACHI C., 2012 - Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. *Eur. J. Biosci.*, 6: 76-84.
65. ELPHICK C.H., SANDERS D., MAATHUIS F.J.M. 2001- Critical role of divalent cations and Na⁺ efflux in Arabidopsis thaliana salt tolerance. *Plant Cell Environ.*, 24: 733-740
66. EL-SHAIENY A.A.H., 2015- Seed germination percentage and early seedling establishment of five (*Vigna unguiculata* L.) (Walp) genotypes under salt stress. *Eur. J. Exp. Biol.*, 5: 22–32.
67. EL-SWAIFY S.A., 2000 - Soil and Water Salinity. In: *Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture*, Silva J. A. and Uchida R.(eds.), University of Hawaii at Manoa, 151-158.
68. ESKANDARI H., 2013 - Effects of priming technique on seed germination properties, emergence and field performance of crops: a review. *Int. J. Agron. Plant Prod.*, 4: 454–458.
69. EVELIN R., KAPOOR R. and GIRI B., 2009 - Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany.*, 104 (7): 1263–1280.
70. FABUNMI T.O., GBADAMOSI B.K. and ADIGBO S.O., 2012 - Seed hydropriming and early moisture stress impact on biomass production and grain yield of cowpea. *J. Appl. Sci. Technol.*, 2(10) : 112-122.
71. FAO., 2005 - Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 56 p.
72. FARAHMANDFAR E., SHIRVAN M.B., SOORAN S.A. and HOSEINZADEH D., 2013 - Effect of seed priming on morphological and physiological parameters of fenugreek seedlings under salt stress. *IJACS.*, 5: 811-815.

74. FARIDUDDIN Q., AHMAD A. and HAYAT S., 2003 - Photosynthetic response of *Vigna radiata* to pre-sowing seed treatment with 28 homobrassinolide. *Photosynthetica.*, 41: 307-310.
75. FARIS D.G., 1965 - The origin and evolution of the cultivated forms of *Vigna sinensis*. *Canadian Journal of Genetics and Cytology.*, 7:433-452.
76. FAROOQ M., BASRA S.M.A., HAFEEZ K. AND AHMAD N., 2005 - Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Journal of Integretive Plant Biology* 47: 187-193.
77. FAROOQ M., BARS A S.M.A., KHAN M.B., 2007 a- Seed priming improves growth of nursery seedlings and yield of transplanted rice. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 53: 315–326.
78. FAROOQ M., BASRA S.M.A., REHMAN H., HUSSAIN M and AMANAT Y., 2007 b- Pre-sowing salicylate seed treatments improve the germination and early seedling growth in fine rice. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences.*, 44 (1): 1-8.
79. FAZLALI R., ASLI D.E., MORADI P., 2013 - The effect of seed priming by ascorbic acid on bioactive compounds of naked seed pumpkin (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) under salinity stress. *Int. J. Farm. Allied Sci.*, 2 : 587–590.
80. FLOWERS T. J. and FLOWERS S. A., 2005 - Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management.*, 78: 15–24.
81. FOOLAD M.R. and LIN G.Y., 1997- Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *Hort., Science*, 32: 296-300.
82. Foolad M. R., Zhang L. P. and Subbiah P., 2007 - Common QTLs rate of tomato seed germination under different stress and nonstress conditions. *Int. J. Plant Genomics*, 1-10.
83. GARG N., and MANCHANDA G., 2008 - Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiol Plant.*, 30: 595–618.
84. GAUCHER G. et BURDINS S., 1974 - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. ed.p.u.f.paris, 230 p.
85. GENC Y. M., TESTER AND MCDONALD G. K., 2010 - Calcium requirement of wheat in saline and non-saline conditions. *Plant Soil*, 327 : 331–345.
86. GHALMI N., HANIFI-MEKLICHE L., BAUDOIN JP., OUNANE S.M. et BENMOMHAMED A., 2005 - Caractérisation agro-morphologique de quelques populations locales de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) cultivées en Algérie. In : Actes du séminaire international sur l'amélioration des productions végétales. L. Khelifi (ed.), 5-7 Décembre 2005, INA, Alger, 190-192.
87. GHALMI N., MALICE M., JACQUEMIN J.M., OUNANE S.M., LEILA MEKLICHE L., BAUDOIN J.P., 2009- Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) landraces. *Genet. Res. Crop Evol.*, 57: 371-386.
88. GHASSEMI-GOLEZANI K., SHEIKHZADEH-MOSADDEGH P. and VALIZADEH M., 2008 - Effects of hydropriming duration and limited irrigation on field performance of chickpea. *Res. J. Seed Sci.*, 1 : 34-40.
89. GHASSEMI-GOLEZANI K., CHADORDOOZ-JEDDI A., NASRUL LAHZADEH S. and MOGHADDAM M., 2010. Influence of hydro-priming duration on field performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Afr. J. Agric. Res.*, 5(9) :893-897.
90. GHOLAMI M., FAEZEH MOKHTARIAN., BAHRAM B., 2015 - Seed Halopriming Improves the Germination Performance of Black Seed (*Nigellasativa*) under Salinity Stress Conditions. *J. Crop Sci. Biotech.*, 18 (1) : 21 - 26.
91. GHOULAM C. and FARES K., 2001 - Effect of salinity on seed germination and early seedling growth of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Seed Sci. Tech.*, 29: 357–364.

92. GHOULAM C., FOURSAY A. and FARES K., 2002 - Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environmental and Experimental Botany*, 47: 39–50.
93. GOGILE A., ANDARGIE M. and MUTHUSWAMY M., 2013 - The response of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes for salt stress during germination and seedling Stage. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 9: 73-84.
94. GOLLDACK D., LUKING I. and YANG O., 2011 -Plant tolerance to drought and salinity : stress regulating transcription factors and their functional significance in the cellular transcriptional network. *Plant Cell Rep.*, 30: 1383-1391.
95. GOUD P.B. and KACHOLE M.S., 2011- Effect of exogenous hydrogen peroxide on peroxidase and polyphenol oxidase activities in *Cajanus cajan* (L.) Millsp detached leaves. *Int. J. Curr. Res.*, 3 : 61–65.
96. GRATTAN S. R. and GRIEVE C. M., 1993 - Mineral nutrient acquisition and response by plant grown in saline environments. In: Handbook of plant and crop stress. Pessarakli (ed.), Dekker, New York, 203-226.
97. GRATTAN S. R. and GRIEVE C. M., 1999 – Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crop. *Sci.Hortic.*, 78: 127-157.
98. GREENWAY H. and MUNNS R., 1980 - Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology.*, 3: 149-190.
99. GROUZIS M., BERGER A. et HEIM G., 1976 - Polymorphisme et germination des graines chez trois espèces annuelles du genre *Salicornia*. *Œcof. Plant.*, 11: 41-52.
100. GUIMARÃES F.V.A., LACERDA C.F., MARQUES E.C., ABREU C.E.B., AQUINO B.F., PRISCO J.T. and GOMES-FILHO E., 2012 - Supplemental Ca²⁺ does not improve growth but it affects nutrient uptake in NaCl-stressed cowpea plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 24: 9–18.
101. HADJLAOUI H., DENDEN M. et BOUSLAMA M., 2007 - Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination, *Tropicultura.*, 25: 168-173.
102. HALL A.E. and PATEL P.N., 1985 - Breeding for resistance to drought and heat. In: *Cowpea research, Production and Utilization*. Singh S. R. and Rachie K. O. (eds.) Wiley, New York, 137-151.
103. HANANA M., HAMROUNI L., CAGNAC O. and BLUMWALD E., 2011 – Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environ.Rev.*, 19 : 121-140.
104. HASANUZZAMAN M., NAHAR K. and FUJITA M. 2013- Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages,” in *Ecophysiology and Responses of Plants Under Salt Stress*. P.Ahmed, M. M. Azooz, and M.N.V.Prasad (eds),New York, NY: Springer, 25–87.
105. HAOUALA F., FERJANI H. et EL HADJ S., 2007 - Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺²) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines de ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11 (3): 235-244.
106. HOPKINS W. G., 2003 - Physiologie végétale. De Boeck, Bruxelles, 514 p.
107. HUSSAIN S., ZHENG M., KHAN F., KHALIK A., FAHAD S., PENG S. et al. 2015 - Benefits of rice seed priming are offset permanently by prolonged storage and the storage conditions. *Sci. Rep.*, 5 : 8101.
108. IQBAL M., ASHRAF M., JAMIL A. and SHAFIQ-UR-REHMAN., 2006 - Does seed priming induce changes in the levels of some endogenous plant hormones in hexaploid wheat plants under salt stress? *J. Integrat. Plant Biol.* 48 : 181-189.

109. JAKOBY M., WEISSHAAR B., DROGE-LASER W., VICENTE-CARBAJOSA J., TIEDEMANN J., KROJ T. and PARCY F., 2002- bZIP transcription factors in Arabidopsis. *Trends Plant Sci.*, 7: 106-111.
110. JAFARI M.H.S., KAFI M. and ASTARIE A., 2009- Interactive effects of NaCl induced salinity, Calcium and potassium on physiomorphological traits of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Pakistan J. Bot.*, 41(6): 3053-3063.
111. JAHROMI F., AROCA R., PORCEL R., RUIZ-LOZANO J.M., 2008 - Influence of salinity on their in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microb. Ecol.*, 55 : 45-53.
112. JALEEL C.A. and AZOOZ M.M., 2009 - Exogenous calcium alters pigment composition, g-glutamyl kinase and proline oxidase activities in salt stressed *Withanias omnifera*. *Plant Omics.J.*, 2 : 85 –90.
113. JALEEL C.A., MANIVANNAN P., KISHOREKUMAR A., SANKAR B. and PANNEERSELVAM R., 2007 - Calcium chloride effects on salinity induced oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation in *Catharanthus roseu*. *Compt. Rend. Biol.* 330 : 674–683.
114. JAMES R. A., VON CAEMMERER S., CONDON A.G., ZWART A. B., and MUNNS R., 2008 - Genetic variation in tolerance to the osmotic stress component of salinity stress in durum wheat. *Functional Plant Biology*, 35(2) : 111-123.
115. JASIM A.M., ABBAS M.F., SHAREEF H.J., 2016 - Calcium application mitigates salt stress in Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) offshoots cultivars of Berhi and Sayer. *Acta agriculturae Slovenica.*, 107 : 1-10.
116. JISHA KC., VIJAYAKUMARI K., PUTHUR JT., 2013 - Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiol. Plant.*, 35: 1381-1396.
117. JITHESH M.N., PRASHANTH S.R., SIVAPRAKASH K.R. and PARIDA A.K. 2006 - Antioxidative response mechanisms in halophytes: their role in stress defence. *J. Genet.* 85(3) : 237–254.
118. JORJANDI M and SHARIFI-SIRCHI GR. 2012 - The Effect of Priming on Germination and Seedling Growth of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) under Salinity Stress. *J Stre Physiol Bioch.* 8(3): 234-239.
119. JOSHI N., JAIN A. and ARYA K., 2013 - Alleviation of salt stress in *Cucumis sativus* L. through seed priming with calcium chloride. *Ind. J. Appl. Res.*, 3 (11): 22–25.
120. JOWKAR M., GHANBARI A., MORADI F and HEIDARI, M. 2012 - Alterations in seed vigor and antioxidant enzymes activities in *Silybum marianum* under seed priming with KNO₃. *J. Med. Plants Res.*, 6 (7): 1176-1180.
121. KACHOUT S.S., ENNAJAH A., MECHERGUI R., MANSOURA A.B., OUERGHI Z. and BOURAOUI N.K., 2016 - Effect of Seed Weight and Salinity on the Germination of Garden Orache (*Atriplex hortensis* L.). *Acad. J. Agric. Res.*, 4(7): 404-410.
122. KAEWMANEE K., KRAMMART P., SUMRANWANICH T., CHOKTA-WEEKARN P. and TANGTERMSIRIKUL S., 2013 - Effect of free lime content on properties of cement-fly ash mixtures. *Construction and Building Materials.*, 38: 829-836.
123. KAVEH H., NEMATI H., FARSI M., JARTOODEH S.V., 2011- How salinity affect germination and emergence of tomato lines. *J. Biol. Environ. Sci.*, 5 : 159–163.
124. KAWAPATA M. B. and HALL A. E., 1985 - Effects of moisture regime and phosphorus on mycorrhizal infection, nutrient uptake and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Field Crop Research*, 24: 1-10.

125. KAYA M.D., OKCU G., ATAK M., CIKILI Y. and KOLSARICI O., 2006 - Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Europ. J. Agronomy*, 24: 291-295.
126. KESSIRAN M.M.ED., 2003 - Gestion de l'irrigation dans le milieu salin. Recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du Sud. Volume III, El-Oued les 19 et 20 mai 2003.
127. KHAJEH-HOSSEINI M., POWELL A.A. and BINGHAM I.J. 2003 - The Interaction between salinity stress and seed vigour during germination of Soybean seeds. *Seed Sciences Technology*, 31 : 715-725.
128. KHALIL C., BOUFOUS E., and MOUSADIK A.E., 2011- Diversity of salt tolerance during germination in *Medicago ciliaris* (L.) and *Medicago polymorpha* (L.). *Atlas Journal of Plant Biology*, 1 : 6-12.
129. KHAN A.A., 1992 - Preplant physiological seed conditioning. *Hort. Rev.*, 14: 131-81.
130. KHAN M. A., ZAHEER AHMED M. and HAMEED A., 2006 - Effect of sea salt and L-ascorbic acid on the seed germination of halophytes. *Journal of Arid Environments*, 67: 535-540.
131. KHAN H. A., AYUB C. M., PERVEZ M. A., BILAL R.M., SHAHID M. A. and ZIAF K., 2009 - Effect of seed priming with NaCl on salinity tolerance of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) at seedling stage. *J. Soil & Environ.*, 28(1): 81-87.
132. KHODARAHMPOUR Z., IFAR M. and MOTAMEDI M., 2012- Effects of NaCl salinity on maize (*Zea mays* L.) at germination and early seedling stage. *Afr J Biotechnol.*, 11:298-304.
133. KOUADIO D., ECHIKH N., TOUSSAINT A., PASQUET R. S. and BAUDOIN J. P., 2007 - Organisation du pool génique de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. : Croisements entre les formes sauvages et cultivées du niébé. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 11(1): 47-57.
134. KLOBUS G., WARD M. R. and HUFFAKERR C., 1988 - Characteristics of injury and recovery of net NO₃⁻ transport of barley seedlings from treatments of NaCl. *Plant Physiol.*, 87 : 878-882.
135. KUBALA S., WOJTYLA, L., QUINET M., LECHOWSKA K., LUTTS S., GARNCZARSKA M., 2015 - Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Plant Sci.*, 183: 1-12.
136. KWON T.R., SIDDIQUI S.Z. and HARRIS P.J.C., 2009 - Effects of supplemental calcium on ion accumulation, transport and plant growth of salt sensitive Brassica rapa Landrace. *J. Plant Nutr.*, 32 : 644-667.
137. LAGHMOUCHI Y., BELMEHDI O., BOUYAHYA A., SENHAJI N.S. and ABRINI J., 2017 - Effect of temperature, salt stress and pH on seed germination of medicinal plant *Origanum compactum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 10: 156-160.
138. LÄUCHLI A., GRATTAN S.R., 2007 - Plant growth and development under salinity stress. In: *Advances in Molecular Breeding Towards Drought and Salt Tolerant Crops*. Jenks, M.A., Hasegawa, P.M., Mohan, J.S. (Eds.), Springer, Berlin, pp. 1-32.
139. LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P, FOURCROY P. et FRANCINE C. D., 1995 - Les plantes face au stress salin. *Cahiers agricultures.*, 4: 263-73.
140. LEVITT J., 1980 - Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses, Academic Press, New York, 606p.
141. LUSH W.M. and RAWSON H. M., 1979 - Effects of domestication and region of origin on leaf gas exchange in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Photosynthetica*, 13: 419.

