

Etude de la variabilité intraspécifique de tolérance au stress salin du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) au stade germination

H. Hajlaoui¹, M. Denden² & M. Bouzlama³

Keywords: Chick pea- Salt stress- Germination- Tunisia

Résumé

Cette étude a pour objet de comparer le comportement germinatif de quelques génotypes de pois chiche (*Cicer arietinum* L.), dans des conditions de stress salin. Dans ce cadre, un essai a été conduit sur huit génotypes dont les graines sont soumises sous différentes concentrations de NaCl (0; 34; 68 et 102 mM). Les mesures effectuées ont concerné la cinétique, la vitesse et le taux de germination final. La mobilisation des réserves et la réversibilité de l'action du sel sont également étudiées. Les résultats obtenus suggèrent que la capacité germinative des génotypes n'est pas affectée au niveau du traitement 34 mM de NaCl. Par contre, à des concentrations plus élevées, elle diminue et la vitesse de germination se ralentit. L'augmentation de la concentration saline jusqu'aux doses 68 et 102 mM entrave le processus de mobilisation des réserves et diminue la moyenne de germination journalière. La variabilité intraspécifique de pois chiche vis-à-vis de la salinité est relativement importante. Mais, en présence comme en absence de sel, le génotype FLIP97-254C a montré le meilleur comportement germinatif. Le sel semble agir sur les graines de pois chiche à la fois par ses effets osmotiques, qui sont réversibles, et aussi par ses effets toxiques irréversibles.

Summary

Study of the Intra-specific Variability Tolerance to Salt Stress of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) in the Germination Stage

This study aims at comparing the germinative behaviour of some genotypes of chickpea (*Cicer arietinum* L.), in salt stress. For this, a test has been driven on eight genotypes whose seeds are submitted under different concentrations of NaCl (0; 34; 68 and 102 mM) in a temperature of 26 °C and a relative humidity of 93%. The measures concerned the kinetics, the speed and the final germination rate. The mobilization of the reserves and the reversibility of the effect of salt stress are also studied. The results suggest that the germinative capacity of the genotypes is not affected in 34 mM of NaCl. But in more elevated concentrations, it decreases and the speed of germination shows down. The increase of the salt concentration until 68 and 102 mM hinders the process of mobilization of the reserves and decreases the mean daily germination. The intraspecific variability of chickpea is relatively important. But, in presence as in absence of salt, the FLIP97-254C genotype showed the best germinative behaviour. During germination, salinity has two different effects on the chickpea seeds, the first are osmotic reversible, the second are toxic irreversible.

Introduction

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure (35). Le chlorure de sodium présent dans le sol ou dans l'eau d'irrigation affecte la germination des glycophytes dont le pois chiche (*Cicer arietinum* L.) de deux manières, il diminue la vitesse de germination et réduit le pouvoir germinatif (30, 36). Cet effet dépend de la nature de l'espèce, de l'intensité du stress salin et de sa durée d'application (5, 34). La réduction du pouvoir germinatif est due à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, qui ralentit l'imbibition et limite l'absorption de l'eau nécessaire au déclenchement des processus métaboliques impliqués dans la germination. La salinité perturbe également les systèmes enzymatiques impliqués dans les différentes fonctions physiologiques de la graine en germination tels que la diminution de l'activité de polyphénol oxydase et amylase (22, 32) et des peroxydases (18). La tolérance au sel au stade germination peut être similaire ou différente de celle au stade plante adulte. En effet, pour certaines espèces, les graines présentant une aptitude à germer sous des conditions de salinité, auraient des prédispositions à continuer à tolérer ce stress, au cours de leur croissance ultérieure (30). Cependant, certains auteurs suggèrent que les réactions des plantes à la salinité diffèrent selon le stade de développement et que le comportement de certaines plantes comme le maïs, la fève et le haricot à

des stades ultérieurs ne montre pas une réaction claire entre la résistance au stade germination et celle observée ultérieurement (28). Le pois chiche, est une plante diploïde à $2n = 16$ chromosomes. A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se trouve révélée par l'autogamie (14). Les graines riches en protéines et en sels minéraux (19), ont généralement une forme plus au moins arrondies, de couleur crème pâle et présentant une saillie en forme de bec (10). Sur la surface orientée vers le sommet de la graine se trouve l'embryon noyé dans un tissu nutritionnel qui est l'albumen. L'ensemble est enveloppé dans les téguments. L'albumen contenant les matières de réserves, comprennent, outre des matières amylacées, du gluten et des matières minérales destinées à l'alimentation du jeune embryon. Les germes sont riches en matières grasses (8). La sensibilité au sel chez le pois chiche a été démontrée dans plusieurs travaux (20, 29). Sur un support inerte comme le sable, il y a déjà une réduction de la croissance à 20 mM NaCl (24). A la dose de 40 mM, le chlorure de sodium diminue encore plus fortement la production de matière fraîche et sèche des racines et des parties aériennes et à 80 mM, il devient létal (4). Certains travaux montrent que le pois chiche est plus tolérant à la salinité pendant la germination qu'aux stades ultérieurs de développement (3, 9). L'évaluation de la réponse au sel de 200 lignées de pois chiche montre qu'il est difficile d'associer la résistance au sel à une forte productivité en raison d'une dépense énergétique élevée imposée par la

¹Laboratoire de Physiologie Végétale. Ecole Supérieure d'Horticulture de Chott-Mariem 4042 Sousse, Tunisie.

