



# JOURNAL OF OASIS AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

www.joasdjournal.org



p-ISSN: 2724 – 699X  
e-ISSN: 2724-7007

## Amélioration des performances germinatives et de croissance du mil cultivé en conditions salines via le prétraitement de semences

## Improving germination and growth performances of millet grown under saline conditions through seed priming

Ellouzi Hasna, Amraoui Souhir & Hanana Mohsen

Laboratory of Extremophile Plants, Centre of Biotechnology of Borj Cedria, P.B 901, Hammam-Lif 2050.

### Article info

Histoire:

Reçu : 23 Août 2023

Accepté : 15 Novembre 2023

Mots clés: Croissance, germination, hormo-priming, osmo-priming, stress salin, prétraitement.

\*Auteur correspondant

ellouzihanaa@gmail.com

### Résumé

Dans la présente étude, l'effet de l'amorçage des semences par le PEG (20 %) et le GA<sub>3</sub> (50 ppm) a été étudié sur la performance de germination, la croissance précoce des semis et l'état hydrique des semis de *Pennisetum glaucum* exposés à un stress salin (100 mM NaCl). Nos résultats ont montré que les deux types de traitements de semences (PEG et GA<sub>3</sub>) ont amélioré la tolérance au sel du millet, par rapport à l'état non amorcé. Cependant, certaines différences associées à la nature de l'agent ont été enregistrées. Au stade de la germination et sous stress salin, une augmentation significative du pourcentage de germination (100% au 6<sup>ème</sup> jour de semis) a été enregistrée dans les graines amorcées avec GA<sub>3</sub>. En outre, elles ont montré l'indice de taux de germination le plus élevé (7,5) par rapport aux graines non amorcées soumises à des conditions salines. Après la germination dans le milieu salin, les plantules issues des graines traitées avec GA<sub>3</sub> ont montré la meilleure capacité à croître en conditions salines, comme l'indiquent les longueurs de racines et de coléoptiles les plus élevées. En outre, le prétraitement des semences a eu un impact positif sur la production de biomasse, les semences amorcées avec GA<sub>3</sub> présentant la plus forte augmentation (193 %) de la biomasse en conditions salines par rapport aux semences non amorcées. Les plantules issues de graines amorcées, en particulier celles traitées avec GA<sub>3</sub>, ont montré une augmentation significative de la teneur en eau, avec une amélioration remarquable de 330% par rapport aux plantules non amorcées soumises au stress de la salinité. Ces résultats démontrent que les graines non amorcées sont plus riches en eau que les graines non amorcées.

### Article info

Article history:

Received: 23 August 2023

Accepted: 15 November 2023

Keywords: Germination, growth, hormo-priming, osmo-priming, salt stress, priming



Copyright ©2023 JOASD

\*Corresponding author

ellouzihanaa@gmail.com

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

### Abstract

In the present study, the effect of seed priming by PEG (20%) and GA<sub>3</sub> (50 ppm) was investigated on germination performance, early seedling growth and water status of *Pennisetum glaucum* seedlings exposed to salt stress (100 mM NaCl). Our results showed that both types of seed treatments (PEG and GA<sub>3</sub>) improved salt tolerance of millet, relatively to unprimed state. Although, some differences associated with agent nature were recorded. At germination stage and under salt stress, a significant increase in germination percentage (100% at the 6<sup>th</sup> day of sowing) was recorded in seeds primed with GA<sub>3</sub>. Additionally, they showed the highest Germination Rate Index (7.5) compared to non-primed seeds subjected to saline conditions. After germination has occurred in the salt-stressed medium, seedlings from GA<sub>3</sub> primed seeds exhibited the best ability to grow under saline conditions, as indicated by the highest root and coleoptile lengths. Furthermore, seed pre-treatment positively impacted biomass production, with seeds primed with GA<sub>3</sub> showing the highest increase (193%) in biomass under saline conditions compared to non-primed seeds. In terms of water status, non-primed seedlings experienced a 50% reduction in water content under saline conditions. Seedlings from primed seeds, particularly those treated with GA<sub>3</sub>, exhibited a significant increase in water content, with a remarkable 330% improvement compared to non-primed seedlings subjected to salinity stress. These findings demonstrate the effectiveness of seed pre-treatment, especially with GA<sub>3</sub>, in enhancing the germination, growth, and water status of *Pennisetum glaucum* under saline conditions, offering potential strategies for improving crop resilience in saline environments.