142. LUTTES S., KINER J.M., BOUHARMONT J., 1996- NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Ann. Bot.*, 78: 389-398.
143. MAAS E.V., POSS J.A. and HOFFMAN G. J., 1986 - Salinity sensitivity of sorghum at three growth stages. *Irrig. Sci.*, 7: 1-11.
144. MAAS E.V. and POSS J. A., 1989 - Salt sensitivity of cowpea at various growth stages. *Irrigation Science*, 10: 313–320.
145. MAGUIRE J.D., 1962- Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science.*, 2 : 176-177.
146. MAITI R. and PRAMANIK K., 2013- Vegetable Seed Priming: a Low Cost, Simple and Powerful Techniques for Farmers' Livelihood. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 4(4): 475-481.
147. MANIGUET M., 2003 - Les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition marketing, Paris, 24-32.
148. MANIVANNAN P., JALEEL C.A., SANKAR B., SOMASUNDARAM R., MURALI P.V., SRIDHARAN R. and PANNEERSELVAM R., 2007- Salt stress mitigation by calcium chloride in *Vigna radiata* L. Wilczek. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica.*, 49(2): 105-109.
149. MANSOUR M. M. F., 2000 - Nitrogen containing compounds and adaptation of plants to salinity stress. *Biologia Plantarum.*, 43(4) : 491-500.
150. MARECHAL R., MASCHERPA J. M. and STAINIER F., 1978 - Etude taxonomique d'un groupe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologique et pollinique traitées pour l'analyse informatique. *Boissier* 28: pp. 1-273.
151. MAROUFI K., FARAHANI H.A. and MORADI O., 2011- Increasing of seedling vigor by hydro priming method in cowpea (*Vigna sinensis* L.). *Adv. Environ. Biol.*, 5(11) : 3668-3671.
152. MAXTED N., MABUZA-DIAMINI P., MOSS H., PADULOSI S., JARVIS A. and GUARINO I., 2004 - African *Vigna*: an Eco geographic study on Crop Genepools 11. In: *International plant genetic resources institute*. Rome, Italy, 470 pp.
153. MEMON N., GANDAH M.B., PAHOJA V.M., SHARIF N., 2013 - Response of seeds priming with boron on germination and seedling sprouts of broccoli. *Int. J. Agric. Sci. Res.*, 3 (2) : 183–194.
154. MISRA N. and DWIVEDI U. N., 2004 - Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Science.*, 166 : 1135-1142.
155. MOHAMED A.K. and BASALAH M.O., 2015 - The Active Role of Calcium Chloride on Growth and Photosynthetic Pigments of Cowpea "*Vigna unguiculata* L. (Walp)" Under Salinity Stress Conditions. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 15 (10): 2011-2020.
156. MOORE P.H., MING R. and DELMER P., 2008 - Genomics of tropical crop plant, plant genetics/genomics. Springer. vol1, 581p.
157. MUNNS R. and TERMATT A., 1986 - Whole plant responses to salinity. *Aust. J. Plant Physiol.*, 13: 143–160.
158. MUNNS R., 2002 - Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment.*, 25 : 239-250.
159. MUNNS R., 2005 - Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167: 645–663.
160. MUNNS R., and TESTER M., 2008 - Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59 : 651-681.
161. MURILLO-AMADOR B. and TROYO-DIEGUEZ E., 2000 - Effect of salinity on the germination and seedling growth of cowpea. *Journal Agronomy & Crop Science*, 188: 235-247.

162. MURILLO-AMADOR B., TROYO-DIEGUEZ E., LOPEZ-CORTES A., JONES H.G., AYALA-CHAIREZ F. and TINOCO-OJANGURENC L., 2001 - Salt tolerance of cowpea genotypes in emergence stage. *Australian Journal of Experimental Agriculture.*, 41: 81-88.
163. MURILLO-AMADOR B., LOPEZ-AGUILAR R., KAYA C., LARRINAGA MAYORAL J. and FLORES-HERNANUEZ A., 2002 - Comparative Effects of NaCl and Polyethylene Glycol on Germination, Emergence and Seedling Growth of Cowpea. *J. Agronomy & Crop Science*, 188: 235-247.
164. MURILLO-AMADOR B., TROYO-DIEGUEZ E., HERNANDEZ J. L. G., LOPEZ-AGUILAR R., AVILA-SERRANO N. Y., ZAMORA-SALGADO S., RUEDA-PUENTE E. O. and KAYA C., 2006 - Effect of NaCl salinity in the genotypic variation of cowpea (*Vigna unguiculata*) during early vegetative growth. *Scientia Horticulturae.*, 108: 423-431.
165. NABI F., CHAKER-HADDADJ A., TELLAH S., GHALEM A., OUNANE G., GHALMI N., DJEBBAR R. and OUNANE S.M., 2017 - Evaluation of Algerian Cowpea genotypes for salt tolerance at germination stage. *Advances in Environmental Biology*, 11(5): 79-88.
166. NAHAR K., HASANUZZAMAN M., ALAM M.A. and FUJITA M., 2015 - Exogenous glutathione confers high temperature stress tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.) by modulating antioxidant defense and methylglyoxal detoxification system. *Environ. Exp. Bot.*, 112 : 44-54.
167. NAKAUNE M., HANADA A., YIN Y.G., MATSUKURA C., YAMAGUCHI S., 2012 - Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. *Plant Physiol. Biotechnol.*, 52 : 28-37.
168. NASRI N., KADDOUR R., MAHMOUDI H., BAATOUR O., BOURAOUI N. and LACHAAL M., 2011 - The effect of osmopriming on germination, seedling growth and phosphatase activities of lettuce under saline condition. *Afr. J. Biotechnol.*, 10: 14366-14372.
169. NEAMATOLLAHI E. and BANNAYAN M., 2009 - Does Hydro and Osmo-Priming Improve Fennel (*Foeniculum vulgare*) Seeds Germination and Seedlings Growth. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca.*, 37: 190-194.
170. NYARKO G., ALDERSON P. G. and CRAIGON J., 2006 - Towards cabbage seed production in the tropics. Ghana Journal of Horticulture, in press. Obizoba, I. C. (1983). Nutritive value of cowpea-bambara groundnut-rice mixtures in adult rats. *Nutrition Reports International.*, 27:709-12.
171. PAPARELLA S., ARAUJO S.S., ROSSI G., WIJAYASINGHE M., CARBONERA D., BALESTRAZZI A., 2015 - Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep.*, 34(8) : 1281-1293.
172. PARIDA A. K. and DAS A.B., 2005 - Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60: 324-349.
173. PARIHAR P., SINGH S., SINGH R. Singh V.P. and Prasad S.M., 2015- Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Sci Pollut Res.*, 22 : 4056-4075.
174. PARVIN, K., AHAMED, K.U., ISLAM, M.M., HAQUE, M.N., 2016 - Modulation of ion uptake in tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants with exogenous application of calcium under salt stress condition. *Poljopivreda*, 22 (2) : 40-49.
175. PASQUET R., 1994 - Organisation génétique et évolutive des formes spontanées et cultivées du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. biosystématique et processus de domestication. Ph.D. thesis, Paris Grignon, I.N.A. Paris-Grignon-ORSTOM, France, 284 p.
176. PASTOR V., LUNA E., MAUCH-MANI B., TON J. and FLORS V., 2013 - Primed plants do not forget. *Environ. Exp. Bot.*, 94: 46-56.

177. PATADE V.Y., SUJATA B. and SUPRASANNA P., 2009 - Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 134 : 24–28.
178. PATEL P.R., KAJAL S.S., PATEL V.R., PATEL V.J. and KRISHTI S.M., 2010 - Impact of salt stress on nutrient uptake and growth of cowpea. *Brazilian Journal of Plant Physiology.*, 22 (1): 43-48.
179. PILL W. G. and NECKER A.D., 2001 - The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratense* L.). *Seed Sci. Technol.*, 29 : 65–72.
180. RAB A. and HAQ I., 2012- Foliar application of calcium and chloride and borax influences plant growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. *Turk J. Agric.*, 36 : 695-701.
181. RAHMAN A., NAHAR K., HASANUZZAMAN M. and FUJITA M., 2016 – Calcium Supplementation improves Na⁺/K⁺ Ratio, Antioxidant Defense and Glyoxalase Systems in Salt-Stressed Rice seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 7 : 1-16.
182. Rajendra P., Sujatha NH., Sashidkar RB., Subramanyam C., Davendranath D., Gunasekaran B., Aradhya RSS. and Bhaskaran A., 2005- Effects of power frequency electromagnetic fields on growth of germinating *Vicia faba* L., the broad bean. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 24 : 39-54.
183. RAJENDRAN K., TESTER M. and ROY S. J., 2009 - Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant, Cell & Environment.*, 32(3) : 237-249.
184. RAJJOU L., DUVAL M., GALLARDO K., CATUSSE J., BALLY J., JOB C., JOB D., 2012 - Seed germination and vigor. *Ann. Rev. Plant Biol.*, 63 : 507–533.
185. RATIKANTA K.M., 2011 - Seed priming: an efficient farmers' technology to improve seedling vigour, seedling establishment and crop productivity. *Int. J. Bio-Resour. Stress Mana.*, 2, 297.
186. RAWAL K.M., 1975 - Natural hybridization among weedy and cultivated *Vigna unguiculata* (L) Walp. *Euphytical.*, 24: 699-707.
187. RENAULT S., 2005 - Response of red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings to sodium sulphate salinity: effects of supplemental calcium. *Physiol. Plantarum*, 123: 75-81.
188. RODRIGUEZ M.C., PETERSEN M., MUNDY J., 2010- Mitogen-activated protein kinase signaling in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 61: 621-649.
189. ROSENTHAL L., NONOGAKI H. and FAIT A., 2014 - Activation and regulation of primary metabolism during seed germination. *Seed Sci. Res.*, 24 : 1-15.
190. RUAN S, XUE Q. and TYLKOWSKA K. 2002- Effects of seed priming on germination and health of rice *Oryza sativa* L. seeds. *Seed Science and Technology*, 30 : 451-458.
191. SACALA E., BIEGUN A., DEMCZUK A. and GRZYS E., 2005 - Effect of NaCl and supplemental calcium on growth parameters and nitrate reductase activity in Maize. *Acta Societatis Botaniorum Poloniae*, 74 (2) : 119-123.
192. SADEGHI H., ROBATI Z., 2015 - Response of *Cichorium intybus* L. to eight seed priming methods under osmotic stress conditions. *Biocatalysis. Agricultural Biotechnology.*, 4 (4) : 443-448.
193. SEDGHI M., AMANPOUR-BALANEJI B. and BAKHSHI J., 2014 - Physiological enhancement of medicinal pumpkin seeds (*Cucurbita pepo*: var. styriaca) with different priming methods. *Iran. J. Plant Physiol.*, 5 : 1209–1215.
194. SEHRAWAT N., Yadav M., BHAT K.V., SAIRAM R.K. and JAIWAL P.K., 2014- Evaluation of mungbean genotypes for salt tolerance at early seedling growth stage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3 : 108–113.

195. SEYDI A. B., 2003 - Determination of the salt tolerance of some barley genotypes and the characteristics affecting tolerance. *Turk J. Agric.*, 27 : 253-260.
196. SHABALA S., DEMIDCHICK V., SHABALA L., CUIN T.A., SMITH S. J., MILLER A. J., *et al.* 2006 - Extracellular Ca²⁺ ameliorates NaCl-induced K⁺ loss from *Arabidopsis* root and leaf cells by controlling plasma membrane K⁺ permeable channels. *Plant Physiol.*, 141 : 1653–1665.
197. SHABALA S. and POTTOSIN I., 2014 - Regulation of potassium transport in plants under hostile conditions: implications for abiotic and biotic stress tolerance. *Physiol.Plant.*, 151 : 257-279.
198. SHABALA S., SHABALA L. and VOLKENBURGH E., 2003- Effect of calcium on root development and root ion fluxes in salinized barley seedlings. *Funct.PlantBiol.* 30 : 507 -514.
199. SHAHBA M.A., QIAN Y.L. and LAIR K.D., 2008- Improving seed germination of salt grass under saline conditions. *Crop Sci.*, 48 (2) : 756-762.
200. SHANNON M. C., 1992 - The effects of salinity on cellular and biochemical processes associated with salt tolerance in tropical plants. In: Proc. *Plant Stress in Trop. Environ.* Davenport T. L. and Harrington H. M. (eds.), Kailu-Kona, HI, 20-25 Sept, Univ. FL, Homestead, 56-63.
201. SHANNON M. C., 1997 – Adaptation of plant to salinity. *Adv. Agron.*, 60 : 75-120.
202. SHARMA A.D., RATHORE S.V.S., SRINIVASAN K. and TYAGI R.K., 2014 - Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Sci. Hortic.*, 165 : 75–81.
203. Sharma P.V., Sardana and Banga S.S., 2013 - Salt tolerance of Indian mustard (*Brassica juncea*) at germination and early seedling growth. *Environmental and Experimental Biology*, 11 : 39–46.
204. SHILA A., HAQUE M.A, AHMED R. and HOWLADER M.H.K., 2016- Effect of different levels of salinity on germination and early seedling growth of sunflower. *World Research Journal of Agricultural Sciences.*, 3 (1): 048-053.
205. SILVA E. C., NOGUEIRA R. J. M. C., ARAUJO F. P., MELOC N. F. and AZEVEDO NETO A. D., 2008 - Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environmental and Experimental Botany.*, 63 :147–157.
206. SILVA J. V., LACERDA C. F., COSTA P. H. A., FILHO J. E., FILHO E. G. and PRISCO J. T., 2003 - Physiological responses of NaCl stressed cowpea plants grown in nutrient solution supplemented with CaCl₂. *Braz. J. Plant Physiol.*, 15 (2) : 99-105.
207. SINGH A., ABUBAKAR A. H., AHMED H. G., ALIYU U., SOKOTO M.B., ALHASSAN J., MUSA M. and SINGH R.B., 2011-Seed hydropriming effects on germination, emergence and growth of cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp.). *Trends Adv. Sci. Eng.*, 1(3) : 37-42.
208. SINGH B.B., CHAMBLISS O.L., SHARMA B., 1997 - Recent advances in Cowpea breeding. In *Advances in Cowpea Research-* (Singh, B. B., Mohan Raj, Dashiell, K. E. et Jackai, L. E. N. eds)-IITA Ibadan, Nigeria.
209. SIVRITEPE N., SIVRITEPE H.O. and ERIS A., 2003 - The effects of NaCl priming on salt tolerance in melon seedlings grown under saline conditions. *Sci. Hortic.*, 97: 229-237.
210. SIVSANKARAMOORTHY S., 2013 - Studies on the germination, growth and biochemical components of (*Arachis hypogaea* L.). *Int. J. Res. Plant. Sci.*, 3 (4) : 64-67.
211. SIVSANKARAMOORTHY S., 2013 - Effect of NaCl salinity on germination, growth and photosynthetic pigments of (*Cajanus cajan*.L). *Int. J. Res. Plant. Sci.* 3 (4) : 68-71.

212. SLAMA F., 2004 - La salinité et la production végétale. Centre de Publication Universitaire, Tunis, 163 p.
213. SNOUSSI S.A et HALITIM A., 1998 - Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : cas de l'haricot et la tomate. *Etude et gestion des sols*, 5 (4): 289-298.
214. SOLIMAN W.S. et EL-SHAIENY A.A.H., 2014 - Effect of saline water on germination and early growth stage of five Apiaceae species. *Afr. J. Agric. Res.*, 9 : 713–719.
215. SOUALEM S., ADDA A., BELKHODJA M. and MERAH O., 2014 - Calcium supply reduced effect of salinity on growth in the Mediterranean shrub (*Atriplex halimus* L.). *Life. Sci. J.*, 11 (2) : 278-284.
216. SOUGHIR M., ELOUAER M. A. and HANNACHI C., 2013- The effect of nacl priming on emergence, Growth and yield of Fenugreek under Saline conditions. *Ercet ări Agronomie în Moldova*, 46 (2) :73 - 83.
217. TAMIMI S. M., 2016 - Effect of seed priming on growth and physiological traits of five Jordanian wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces under salt stress. *Journal of Bioscience and Agriculture Research*, 11 (01) : 906-922.
218. THIAM M., CHAMPION A., DIOUF D. and MAME OUREYE S.Y., 2013 - NaCl effects on in vitro germination and growth of some Senegalese cowpea (*Vigna unguiculata* (L.)Walp.) Cultivars. *ISRN Biotechnol.*, 1-11.
219. THOMSON W. W., 1985 - Physiological Responses to Salt Stress. In: five year report, Ed. Kearney Fondation, 1-5.
220. TIMKO M.P., EHLERS J.D and ROBERTS P.A., 2007. Cowpea. In : Pulses, sugar and tuber crops, Genome mapping and molecular breeding in plants, Kole C. (Ed.), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 3 : 49-67.
221. TLIG T., GORAI M. and NEFFATI M., 2008 - Germination responses of *Diplo-taxis harra* to temperature and salinity. *Flora.*, 203 : 421-428.
222. TRABUT A., 1935 - Répertoire des noms indigènes des plantes spontanées cultivées et utilisées dans le nord de l'Afrique. Algiers, Algérie, 355 pp.
223. TUNA AL., KAYA C., ASHRAF M., ALTUNLU H., YOKAS I. and YAGMUR B., 2007- The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. *Environ Exp Bot.*, 59 :173–8.
224. TURAN M.A., ELKARIM A.H.A., TABAN N. and TABAN S., 2010 - Effect of salt stress on growth and ion distribution and accumulation in shoot and root of maize plant. *Afr. J. Agric. Res.*, 5 : 584-588.
225. TURK K. J., HALL A. E. and ASBELL C. W., 1980 - Drought adaptation of cowpea. I. Influence of drought on seed yield. *Agron J.*, 72 : 413-420.
226. VANDERBORGHT T. et BAUDOIN J.P., 2001 - Cowpea. In: *Crop production in tropical Africa*. Raemaekers, R.H (ed). DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium, 334–348.
227. VARIER A., VARI A.K. and DADLANI M., 2010 - The sub cellular basis of seed priming. *Curr. Sci.*, 99 : 450–456.
228. VERDCOURT B., 1970 - Studies in the Leguminosae Papilionoideae for the "Flora of Tropical East Africa" volume III and IV. *Kew Bull.*, 24: 379-447 and 507-569.
229. VICENTE O., BOSCAIU M., NARANJO M. A., ESTRELLES E., BELLES J. M. and SORIANO P., 2004 - Responses to salt stress in the halophyte *Plantago crassifolia* (Plantaginaceae). *J. Arid Environ.*, 58 : 463- 481.