²Laboratoire de Physiologie Végétale. Ecole Supérieure d'Horticulture de Chott-Mariem 4042 Sousse, Tunisie.

³Laboratoire d'Amélioration des Plantes. Ecole Supérieure d'Horticulture de Chott-Mariem 4042 Sousse, Tunisie.

Auteur correspondant: Hajlaoui H., Laboratoire de Physiologie Végétale, Ecole Supérieure d'Horticulture de Chott Mariem 4042 Sousse, Tunisie, Tel: +21697340246 Fax: +21673348691 E-mail: hajlaoui2001@yahoo.fr

Reçu le 17.05.05 et accepté pour publication le 31.03.06.

contrainte saline (31). En Tunisie, le pois chiche est d'une consommation très fréquente, il occupe avec la fève, le premier rang des légumineuses. La superficie cultivée est de l'ordre 35000 ha mais avec un rendement faible (0,7 t.ha⁻¹) qui ne satisfait pas la consommation locale (2). Pour augmenter la production nationale, une extension de la superficie cultivée a été adoptée et ceci par l'introduction de génotypes de pois chiche d'hiver dans de nouvelles régions au centre et au sud du pays caractérisées généralement par des sols qui sont relativement salés (17). La recherche parmi les génotypes de ceux qui ont un comportement satisfaisant en milieu salé permettrait d'étendre la culture de cette espèce sur des sols riches en sels solubles et d'identifier les facteurs de tolérance vis-à-vis de cette contrainte environnementale (11). C'est dans cette optique que nous avons étudié les effets inhibiteurs de NaCl sur la germination de huit génotypes de pois chiche.

Matériel et méthodes

1. Matériel végétal

Au cours de cet essai, le choix a été fixé sur huit génotypes de pois chiche d'hiver. Le tableau 1 montre l'origine et les géniteurs de chaque génotype testé.

2. Méthodes

Dans le but de déterminer les effets néfastes de NaCl sur la germination des graines de pois chiche, un essai de germination a été effectué sous différentes concentrations de chlorure de sodium.

Les graines, au nombre de 20, sont lavées abondamment à l'eau, puis rincées à l'eau distillée. Elles sont ensuite mises à germer dans des boîtes de pétri de 10 centimètres de diamètre, entre deux couches de papier filtre, celui-ci est humidifié avec 20 ml d'eau distillée pour le témoin et avec 20 ml de l'une des solutions salées ayant les concentrations suivantes: 34 mM, 68 mM et 102 mM de NaCl. Les boîtes sont ensuite enveloppées dans un sachet en plastique pour éviter l'évaporation de l'eau, et mises à l'obscurité dans un

incubateur réglé à une température de 26 °C et une humidité relative de l'air variant entre 78 à 93%. La germination est repérée par la sortie de la radicule hors des téguments de la graine. Au cours de cet essai les paramètres étudiés sont:

-Taux de germination final: ce paramètre constitue le meilleur moyen d'identification de la concentration saline qui présente la limite physiologique de germination des graines de pois chiche. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines.

-Cinétique de germination: pour mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des génotypes étudiés ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Le nombre de graines germées est noté à 12; 24; 36; 48; 72 et 96 heures après le début de l'expérience.

-Vitesse de germination: elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (t_{50}) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines (23).

-Moyenne journalière de germination (MDG= Mean Daily Germination): selon Osborne et Nercer (27) MDG= Pourcentage de germination final/nombre de jours à la germination finale.

-Mobilisation des réserves au cours de germination: c'est une étape essentielle dans la mesure où elle permet de soutenir la croissance de la plantule pendant les premiers stades de son développement. La sensibilité de cette phase au stress salin est estimée par la quantité de matière sèche résiduelle du grain après 4 jours de germination.

-Réversibilité de l'action du sel: ce paramètre a l'avantage de déterminer l'origine de l'effet dépressif du sel s'il est de nature osmotique et/ ou toxique. Ainsi, les graines sont mises à germer en présence de 68 mM et 102 mM de NaCl pendant 4 jours. Au quatrième jour, les graines non germées sont rincées trois fois pour éliminer le sel non absorbé puis

Tableau 1
Origine et géniteurs des génotypes étudiés

Génotypes	Géniteurs	Origine
ILC 1799	NEC 2904	Syria
ILC 3182	ICC 10736 PIC	Turkey
ILC4134	2139	Tunisia
FLIP 88- 42 C	X 85 TH 230/ ILC 3395 x FLIP 83-13 C	ICARDA / ICRISAT
FLIP 96- 116 C	X 93 TH 75/ ILC 6104x FLIP 91- 120C	ICARDA / ICRISAT
FLIP 97- 254 C	X 94 TH 65/ FLIP 81-83 C x UC 15	ICARDA / ICRISAT
FLIP 98- 142 C	X 95 TH 40/ ICCV- 2X S 93018	ICARDA / ICRISAT
ICCV- 2	-	ICARDA / ICRISAT