## 1. INTRODUCTION

Aujourd'hui, la stabilité des rendements et la sécurité alimentaire constituent une priorité de la stratégie tunisienne d'amélioration des cultures dans des conditions défavorables en raison de l'irrégularité des rendements. Il est important de souligner que l'amélioration de la productivité dépend de manière impérative de l'introduction de systèmes agricoles nouveaux, plus performants et capables d'assurer des rendements satisfaisants dans des conditions environnementales extrêmes et variables en raison des changements climatiques. En effet, la réussite de la germination des graines est étroitement liée à l'installation de cultures saines et uniformes dans ces conditions difficiles. Les contraintes osmotiques (salinité et sécheresse) affectent la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables conduisant à des baisses de rendement et de qualité de la production (Sen and Puthur, 2023). Cependant, le stade de germination constitue l'étape clé de développement de la plante et détermine sa tolérance ou sa sensibilité. Selon Ellouzi et al. (2021), la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité pendant cette phase. En outre, la germination peut être hétérogène, car les graines ne germent pas toutes de la même manière ni au même moment.

Pour résoudre ces problèmes, plusieurs solutions sont envisagées, notamment de nouvelles pratiques agricoles en termes d'utilisation de l'eau et de gestion des sols, l'utilisation de techniques digitales et robotiques, la génétique et les biotechnologies associées principalement au transfert des gènes de tolérance. Cependant, malgré les réels progrès réalisés par ces techniques, leurs coûts exorbitants les rendent inaccessibles et non viables pour de nombreuses applications, avec pour conséquence une centralisation du progrès génétique sur un nombre limité d'espèces. Cela nous oblige donc à dévier nos stratégies vers de nouvelles méthodes d'amélioration de la productivité dans des conditions environnementales incertaines et de plus en plus contraignantes.

Il est donc plus que jamais urgent de définir de nouvelles pratiques agro-écologiques simples, efficaces et surtout accessibles en termes de coût, notamment pour les petits agriculteurs ruraux propriétaires de champs agricoles abandonnés en raison de problèmes de salinisation et de manque d'eau.

Le priming ou amorçage est une technique de traitement prégerminatif des semences qui consiste à faire tremper les semences dans de l'eau ou dans une solution, dans des conditions qui ne permettent pas l'expansion de la racine. Ceci permettra l'activation de certains processus métaboliques prégerminatifs (physiologiques et chimiques). Ce trempage est suivi d'une déshydratation pendant une courte période jusqu'à ce que les graines reprennent leur poids initial d'avant le semis (Jisha et al. 2013). L'application de cette méthode améliore avec succès la germination des graines de nombreuses espèces agricoles cultivées en conditions de salinité et/ou de sécheresse, en particulier les espèces maraîchères telles que la tomate et le haricot, et les espèces de grandes cultures telles que l'orge, le maïs, le colza et le riz (Arif et al. 2019). Les méthodes de prétraitement des graines se basent sur plusieurs agents, notamment l'eau (hydro-priming) (Kaya et al. 2006), les facteurs d'osmorégulation (osmo-priming) (Jisha et al. 2013), les macro ou microéléments (nutri-priming) (Alves et al. 2019) et les phytohormones (hormo-priming) (Mansour et al. 2019; Ellouzi et al. 2021). D'autres études ont proposé les Espèces Réactives à l'Oxygène (chimio ou redox-priming) comme agents efficaces dans le processus de prétraitement des graines (Sen and Puthur, 2023). Il convient de signaler que la plupart des recherches sur le priming ont montré des effets bénéfiques de tous les agents utilisés, en favorisant une synchronisation de la germination, une meilleure croissance, une floraison plus précoce et une tolérance accrue aux stress abiotiques tels que la salinité et/ou la sécheresse (Boucelha et al. 2021). Cependant, des différences spécifiques liées principalement à l'espèce, à la variété, voire même à l'organe (feuille/racine), à la concentration et au type d'agent utilisé, sont fréquemment enregistrées (Ellouzi et al. 2023).