230. WANG Y. and NIL N., 2000 - Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75 : 623–627.
231. WEST D. W. and FRANCOIS L. E., 1982 - Effects of Salinity on Germination, Growth and Yield of Cowpea. *Irrig. Sci.*, 3:169-175.
232. WU G.Q., and WANG S.M., 2012 - Calcium regulates K^+/Na^+ homeostasis in rice (*Oryzasativa* L.) under saline conditions. *Plant Soil Environ.* 58 : 121–127.
233. WUTIPRADITKUL N., WONGWEAN P. and BUABOOCHA T., 2015 - Alleviation of salt- induced oxidative stress in rice seedlings by proline and/or glycinebetaine. *Biol. Plant.*, 59 : 547–553.
234. XIONG L. and ZHU J. K., 2002 - Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant, Cell and Environment.*, 25 : 131–139.
235. YARI L., AGHAALIKANI M et KHAZAEI F., 2010 - Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Biol. Sci.*, 5 (1) : 1-6.
236. YEO A. R., 1998 - Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology. *J. Exp. Bot.*, 49 : 915-929.
237. YILDIRIM E. and GUVENC I., 2006 - Salt Tolerance of Pepper Cultivars during Germination and Seedling Growth. *Turk. J. Agric. For.* , 30 : 347-353.
238. YIN Y.Q., YANG R.Q., HAN Y. B. and GU Z. X. 2015- Comparative proteomic and physiological analyses reveal the protective effect of exogenous calcium on the germinating soybean response to salt stress. *Journal of Proteomics*, 113 : 110–126.
239. ZAVARIYAN A., RAD M., ASGHARI M., 2015- Effect of seed priming by potassium nitrate on germination and biochemical indices in *Silybum marianum* L. under salinity stress. *Int. J. Life Sci.*, 9 : 23–29.
240. Zhu J.K., 2001- Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci.*, 6 : 66–71.

ANNEXE1 :Résultats d'analyses statistiques

Chapitre III- Étude de l'influence de l'amorçage sur la germination et croissance du niébé sous stress salin

Évolution du pourcentage de germination

Statistiques descriptives

Jour 2

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	20,0000	10,00000	
		CaCl ₂	60,0000	10,00000	
		CaSO ₄	76,6667	5,77350	
		HP	76,6667	5,77350	
		NaCl	63,3333	11,54701	
		Total	59,3333	22,82438	
	TZ2	T0NP	16,6667	5,77350	
		CaCl ₂	50,0000	10,00000	
		CaSO ₄	73,3333	5,77350	
		HP	60,0000	10,00000	
		NaCl	53,3333	25,16611	
		Total	50,6667	22,50926	
	T1	A18	T0NP	13,3333	5,77350
			CaCl ₂	53,3333	15,27525
CaSO ₄			53,3333	5,77350	
HP			56,6667	49,32883	
NaCl			56,6667	5,77350	
Total			46,6667	26,36737	
TZ2		T0NP	16,6667	5,77350	
		CaCl ₂	46,6667	20,81666	
		CaSO ₄	46,6667	5,77350	
		HP	76,6667	15,27525	
		NaCl	40,0000	10,00000	
		Total	45,3333	22,63583	
T2		A18	T0NP	0,0000	0,00000
			CaCl ₂	0,0000	0,00000
	CaSO ₄		23,3333	5,77350	
	HP		46,6667	15,27525	
	NaCl		6,6667	5,77350	
	Total		15,3333	19,59106	
	TZ2	T0NP	0,0000	0,00000	
		CaCl ₂	20,0000	17,32051	
		CaSO ₄	3,3333	5,77350	
		HP	20,0000	10,00000	
		NaCl	13,3333	11,54701	
		Total	11,3333	12,45946	

jour 3

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	63,3333	20,81666	
		CaCl ₂	70,0000	10,00000	
		CaSO ₄	86,6667	15,27525	
		HP	90,0000	10,00000	
		NaCl	83,3333	15,27525	
		Total	78,6667	16,41718	
	TZ2	T0NP	56,6667	15,27525	
		CaCl ₂	50,0000	10,00000	
		CaSO ₄	83,3333	5,77350	
		HP	76,6667	5,77350	
		NaCl	60,0000	30,00000	
		Total	65,3333	18,84776	
	T1	A18	T0NP	53,3333	20,81666
			CaCl ₂	63,3333	20,81666
CaSO ₄			66,6667	5,77350	
HP			86,6667	5,77350	
NaCl			73,3333	5,77350	
Total			68,6667	16,41718	
TZ2		T0NP	33,3333	5,77350	
		CaCl ₂	53,3333	32,14550	
		CaSO ₄	50,0000	10,00000	
		HP	83,3333	20,81666	
		NaCl	50,0000	17,32051	
		Total	54,0000	23,54327	
T2		A18	T0NP	23,3333	5,77350
			CaCl ₂	0,0000	0,00000
	CaSO ₄		23,3333	5,77350	
	HP		50,0000	20,00000	
	NaCl		30,0000	34,64102	
	Total		25,3333	22,63583	
	TZ2	T0NP	6,6667	11,54701	
		CaCl ₂	20,0000	17,32051	
		CaSO ₄	3,3333	5,77350	
		HP	20,0000	10,00000	
		NaCl	13,3333	11,54701	
		Total	12,6667	12,22799	

Jour 4

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	93,3333	11,54701
		CaCl ₂	76,6667	5,77350
		CaSO ₄	93,3333	5,77350
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	90,0000	10,00000
		Total	90,0000	10,00000
	TZ2	T0NP	83,3333	20,81666
		CaCl ₂	70,0000	20,00000
		CaSO ₄	90,0000	10,00000
		HP	93,3333	11,54701
		NaCl	80,0000	26,45751
		Total	83,3333	17,99471
T1	A18	T0NP	76,6667	15,27525
		CaCl ₂	66,6667	15,27525
		CaSO ₄	80,0000	0,00000
		HP	90,0000	10,00000
		NaCl	93,3333	5,77350
		Total	81,3333	13,55764
	TZ2	T0NP	56,6667	5,77350
		CaCl ₂	66,6667	28,86751
		CaSO ₄	66,6667	23,09401
		HP	90,0000	10,00000
		NaCl	76,6667	5,77350
		Total	71,3333	18,84776
T2	A18	T0NP	50,0000	10,00000
		CaCl ₂	50,0000	10,00000
		CaSO ₄	60,0000	10,00000
		HP	76,6667	20,81666
		NaCl	73,3333	15,27525
		Total	62,0000	16,56157
	TZ2	T0NP	26,6667	11,54701
		CaCl ₂	23,3333	20,81666
		CaSO ₄	6,6667	5,77350
		HP	26,6667	11,54701
		Total	23,3333	5,77350
		NaCl	21,3333	13,02013

Jour 5

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	93,3333	11,54701
		CaCl ₂	86,6667	11,54701
		CaSO ₄	93,3333	5,77350
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	93,3333	11,54701
		Total	92,6667	8,83715
	TZ2	T0NP	86,6667	23,09401
		CaCl ₂	70,0000	20,00000
		CaSO ₄	90,0000	10,00000
		HP	93,3333	11,54701
		NaCl	83,3333	28,86751
		Total	84,6667	18,84776
T1	A18	T0NP	90,0000	17,32051
		CaCl ₂	83,3333	11,54701
		CaSO ₄	86,6667	5,77350
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	96,6667	5,77350
		Total	90,6667	10,32796
	TZ2	T0NP	56,6667	5,77350
		CaCl ₂	73,3333	25,16611
		CaSO ₄	70,0000	17,32051
		HP	90,0000	10,00000
		NaCl	86,6667	5,77350
		Total	75,3333	17,67430
T2	A18	T0NP	70,0000	10,00000
		CaCl ₂	66,6667	20,81666
		CaSO ₄	73,3333	15,27525
		HP	86,6667	11,54701
		NaCl	90,0000	10,00000
		Total	77,3333	15,33747
	TZ2	T0NP	33,3333	11,54701
		CaCl ₂	33,3333	20,81666
		CaSO ₄	6,6667	5,77350
		HP	36,6667	20,81666
		NaCl	33,3333	5,77350
		Total	28,6667	16,84665

Jour 6

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	93,3333	11,54701
		CaCl ₂	86,6667	11,54701
		CaSO ₄	93,3333	5,77350
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	93,3333	11,54701
		Total	92,6667	8,83715
	TZ2	T0NP	86,6667	23,09401
		CaCl ₂	70,0000	20,00000
		CaSO ₄	90,0000	10,00000
		HP	93,3333	11,54701
		NaCl	83,3333	28,86751
		Total	84,6667	18,84776
T1	A18	T0NP	90,0000	17,32051
		CaCl ₂	83,3333	11,54701
		CaSO ₄	86,6667	5,77350
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	96,6667	5,77350
		Total	90,6667	10,32796
	TZ2	T0NP	56,6667	5,77350
		CaCl ₂	73,3333	25,16611
		CaSO ₄	70,0000	17,32051
		HP	90,0000	10,00000
		NaCl	86,6667	5,77350
		Total	75,3333	17,67430
T2	A18	T0NP	70,0000	10,00000
		CaCl ₂	66,6667	20,81666
		CaSO ₄	73,3333	15,27525
		HP	86,6667	11,54701
		NaCl	90,0000	10,00000
		Total	77,3333	15,33747
	TZ2	T0NP	33,3333	11,54701
		CaCl ₂	33,3333	20,81666
		CaSO ₄	6,6667	5,77350
		HP	36,6667	20,81666
		NaCl	33,3333	5,77350
		Total	28,6667	16,84665

Jour 7 (pourcentage final de germination)

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	93,3333	11,54701
		CaCl ₂	90,0000	10,00000
		CaSO ₄	93,3333	5,77350
		HP	100,0000	0,00000
		NaCl	93,3333	11,54701
		Total	94,0000	8,28079
	TZ2	T0NP	86,6667	23,09401
		CaCl ₂	70,0000	20,00000
		CaSO ₄	90,0000	10,00000
		HP	93,3333	11,54701
		NaCl	83,3333	28,86751
		Total	84,6667	18,84776
T1	A18	T0NP	96,6667	5,77350
		CaCl ₂	83,3333	11,54701
		CaSO ₄	90,0000	10,00000
		HP	100,0000	0,00000
		NaCl	96,6667	5,77350
		Total	93,3333	8,99735
	TZ2	T0NP	63,3333	11,54701
		CaCl ₂	76,6667	20,81666
		CaSO ₄	70,0000	17,32051
		HP	96,6667	5,77350
		NaCl	86,6667	5,77350
		Total	78,6667	16,84665
T2	A18	T0NP	73,3333	5,77350
		CaCl ₂	66,6667	20,81666
		CaSO ₄	76,6667	15,27525
		HP	86,6667	11,54701
		NaCl	90,0000	10,00000
		Total	78,6667	14,57330
	TZ2	T0NP	36,6667	15,27525
		CaCl ₂	33,3333	20,81666
		CaSO ₄	6,6667	5,77350
		HP	36,6667	20,81666
		NaCl	36,6667	5,77350
		Total	30,0000	17,72811

Tests post hoc des priming

Jour 2

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-33,3333*
		CaSO4	-56,6667*
		HP	-43,3333*
		NaCl	-36,6667*
	CaCl ₂	T0NP	33,3333*
		CaSO4	-23,3333
		HP	-10,0000
		NaCl	-3,3333
	CaSO ₄	T0NP	56,6667*
		CaCl2	23,3333
		HP	13,3333
		NaCl	20,0000
	HP	T0NP	43,3333*
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	-13,3333
		NaCl	6,6667
	NaCl	T0NP	36,6667*
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	-20,0000
		HP	-6,6667

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-30,0000*
		CaSO4	-30,0000*
		HP	-60,0000*
		NaCl	-23,3333
	CaCl ₂	T0NP	30,0000*
		CaSO4	0,0000
		HP	-30,0000*
		NaCl	6,6667
	CaSO ₄	T0NP	30,0000*
		CaCl2	0,0000
		HP	-30,0000*
		NaCl	6,6667
	HP	T0NP	60,0000*
		CaCl2	30,0000*
		CaSO4	30,0000*
		NaCl	36,6667*
	NaCl	T0NP	23,3333
		CaCl2	-6,6667
		CaSO4	-6,6667
		HP	-36,6667*

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	C	CaCl2	-20,0000*
		CaSO4	-3,3333
		HP	-20,0000*
		NaCl	-13,3333
	CaCl ₂	T0NP	20,0000*
		CaSO4	16,6667
		HP	0,0000
		NaCl	6,6667
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	-16,6667
		HP	-16,6667
		NaCl	-10,0000
	HP	T0NP	20,0000*
		CaCl2	,0000
		CaSO4	16,6667
		NaCl	6,6667
	NaCl	T0NP	13,3333
		CaCl2	-6,6667
		CaSO4	10,0000
		HP	-6,6667

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-40,0000*
		CaSO4	-56,6667*
		HP	-56,6667*
		NaCl	-43,3333*
	CaCl ₂	T0NP	40,0000*
		CaSO4	-16,6667*
		HP	-16,6667*
		NaCl	-3,3333
	CaSO ₄	T0NP	56,6667*
		CaCl2	16,6667*
		HP	0,0000
		NaCl	13,3333
	HP	T0NP	56,6667*
		CaCl2	16,6667*
		CaSO4	0,0000
		NaCl	13,3333
	NaCl	T0NP	43,3333*
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	-13,3333
		HP	-13,3333

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-40,0000
		CaSO4	-40,0000
		HP	-43,3333*
		NaCl	-43,3333*
	CaCl ₂	T0NP	40,0000
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	-3,3333
	CaSO ₄	T0NP	40,0000
		CaCl2	0,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	-3,3333
	HP	T0NP	43,3333*
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	3,3333
		NaCl	0,0000
	NaCl	T0NP	43,3333*
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	3,3333
		HP	0,0000

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0000
		CaSO4	-23,3333*
		HP	-46,6667*
		NaCl	-6,6667
	CaCl ₂	T0NP	0,0000
		CaSO4	-23,3333*
		HP	-46,6667*
		NaCl	-6,6667
	CaSO ₄	T0NP	23,3333*
		CaCl2	23,3333*
		HP	-23,3333*
		NaCl	16,6667*
	HP	T0NP	46,6667*
		CaCl2	46,6667*
		CaSO4	23,3333*
		NaCl	40,0000*
	NaCl	T0NP	6,6667
		CaCl2	6,6667
		CaSO4	-16,6667*
		HP	-40,0000*

Jour 3

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	-26,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-33,3333*
		HP	-26,6667
		NaCl	-10,0000
	CaSO ₄	T0NP	26,6667
		CaCl2	33,3333*
		HP	6,6667
		NaCl	23,3333
	HP	T0NP	20,0000
		CaCl2	26,6667
		CaSO4	-6,6667
		NaCl	16,6667
NaCl	T0NP	3,3333	
	CaCl2	10,0000	
	CaSO4	-23,3333	
	HP	-16,6667	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-20,0000
		CaSO4	-16,6667
		HP	-50,0000*
		NaCl	-16,6667
	CaCl ₂	T0NP	20,0000
		CaSO4	3,3333
		HP	-30,0000
		NaCl	3,3333
	CaSO ₄	T0NP	16,6667
		CaCl2	-3,3333
		HP	-33,3333
		NaCl	0,0000
	HP	T0NP	50,0000*
		CaCl2	30,0000
		CaSO4	33,3333
		NaCl	33,3333
NaCl	T0NP	16,6667	
	CaCl2	-3,3333	
	CaSO4	0,0000	
	HP	-33,3333	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-13,3333
		CaSO4	3,3333
		HP	-13,3333
		NaCl	-6,6667
	CaCl ₂	T0NP	13,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	0,0000
		NaCl	6,6667
	CaSO ₄	T0NP	-3,3333
		CaCl2	-16,6667
		HP	-16,6667
		NaCl	-10,0000
	HP	T0NP	13,3333
		CaCl2	0,0000
		CaSO4	16,6667
		NaCl	6,6667
NaCl	T0NP	6,6667	
	CaCl2	-6,6667	
	CaSO4	10,0000	
	HP	-6,6667	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-6,6667
		CaSO4	-23,3333
		HP	-26,6667
		NaCl	-20,0000
	CaCl ₂	T0NP	6,6667
		CaSO4	-16,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	23,3333
		CaCl2	16,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	3,3333
	HP	T0NP	26,6667
		CaCl2	20,0000
		CaSO4	3,3333
		NaCl	6,6667
NaCl	T0NP	20,0000	
	CaCl2	13,3333	
	CaSO4	-3,3333	
	HP	-6,6667	