Tableau 2
Variation de la capacité germinative des génotypes pour les différentes concentrations de NaCl (millimoles)

NaCl (mM)	ILC 1799	ILC 3182	ILC 4134	FLIP 88-42 C	FLIP 96-116 C	FLIP 97-254 C	FLIP 98-142C	ICCV-2	Moyenne (n= 40)
0 (n= 5)	91,6 ^a	90 ^a	88,3 ^a	83,3 ^a	90 ^a	95 ^a	83,3 ^a	78,3 ^a	87,5 ^a ± 5,4
34 (n= 5)	80 ^a	75 ^b	86,6 ^a	71,6 ^a	86,6 ^a	91,6 ^a	71,6 ^b	70 ^a	79,1 ^b ± 8,3
68 (n= 5)	21,6 ^b	66,6 ^c	68,3 ^b	55 ^b	61,6 ^b	85 ^a	28,3 ^c	33,3 ^b	52,5 ^c ± 22,3
102 (n= 5)	20 ^b	43,3 ^d	15 ^c	21,6 ^c	28,3 ^c	53,3 ^b	16,6 ^d	21,6 ^b	27,5 ^d ± 13,7
Moyenne (n= 20)	53,3 ^b ± 37,3	68,7 ^{ab} ± 19,5	64,5 ^{ab} ± 34,2	57,9 ^{ab} ± 26,8	66,6 ^{ab} ± 28,5	81,2 ^a ± 19	50 ^b ± 32,4	50,8 ^b ± 27,5	

(a, b, c, d): Les moyennes de la même colonne suivies de la même lettre ne diffèrent pas au seuil de 5%.

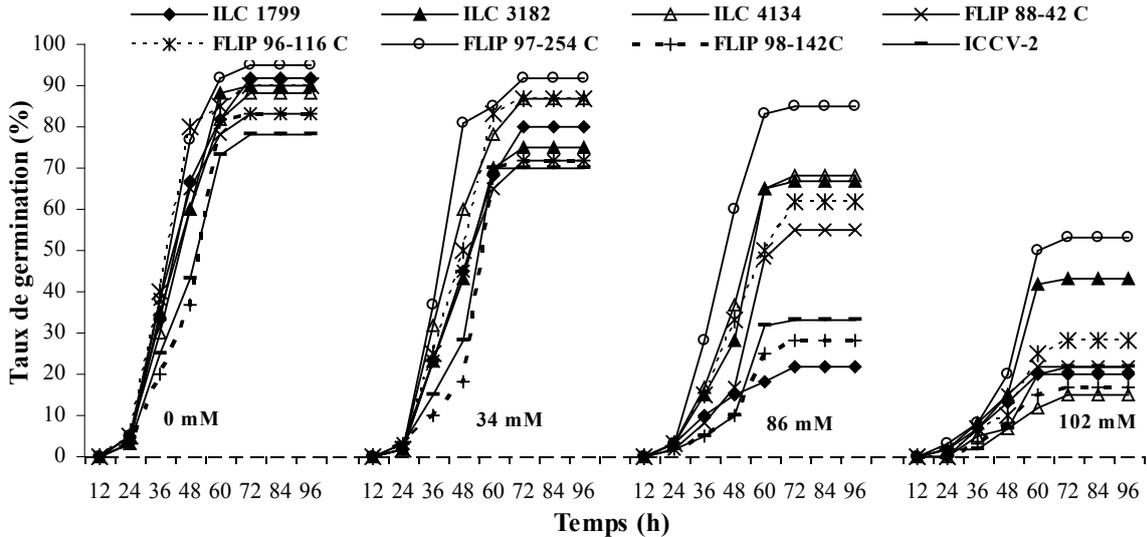


Figure 1: Effets de différentes concentrations de NaCl (0 à 102 mM) sur la cinétique de germination des graines de huit génotypes de pois chiche mises à l'obscurité, à température constante de 26 °C et une humidité relative variant de 78% à 93%.

transférées par lots de 20 graines sur milieu constitué d'eau distillée pendant quatre jours supplémentaires. Pour toutes les concentrations utilisées, chaque résultat correspond à la moyenne de 5 répétitions. L'analyse de variance est effectuée par «SPSS for Windows version 10» et la comparaison des moyennes est fait par le test Duncan au seuil de probabilité de 5%.

Résultats

1. Taux de germination final

Les résultats portés dans le tableau 2 présentent la réponse génotypique de la germination au stress salin. On remarque que dans le milieu contenant 34 mM de chlorure de sodium la capacité germinative pour la plupart des génotypes n'est pas affectée et les valeurs enregistrées sont statistiquement proches des valeurs obtenus chez les plantes témoins. Cependant avec la même concentration (34 mM), le taux de germination des deux génotypes ILC3182 et FLIP98-142C, se montre affecté par le sel. En effet, à ce niveau de traitement, les pourcentages de germination correspondant ont diminué par rapport au témoin de 25% et 11% respectivement pour ILC3182 et FLIP98-142C. A la concentration de 68 mM de NaCl, seul le génotype FLIP97-254C a gardé un taux de germination final relativement élevé qui est en moyenne de 85%. Pour les autres génotypes, le pourcentage des graines germées baisse au niveau du traitement 68 mM et devient encore plus faible et différente à la concentration 102 mM. A cette concentration, les valeurs les plus faibles sont aussi celles des deux génotypes ILC3182 (15%) et FLIP98-142C (16%).