La présente étude est une contribution à la recherche et à la compréhension des mécanismes impliqués dans le phénomène du priming et pouvant servir de méthodes simples pour l'amélioration de la tolérance à la contrainte saline des plantes cultivées à intérêt alimentaire et / ou fourrager. Notre travail consiste à étudier les conséquences d'hormo-priming, en utilisant l'acide gibbérellique (AG<sub>3</sub>) et d'osmo-priming, en utilisant le polyéthylène glycol (PEG), sur les performances germinatives des graines de mil (*Pennisetum glaucum*) ainsi

que sur la croissance des plantules qui en sont issues.

En particulier, le mil perlé ou millet à chandelle, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., est une Poacée annuelle cultivée depuis des millénaires en Afrique principalement pour ses graines comestibles mais aussi pour le fourrage (Plantnet, GBIF). La plante présente un port dressé aux tiges droites et longues pouvant atteindre 3 m de hauteur. Les feuilles sont également longues (jusqu'à 1,5 m de longueur), alternes et engainantes. La tige développe une inflorescence en panicule semblable à celle des joncs, d'où son nom de millet à chandelle. Les graines de type caryopse sont globuleuses, de couleur blanche, jaune ou grise, et ressemblent à des perles, lui valant le nom de mil perlé. Il s'agit d'autre part d'une culture vivrière pouvant être intégrée, à juste titre, dans le cadre d'une stratégie nationale de sécurité alimentaire.

## 2. MATERIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Traitements pré-germinatifs et mise en culture sur boîte de Pétri

Des graines de mil (*Pennisetum glaucum* L.), provenance Bizerte, ont été soumises à deux traitements pré-germinatifs durant 12 h et à 25°C avant d'être semés dans des boîtes de Pétri. Les solutions des prétraitements sont les suivantes: PEG (20%) et AG<sub>3</sub> (50 ppm). Ces prétraitements ont été suivis d'un séchage à température ambiante pendant 48 h, jusqu'à ce que les graines aient repris leur humidité initiale. Les graines prétraitées (GP) et non prétraitées (GNP) ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri (à raison de 20 graines par boîte et 3 boîtes par traitement) contenant du papier filtre stérile. Les boîtes ont été placées à l'obscurité dans un incubateur où la température est fixée à 22°C et irriguées tous les deux jours avec de l'eau distillée (contrôle) ou bien avec 100 mM NaCl (contrainte saline). Après 6 jours, les boîtes ont été transférées dans une chambre de culture à une température moyenne de 22°C. Âgées de 2 semaines, les plantules ont été récoltées pour des analyses ultérieures.

### 2.2. Paramètres de germination

La cinétique de germination a été suivie quotidiennement pendant 8 jours. La levée correspond à l'apparition de la racine de longueur 2 à 3 mm. L'arrivée à ce stade a également été prise en considération dans l'évaluation de différents paramètres de germination en utilisant les formules d'Al-Mudaris (1998).

Pourcentage de germination:  $P (\%) = G/N * 100$  avec G = nombre de graines germées et N = nombre de graines mises à germer.

Indice de taux de germination :

$ITG = G1 / 1 + G2 / 2 + \dots + Gx / x$  avec G1 le pourcentage de germination au jour 1, G2 le pourcentage de germination au jour 2 et Gx le pourcentage de germination au dernier jour de comptage.

Les longueurs des racines et des coléoptiles (cm) ont été mesurées quotidiennement afin de déterminer la vigueur de croissance.

### 2.3. Croissance et statut hydrique

Suite à la récolte, les matières sèches (MS) sont déterminées, après dessiccation dans une étuve à 60°C pendant 72 h et jusqu'à déshydratation totale.

L'hydratation des tissus a été exprimée en ml/g MS en utilisant la formule suivante :

Teneur en eau (ml/g MS) = (biomasse fraîche - biomasse sèche) / biomasse sèche.