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-10,0000
		CaSO4	-13,3333
		HP	-33,3333*
		NaCl	-20,0000
	CaCl ₂	T0NP	10,0000
		CaSO4	-3,3333
		HP	-23,3333
		NaCl	-10,0000
	CaSO ₄	T0NP	13,3333
		CaCl2	3,3333
		HP	-20,0000
		NaCl	-6,6667
	HP	T0NP	33,3333*
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	20,0000
		NaCl	13,3333
NaCl	T0NP	20,0000	
	CaCl2	10,0000	
	CaSO4	6,6667	
	HP	-13,3333	

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	23,3333
		CaSO4	0,0000
		HP	-26,6667
		NaCl	-6,6667
	CaCl ₂	T0NP	-23,3333
		CaSO4	-23,3333
		HP	-50,0000*
		NaCl	-30,0000
	CaSO ₄	T0NP	0,0000
		CaCl2	23,3333
		HP	-26,6667
		NaCl	-6,6667
	HP	T0NP	26,6667
		CaCl2	50,0000*
		CaSO4	26,6667
		NaCl	20,0000
NaCl	T0NP	6,6667	
	CaCl2	30,0000	
	CaSO4	6,6667	
	HP	-20,0000	

Jour 4

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	13,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-10,0000
		NaCl	3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-13,3333
		CaSO4	-20,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-10,0000
	CaSO ₄	T0NP	6,6667
		CaCl2	20,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	10,0000
	HP	T0NP	10,0000
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	3,3333
		NaCl	13,3333
	NaCl	T0NP	-3,3333
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	-10,0000
		HP	-13,3333

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-10,0000
		CaSO4	-10,0000
		HP	-33,3333*
		NaCl	-20,0000
	CaCl ₂	T0NP	10,0000
		CaSO4	0,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-10,0000
	CaSO ₄	T0NP	10,0000
		CaCl2	0,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-10,0000
	HP	T0NP	33,3333*
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	23,3333
		NaCl	13,3333
	NaCl	T0NP	20,0000
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	10,0000
		HP	-13,3333

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,3333
		CaSO4	20,0000
		HP	0,0000
		NaCl	3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-3,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaSO ₄	T0NP	-20,0000
		CaCl2	-16,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	0,0000
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	20,0000
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	-3,3333
		CaCl2	0,0000
		CaSO4	16,6667
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	16,6667*
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	3,3333
	CaCl2	T0NP	-16,6667*
		CaSO4	-16,6667*
		HP	-20,0000*
		NaCl	-13,3333
	CaSO4	T0NP	0,0000
		CaCl2	16,6667*
		HP	-3,3333
		NaCl	3,3333
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	20,0000*
		CaSO4	3,3333
		NaCl	6,6667
	NaCl	T0NP	-3,3333
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	-3,3333
		HP	-6,6667

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	10,0000
		CaSO4	-3,3333
		HP	-13,3333
		NaCl	-16,6667
	CaCl2	T0NP	-10,0000
		CaSO4	-13,3333
		HP	-23,3333*
		NaCl	-26,6667*
	CaSO4	T0NP	3,3333
		CaCl2	13,3333
		HP	-10,0000
		NaCl	-13,3333
	HP	T0NP	13,3333
		CaCl2	23,3333*
		CaSO4	10,0000
		NaCl	-3,3333
	NaCl	T0NP	16,6667
		CaCl2	26,6667*
		CaSO4	13,3333
		HP	3,3333

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0000
		CaSO4	-10,0000
		HP	-26,6667*
		NaCl	-23,3333
	CaCl2	T0NP	0,0000
		CaSO4	-10,0000
		HP	-26,6667*
		NaCl	-23,3333
	CaSO4	T0NP	10,0000
		CaCl2	10,0000
		HP	-16,6667
		NaCl	-13,3333
	HP	T0NP	26,6667*
		CaCl2	26,6667*
		CaSO4	16,6667
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	23,3333
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	13,3333
		HP	-3,3333

Jour 5

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	16,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-16,6667
		CaSO4	-20,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	20,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	6,6667
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	3,3333
		NaCl	10,0000
	NaCl	T0NP	-3,3333
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-10,0000

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-16,6667
		CaSO4	-13,3333
		HP	-33,3333*
		NaCl	-30,0000*
	CaCl ₂	T0NP	16,6667
		CaSO4	3,3333
		HP	-16,6667
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	13,3333
		CaCl2	-3,3333
		HP	-20,0000
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	33,3333*
		CaCl2	16,6667
		CaSO4	20,0000
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	30,0000*
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaSO ₄	T0NP	-26,6667*
		CaCl2	-26,6667*
		HP	-30,0000*
		NaCl	-26,6667*
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	30,0000*
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333

Comparaison multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaCl2	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-6,6667
		HP	-10,0000
		NaCl	-6,6667
	CaSO4	T0NP	0,0000
		CaCl2	6,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	3,3333
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	6,6667
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	-6,6667
	CaCl2	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-13,3333
		NaCl	-13,3333
	CaSO4	T0NP	-3,3333
		CaCl2	3,3333
		HP	-10,0000
		NaCl	-10,0000
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	10,0000
		NaCl	0,0000
	NaCl	T0NP	6,6667
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	10,0000
		HP	0,0000

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,3333
		CaSO4	-3,3333
		HP	-16,6667
		NaCl	-20,0000
	CaCl2	T0NP	-3,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-23,3333
	CaSO4	T0NP	3,3333
		CaCl2	6,6667
		HP	-13,3333
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	16,6667
		CaCl2	20,0000
		CaSO4	13,3333
		NaCl	-3,3333
	NaCl	T0NP	20,0000
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	3,3333

Jour 6

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	16,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-16,6667
		CaSO4	-20,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	20,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	6,6667
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	3,3333
		NaCl	10,0000
	NaCl	T0NP	-3,3333
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-10,0000

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-16,6667
		CaSO4	-13,3333
		HP	-33,3333*
		NaCl	-30,0000*
	CaCl ₂	T0NP	16,6667
		CaSO4	3,3333
		HP	-16,6667
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	13,3333
		CaCl2	-3,3333
		HP	-20,0000
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	33,3333*
		CaCl2	16,6667
		CaSO4	20,0000
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	30,0000*
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaSO ₄	T0NP	-26,6667*
		CaCl2	-26,6667*
		HP	-30,0000*
		NaCl	-26,6667*
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	30,0000*
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	0,0000
		CaSO4	26,6667*
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-6,6667
		HP	-10,0000
		NaCl	-6,6667
	CaSO ₄	T0NP	0,0000
		CaCl2	6,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	3,3333
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	6,6667
		CaSO4	0,0000
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	-6,6667
	CaCl ₂	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-13,3333
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	-3,3333
		CaCl2	3,3333
		HP	-10,0000
		NaCl	-10,0000
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	10,0000
		NaCl	0,0000
	NaCl	T0NP	6,6667
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	10,0000
		HP	0,0000

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,3333
		CaSO4	-3,3333
		HP	-16,6667
		NaCl	-20,0000
	CaCl ₂	T0NP	-3,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-23,3333
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	6,6667
		HP	-13,3333
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	16,6667
		CaCl2	20,0000
		CaSO4	13,3333
		NaCl	-3,3333
	NaCl	T0NP	20,0000
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	16,6667
		HP	3,3333

Jour 7

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	16,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	3,3333
	CaCl ₂	T0NP	-16,6667
		CaSO4	-20,0000
		HP	-23,3333
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	20,0000
		HP	-3,3333
		NaCl	6,6667
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	3,3333
		NaCl	10,0000
NaCl	T0NP	-3,3333	
	CaCl2	13,3333	
	CaSO4	-6,6667	
	HP	-10,0000	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-13,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-33,3333*
		NaCl	-23,3333
	CaCl ₂	T0NP	13,3333
		CaSO4	6,6667
		HP	-20,0000
		NaCl	-10,0000
	CaSO ₄	T0NP	6,6667
		CaCl2	-6,6667
		HP	-26,6667*
		NaCl	-16,6667
	HP	T0NP	33,3333*
		CaCl2	20,0000
		CaSO4	26,6667*
		NaCl	10,0000
NaCl	T0NP	23,3333	
	CaCl2	10,0000	
	CaSO4	16,6667	
	HP	-10,0000	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,3333
		CaSO4	30,0000*
		HP	0,0000
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	-3,3333
		CaSO4	26,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	-3,3333
	CaSO ₄	T0NP	-30,0000*
		CaCl2	-26,6667
		HP	-30,0000*
		NaCl	-30,0000*
	HP	T0NP	0,0000
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	30,0000*
		NaCl	0,0000
NaCl	T0NP	0,0000	
	CaCl2	3,3333	
	CaSO4	30,0000*	
	HP	0,0000	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,3333
		CaSO4	0,0000
		HP	-6,6667
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	-3,3333
		CaSO4	-3,3333
		HP	-10,0000
		NaCl	-3,3333
	CaSO ₄	T0NP	0,0000
		CaCl2	3,3333
		HP	-6,6667
		NaCl	0,0000
	HP	T0NP	6,6667
		CaCl2	10,0000
		CaSO4	6,6667
		NaCl	6,6667
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	3,3333
		CaSO4	0,0000
		HP	-6,6667

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	13,3333
		CaSO4	6,6667
		HP	-3,3333
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	-13,3333
		CaSO4	-6,6667
		HP	-16,6667*
		NaCl	-13,3333
	CaSO ₄	T0NP	-6,6667
		CaCl2	6,6667
		HP	-10,0000
		NaCl	-6,6667
	HP	T0NP	3,3333
		CaCl2	16,6667*
		CaSO4	10,0000
		NaCl	3,3333
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	13,3333
		CaSO4	6,6667
		HP	-3,3333

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	6,6667
		CaSO4	-3,3333
		HP	-13,3333
		NaCl	-16,6667
	CaCl ₂	T0NP	-6,6667
		CaSO4	-10,0000
		HP	-20,0000
		NaCl	-23,3333
	CaSO ₄	T0NP	3,3333
		CaCl2	10,0000
		HP	-10,0000
		NaCl	-13,3333
	HP	T0NP	13,3333
		CaCl2	20,0000
		CaSO4	10,0000
		NaCl	-3,3333
	NaCl	T0NP	16,6667
		CaCl2	23,3333
		CaSO4	13,3333
		HP	3,3333

Tests post hoc des traitements salins

Comparaisons multiples jour2

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	9,0000*
		T2	41,6667*
	T1	T0	-9,0000*
		T2	32,6667*
	T2	T0	-41,6667*
		T1	-32,6667*

Comparaisons multiples jour3

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	10,6667*
		T2	53,0000*
	T1	T0	-10,6667*
		T2	42,3333*
	T2	T0	-53,0000*
		T1	-42,3333*

Comparaisons multiples jour 4

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	10,3333*
		T2	45,0000*
	T1	T0	-10,3333*
		T2	34,6667*
	T2	T0	-45,0000*
		T1	-34,6667*

Comparaisons multiples jour 5

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	5,6667
		T2	35,6667*
	T1	T0	-5,6667
		T2	30,0000*
	T2	T0	-35,6667*
		T1	-30,0000*

Comparaisons multiples jour 6

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	5,6667
		T2	35,6667*
	T1	T0	-5,6667
		T2	30,0000*
	T2	T0	-35,6667*
		T1	-30,0000*

Comparaisons multiples jour 7

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	3,3333
		T2	35,0000*
	T1	T0	-3,3333
		T2	31,6667*
	T2	T0	-35,0000*
		T1	-31,6667*

Vitesse de germination

Statistiques descriptives

Vitesse de germination de la TZ2

Traitements	priming	moyenne	ecartype	ESM
T0	TONP	29,00	7,82	4,52
T1	TONP	20,67	2,07	1,20
T2	TONP	9,03	4,05	2,34
T0	HP	39,72	4,88	2,82
T1	HP	43,17	6,11	3,53
T2	HP	13,67	7,15	4,13
T0	NaCl	34,55	13,22	7,63
T1	NaCl	32,00	3,94	2,28
T2	NaCl	11,64	2,88	1,66
T0	CaSO ₄	41,66	2,89	1,67
T1	CaSO ₄	29,28	6,32	3,65
T2	CaSO ₄	2,50	2,50	1,44
T0	CaCl ₂	30,00	6,61	3,82
T1	CaCl ₂	30,70	11,94	6,89
T2	CaCl ₂	12,83	9,41	5,43

Vitesse de germination de l'A18

Traitements	priming	Moyenne	ecartype	ESM
T0	TONP	31,95	5,02	2,90
T1	TONP	29,45	4,75	2,74
T2	TONP	18,92	1,15	0,66
T0	HP	44,92	2,34	1,35
T1	HP	40,98	9,44	5,45
T2	HP	33,11	7,05	4,07
T0	NaCl	40,67	5,73	3,31
T1	NaCl	39,56	1,13	0,65
T2	NaCl	26,94	7,12	4,11
T0	CaSO ₄	43,33	3,34	1,93
T1	CaSO ₄	36,26	2,13	1,23
T2	CaSO ₄	23,98	2,20	1,27
T0	CaCl ₂	37,47	0,77	0,45
T1	CaCl ₂	34,17	7,04	4,06
T2	CaCl ₂	15,83	4,65	2,68

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-1,0000
		CaSO4	-12,6633
		HP	-10,7233
		NaCl	-5,5533
	CaCl ₂	T0NP	1,0000
		CaSO4	-11,6633
		HP	-9,7233
		NaCl	-4,5533
	CaSO ₄	T0NP	12,6633
		CaCl2	11,6633
		HP	1,9400
		NaCl	7,1100
	HP	T0NP	10,7233
		CaCl2	9,7233
		CaSO4	-1,9400
		NaCl	5,1700
	NaCl	T0NP	5,5533
		CaCl2	4,5533
		CaSO4	-7,1100
		HP	-5,1700

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-10,0267
		CaSO4	-8,6033
		HP	-22,5000*
		NaCl	-11,3267
	CaCl ₂	T0NP	10,0267
		CaSO4	1,4233
		HP	-12,4733
		NaCl	-1,3000
	CaSO ₄	T0NP	8,6033
		CaCl2	-1,4233
		HP	-13,8967*
		NaCl	-2,7233
	HP	T0NP	22,5000*
		CaCl2	12,4733
		CaSO4	13,8967*
		NaCl	11,1733
	NaCl	T0NP	11,3267
		CaCl2	1,3000
		CaSO4	2,7233
		HP	-11,1733

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-3,8000
		CaSO4	6,5333
		HP	-4,6333
		NaCl	-2,6100
	CaCl ₂	T0NP	3,8000
		CaSO4	10,3333
		HP	-,8333
		NaCl	1,1900
	CaSO ₄	T0NP	-6,5333
		CaCl2	-10,3333
		HP	-11,1667*
		NaCl	-9,1433
	HP	T0NP	4,6333
		CaCl2	0,8333
		CaSO4	11,1667*
		NaCl	2,0233
	NaCl	T0NP	2,6100
		CaCl2	-1,1900
		CaSO4	9,1433
		HP	-2,0233

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-5,5267
		CaSO4	-11,3867*
		HP	-12,9733*
		NaCl	-8,7200*
	CaCl ₂	T0NP	5,5267
		CaSO4	-5,8600
		HP	-7,4467*
		NaCl	-3,1933
	CaSO ₄	T0NP	11,3867*
		CaCl2	5,8600
		HP	-1,5867
		NaCl	2,6667
	HP	T0NP	12,9733*
		CaCl2	7,4467*
		CaSO4	1,5867
		NaCl	4,2533
	NaCl	T0NP	8,7200*
		CaCl2	3,1933
		CaSO4	-2,6667
		HP	-4,2533

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-4,7167
		CaSO4	-6,8067
		HP	-11,5267*
		NaCl	-10,1067
	CaCl ₂	T0NP	4,7167
		CaSO4	-2,0900
		HP	-6,8100
		NaCl	-5,3900
	CaSO ₄	T0NP	6,8067
		CaCl2	2,0900
		HP	-4,7200
		NaCl	-3,3000
	HP	T0NP	11,5267*
		CaCl2	6,8100
		CaSO4	4,7200
		NaCl	1,4200
	NaCl	T0NP	10,1067
		CaCl2	5,3900
		CaSO4	3,3000
		HP	-1,4200