Par voie de comparaison entre les moyennes des différents génotypes, nous pouvons classer ces derniers en trois groupes à réaction différente vis-à-vis du chlorure de sodium:

- Le premier, renferme uniquement le génotype FLIP97-254C, qui a le taux de germination le plus élevé de 81%. Il ne marque qu'une réduction discrète, par rapport aux témoins, de 3% pour une concentration de 34 mM et 10% pour une concentration de 68 mM (Tableau 2).

- Le deuxième groupe est constitué par 4 génotypes (ILC3182, ILC4134, FLIP88-42C et FLIP96-116C) représentant des taux de germination rapprochés avec une moyenne de 64%.

- Le troisième groupe représente les trois génotypes (ILC1799, FLIP98-142C, ICCV-2) qui ont une capacité germinative moyenne faible de 51%.

A travers les traitements, la capacité germinative diminue quand le stress salin augmente. Par comparaison au témoin, les plantes qui ont subi le stress 34 mM, 68 mM et 102 mM sont accompagnées d'une diminution progressive à raison de 8%, 35% et 60% (Tableau 2).

2. Cinétique de germination

La figure 1 montre l'effet des différentes concentrations de NaCl sur l'évolution du taux de germination des génotypes au cours du temps. Les courbes de germination permettent de distinguer 3 phases:

- une phase de latence, nécessaire à l'apparition des premières germinations, au cours de laquelle le taux de germination reste faible. La durée de cette phase est variable selon la concentration de NaCl. Elle est courte, de l'ordre de 24 heures, chez les plantes témoins et celles cultivées à une concentration de 34 mM de NaCl. Mais, elle devient plus au mois longue, surtout chez les plantes soumises au traitement 102 mM NaCl pour lesquelles cette phase peut aller jusqu'à 36 heures;

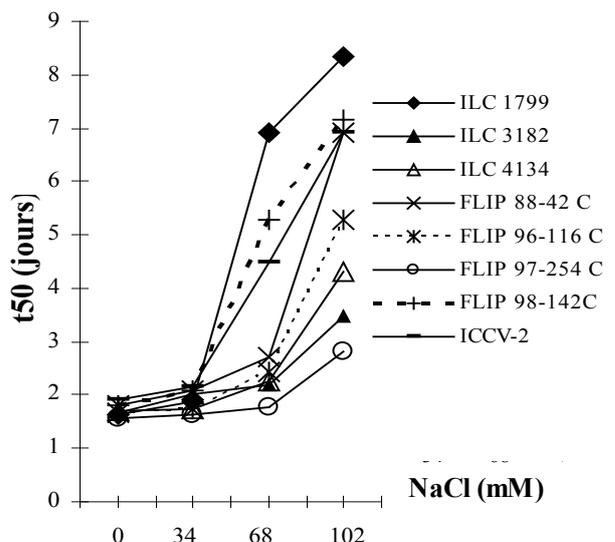


Figure 2: Effets de différentes concentrations de NaCl (0 à 102mM) sur le temps moyen de germination (t_{50}) des graines de huit génotypes de pois chiche mises à l'obscurité, à température constante de 26 °C et une humidité relative variant de 78% à 93%.

- une phase sensiblement linéaire, correspondant à une augmentation rapide du taux de germination qui évolue proportionnellement au temps, du moins pour les plantes témoins et les plantes soumises aux concentrations inférieures à 68 mM;

- une troisième phase correspondant à un palier représentant le pourcentage final de germination et traduisant la capacité germinative dans les conditions de l'expérience.

Par voie de comparaison entre les génotypes, il paraît que le nombre de graines germées en fonction du temps du génotype FLIP97-254C évolue plus rapidement que les autres génotypes. Cependant, l'évolution la plus lente du taux de germination est observée chez les deux génotypes FLIP98-142C et ICCV-2. Le reste des génotypes ont un comportement intermédiaire.

3. Vitesse de germination et moyenne de germination journalière

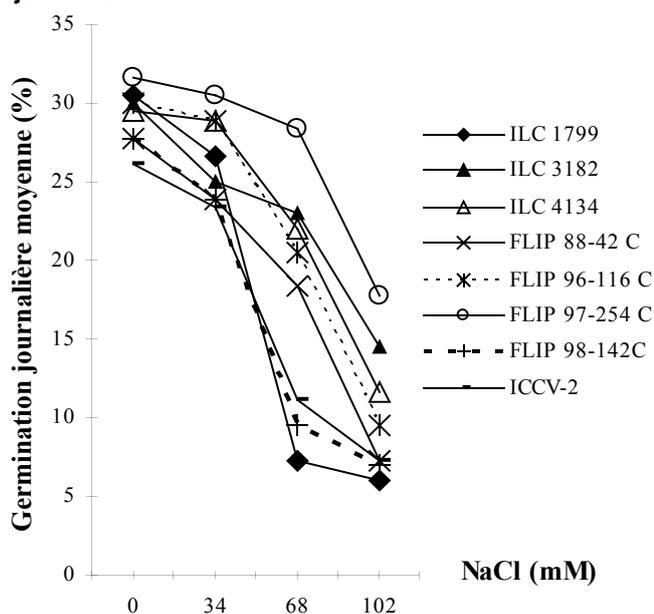


Figure 3: Variation de la moyenne du taux de germination journalière de huit génotypes de pois chiche en fonction de la concentration en chlorure de sodium (0 à 102 mM). Les graines sont mises à l'obscurité, à température constante de 26 °C et une humidité relative variant de 78% à 93%.