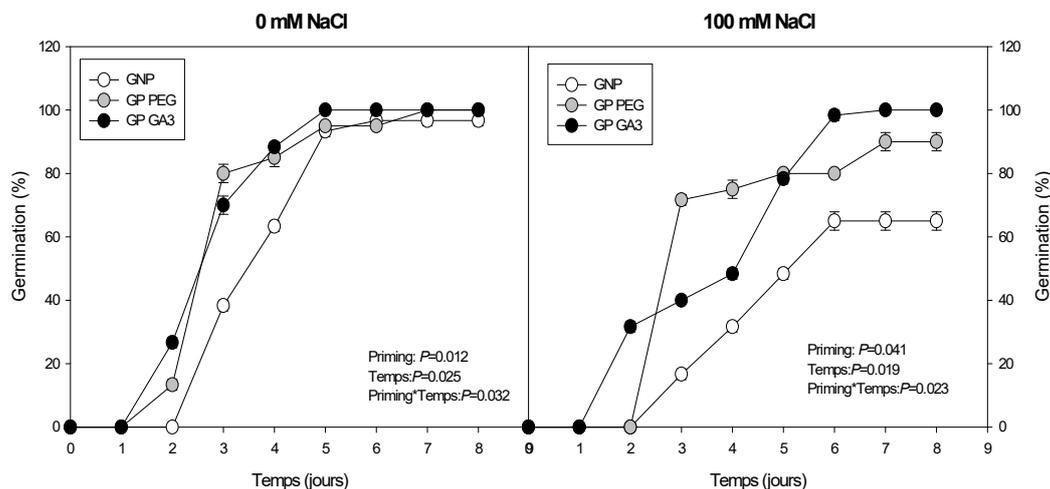
### 2.4. Analyses statistiques

L'analyse statistique des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel statistique SPSS 16.0. Au cours de ce travail, deux types d'analyse statistique ont été effectués : one-way ANOVA et two-way ANOVA (P<0.001). L'analyse de variance à un facteur a été utilisée pour évaluer les différences significatives entre les groupes de données dans un seul facteur. L'analyse de variance à deux facteurs a été employée pour évaluer les interactions entre deux facteurs indépendants, en l'occurrence, les types de prétraitement (osmo-priming et hormo-priming) et les conditions de salinité (contrôle et salinité).

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Effets du prétraitement des graines sur la performance germinative sous contrainte saline

Les résultats relatifs au pourcentage de germination des graines prétraitées (GP) ou non prétraitées (GNP) par le PEG ou par l'AG<sub>3</sub> et exposées par la suite au sel sont présentés dans la Fig. 1. En condition normale, l'amorçage des graines accélère légèrement la germination. En effet, cela s'est traduit par un retard de germination (3 jours) des GNP par rapport aux GP, et ceci quel que soit l'agent d'amorçage. Sous contrainte saline, l'amorçage des graines, particulièrement avec l'AG<sub>3</sub>, a amélioré la vitesse et le taux de germination du mil. Ainsi, nos résultats ont montré une diminution de pourcentage de germination de 33% pour les



**Fig. 1.** Effet du prétraitement des graines sur le pourcentage de germination de *Pennisetum glaucum* en conditions contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl). GNP: Graines Non Prétraitées, GP PEG: Graines Prétraitées avec du PEG, GP GA<sub>3</sub>: Graines Prétraitées avec du GA<sub>3</sub>.