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	3,0900
		CaSO4	-5,0533
		HP	-14,1867*
		NaCl	-8,0200
	CaCl ₂	T0NP	-3,0900
		CaSO4	-8,1433
		HP	-17,2767*
		NaCl	-11,1100*
	CaSO ₄	T0NP	5,0533
		CaCl2	8,1433
		HP	-9,1333
		NaCl	-2,9667
	HP	T0NP	14,1867*
		CaCl2	17,2767*
		CaSO4	9,1333
		NaCl	6,1667
	NaCl	T0NP	8,0200
		CaCl2	11,1100*
		CaSO4	2,9667
		HP	-6,1667

Tests post hoc des traitements salins

Comparaisons multiples

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	3,7050*
		T2	20,4817*
	T1	T0	-3,7050*
		T2	16,7767*
	T2	T0	-20,4817*
		T1	-16,7767*

Paramètres de croissance

Longueur des hypocotyles

Statistiques descriptives

T	P	PRIMING	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	6,1100	0,45078
		CaCl ₂	6,5767	0,56003
		CaSO ₄	7,0000	0,08888
		HP	6,3800	0,77091
		NaCl	7,7333	0,23502
		Total	6,7600	0,71539
	TZ2	T0NP	3,3900	0,98549
		CaCl ₂	3,7100	1,70035
		CaSO ₄	6,2100	0,11533
		HP	5,1333	1,18078
		NaCl	4,2900	2,00607
		Total	4,5467	1,56370
T1	A18	T0NP	3,2233	0,28042
		CaCl ₂	4,0200	0,68286
		CaSO ₄	5,0667	0,62067
		HP	4,6000	0,37000
		NaCl	3,9633	0,41633
		Total	4,1747	0,77143
	TZ2	T0NP	3,6000	0,31607
		CaCl ₂	2,9433	0,73596
		CaSO ₄	3,1767	0,33262
		HP	5,1100	0,47032
		NaCl	2,7333	0,14572
		Total	3,5127	0,95617

T2	A18	T0NP	1,7433	0,09815
		CaCl ₂	1,3100	0,61579
		CaSO ₄	1,8433	0,27135
		HP	1,5200	0,46184
		NaCl	1,4433	0,14012
		Total	1,5720	0,37449
	TZ2	T0NP	1,3800	0,86504
		CaCl ₂	2,7900	1,95354
		CaSO ₄	,3667	0,42336
		HP	1,1200	0,97124
		NaCl	1,9333	0,63893
		Total	1,5180	1,25559

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl ₂	-0,3200
		CaSO ₄	-2,8200*
		HP	-1,7433
		NaCl	-0,9000
	CaCl ₂	T0NP	0,3200
		CaSO ₄	-2,5000*
		HP	-1,4233
		NaCl	-0,5800
	CaSO ₄	T0NP	2,8200*
		CaCl ₂	2,5000*
		HP	1,0767
		NaCl	1,9200
	HP	T0NP	1,7433
		CaCl ₂	1,4233
		CaSO ₄	-1,0767
		NaCl	0,8433
NaCl	T0NP	0,9000	
	CaCl ₂	0,5800	
	CaSO ₄	-1,9200	
	HP	-0,8433	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl ₂	0,6567
		CaSO ₄	0,4233
		HP	-1,5100*
		NaCl	0,8667*
	CaCl ₂	T0NP	-0,6567
		CaSO ₄	-0,2333
		HP	-2,1667*
		NaCl	0,2100
	CaSO ₄	T0NP	-0,4233
		CaCl ₂	0,2333
		HP	-1,9333*
		NaCl	0,4433
	HP	T0NP	1,5100*
		CaCl ₂	2,1667*
		CaSO ₄	1,9333*
		NaCl	2,3767*
NaCl	T0NP	-0,8667*	
	CaCl ₂	-0,2100	
	CaSO ₄	-0,4433	
	HP	-2,3767*	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl ₂	-1,4100
		CaSO ₄	1,0133
		HP	0,2600
		NaCl	-0,5533
	CaCl ₂	T0NP	1,4100
		CaSO ₄	2,4233*
		HP	1,6700
		NaCl	0,8567
	CaSO ₄	T0NP	-1,0133
		CaCl ₂	-2,4233*
		HP	-0,7533
		NaCl	-1,5667
	HP	T0NP	-0,2600
		CaCl ₂	-1,6700
		CaSO ₄	0,7533
		NaCl	-0,8133
NaCl	T0NP	0,5533	
	CaCl ₂	-0,8567	
	CaSO ₄	1,5667	
	HP	0,8133	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,4667
		CaSO4	-0,8900*
		HP	-0,2700
		NaCl	-1,6233*
	CaCl ₂	T0NP	0,4667
		CaSO4	-0,4233
		HP	0,1967
		NaCl	-1,1567*
	CaSO ₄	T0NP	0,8900*
		CaCl2	0,4233
		HP	0,6200
		NaCl	-0,7333
	HP	T0NP	0,2700
		CaCl2	-0,1967
		CaSO4	-0,6200
		NaCl	-1,3533*
	NaCl	T0NP	1,6233*
		CaCl2	1,1567*
		CaSO4	0,7333
		HP	1,3533*

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,7967
		CaSO4	-1,8433*
		HP	-1,3767*
		NaCl	-0,7400
	CaCl ₂	T0NP	0,7967
		CaSO4	-1,0467*
		HP	-0,5800
		NaCl	0,0567
	CaSO ₄	T0NP	1,8433*
		CaCl2	1,0467*
		HP	0,4667
		NaCl	1,1033*
	HP	T0NP	1,3767*
		CaCl2	0,5800
		CaSO4	-0,4667
		NaCl	0,6367
	NaCl	T0NP	0,7400
		CaCl2	-0,0567
		CaSO4	-1,1033*
		HP	-0,6367

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,4333
		CaSO4	-0,1000
		HP	0,2233
		NaCl	0,3000
	CaCl ₂	T0NP	-0,4333
		CaSO4	-0,5333
		HP	-0,2100
		NaCl	-0,1333
	CaSO ₄	T0NP	0,1000
		CaCl2	0,5333
		HP	0,3233
		NaCl	0,4000
	HP	T0NP	-0,2233
		CaCl2	0,2100
		CaSO4	-0,3233
		NaCl	0,0767
	NaCl	T0NP	-0,3000
		CaCl2	0,1333
		CaSO4	-0,4000
		HP	-0,0767

Longueur des radicules

Statistiques descriptives

T	P	PRIMING	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	5,0333	0,85219	
		CaCl2	6,1000	2,26581	
		CaSO4	6,9900	0,74646	
		HP	6,1567	1,95411	
		NaCl	7,3133	0,66980	
		Total	6,3187	1,48487	
	TZ2	T0NP	3,4333	0,89512	
		CaCl2	2,9333	2,43336	
		CaSO4	6,4333	0,97377	
		HP	3,7433	1,03905	
		NaCl	4,4567	1,40019	
		Total	4,2000	1,76847	
	T1	A18	T0NP	3,2767	0,23352
			CaCl2	4,4667	1,31538
CaSO4			4,1667	1,00759	
HP			4,7467	1,14919	
NaCl			5,3333	0,60277	
Total			4,3980	1,06583	
TZ2		T0NP	3,4567	0,30089	
		CaCl2	3,2900	1,78022	
		CaSO4	3,9233	1,15136	
		HP	5,2433	0,99681	
		NaCl	2,5567	0,89366	
		Total	3,6940	1,32701	
T2		A18	T0NP	0,2000	0,00000
			CaCl2	0,9100	1,22976
	CaSO4		1,0200	0,81505	
	HP		0,8567	1,13738	
	NaCl		1,6567	0,54271	
	Total		0,9287	0,87644	
	TZ2	T0NP	0,4533	0,50063	
		CaCl2	0,1567	0,07506	
		CaSO4	0,0467	0,04041	
		HP	0,9900	0,74115	
		NaCl	0,2000	0,00000	
		Total	0,3693	0,48736	

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,5000
		CaSO4	-3,0000*
		HP	-0,3100
		NaCl	-1,0233
	CaCl2	T0NP	-0,5000
		CaSO4	-3,5000*
		HP	-0,8100
		NaCl	-1,5233
	CaSO4	T0NP	3,0000*
		CaCl2	3,5000*
		HP	2,6900*
		NaCl	1,9767
	HP	T0NP	0,3100
		CaCl2	0,8100
		CaSO4	-2,6900*
		NaCl	-0,7133
NaCl	T0NP	1,0233	
	CaCl2	1,5233	
	CaSO4	-1,9767	
	HP	0,7133	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,1667
		CaSO4	-0,4667
		HP	-1,7867
		NaCl	0,9000
	CaCl2	T0NP	-0,1667
		CaSO4	-0,6333
		HP	-1,9533
		NaCl	0,7333
	CaSO4	T0NP	0,4667
		CaCl2	0,6333
		HP	-1,3200
		NaCl	1,3667
	HP	T0NP	1,7867
		CaCl2	1,9533
		CaSO4	1,3200
		NaCl	2,6867*
NaCl	T0NP	-0,9000	
	CaCl2	-0,7333	
	CaSO4	-1,3667	
	HP	-2,6867*	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,2967
		CaSO4	0,4067
		HP	-0,5367
		NaCl	0,2533
	CaCl2	T0NP	-0,2967
		CaSO4	0,1100
		HP	-0,8333*
		NaCl	-0,0433
	CaSO4	T0NP	-0,4067
		CaCl2	-0,1100
		HP	-0,9433*
		NaCl	-0,1533
	HP	T0NP	0,5367
		CaCl2	0,8333*
		CaSO4	0,9433*
		NaCl	0,7900*
NaCl	T0NP	-0,2533	
	CaCl2	0,0433	
	CaSO4	0,1533	
	HP	-0,7900*	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-1,0667
		CaSO4	-1,9567
		HP	-1,1233
		NaCl	-2,2800
	CaCl ₂	T0NP	1,0667
		CaSO4	-0,8900
		HP	-0,0567
		NaCl	-1,2133
	CaSO ₄	T0NP	1,9567
		CaCl2	0,8900
		HP	0,8333
		NaCl	-0,3233
	HP	T0NP	1,1233
		CaCl2	0,0567
		CaSO4	-0,8333
		NaCl	-1,1567
	NaCl	T0NP	2,2800
		CaCl2	1,2133
		CaSO4	0,3233
		HP	1,1567

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-1,1900
		CaSO4	-0,8900
		HP	-1,4700
		NaCl	-2,0567*
	CaCl ₂	T0NP	1,1900
		CaSO4	0,3000
		HP	-0,2800
		NaCl	-0,8667
	CaSO ₄	T0NP	0,8900
		CaCl2	-0,3000
		HP	-0,5800
		NaCl	-1,1667
	HP	T0NP	1,4700
		CaCl2	0,2800
		CaSO4	0,5800
		NaCl	-0,5867
	NaCl	T0NP	2,0567*
		CaCl2	0,8667
		CaSO4	1,1667
		HP	0,5867

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,7100
		CaSO4	-0,8200
		HP	-0,6567
		NaCl	-1,4567
	CaCl ₂	T0NP	0,7100
		CaSO4	-0,1100
		HP	0,0533
		NaCl	-0,7467
	CaSO ₄	T0NP	0,8200
		CaCl2	0,1100
		HP	0,1633
		NaCl	-0,6367
	HP	T0NP	0,6567
		CaCl2	-0,0533
		CaSO4	-0,1633
		NaCl	-0,8000
	NaCl	T0NP	1,4567
		CaCl2	0,7467
		CaSO4	0,6367
		HP	0,8000

Longueur d'épicotyles

Statistiques descriptives

T	P	PRIMING	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	1,8567	0,05132	
		CaCl ₂	3,7567	0,41789	
		CaSO ₄	3,3667	0,23502	
		HP	3,3233	0,56083	
		NaCl	3,3433	0,91522	
		Total	3,1293	0,81189	
	TZ2	T0NP	1,5100	0,59431	
		CaCl ₂	0,9433	1,63390	
		CaSO ₄	4,5033	0,15275	
		HP	3,2867	0,15044	
		NaCl	3,4767	1,95001	
		Total	2,7440	1,68645	
	T1	A18	T0NP	0,3100	0,31512
			CaCl ₂	0,3233	0,56003
CaSO ₄			0,2767	0,47920	
HP			1,7567	0,50954	
NaCl			0,4333	0,37859	
Total			0,6200	0,70597	
TZ2		T0NP	0,5867	0,28919	
		CaCl ₂	0,6000	1,03923	
		CaSO ₄	0,4000	0,69282	
		HP	3,6000	0,07000	
		NaCl	1,5333	0,99510	
		Total	1,3440	1,38121	
T2		A18	T0NP	0,0000	0,00000
			CaCl ₂	0,0000	0,00000
	CaSO ₄		0,0000	0,00000	
	HP		0,0000	0,00000	
	NaCl		0,0000	0,00000	
	Total		0,0000	0,00000	
	TZ2	T0NP	0,0000	0,00000	
		CaCl ₂	0,0000	0,00000	
		CaSO ₄	1,0767	1,10074	
		HP	0,0000	0,00000	
		NaCl	0,0000	0,00000	
		Total	0,2153	0,60976	

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,5667
		CaSO4	-2,9933*
		HP	-1,7767
		NaCl	-1,9667
	CaCl ₂	T0NP	-0,5667
		CaSO4	-3,5600*
		HP	-2,3433*
		NaCl	-2,5333*
	CaSO ₄	T0NP	2,9933*
		CaCl2	3,5600*
		HP	1,2167
		NaCl	1,0267
	HP	T0NP	1,7767
		CaCl2	2,3433*
		CaSO4	-1,2167
		NaCl	-0,1900
NaCl	T0NP	1,9667	
	CaCl2	2,5333*	
	CaSO4	-1,0267	
	HP	0,1900	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,0133
		CaSO4	0,1867
		HP	-3,0133*
		NaCl	-0,9467
	CaCl ₂	T0NP	0,0133
		CaSO4	0,2000
		HP	-3,0000*
		NaCl	-0,9333
	CaSO ₄	T0NP	-0,1867
		CaCl2	-0,2000
		HP	-3,2000*
		NaCl	-1,1333
	HP	T0NP	3,0133*
		CaCl2	3,0000*
		CaSO4	3,2000*
		NaCl	2,0667*
NaCl	T0NP	0,9467	
	CaCl2	0,9333	
	CaSO4	1,1333	
	HP	-2,0667*	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0000
		CaSO4	-0,5383*
		HP	0,0000
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	0,0000
		CaSO4	-0,5383*
		HP	0,0000
		NaCl	0,0000
	CaSO ₄	T0NP	0,5383*
		CaCl2	0,5383*
		HP	0,5383*
		NaCl	0,5383*
	HP	T0NP	0,0000
		CaCl2	0,0000
		CaSO4	-0,5383*
		NaCl	0,0000
NaCl	T0NP	0,0000	
	CaCl2	0,0000	
	CaSO4	-0,5383*	
	HP	0,0000	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-1,9000*
		CaSO4	-1,5100*
		HP	-1,4667*
		NaCl	-1,4867*
	CaCl ₂	T0NP	1,9000*
		CaSO4	0,3900
		HP	0,4333
		NaCl	0,4133
	CaSO ₄	T0NP	1,5100*
		CaCl2	-0,3900
		HP	0,0433
		NaCl	0,0233
	HP	T0NP	1,4667*
		CaCl2	-0,4333
		CaSO4	-0,0433
		NaCl	-0,0200
	NaCl	T0NP	1,4867*
		CaCl2	-0,4133
		CaSO4	-0,0233
HP		0,0200	

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,0133
		CaSO4	0,0333
		HP	-1,4467*
		NaCl	-0,1233
	CaCl2	T0NP	0,0133
		CaSO4	0,0467
		HP	-1,4333*
	CaSO4	T0NP	-0,0333
		CaCl2	-0,0467
		HP	-1,4800*
	HP	T0NP	1,4467*
		CaCl2	1,4333*
		CaSO4	1,4800*
	NaCl	T0NP	0,1233
		CaCl2	0,1100
		CaSO4	0,1567
		HP	-1,3233*

Longueur totale

Statistiques descriptives

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	13,0000	0,42884	
		CaCl2	16,4333	2,18088	
		CaSO4	17,3533	0,80786	
		HP	15,8567	3,18159	
		NaCl	18,3867	1,16131	
		Total	16,2060	2,44510	
	TZ2	T0NP	8,3367	0,92916	
		CaCl2	7,5867	5,75488	
		CaSO4	17,1433	1,22087	
		HP	12,1667	2,32083	
		NaCl	12,2200	3,97144	
		Total	11,4907	4,53284	
	T1	A18	T0NP	6,8100	0,78689
			CaCl2	8,8133	2,44656
CaSO4			9,5133	1,29137	
HP			11,1000	1,66610	
NaCl			9,7300	1,21655	
Total			9,1933	1,97499	
TZ2		T0NP	7,6467	0,78907	
		CaCl2	6,8333	2,89175	
		CaSO4	7,5000	0,84788	
		HP	13,9533	1,41231	
		NaCl	6,8200	1,57045	
		Total	8,5507	3,15654	
T2		A18	T0NP	1,9433	0,09815
			CaCl2	2,2200	1,49409
	CaSO4		2,8667	0,60186	
	HP		2,3767	1,12718	
	NaCl		3,1000	0,40853	
	Total		2,5013	0,87737	
	TZ2	T0NP	1,8333	1,36504	
		CaCl2	2,9467	2,02327	
		CaSO4	1,4867	0,90589	
		HP	2,1100	0,55245	
		NaCl	2,1333	0,63893	
		Total	2,1020	1,14885	