La vitesse de germination est évaluée par le t_{50} , c'est le temps moyen correspondant à la germination de 50% du lot de graines. La figure 2 représente la vitesse de germination des 8 génotypes, exprimée par le t_{50} en présence des différentes concentrations de NaCl. Pour l'ensemble des génotypes, l'effet de NaCl se traduit par une augmentation du t_{50} , ou une diminution de la vitesse de germination. Pour les témoins et les plantes soumises à une concentration saline de 34 mM, le t_{50} est peu modifié et il ne dépasse pas les 2 jours.

Par contre, pour des concentrations plus élevées de 68 mM et 102 mM, le t_{50} augmente de façon considérable pour atteindre dans certains cas 6 et même 8 jours respectivement pour les deux génotypes ILC4134 et FLIP88-42C.

Ainsi, la présence de chlorure de sodium ralentit la vitesse

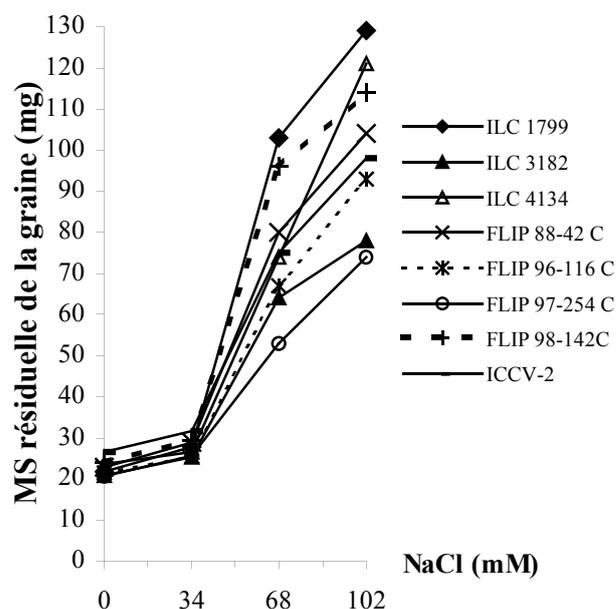


Figure 4: Effets de différentes concentrations de NaCl (0 à 102 mM) sur la mobilisation des réserves estimée par la quantité de matière sèche résiduelle après 4 jours de germination des graines de huit génotypes de pois chiche mises à l'obscurité, à température constante de 26 °C et une humidité relative variant de 78% à 93%.

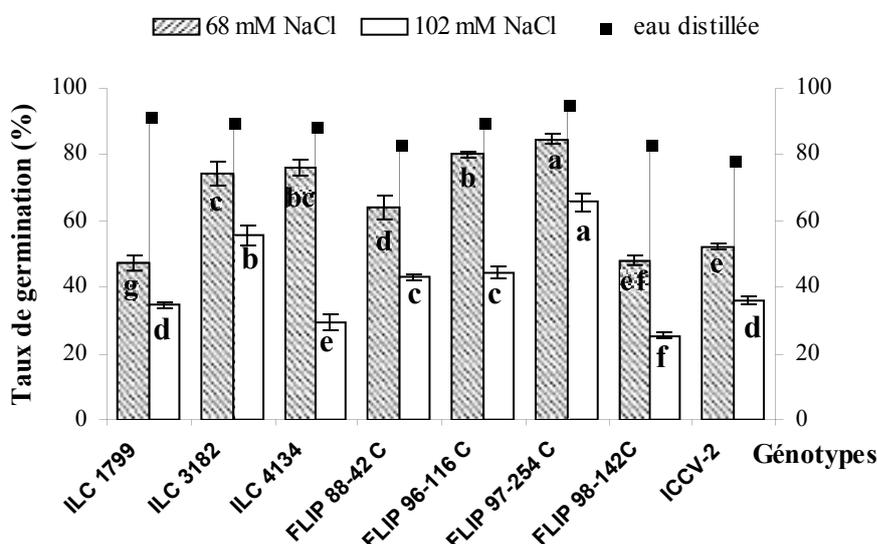


Figure 5: Taux de germination des graines de huit génotypes de pois chiche mises à germer soit directement sur milieu témoin non salé, soit sur milieu témoin, mais après un prétraitement avec du chlorure de sodium (68 et 102 mM) à l'obscurité, à température constante de 26 °C et une humidité relative variant de 78% à 93%.

de germination des graines de tous les géotypes mais de façon différente. En effet, en absence comme en présence de sel, les premières germinations se manifestent plus rapidement chez FLIP97-254C que chez le reste des géotypes.