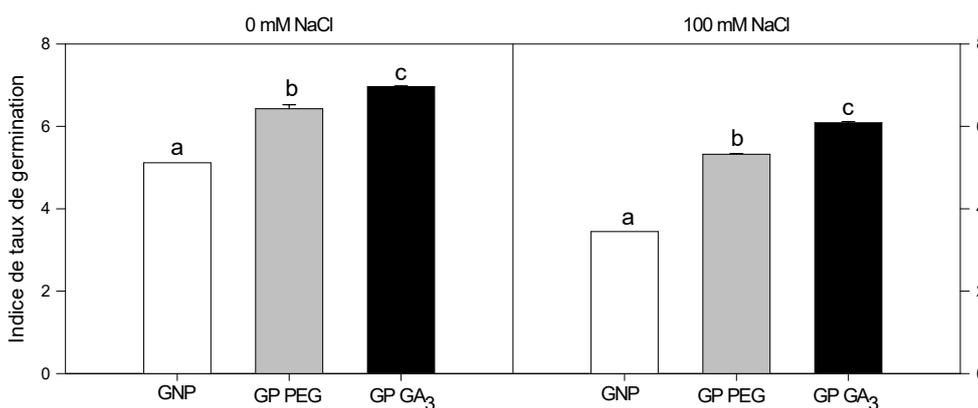
**Fig. 1.** Effect of seed pre-treatment on germination percentage of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions. GNP: Non-Pretreated Seeds, GP PEG: Seeds Pretreated with PEG, GP GA<sub>3</sub>: Seeds Pretreated with GA<sub>3</sub>.

GNP à la fin du traitement salin comparativement au contrôle.

Cette réponse est accompagnée d'autre part par l'indice du taux de germination (ITG) le plus faible (3,3) (Fig. 2). De manière globale, nous avons constaté que toutes les graines prétraitées ont montré une amélioration de tous les paramètres de germination, et ce, en absence ou bien en présence de NaCl. Cependant, des différences spécifiques liées à l'agent de priming ont été observées.

Dans ce cas, les semences ayant subi un hormo-

priming par l'AG<sub>3</sub> ont montré une accélération de la vitesse de germination, après le 2<sup>ème</sup> jour de mise en germination en milieu salin, dépassant même celle des graines en condition contrôle. Il est à noter aussi que les graines de mil amorcées avec l'AG<sub>3</sub>, et exposées au sel, ont montré le meilleur pouvoir de germination dès le 5<sup>ème</sup> jour (80%) pour atteindre un maximum de 100% au bout de 6 jours, et un indice du taux de germination le plus élevé (7,5), et ce, relativement aux GNP mises en germination en milieu salin.



**Fig. 2.** Effet du prétraitement des graines sur l'indice du taux de germination de *Pennisetum glaucum* en conditions contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl). GNP: Graines Non Prétraitées, GP PEG: Graines Prétraitées avec du PEG, GP GA<sub>3</sub>: Graines Prétraitées avec du GA<sub>3</sub>.

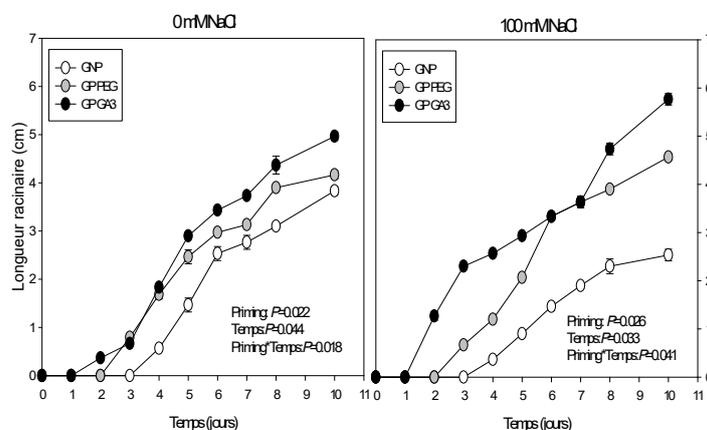
**Fig. 2.** Effect of seed pre-treatment on germination rate index of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions. GNP: Non-Pretreated Seeds, GP PEG: Seeds Pretreated with PEG, GP GA<sub>3</sub>: Seeds Pretreated with GA<sub>3</sub>.

### 3.3. Effets du prétraitement des graines sur la longueur racinaire

Les résultats relatifs à la longueur des racines sont illustrés dans la Fig. 3. Suite à l'analyse de ce paramètre, nous avons enregistré au niveau du lot des GNP que la longueur racinaire diminue de 37% par rapport au témoin, et ce après 10 jours de l'application du sel. De nouveau, tous les types de prétraitement (osmo- et hormo-priming) étaient bénéfiques pour l'amélioration de la réponse du mil en présence ou en absence de sel. De même, des différences liées à l'agent du priming sont apparues confirmant l'action privilégiée de l'AG<sub>3</sub>. Ainsi, ce dernier a amélioré la croissance des racines lors de l'exposition au sel de 227%, et ce, relativement aux racines issues des GNP et exposées au sel.