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,7500
		CaSO4	-8,8067*
		HP	-3,8300
		NaCl	-3,8833
	CaCl2	T0NP	-0,7500
		CaSO4	-9,5567*
		HP	-4,5800
		NaCl	-4,6333
	CaSO4	T0NP	8,8067*
		CaCl2	9,5567*
		HP	4,9767
		NaCl	4,9233
	HP	T0NP	3,8300
		CaCl2	4,5800
		CaSO4	-4,9767
		NaCl	-0,0533
NaCl	T0NP	3,8833	
	CaCl2	4,6333	
	CaSO4	-4,9233	
	HP	0,0533	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,8133
		CaSO4	0,1467
		HP	-6,3067*
		NaCl	0,8267
	CaCl2	T0NP	-0,8133
		CaSO4	-0,6667
		HP	-7,1200*
		NaCl	0,0133
	CaSO4	T0NP	-0,1467
		CaCl2	0,6667
		HP	-6,4533*
		NaCl	0,6800
	HP	T0NP	6,3067*
		CaCl2	7,1200*
		CaSO4	6,4533*
		NaCl	7,1333*
NaCl	T0NP	-0,8267	
	CaCl2	-0,0133	
	CaSO4	-0,6800	
	HP	-7,1333*	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-1,1133
		CaSO4	0,3467
		HP	-0,2767
		NaCl	-0,3000
	CaCl2	T0NP	1,1133
		CaSO4	1,4600
		HP	0,8367
		NaCl	0,8133
	CaSO4	T0NP	-0,3467
		CaCl2	-1,4600
		HP	-0,6233
		NaCl	-0,6467
	HP	T0NP	0,2767
		CaCl2	-0,8367
		CaSO4	0,6233
		NaCl	-0,0233
NaCl	T0NP	0,3000	
	CaCl2	-0,8133	
	CaSO4	0,6467	
	HP	0,0233	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-3,4333*
		CaSO4	-4,3533*
		HP	-2,8567
		NaCl	-5,3867*
	CaCl ₂	T0NP	3,4333*
		CaSO4	-0,9200
		HP	0,5767
		NaCl	-1,9533
	CaSO ₄	T0NP	4,3533*
		CaCl2	0,9200
		HP	1,4967
		NaCl	-1,0333
	HP	T0NP	2,8567
		CaCl2	-0,5767
		CaSO4	-1,4967
		NaCl	-2,5300
	NaCl	T0NP	5,3867*
		CaCl2	1,9533
		CaSO4	1,0333
		HP	2,5300

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-2,0033
		CaSO4	-2,7033
		HP	-4,2900*
		NaCl	-2,9200*
	CaCl ₂	T0NP	2,0033
		CaSO4	-0,7000
		HP	-2,2867
		NaCl	-0,9167
	CaSO ₄	T0NP	2,7033
		CaCl2	0,7000
		HP	-1,5867
		NaCl	-0,2167
	HP	T0NP	4,2900*
		CaCl2	2,2867
		CaSO4	1,5867
		NaCl	1,3700
	NaCl	T0NP	2,9200*
		CaCl2	0,9167
		CaSO4	0,2167
		HP	-1,3700

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,2767
		CaSO4	-0,9233
		HP	-0,4333
		NaCl	-1,1567
	CaCl ₂	T0NP	0,2767
		CaSO4	-0,6467
		HP	-0,1567
		NaCl	-0,8800
	CaSO ₄	T0NP	0,9233
		CaCl2	0,6467
		HP	0,4900
		NaCl	-0,2333
	HP	T0NP	0,4333
		CaCl2	0,1567
		CaSO4	-0,4900
		NaCl	-0,7233
	NaCl	T0NP	1,1567
		CaCl2	0,8800
		CaSO4	0,2333
		HP	0,7233

Indice de vigueur des plantules

Statistiques descriptives

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	1215,7800	179,87622
		CaCl2	1467,4467	110,66874
		CaSO4	1621,0000	145,62623
		HP	1585,5567	318,54029
		NaCl	1717,5533	254,03269
		Total	1521,4673	254,96523
	TZ2	T0NP	736,4467	260,38654
		CaCl2	598,5567	593,18093
		CaSO4	1550,6667	280,77974
		HP	1153,3333	341,43465
		NaCl	1053,3333	590,74209
		Total	1018,4673	507,34712
T1	A18	T0NP	661,2200	111,68239
		CaCl2	739,8900	262,68440
		CaSO4	855,3333	140,67801
		HP	1110,0000	166,76507
		NaCl	938,8867	110,26890
		Total	861,0660	215,55736
	TZ2	T0NP	479,7800	68,04106
		CaCl2	532,7767	294,37303
		CaSO4	528,6667	161,59840
		HP	1354,4433	212,11372
		NaCl	593,2233	156,61258
		Total	697,7780	378,93671
T2	A18	T0NP	142,7767	16,01654
		CaCl2	150,8900	97,22657
		CaSO4	216,4433	46,49462
		HP	205,1100	90,71287
		NaCl	281,2233	62,57459
		Total	199,2887	78,26871
	TZ2	T0NP	78,6667	80,50673
		CaCl2	121,1133	99,07966
		CaSO4	11,4433	12,84055
		HP	77,1100	41,55137
		NaCl	75,7767	8,95375
		Total	72,8220	62,69049

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I- J)
LSD	T0NP	CaCl2	137,8900
		CaSO ₄	-940,2183*
		HP	-416,8867
		NaCl	-316,8867
	CaCl ₂	T0NP	-137,8900
		CaSO ₄	-1078,1083*
		HP	-554,7767
		NaCl	-454,7767
	CaSO ₄	T0NP	940,2183*
		CaCl ₂	1078,1083*
		HP	523,3317
		NaCl	623,3317
	HP	T0NP	416,8867
		CaCl ₂	554,7767
		CaSO ₄	-523,3317
		NaCl	100,0000
NaCl	T0NP	316,8867	
	CaCl ₂	454,7767	
	CaSO ₄	-623,3317	
	HP	-100,0000	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl ₂	-52,9967
		CaSO ₄	-48,8867
		HP	-874,6633*
		NaCl	-113,4433
	CaCl ₂	T0NP	52,9967
		CaSO ₄	4,1100
		HP	-821,6667*
		NaCl	-60,4467
	CaSO ₄	T0NP	48,8867
		CaCl ₂	-4,1100
		HP	-825,7767*
		NaCl	-64,5567
	HP	T0NP	874,6633*
		CaCl ₂	821,6667*
		CaSO ₄	825,7767*
		NaCl	761,2200*
NaCl	T0NP	113,4433	
	CaCl ₂	60,4467	
	CaSO ₄	64,5567	
	HP	-761,2200*	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I- J)
LSD	T0NP	CaCl ₂	-42,4467
		CaSO ₄	67,2233
		HP	1,5567
		NaCl	2,8900
	CaCl ₂	T0NP	42,4467
		CaSO ₄	109,6700
		HP	44,0033
		NaCl	45,3367
	CaSO ₄	T0NP	-67,2233
		CaCl ₂	-109,6700
		HP	-65,6667
		NaCl	-64,3333
	HP	T0NP	-1,5567
		CaCl ₂	-44,0033
		CaSO ₄	65,6667
		NaCl	1,3333
NaCl	T0NP	-2,8900	
	CaCl ₂	-45,3367	
	CaSO ₄	64,3333	
	HP	-1,3333	

Comparaisons multiples A18 T0

Comparaisons multiples A18 T1

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-251,6667
		CaSO4	-405,2200*
		HP	-369,7767
		NaCl	-501,7733*
	CaCl ₂	T0NP	251,6667
		CaSO4	-153,5533
		HP	-118,1100
		NaCl	-250,1067
	CaSO ₄	T0NP	405,2200*
		CaCl2	153,5533
		HP	35,4433
		NaCl	-96,5533
	HP	T0NP	369,7767
		CaCl2	118,1100
		CaSO4	-35,4433
		NaCl	-131,9967
NaCl	T0NP	501,7733*	
	CaCl2	250,1067	
	CaSO4	96,5533	
	HP	131,9967	

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-78,6700
		CaSO4	-194,1133
		HP	-448,7800*
		NaCl	-277,6667
	CaCl ₂	T0NP	78,6700
		CaSO4	-115,4433
		HP	-370,1100*
		NaCl	-198,9967
	CaSO ₄	T0NP	194,1133
		CaCl2	115,4433
		HP	-254,6667
		NaCl	-83,5533
	HP	T0NP	448,7800*
		CaCl2	370,1100*
		CaSO4	254,6667
		NaCl	171,1133
NaCl	T0NP	277,6667	
	CaCl2	198,9967	
	CaSO4	83,5533	
	HP	-171,1133	

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-8,1133
		CaSO4	-73,6667
		HP	-62,3333
		NaCl	-138,4467*
	CaCl ₂	T0NP	8,1133
		CaSO4	-65,5533
		HP	-54,2200
		NaCl	-130,3333*
	CaSO ₄	T0NP	73,6667
		CaCl2	65,5533
		HP	11,3333
		NaCl	-64,7800
	HP	T0NP	62,3333
		CaCl2	54,2200
		CaSO4	-11,3333
		NaCl	-76,1133
NaCl	T0NP	138,4467*	
	CaCl2	130,3333*	
	CaSO4	64,7800	
	HP	76,1133	

Poids frais

Statistiques descriptives

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type	
T0	A18	T0NP	1,0133	0,21548	
		CaCl2	1,3067	0,12897	
		CaSO4	1,0400	0,19079	
		HP	1,0633	0,22546	
		NaCl	1,1633	0,06658	
		Total	1,1173	0,18564	
	TZ2	T0NP	1,3667	0,07767	
		CaCl2	1,2600	0,50319	
		CaSO4	1,5467	0,17502	
		HP	1,5333	0,12503	
		NaCl	1,3200	0,09539	
		Total	1,4053	0,24319	
	T1	A18	T0NP	0,7800	0,19157
			CaCl2	1,0300	0,19975
CaSO4			1,1633	0,17474	
HP			0,9233	0,10017	
NaCl			0,9167	0,23965	
Total			0,9627	0,20610	
TZ2		T0NP	1,2267	0,27465	
		CaCl2	1,1600	0,40853	
		CaSO4	0,9933	0,21733	
		HP	1,3700	0,40951	
		NaCl	1,1100	0,03464	
		Total	1,1720	0,28676	
T2		A18	T0NP	0,2500	0,19925
			CaCl2	0,2133	0,24826
	CaSO4		0,4067	0,30288	
	HP		0,3200	0,25239	
	NaCl		0,6667	0,03215	
	Total		0,3713	0,25467	
	TZ2	T0NP	0,0300	0,01000	
		CaCl2	0,5067	0,37608	
		CaSO4	0,0533	0,00577	
		HP	0,0367	0,00577	
		NaCl	0,0333	0,00577	
		Total	0,1320	0,24063	

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,1067
		CaSO4	-0,1800
		HP	-0,1667
		NaCl	0,0467
	CaCl2	T0NP	-0,1067
		CaSO4	-0,2867
		HP	-0,2733
		NaCl	-0,0600
	CaSO4	T0NP	0,1800
		CaCl2	0,2867
		HP	0,0133
		NaCl	0,2267
	HP	T0NP	0,1667
		CaCl2	0,2733
		CaSO4	-0,0133
		NaCl	0,2133
NaCl	T0NP	-0,0467	
	CaCl2	0,0600	
	CaSO4	-0,2267	
	HP	-0,2133	

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0667
		CaSO4	0,2333
		HP	-0,1433
		NaCl	0,1167
	CaCl2	T0NP	-0,0667
		CaSO4	0,1667
		HP	-0,2100
		NaCl	0,0500
	CaSO4	T0NP	-0,2333
		CaCl2	-0,1667
		HP	-0,3767
		NaCl	-0,1167
	HP	T0NP	0,1433
		CaCl2	0,2100
		CaSO4	0,3767
		NaCl	0,2600
NaCl	T0NP	-0,1167	
	CaCl2	-0,0500	
	CaSO4	0,1167	
	HP	-0,2600	

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,4767*
		CaSO4	-0,0233
		HP	-0,0067
		NaCl	-0,0033
	CaCl2	T0NP	0,4767*
		CaSO4	0,4533*
		HP	0,4700*
		NaCl	0,4733*
	CaSO4	T0NP	0,0233
		CaCl2	-0,4533*
		HP	0,0167
		NaCl	0,0200
	HP	T0NP	0,0067
		CaCl2	-0,4700*
		CaSO4	-0,0167
		NaCl	0,0033
NaCl	T0NP	0,0033	
	CaCl2	-0,4733*	
	CaSO4	-0,0200	
	HP	-0,0033	

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,2933
		CaSO4	-0,0267
		HP	-0,0500
		NaCl	-0,1500
	CaCl ₂	T0NP	0,2933
		CaSO4	0,2667
		HP	0,2433
		NaCl	0,1433
	CaSO ₄	T0NP	0,0267
		CaCl2	-0,2667
		HP	-0,0233
		NaCl	-0,1233
	HP	T0NP	0,0500
		CaCl2	-0,2433
		CaSO4	0,0233
		NaCl	-0,1000
	NaCl	T0NP	0,1500
		CaCl2	-0,1433
		CaSO4	0,1233
		HP	0,1000

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,2500
		CaSO4	-0,3833*
		HP	-0,1433
		NaCl	-0,1367
	CaCl ₂	T0NP	0,2500
		CaSO4	-0,1333
		HP	0,1067
		NaCl	0,1133
	CaSO ₄	T0NP	0,3833*
		CaCl2	0,1333
		HP	0,2400
		NaCl	0,2467
	HP	T0NP	0,1433
		CaCl2	-0,1067
		CaSO4	-0,2400
		NaCl	0,0067
	NaCl	T0NP	0,1367
		CaCl2	-0,1133
		CaSO4	-0,2467
		HP	-0,0067

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0367
		CaSO4	-0,1567
		HP	-0,0700
		NaCl	-0,4167*
	CaCl ₂	T0NP	-0,0367
		CaSO4	-0,1933
		HP	-0,1067
		NaCl	-0,4533*
	CaSO ₄	T0NP	0,1567
		CaCl2	0,1933
		HP	0,0867
		NaCl	-0,2600
	HP	T0NP	0,0700
		CaCl2	0,1067
		CaSO4	-0,0867
		NaCl	-0,3467
	NaCl	T0NP	0,4167*
		CaCl2	0,4533*
		CaSO4	0,2600
		HP	0,3467

Poids sec

Statistiques descriptives

T	P	PR	Moyenne	Ecart-type
T0	A18	T0NP	0,1300	0,01732
		CaCl2	0,1033	0,00577
		CaSO4	0,1033	0,01528
		HP	0,0967	0,00577
		NaCl	0,1067	0,02517
		Total	0,1080	0,01781
	TZ2	T0NP	0,1500	0,01732
		CaCl2	0,1167	0,04041
		CaSO4	0,1500	0,01732
		HP	0,1467	0,01528
		NaCl	0,1433	0,04041
		Total	0,1413	0,02748
T1	A18	T0NP	0,1067	0,00577
		CaCl2	0,1167	0,01528
		CaSO4	0,1200	0,01732
		HP	0,1833	0,10408
		NaCl	0,2400	0,17349
		Total	0,1533	0,09340
	TZ2	T0NP	0,1100	0,00000
		CaCl2	0,1167	0,06658
		CaSO4	0,1167	0,01528
		HP	0,1533	0,00577
		NaCl	0,2500	0,19079
		Total	0,1493	0,09400
T2	A18	T0NP	0,0600	0,02000
		CaCl2	0,0233	0,04041
		CaSO4	0,1500	0,16093
		HP	0,0767	0,06658
		NaCl	0,1267	0,01155
		Total	0,0873	0,08293
	TZ2	T0NP	0,0000	0,00000
		CaCl2	0,0833	0,07638
		CaSO4	0,0000	0,00000
		HP	0,0000	0,00000
		NaCl	0,0000	0,00000
		Total	0,0167	0,04499