La diminution de la vitesse de germination des graines en présence de chlorure de sodium se répercute négativement sur les moyennes de germination journalière des géotypes dont les valeurs sont rapportées sur la figure 3. En effet à des concentrations de sel qui dépasse 34 mM, ce paramètre devient faible et variable en fonction des géotypes. Au traitement 102 mM, la valeur la plus élevée est gardée toujours par le géotype FLIP97-254C, elle est de 17%. Tandis que le taux de germination journalière le plus faible est enregistré par le géotype ILC1799, il est de l'ordre de 6%.

4. Mobilisation des réserves des graines

La mobilisation des réserves des graines est une étape essentielle dans la germination dans la mesure où elle permet de soutenir la croissance de la plantule pendant les premiers stades de son développement. La sensibilité de cette phase au stress salin peut être appréciée par la vitesse d'épuisement des réserves des graines. La figure 4 représente l'effet de la salinité sur la mobilisation de ces réserves estimée par la quantité de matière sèche résiduelle de la graine après 4 jours de germination. Sur milieu témoin, la masse de matière sèche résiduelle des graines est faible et peu différente entre les géotypes. Elle varie entre 20 mg et 26 mg respectivement pour les deux géotypes FLIP97-254C et ICCV-2.

Chez tous les géotypes, la masse sèche résiduelle des graines en germination est plus élevée en présence de chlorure de sodium que sur milieu témoin, ce qui suggère que le sel exerce un effet dépressif sur la mobilisation des réserves. C'est ainsi qu'à la concentration de 102 mM de NaCl, la masse sèche résiduelle des graines reste, après quatre jours d'imbibition, presque voisine de sa valeur initiale pour certains géotypes. A ce niveau de traitement, la matière sèche résiduelle devient élevée et différente entre les géotypes. Elle varie entre 74 mg et 129 mg respectivement pour les deux géotypes FLIP97-254C et ILC1799.

5. Réversibilité de l'inhibition de la germination

Nous avons montré que le sel exerce, à fortes doses (68 et 102 mM), un effet dépressif sur la germination des graines des géotypes de pois chiche étudiés. Cette inhibition peut être osmotique et/ou toxique. Dans la mesure où elle est d'origine osmotique, on devrait s'attendre à une reprise de la germination après levée de cette contrainte. Par contre, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, on peut prévoir l'absence de cette reprise de germination. La figure 5 représente le taux de germination des graines des huit géotypes, soit directement sur milieu dans de l'eau distillée, soit sur ce même milieu, mais après un prétraitement avec du chlorure de sodium aux doses 68 et 102 mM.

Pour les deux concentrations 68 mM et 102 mM, le transfert des graines dans de l'eau distillée est suivi d'une reprise de la germination. Néanmoins, la capacité germinative reste plus faible que celle obtenue chez les graines mises directement sur milieu témoin. De plus, les graines prétraitées dans NaCl puis transférées dans l'eau distillée germent d'autant mieux que la concentration du traitement initial soit plus faible. La capacité germinative après reprise de la germination varie avec le type de géotype et la dose de NaCl appliquée au cours du prétraitement. En effet, pour les deux prétraitements, FLIP97-254C se distingue des autres géotypes par le fait d'avoir toujours le taux de germination le plus élevé, il est de l'ordre de 84% et 65% respectivement pour 68 mM et 102 mM de NaCl. Mais les taux enregistrés restent inférieurs de 10% et 29%, (respectivement pour 68 mM et 102 mM), par rapport au témoin après 4 jours de transfert sur milieu sans

sel. Cependant, les taux de germination les plus faibles sont obtenus par les deux géotypes ILC1799 (47%) et FLIP98-142C (25%) respectivement pour les prétraitements 68 mM et 102 mM de NaCl.

Discussion

Pendant la germination, l'émergence de la radicule serait contrôlée par l'osmolarité du milieu, alors que la croissance ultérieure de la plantule serait limitée par la mobilisation et le transport des réserves vers l'axe embryonnaire (13). L'étude des effets de différentes concentrations de chlorure de sodium sur la germination des graines a montré que ni la capacité germinative, ni la vitesse de germination sont affectées par le sel à une concentration de 34 mM de NaCl. Mais, à des concentrations plus élevées, elles deviennent sensibles. La variation de la capacité germinative est comprise entre 87% pour les témoins et 27% pour les plantes qui ont subi le stress 102 mM NaCl. Des résultats similaires ont été signalés par d'autres auteurs (21, 25, 26). Par exemple Khalid et al. (21) ont montré que, pour deux géotypes de pois chiche soumis sous stress salin (CE égale à 16 ds/m), la capacité germinative a diminué par rapport au témoin de plus de 60%. Cependant, Dua (9) a montré que le taux final de germination des géotypes étudiés n'avait pas diminué avec l'augmentation de la salinité; toutefois il était retardé à partir d'une CE égale à 6 ds/m. La diminution du taux de germination final correspond soit à une augmentation de la pression osmotique externe, ce qui affecte l'absorption de l'eau par les graines et/ou bien à une accumulation des ions Na^+ et Cl^- dans l'embryon (15). Cet effet toxique peut conduire à l'altération des processus métaboliques de la germination et dans le cas extrême à la mort de l'embryon par excès d'ions.