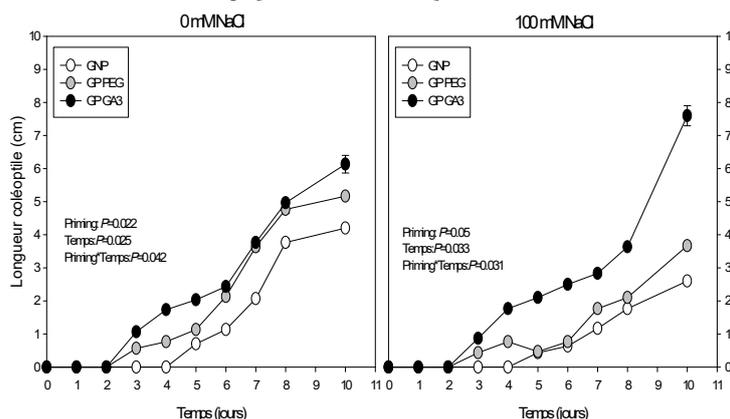
### 3.4. Effets du prétraitement des graines sur la longueur des coléoptiles

Les résultats relatifs à la longueur des coléoptiles, illustrés dans la Fig. 4, rappellent et corroborent ceux correspondants à la longueur racinaire. Sous l'effet du sel, nous avons noté une diminution de la longueur des coléoptiles, par rapport au témoin. Cette diminution a été prononcée dans le cas des GNP (65%). De même, les prétraitements appliqués étaient bénéfiques pour l'amélioration de la réponse du mil au sel. Comme pour la longueur racinaire, l'AG<sub>3</sub> a amélioré, d'une manière la plus significative (290%) la croissance des coléoptiles lors de l'exposition au sel comparativement aux GNP.



**Fig. 3.** Effet du prétraitement des graines sur la longueur des racines de *Pennisetum glaucum* en condition contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl).

**Fig. 3.** Effect of seed pre-treatment on roots length of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions.



**Fig. 4.** Effet du prétraitement des graines sur la longueur des coléoptiles de *Pennisetum glaucum* en condition contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl). GNP: Graines Non Prétraitées, GP PEG: Graines Prétraitées avec du PEG, GP GA<sub>3</sub>: Graines Prétraitées avec du GA<sub>3</sub>.

**Fig. 4.** Effect of seed pre-treatment on coleoptiles length of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions.

GNP: Non-Pretreated Seeds, GP PEG: Seeds Pretreated with PEG, GP GA<sub>3</sub>: Seeds Pretreated with GA<sub>3</sub>.

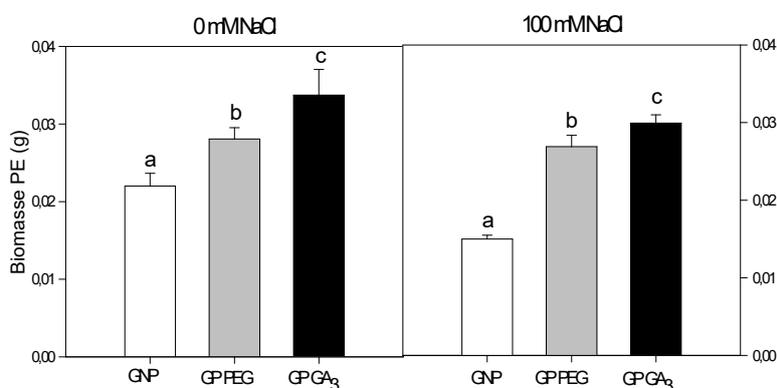
### 3.5. Effet du prétraitement des grains sur la production de biomasse

La Fig. 5 montre l'effet du prétraitement des graines de mil sur la production de la biomasse sèche des plantes entières. De manière globale, tous les groupes de plantules provenant des graines prétraitées ont manifesté une meilleure production de biomasse, et ce, en condition contrôle (0 mM NaCl) ou bien en condition de salinité (100 mM NaCl). De nouveau, les essais conduits sur les plantules issues des semences traitées avec AG<sub>3</sub> et cultivées en présence de sel ont montré le niveau le plus élevé de production de biomasse (193%), relativement aux plantules des GNP.