Comparaisons multiples TZ2 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0333
		CaSO4	0,0000
		HP	0,0033
		NaCl	0,0067
	CaCl ₂	T0NP	-0,0333
		CaSO4	-0,0333
		HP	-0,0300
		NaCl	-0,0267
	CaSO ₄	T0NP	0,0000
		CaCl2	0,0333
		HP	0,0033
		NaCl	0,0067
	HP	T0NP	-0,0033
		CaCl2	0,0300
		CaSO4	-0,0033
		NaCl	0,0033
	NaCl	T0NP	-0,0067
		CaCl2	0,0267
		CaSO4	-0,0067
		HP	-0,0033

Comparaisons multiples TZ2 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,0067
		CaSO4	-0,0067
		HP	-0,0433
		NaCl	-0,1400
	CaCl ₂	T0NP	0,0067
		CaSO4	0,0000
		HP	-0,0367
		NaCl	-0,1333
	CaSO ₄	T0NP	0,0067
		CaCl2	0,0000
		HP	-0,0367
		NaCl	-0,1333
	HP	T0NP	0,0433
		CaCl2	0,0367
		CaSO4	0,0367
		NaCl	-0,0967
	NaCl	T0NP	0,1400
		CaCl2	0,1333
		CaSO4	0,1333
		HP	0,0967

Comparaisons multiples TZ2 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-0,0833*
		CaSO4	0,0000
		HP	0,0000
		NaCl	0,0000
	CaCl ₂	T0NP	0,0833*
		CaSO4	0,0833*
		HP	0,0833*
		NaCl	0,0833*
	CaSO ₄	T0NP	0,0000
		CaCl2	-0,0833*
		HP	0,0000
		NaCl	0,0000
	HP	T0NP	0,0000
		CaCl2	-0,0833*
		CaSO4	0,0000
		NaCl	0,0000
	NaCl	T0NP	0,0000
		CaCl2	-0,0833*
		CaSO4	0,0000
		HP	0,0000

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples A18 T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	0,0267
		CaSO4	0,0267
		HP	0,0333*
		NaCl	0,0233
	CaCl2	T0NP	-0,0267
		CaSO4	0,0000
		HP	0,0067
		NaCl	-0,0033
	CaSO4	T0NP	-0,0267
		CaCl2	0,0000
		HP	0,0067
		NaCl	-0,0033
	HP	T0NP	-0,0333*
		CaCl2	-0,0067
		CaSO4	-0,0067
		NaCl	-0,0100
NaCl	T0NP	-0,0233	
	CaCl2	0,0033	
	CaSO4	0,0033	
	HP	0,0100	

Comparaisons multiples A18 T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	-,0100
		CaSO4	-,0133
		HP	-,0767
		NaCl	-,1333
	CaCl2	T0NP	,0100
		CaSO4	-,0033
		HP	-,0667
		NaCl	-,1233
	CaSO4	T0NP	,0133
		CaCl2	,0033
		HP	-,0633
		NaCl	-,1200
	HP	T0NP	,0767
		CaCl2	,0667
		CaSO4	,0633
		NaCl	-,0567
NaCl	T0NP	,1333	
	CaCl2	,1233	
	CaSO4	,1200	
	HP	,0567	

Comparaisons multiples A18 T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	CaCl2	,0367
		CaSO4	-,0900
		HP	-,0167
		NaCl	-,0667
	CaCl2	T0NP	-,0367
		CaSO4	-,1267
		HP	-,0533
		NaCl	-,1033
	CaSO4	T0NP	,0900
		CaCl2	,1267
		HP	,0733
		NaCl	,0233
	HP	T0NP	,0167
		CaCl2	,0533
		CaSO4	-,0733
		NaCl	-,0500
NaCl	T0NP	,0667	
	CaCl2	,1033	
	CaSO4	-,0233	
	HP	,0500	

Annexe 2 : Résultats d'analyses statistiques

Chapitre IV : Effets de la durée de l'haloprimum NaCl des graines sur l'émergence et la croissance sous stress salin

Pourcentage final d'émergence Statistiques descriptives

T	PRIMING	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	66,6667	15,27525
	NaCl 3h	80,0000	20,00000
	NaCl 6h	83,3333	15,27525
	Total	75,8333	17,81640
T1	T0NP	70,0000	34,64102
	NaCl 3h	80,0000	10,00000
	NaCl 6h	86,6667	5,77350
	Total	75,0000	21,10579
T2	T0NP	63,3333	5,77350
	NaCl 3h	66,6667	5,77350
	NaCl 6h	90,0000	10,00000
	Total	69,1667	16,76486

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-13,3333
		NaCl 6h	-16,6667
	NaCl 3h	T0NP	13,3333
		NaCl 6h	-3,3333
	NaCl 6h	T0NP	16,6667
		NaCl 3h	3,3333

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-10,0000
		NaCl 6h	-16,6667
	NaCl 3h	T0NP	10,0000
		NaCl 6h	-6,6667
	NaCl 6h	T0NP	16,6667
		NaCl 3h	6,6667

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-3,3333
		NaCl 6h	-26,6667*
	NaCl 3h	T0NP	3,3333
		NaCl 6h	-23,3333*
	NaCl 6h	T0NP	26,6667*
		NaCl 3h	23,3333*

Tests post hoc T

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	0,8333
		T2	6,6667
	T1	T0	-0,8333
		T2	5,8333
	T2	T0	-6,6667
		T1	-5,8333

Taux d'émergence

Statistiques descriptives

T	PRIMING	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	1,6633	0,41004
	NaCl 3h	2,0367	0,73433
	NaCl 6h	2,0567	0,91194
	Total	1,9189	0,64928
T1	T0NP	1,6767	0,99982
	NaCl 3h	1,9700	0,44136
	NaCl 6h	2,1000	0,26211
	Total	1,9156	0,59250
T2	T0NP	1,5200	0,37242
	NaCl 3h	1,2500	0,24249
	NaCl 6h	1,9200	0,44034
	Total	1,5633	0,42787

Tests post hoc des priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,3733
		NaCl 6h	-0,3933
	NaCl 3h	T0NP	0,3733
		NaCl 6h	-0,0200
	NaCl 6h	T0NP	0,3933
		NaCl 3h	0,0200

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,2933
		NaCl 6h	-0,4233
	NaCl 3h	T0NP	0,2933
		NaCl 6h	-0,1300
	NaCl 6h	T0NP	0,4233
		NaCl 3h	0,1300

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,2700
		NaCl 6h	-0,4000
	NaCl 3h	T0NP	-0,2700
		NaCl 6h	-0,6700
	NaCl 6h	T0NP	0,4000
		NaCl 3h	0,6700

Tests post hoc des traitements

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	0,0033
		T2	0,3556
	T1	T0	-0,0033
		T2	0,3522
	T2	T0	-0,3556
		T1	-0,3522

Taux de survie

Statistiques descriptives

T	PRIMING	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	100,0000	0,00000
	NaCl 3h	96,6667	5,77350
	NaCl 6h	81,4800	32,07758
	Total	92,7156	18,40294
T1	T0NP	77,7800	11,11000
	NaCl 3h	71,2967	29,27702
	NaCl 6h	84,7233	16,83760
	Total	77,9333	18,70388
T2	T0NP	37,3000	11,25308
	NaCl 3h	48,4533	12,24853
	NaCl 6h	51,0033	26,33570
	Total	45,5856	16,80452

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	3,3333
		NaCl 6h	18,5200
	NaCl 3h	T0NP	-3,3333
		NaCl 6h	15,1867
	NaCl 6h	T0NP	-18,5200
		NaCl 3h	-15,1867

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	6,4833
		NaCl 6h	-6,9433
	NaCl 3h	T0NP	-6,4833
		NaCl 6h	-13,4267
	NaCl 6h	T0NP	6,9433
		NaCl 3h	13,4267

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-11,1533
		NaCl 6h	-13,7033
	NaCl 3h	T0NP	11,1533
		NaCl 6h	-2,5500
	NaCl 6h	T0NP	13,7033
		NaCl 3h	2,5500

Tests post hoc des traitements salins

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	14,7822
		T2	47,1300*
	T1	T0	-14,7822
		T2	32,3478*
	T2	T0	-47,1300*
		T1	-32,3478*

Hauteur des épicotyles

Statistiques descriptives

T	Priming	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	4,7233	1,70518
	NaCl 3h	5,4467	1,00082
	NaCl 6h	5,5133	1,39665
	Total	5,2278	1,26844
T1	T0NP	2,2433	1,96077
	NaCl 3h	2,4100	1,00165
	NaCl 6h	3,3200	0,42930
	Total	2,6578	1,22880
T2	T0NP	1,2433	0,70465
	NaCl 3h	,3333	0,57735
	NaCl 6h	1,7667	1,76500
	Total	1,1144	1,17509

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,7233
		NaCl 6h	-0,7900
	NaCl 3h	T0NP	0,7233
		NaCl 6h	-0,0667
	NaCl 6h	T0NP	0,7900
		NaCl 3h	0,0667

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,1667
		NaCl 6h	-1,0767
	NaCl 3h	T0NP	0,1667
		NaCl 6h	-0,9100
	NaCl 6h	T0NP	1,0767
		NaCl 3h	0,9100

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,9100
		NaCl 6h	-0,5233
	NaCl 3h	T0NP	-0,9100
		NaCl 6h	-1,4333
	NaCl 6h	T0NP	0,5233
		NaCl 3h	1,4333

Tests post hoc des traitements salins

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	2,5700*
		T2	4,1133*
	T1	T0	-2,5700*
		T2	1,5433*
	T2	T0	-4,1133*
		T1	-1,5433*

Hauteur des hypocotyles

Statistiques descriptives

T	Piming	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	5,0333	0,60929
	NaCl 3h	4,1000	0,43589
	NaCl 6h	4,4200	1,05418
	Total	4,5178	0,76606
T1	T0NP	3,4900	0,99860
	NaCl 3h	3,1000	0,82213
	NaCl 6h	3,9000	0,48775
	Total	3,4967	0,77316
T2	T0NP	2,7533	0,13650
	NaCl 3h	2,5233	0,65241
	NaCl 6h	3,0433	1,05624
	Total	2,7733	0,66400

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,9333
		NaCl 6h	0,6133
	NaCl 3h	T0NP	-0,9333
		NaCl 6h	-0,3200
	NaCl 6h	T0NP	-0,6133
		NaCl 3h	0,3200

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,3900
		NaCl 6h	-0,4100
	NaCl 3h	T0NP	-0,3900
		NaCl 6h	-0,8000
	NaCl 6h	T0NP	0,4100
		NaCl 3h	0,8000

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,2300
		NaCl 6h	-0,2900
	NaCl 3h	T0NP	-0,2300
		NaCl 6h	-0,5200
	NaCl 6h	T0NP	0,2900
		NaCl 3h	0,5200

Tests post hoc des traitements

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	1,0211*
		T2	1,7444*
	T1	T0	-1,0211*
		T2	0,7233
	T2	T0	-1,7444*
		T1	-0,7233

Hauteur totale

Statistiques descriptives

T	Priming	Moyenne	Ecart-type
T0	TONP	9,7567	2,22767
	NaCl 3h	9,5467	1,40628
	NaCl 6h	9,9333	2,44933
	Total	9,7456	1,80636
T1	TONP	5,7367	2,77549
	NaCl 3h	5,5133	1,82883
	NaCl 6h	7,2233	0,38280
	Total	6,1578	1,85651
T2	TONP	4,0000	0,63789
	NaCl 3h	2,8567	1,06566
	NaCl 6h	4,8100	2,80770
	Total	3,8889	1,75465

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,2100
		NaCl 6h	-0,1767
	NaCl 3h	T0NP	-0,2100
		NaCl 6h	-0,3867
	NaCl 6h	T0NP	0,1767
		NaCl 3h	0,3867

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,2233
		NaCl 6h	-1,4867
	NaCl 3h	T0NP	-0,2233
		NaCl 6h	-1,7100
	NaCl 6h	T0NP	1,4867
		NaCl 3h	1,7100

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	1,1433
		NaCl 6h	-0,8100
	NaCl 3h	T0NP	-1,1433
		NaCl 6h	-1,9533
	NaCl 6h	T0NP	0,8100
		NaCl 3h	1,9533

Tests post hoc des traitements

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	3,5878*
		T2	5,8567*
	T1	T0	-3,5878*
		T2	2,2689*
	T2	T0	-5,8567*
		T1	-2,2689*

Poids frais

Statistiques descriptives

T	Priming	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	0,4433	0,10116
	NaCl 3h	0,6867	0,11676
	NaCl 6h	0,5167	0,23861
	Total	0,5489	0,17857
T1	T0NP	0,3367	0,14012
	NaCl 3h	0,2333	0,04726
	NaCl 6h	0,2600	0,15716
	Total	0,2767	0,11747
T2	T0NP	0,1900	0,03000
	NaCl 3h	0,3000	0,05292
	NaCl 6h	0,3333	0,16042
	Total	0,2744	0,10760

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,2433
		NaCl 6h	-0,0733
	NaCl 3h	T0NP	0,2433
		NaCl 6h	0,1700
	NaCl 6h	T0NP	0,0733
		NaCl 3h	-0,1700

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,1033
		NaCl 6h	0,0767
	NaCl 3h	T0NP	-0,1033
		NaCl 6h	-0,0267
	NaCl 6h	T0NP	-0,0767
		NaCl 3h	0,0267

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,1100
		NaCl 6h	-0,1433
	NaCl 3h	T0NP	0,1100
		NaCl 6h	-0,0333
	NaCl 6h	T0NP	0,1433
		NaCl 3h	0,0333

Tests post hoc des traitements

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	0,2722*
		T2	0,2744*
	T1	T0	-0,2722*
		T2	0,0022
	T2	T0	-0,2744*
		T1	-0,0022

Poids sec

Statistiques descriptives

T	Priming	Moyenne	Ecart-type
T0	T0NP	0,0757	0,01557
	NaCl 3h	0,0553	0,03512
	NaCl 6h	0,0623	0,02515
	Total	0,0644	0,02464
T1	T0NP	0,1537	0,17804
	NaCl 3h	0,0547	0,05315
	NaCl 6h	0,0520	0,01311
	Total	0,0868	0,10579
T2	T0NP	0,0363	0,03436
	NaCl 3h	0,0393	0,03017
	NaCl 6h	0,1290	0,10165
	Total	0,0682	0,07201

Tests post hoc priming

Comparaisons multiples T0

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,0203
		NaCl 6h	0,0133
	NaCl 3h	T0NP	-0,0203
		NaCl 6h	-0,0070
	NaCl 6h	T0NP	-0,0133
		NaCl 3h	0,0070

Comparaisons multiples T1

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	0,0990
		NaCl 6h	0,1017
	NaCl 3h	T0NP	-0,0990
		NaCl 6h	0,0027
	NaCl 6h	T0NP	-0,1017
		NaCl 3h	-0,0027

Comparaisons multiples T2

	(I) PR	(J) PR	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0NP	NaCl 3h	-0,0030
		NaCl 6h	-0,0927
	NaCl 3h	T0NP	0,0030
		NaCl 6h	-0,0897
	NaCl 6h	T0NP	0,0927
		NaCl 3h	0,0897

Tests post hoc des traitements

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)
LSD	T0	T1	-0,0223
		T2	-0,0038
	T1	T0	0,0223
		T2	0,0186
	T2	T0	0,0038
		T1	-0,0186

Annexe 3 : Résultats d'analyses statistiques

CHAPITRE V : Effets du supplément en Calcium (Ca^{++}) sur la faculté germinative des graines et la croissance de niébé soumises au stress salin.