Le retard de la germination des graines ainsi que la diminution de la moyenne de germination journalière de l'ensemble des géotypes avec l'augmentation de la concentration saline est expliqué par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (7). La mobilisation des réserves (exprimée par la matière sèche résiduelle) dépend de l'activation des enzymes hydrolytiques. Ces réserves, chez le pois chiche, sont majoritairement de nature glucidique (22), sont hydrolysées par l' α -amylase en sucres solubles et sont soumises à la plantule pour les besoins de sa croissance (15). L'effet de NaCl peut s'exercer sur l'activité enzymatique elle-même (13), comme sur le transport des produits de l'hydrolyse des réserves vers l'embryon. C'est ainsi qu'à travers les traitements, la moyenne de matière sèche résiduelle varie de 22 mg, 27 mg, 76 mg et 101 mg respectivement pour 0, 34, 68 et 102 mM de NaCl. Cet effet dépressif du sel sur la mobilisation des réserves a déjà été signalé chez le petit pois (26), la fève (12) et le blé (33).

Les expériences de transfert sur milieu témoin de graines après prétraitement avec du NaCl sont conduites pour préciser le mode d'action du sel sur la germination. Les résultats montrent que les effets sont d'abord de nature osmotique, du fait de la reprise de la germination une fois que la contrainte saline a été levée. Néanmoins des phénomènes de toxicité dus à l'accumulation des ions Na^+ et Cl^- , se sont également manifestés, comme en témoigne la baisse de la capacité germinative, par rapport au témoin, même après le retour à un milieu ne contenant pas de NaCl. La réversibilité de la réponse au sel a été démontrée dans plusieurs travaux et chez plusieurs espèces. Elle s'observe aussi chez les légumineuses (11), l'orge (6) et le Citrus (37).

Conclusion

Les résultats rapportés dans cette étude laissent supposer que le pois chiche est une plante sensible à l'action du

NaCl, au stade de germination. A des concentrations de sel qui dépassent 34 mM la capacité germinative ainsi que la vitesse de germination sont fortement touchées. Les effets dépressifs de sel sont essentiellement de nature osmotique mais à des fortes concentrations des phénomènes de toxicité peuvent se manifester. De plus, une variabilité intraspécifique, assez importante vis-à-vis

du sel, est observée entre les huit génotypes étudiés. Une telle variabilité peut servir ultérieurement pour faire des croisements et par la suite trouver la meilleure recombinaison dans les descendants. En absence comme en présence de sel, le génotype FLIP97-254C possède le meilleur comportement germinatif. Cependant, les deux génotypes ILC1799, FLIP98-142C se montrent les plus sensibles.