Pourcentage finl de germination

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
T0	A11	100,0000	,00000	3
	TZ2	100,0000	,00000	3
	Total	100,0000	,00000	6
T1	A11	100,0000	,00000	3
	TZ2	100,0000	,00000	3
	Total	100,0000	,00000	6
T2	A11	60,0000	10,00000	3
	TZ2	33,3333	15,27525	3
	Total	46,6667	18,61899	6
T3	A11	100,0000	,00000	3
	TZ2	100,0000	,00000	3
	Total	100,0000	,00000	6
T4	A11	96,6667	5,77350	3
	TZ2	66,6667	15,27525	3
	Total	81,6667	19,40790	6
Total	A11	91,3333	16,84665	15
	TZ2	80,0000	28,78492	15
	Total	85,6667	23,87949	30

Tests post hoc

Comparaisons multiples

LSD

(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Limite supérieure
T0	T1	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T2	53,3333*	4,47214	,000	44,0046	62,6620
	T3	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T4	18,3333*	4,47214	,001	9,0046	27,6620
T1	T0	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T2	53,3333*	4,47214	,000	44,0046	62,6620
	T3	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T4	18,3333*	4,47214	,001	9,0046	27,6620
T2	T0	-53,3333*	4,47214	,000	-62,6620	-44,0046
	T1	-53,3333*	4,47214	,000	-62,6620	-44,0046
	T3	-53,3333*	4,47214	,000	-62,6620	-44,0046
	T4	-35,0000*	4,47214	,000	-44,3287	-25,6713
T3	T0	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T1	,0000	4,47214	1,000	-9,3287	9,3287
	T2	53,3333*	4,47214	,000	44,0046	62,6620
	T4	18,3333*	4,47214	,001	9,0046	27,6620
T4	T0	-18,3333*	4,47214	,001	-27,6620	-9,0046
	T1	-18,3333*	4,47214	,001	-27,6620	-9,0046
	T2	35,0000*	4,47214	,000	25,6713	44,3287
	T3	-18,3333*	4,47214	,001	-27,6620	-9,0046

Vitesse de germination

Statistiques descriptives

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
T0	A11	41,9967	4,64579	3
	TZ2	41,8300	4,58258	3
	Total	41,9133	4,12816	6
T1	A11	35,1967	1,41606	3
	TZ2	40,4567	3,54847	3
	Total	37,8267	3,76019	6
T2	A11	14,8700	2,04824	3
	TZ2	10,4967	5,00833	3
	Total	12,6833	4,17723	6
T3	A11	41,7767	1,50284	3
	TZ2	30,5667	1,54623	3
	Total	36,1717	6,28959	6
T4	A11	29,4533	1,18391	3
	TZ2	25,1133	7,31400	3
	Total	27,2833	5,25444	6
Total	A11	32,6587	10,60106	15
	TZ2	29,6927	12,50519	15
	Total	31,1757	11,49010	30

Tests post hoc (vitesse de germination)

Comparaisons multiples

LSD

(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Limite supérieure
T0	T1	4,0867	2,20609	,079	-,5151	8,6885
	T2	29,2300*	2,20609	,000	24,6282	33,8318
	T3	5,7417*	2,20609	,017	1,1399	10,3435
	T4	14,6300*	2,20609	,000	10,0282	19,2318
T1	T0	-4,0867	2,20609	,079	-8,6885	,5151
	T2	25,1433*	2,20609	,000	20,5415	29,7451
	T3	1,6550	2,20609	,462	-2,9468	6,2568
	T4	10,5433*	2,20609	,000	5,9415	15,1451
T2	T0	-29,2300*	2,20609	,000	-33,8318	-24,6282
	T1	-25,1433*	2,20609	,000	-29,7451	-20,5415
	T3	-23,4883*	2,20609	,000	-28,0901	-18,8865
	T4	-14,6000*	2,20609	,000	-19,2018	-9,9982
T3	T0	-5,7417*	2,20609	,017	-10,3435	-1,1399
	T1	-1,6550	2,20609	,462	-6,2568	2,9468
	T2	23,4883*	2,20609	,000	18,8865	28,0901
	T4	8,8883*	2,20609	,001	4,2865	13,4901
T4	T0	-14,6300*	2,20609	,000	-19,2318	-10,0282
	T1	-10,5433*	2,20609	,000	-15,1451	-5,9415
	T2	14,6000*	2,20609	,000	9,9982	19,2018
	T3	-8,8883*	2,20609	,001	-13,4901	-4,2865

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Indice de tolérance au stress

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
	A11	1,0000	,00000	3
T0	TZ2	1,0000	,00000	3
	Total	1,0000	,00000	6
	A11	1,0000	,00000	3
T1	TZ2	1,0000	,00000	3
	Total	1,0000	,00000	6
	A11	,6000	,10000	3
T2	TZ2	,3333	,15275	3
	Total	,4667	,18619	6
	A11	1,0000	,00000	3
T3	TZ2	1,0000	,00000	3
	Total	1,0000	,00000	6
	A11	,9667	,05774	3
T4	TZ2	,6667	,15275	3
	Total	,8167	,19408	6
	A11	,9133	,16847	15
Total	TZ2	,8000	,28785	15
	Total	,8567	,23879	30

Tests post hoc (indice de tolérance au stress)

	T	T	Différence des moyennes	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
						Borne inférieure	Limite supérieure
LSD	T0	T1	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T2	,5333*	,04472	,000	,4400	,6266
		T3	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T4	,1833*	,04472	,001	,0900	,2766
	T1	T0	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T2	,5333*	,04472	,000	,4400	,6266
		T3	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T4	,1833*	,04472	,001	,0900	,2766
	T2	T0	-,5333*	,04472	,000	-,6266	-,4400
		T1	-,5333*	,04472	,000	-,6266	-,4400
		T3	-,5333*	,04472	,000	-,6266	-,4400
		T4	-,3500*	,04472	,000	-,4433	-,2567
	T3	T0	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T1	,0000	,04472	1,000	-,0933	,0933
		T2	,5333*	,04472	,000	,4400	,6266
		T4	,1833*	,04472	,001	,0900	,2766
	T4	T0	-,1833*	,04472	,001	-,2766	-,0900
		T1	-,1833*	,04472	,001	-,2766	-,0900
		T2	,3500*	,04472	,000	,2567	,4433
		T3	-,1833*	,04472	,001	-,2766	-,0900

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Croissance précoce

Longueur des racines

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
T0	A11	49,1111	3,65655	3
	TZ2	52,1111	8,33556	3
	Total	50,6111	5,98671	6
T1	A11	31,2222	1,01835	3
	TZ2	40,7778	3,67171	3
	Total	36,0000	5,76194	6
T2	A11	7,5556	,83887	3
	TZ2	5,6667	2,02759	3
	Total	6,6111	1,73098	6
T3	A11	39,2222	2,54588	3
	TZ2	39,3333	10,39230	3
	Total	39,2778	6,76730	6
T4	A11	18,1111	3,09719	3
	TZ2	21,0000	6,33333	3
	Total	19,5556	4,73130	6
Total	A11	29,0444	15,44415	15
	TZ2	31,7778	17,96587	15
Total	Total	30,4111	16,51974	30

Tests post hoc (longueur des racines)

Comparaisons multiples

(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Limite supérieure
T0	T1	14,6111*	2,97977	,000	8,3954	20,8268
	T2	44,0000*	2,97977	,000	37,7843	50,2157
	T3	11,3333*	2,97977	,001	5,1176	17,5490
	T4	31,0556*	2,97977	,000	24,8399	37,2712
T1	T0	-14,6111*	2,97977	,000	-20,8268	-8,3954
	T2	29,3889*	2,97977	,000	23,1732	35,6046
	T3	-3,2778	2,97977	,284	-9,4935	2,9379
	T4	16,4444*	2,97977	,000	10,2288	22,6601
T2	T0	-44,0000*	2,97977	,000	-50,2157	-37,7843
	T1	-29,3889*	2,97977	,000	-35,6046	-23,1732
	T3	-32,6667*	2,97977	,000	-38,8824	-26,4510
	T4	-12,9444*	2,97977	,000	-19,1601	-6,7288
T3	T0	-11,3333*	2,97977	,001	-17,5490	-5,1176
	T1	3,2778	2,97977	,284	-2,9379	9,4935
	T2	32,6667*	2,97977	,000	26,4510	38,8824
	T4	19,7222*	2,97977	,000	13,5065	25,9379
T4	T0	-31,0556*	2,97977	,000	-37,2712	-24,8399
	T1	-16,4444*	2,97977	,000	-22,6601	-10,2288
	T2	12,9444*	2,97977	,000	6,7288	19,1601
	T3	-19,7222*	2,97977	,000	-25,9379	-13,5065

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Longueur des hypocotyles

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
T0	A11	66,5354	5,40528	3
	TZ2	65,8667	7,71060	3
	Total	66,2010	5,96676	6
T1	A11	58,7037	6,27516	3
	TZ2	43,7333	2,11660	3
	Total	51,2185	9,20742	6
T2	A11	15,2222	1,01835	3
	TZ2	7,7778	1,38778	3
	Total	11,5000	4,22032	6
T3	A11	60,2667	5,15202	3
	TZ2	55,4286	7,67583	3
	Total	57,8476	6,41925	6
T4	A11	27,5556	2,71484	3
	TZ2	27,3333	3,33333	3
	Total	27,4444	2,72166	6
Total	A11	45,6567	21,42695	15
	TZ2	40,0279	21,76351	15
Total	Total	42,8423	21,41247	30

Tests post hoc (longueur des hypocotyles)

Comparaisons multiples

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
						Borne inférieure	Limite supérieure
LSD	T0	T1	14,9825*	2,82509	,000	9,0895	20,8755
		T2	54,7010*	2,82509	,000	48,8080	60,5940
		T3	8,3534*	2,82509	,008	2,4604	14,2464
		T4	38,7566*	2,82509	,000	32,8635	44,6496
	T1	T0	-14,9825*	2,82509	,000	-20,8755	-9,0895
		T2	39,7185*	2,82509	,000	33,8255	45,6116
		T3	-6,6291*	2,82509	,029	-12,5221	-,7361
		T4	23,7741*	2,82509	,000	17,8810	29,6671
	T2	T0	-54,7010*	2,82509	,000	-60,5940	-48,8080
		T1	-39,7185*	2,82509	,000	-45,6116	-33,8255
		T3	-46,3476*	2,82509	,000	-52,2407	-40,4546
		T4	-15,9444*	2,82509	,000	-21,8375	-10,0514
	T3	T0	-8,3534*	2,82509	,008	-14,2464	-2,4604
		T1	6,6291*	2,82509	,029	,7361	12,5221
		T2	46,3476*	2,82509	,000	40,4546	52,2407
		T4	30,4032*	2,82509	,000	24,5101	36,2962
	T4	T0	-38,7566*	2,82509	,000	-44,6496	-32,8635
		T1	-23,7741*	2,82509	,000	-29,6671	-17,8810
		T2	15,9444*	2,82509	,000	10,0514	21,8375
		T3	-30,4032*	2,82509	,000	-36,2962	-24,5101

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Longueur des épicotyles

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
T0	A11	38,0202	3,08873	3
	TZ2	43,9111	5,14040	3
	Total	40,9657	4,97960	6
T1	A11	11,7407	1,25503	3
	TZ2	10,9333	,52915	3
	Total	11,3370	,96830	6
T2	A11	,0000	,00000	3
	TZ2	,0000	,00000	3
	Total	,0000	,00000	6
T3	A11	24,8444	7,05552	3
	TZ2	13,9048	3,29949	3
	Total	19,3746	7,75692	6
T4	A11	,0000	,00000	3
	TZ2	,0000	,00000	3
	Total	,0000	,00000	6
Total	A11	14,9211	15,54738	15
	TZ2	13,7498	16,82368	15
	Total	14,3355	15,92752	30

Tests post hoc (longueur des épicotyles)

Longueur des épicotyles

Comparaisons multiples							
	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
						Borne inférieure	Limite supérieure
LSD	T0	T1	29,6286*	1,81187	,000	25,8491	33,4081
		T2	40,9657*	1,81187	,000	37,1862	44,7451
		T3	21,5911*	1,81187	,000	17,8116	25,3705
		T4	40,9657*	1,81187	,000	37,1862	44,7451
	T1	T0	-29,6286*	1,81187	,000	-33,4081	-25,8491
		T2	11,3370*	1,81187	,000	7,5575	15,1165
		T3	-8,0376*	1,81187	,000	-11,8171	-4,2581
		T4	11,3370*	1,81187	,000	7,5575	15,1165
	T2	T0	-40,9657*	1,81187	,000	-44,7451	-37,1862
		T1	-11,3370*	1,81187	,000	-15,1165	-7,5575
		T3	-19,3746*	1,81187	,000	-23,1541	-15,5951
		T4	,0000	1,81187	1,000	-3,7795	3,7795
	T3	T0	-21,5911*	1,81187	,000	-25,3705	-17,8116
		T1	8,0376*	1,81187	,000	4,2581	11,8171
		T2	19,3746*	1,81187	,000	15,5951	23,1541
		T4	19,3746*	1,81187	,000	15,5951	23,1541
	T4	T0	-40,9657*	1,81187	,000	-44,7451	-37,1862
		T1	-11,3370*	1,81187	,000	-15,1165	-7,5575
		T2	,0000	1,81187	1,000	-3,7795	3,7795
		T3	-19,3746*	1,81187	,000	-23,1541	-15,5951

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Longueur totale

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
	A11	154,0000	9,52774	3
T0	TZ2	162,6667	20,03331	3
	Total	158,3333	14,81141	6
	A11	101,6667	7,17248	3
T1	TZ2	95,4444	5,87209	3
	Total	98,5556	6,78124	6
	A11	22,7778	1,57527	3
T2	TZ2	14,4444	1,50308	3
	Total	18,6111	4,76756	6
	A11	123,2222	12,30327	3
T3	TZ2	109,7778	19,44032	3
	Total	116,5000	16,30780	6
	A11	45,6667	5,77350	3
T4	TZ2	50,0000	3,51188	3
	Total	47,8333	4,88876	6
	A11	89,4667	50,79008	15
Total	TZ2	86,4667	53,78467	15
	Total	87,9667	51,42165	30

Tests post hoc (longueur totale)

Comparaisons multiples

LSD

(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Limite supérieure
T0	T1	59,7778*	6,21219	,000	46,8194	72,7362
	T2	139,7222*	6,21219	,000	126,7638	152,6806
	T3	41,8333*	6,21219	,000	28,8749	54,7917
	T4	110,5000*	6,21219	,000	97,5416	123,4584
T1	T0	-59,7778*	6,21219	,000	-72,7362	-46,8194
	T2	79,9444*	6,21219	,000	66,9860	92,9029
	T3	-17,9444*	6,21219	,009	-30,9029	-4,9860
	T4	50,7222*	6,21219	,000	37,7638	63,6806
T2	T0	-139,7222*	6,21219	,000	-152,6806	-126,7638
	T1	-79,9444*	6,21219	,000	-92,9029	-66,9860
	T3	-97,8889*	6,21219	,000	-110,8473	-84,9305
	T4	-29,2222*	6,21219	,000	-42,1806	-16,2638
T3	T0	-41,8333*	6,21219	,000	-54,7917	-28,8749
	T1	17,9444*	6,21219	,009	4,9860	30,9029
	T2	97,8889*	6,21219	,000	84,9305	110,8473
	T4	68,6667*	6,21219	,000	55,7083	81,6251
T4	T0	-110,5000*	6,21219	,000	-123,4584	-97,5416
	T1	-50,7222*	6,21219	,000	-63,6806	-37,7638
	T2	29,2222*	6,21219	,000	16,2638	42,1806
	T3	-68,6667*	6,21219	,000	-81,6251	-55,7083

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.

Indice de vigueur des plantules

Statistiques descriptives

T	P	Moyenne	Ecart-type	N
	A11	1540,0000	95,27737	3
T0	TZ2	1626,6667	200,33306	3
	Total	1583,3333	148,11407	6
	A11	1016,6667	71,72478	3
T1	TZ2	954,4444	58,72093	3
	Total	985,5556	67,81238	6
	A11	135,6667	14,01190	3
T2	TZ2	49,6667	27,61038	3
	Total	92,6667	51,01242	6
	A11	1232,2222	123,03267	3
T3	TZ2	1097,7778	194,40317	3
	Total	1165,0000	163,07803	6
	A11	439,2222	27,52036	3
T4	TZ2	329,7778	54,73810	3
	Total	384,5000	71,37841	6
	A11	872,7556	537,17548	15
Total	TZ2	811,6667	592,10630	15
	Total	842,2111	556,34435	30

Tests post hoc

Comparaisons multiples

Variable dépendante : Indice de vigueur des plantules

	(I) T	(J) T	Différence des moyennes (I-J)	Erreur standard	Sig.	Intervalle de confiance à 95%	
						Borne inférieure	Limite supérieure
LSD	T0	T1	597,7778*	62,03376	,000	468,3776	727,1779
		T2	1490,6667*	62,03376	,000	1361,2665	1620,0668
		T3	418,3333*	62,03376	,000	288,9332	547,7335
		T4	1198,8333*	62,03376	,000	1069,4332	1328,2335
	T1	T0	-597,7778*	62,03376	,000	-727,1779	-468,3776
		T2	892,8889*	62,03376	,000	763,4887	1022,2890
		T3	-179,4444*	62,03376	,009	-308,8446	-50,0443
		T4	601,0556*	62,03376	,000	471,6554	730,4557
	T2	T0	-1490,6667*	62,03376	,000	-1620,0668	-1361,2665
		T1	-892,8889*	62,03376	,000	-1022,2890	-763,4887
		T3	-1072,3333*	62,03376	,000	-1201,7335	-942,9332
		T4	-291,8333*	62,03376	,000	-421,2335	-162,4332
	T3	T0	-418,3333*	62,03376	,000	-547,7335	-288,9332
		T1	179,4444*	62,03376	,009	50,0443	308,8446
		T2	1072,3333*	62,03376	,000	942,9332	1201,7335
		T4	780,5000*	62,03376	,000	651,0998	909,9002
	T4	T0	-1198,8333*	62,03376	,000	-1328,2335	-1069,4332
		T1	-601,0556*	62,03376	,000	-730,4557	-471,6554
		T2	291,8333*	62,03376	,000	162,4332	421,2335
		T3	-780,5000*	62,03376	,000	-909,9002	-651,0998

*. La différence des moyennes est significative au niveau ,05.