Références bibliographiques

- Allen S.G., Dobrenz A.K., Schonhorst M.H. & Stoner J.E., 1985, Heritability of NaCl tolerance in germinating Alfalfa seeds. *Agro. Journal*, 77, 1056-1060.
- Aouani M.A., Mhamdi R., Jebara M. & Noelle A., 2001, Characterization of rhizobia nodulating chickpea in Tunisia. *Agronomie*, 21, 577-581.
- Ashraf M. & Waheed A., 1992, Screening chickpea (*Cicer arietinum* L.) for salt tolerance. *Tropenlandwirt*, 93, 45-55.
- Ashraf M. & Waheed A., 1993, Responses of some genetically diverse lines of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to salt. *Plant and Soil*, 154, 257-266.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. & Selmi M., 2001, Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sècheresse*, 12, 4, 167-174.
- Bliss R.D., Platt-Aloria K.A. & Thomson W.W., 1986a, The inhibitory effect of NaCl on barley germination. *Plant Cell and Env.* 9, 727-733.
- Bliss R.D., Platt-Aloria K.A. & Thomson W.W., 1986b, Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. *Plant Cell and Env.* 9, 721-725.
- Côme D., 1970, Les obstacles à la germination. Masson et Cie. 162 pp.
- Dua R.P., 1992, Differential response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to salinity. *J. of Agric. Sci., Cambridge*, 119, 367-371.
- El Bekkay B., 1984, Etudes de souches de rhizobium du pois chiche (*Cicer arietinum* L.). *Agriculture*, 3, 217-330.
- Esaïe T., 1995, Effet du sel sur la germination de graines de légumineuses. *Cahiers Agricultures*, 4, 207-209.
- Gal T., Shahal A., Uzi K. & Ewald S., 2004, Influence of nitrate and sodium chloride on concentration and internal distribution of mineral elements in broad bean (*Vicia faba* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Landbauforschung Völkenrode*, 4, 54, 189-197.
- Gomes F.E., Prisco J.T., Campos F.A.P. & Filho E.J., 1983, Effects of NaCl salinity *in vivo* and *in vitro* ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination. *Plant Physiol.* 59, 183-188.
- Gridley H., 1985, Food legumes in Tunisia: status and improvement. *In: amélioration des légumineuses alimentaires. Synthèse des travaux de stage de formation ICARDA*, 41-42.
- Groome M.C., Axler S. & Gifford D.J., 1991, Hydrolysis of lipid and protein reserves in lobolly pine seeds in relation to protein electrophoretic patterns following imbibition. *Physiol. Plant*, 83, 99-106.
- Guerrier G., 1983, Variations des teneurs en Na⁺ et Ca²⁺ d'embryons et de jeunes plants lors de la germination en milieu salé. *Phyton*, 43, 141-152.
- Halila H., 1986, Les légumineuses alimentaires en Tunisie, situation actuelle et perspectives d'amélioration, INRAT-ICARDA (Ed), Amélioration des légumineuses en Afrique du nord, pp.: 1-9.
- Iraida A., Miguel A.B., Mercedes C., Maria I.M., Antonio H., Ray A.B., Paul M.H., Miguel A.Q. & Victoriano V., 1999, Improved germination under osmotic stress of tobacco plants overexpressing a cell wall peroxidase. *FEBS Letters*, 457, 80-84.
- Jain H.K., 1977, Centers of diversity, genetics variability and components of yield and plant type in chickpea. *F.A.O. Plant protection and production*, 9 p.
- Katerji N., Van Hoorn J.W., Hamdy A., Mastroilli M., Oweis T. & Erskine W., 2001a, Response of two varieties of lentil to soil salinity. *Agricultural Water Management*, 47, 179-190.
- Khalid M.N., Iqbal H.F., Tahir A. & Ahmad A.N., 2001, Germination potential of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) under saline conditions. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 4, 4, 395-396.
- Khemiri H., Belguith H., Jridi T., Ben El Arbi M. & Ben Hamida J., 2004, Caractérisation biochimique d'une amylase active au cours du processus germinatif des graines de colza (*Brassica napus* L.). *Enzymologie et métabolisme*, pp.: 146-149. Congrès International de Biochimie. Marrakech 3-6 mai 2004.
- Lang A., 1965, Effects of some internal and external conditions on seed germination. *Handb. der Pflanzenphysiol.* 15, 2, 848-893.
- Lauter D.J. & Munns D.N., 1986, Salt resistance of chickpea genotypes in solutions salinized with NaCl or Na₂SO₄. *Plant and Soil*, 95, 271-279.
- Mwale S.S., Hamusimbi C. & Mwansa K., 2003, Germination, emergence and growth of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in response to osmotic seed priming. *Seed Sci. & Technol.* 31, 199-206.
- Okçu G., Kaya M.D. & Atak M., 2005, Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk J. Agric For.* 29, 237-242.
- Osborne J.M., Fox J.E.D. & Mercer S., 1993, Germination response under elevated salinities of six semi-arid blue bush species (Western Australia). *In: Lieth H. & Al Masoom A. (Eds), Towards the Rational Use of High Salinity Plants*, Vol. 1, pp. 323-338. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 521 pp.
- Rajakaran L.R., Aspinal D. & Paleg L.G., 2000, Physiological mechanism of tolerance of *Lycopersicon* spp. Exposed to salt stress. *Canad. J. plant Sci.* 80/1, 151-152.
- Raza H.A., Muhammad N., Yasin Ashraf M. & Ejaz R., 2002, Morphochemical responses of Gram (*Cicer arietinum* L.) to salinity and nitrogen. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1, 2, 171-173.
- Rozema J., 1975, The influence of salinity, inundation and temperature on the germination of some halophytes and non halophytes. *Oecol. Plant*, 10, 341-354.
- Sadiki M. & Rabihi K., 2001, Selection of chickpea (*Cicer arietinum* L.) for yield and nitrogen fixation ability under salt stress. *Agronomie*, 21, 659-666.
- Slama A.D., Afifi W.M., Mousa A.Z. & Shams El Din., 1992, Biochemical study on the effect of salinity on cucumber seedlings. *Annals Agric. Sci. Ain Shams Univ. Cairo*, 37, 2, 339-349.
- Soltani A., Gholipoor M. & Zeinali E., 2004, Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and experimental botany*, (article in press).
- Tobe K., Zhang L., Yu Qiu G., Shimizu H. & Omasa K., 2001, Characteristics of seeds germination in five non-halophytic Chinese desert shrub species. *J. of Arid Envir.* 47, 191-201.
- Tremblin G. & Binet P., 1984, Halophilie et résistance au sel chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl) Ung. *Oecol. Plant*, 5, 291-293.
- West D.W. & François L.E., 1982, Effects of salinity on germination, growth and yield of cowpea. *Irrig. Sci.* 3, 169-175.
- Zekri M., 1993, Osmotic and toxic ion effects on seedling emergence and nutrition of Citrus root stocks. *J. Plant Nutr.* 16, 2013-2028.

H. Hajjaoui, Tunisien, Ingénieur, DEA, Doctorant en Sciences Biologiques et Biotechnologiques à l'Institut Supérieur de Biotechnologie de Monastir.

M. Denden, Tunisien, Doctorat en Sciences Agronomiques, Maître de Conférence à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem, Directeur du Département d'Horticulture et de Paysage et responsable du Laboratoire de Physiologie Végétale.

M. Bouslama, Tunisien, Ingénieur, Master of Sciences en Agronomie, Ph. D en Génétique, Professeur à l'Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Elevage de Chott-Mariem. Membre du Département de l'Horticulture et de Paysage et responsable du laboratoire d'Amélioration des plantes de Chott-Mariem.