### 3.6. Effet du prétraitement des graines sur le statut hydrique

Nos résultats ont montré que pour les plantules issues des GNP, la contrainte saline affecte le statut hydrique de 50% par rapport à leurs homologues témoins (Fig. 6).

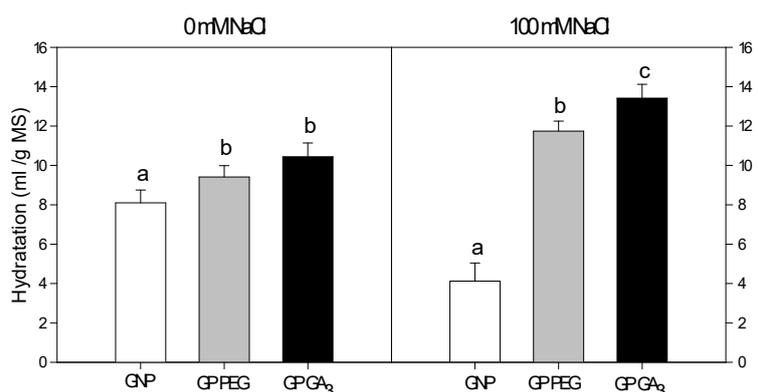
En présence de NaCl, les plantules issues des GP ont montré une amélioration statistiquement significative des teneurs en eau. Il est intéressant de noter que les plantules provenant des GP par l'AG<sub>3</sub> manifestent, de nouveau, une meilleure hydratation des tissus en affichant 330% d'augmentation des teneurs en eau, et ce, par rapport aux plantules issues des GNP et exposées au sel (Fig. 6).



**Fig. 5.** Effet du prétraitement des graines sur la production de biomasse de *Pennisetum glaucum* en condition contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl).

**Fig. 5.** Effect of seed pre-treatment on biomass production of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions.

Biomasse PE: Biomasse Plante Entière, GNP: Graines Non Prétraitées, GP PEG: Graines Prétraitées avec du PEG, GP GA<sub>3</sub>: Graines Prétraitées avec du GA<sub>3</sub>.



**Fig. 6.** Effet du prétraitement des graines sur l'état d'hydratation de *Pennisetum glaucum* en condition contrôle (0 mM NaCl) et de salinité (100 mM NaCl). GNP: Graines Non Prétraitées, GP PEG: Graines Prétraitées avec du PEG, GP GA<sub>3</sub>: Graines Prétraitées avec du GA<sub>3</sub>.

**Fig. 6.** Effect of seed pre-treatment on hydration status of *Pennisetum glaucum* under control (0 mM NaCl) and salinity (100 mM NaCl) conditions. GNP: Non-Pretreated Seeds, GP PEG: Seeds Pretreated with PEG, GP GA<sub>3</sub>: Seeds Pretreated with GA<sub>3</sub>.

#### 4. DISCUSSION

D'après cette étude, nous constatons que, quel que soit le type de l'agent utilisé, le prétraitement des graines améliore les performances germinatives, la croissance et le statut hydrique du mil cultivé en présence de sel (100 mM NaCl), d'une manière hautement significative ( $P < 0.001$ ). Cependant des différences associées, essentiellement, à l'agent de priming ont été mises en évidence.

La germination des graines est un processus clef du développement dans le cycle de vie des végétaux. A l'issue des résultats relatifs aux paramètres de germination, nous avons observé un meilleur potentiel de germination chez le lot des GP avec l'AG<sub>3</sub> en comparaison avec les autres groupes de graines. En effet, ces graines ont germé dès le deuxième jour de la mise en germination en milieu salin. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les semences traitées avec l'AG<sub>3</sub> ont rapidement achevé les deux premières phases de germination de sorte qu'elles germent immédiatement après le semis, et par conséquent une augmentation du pourcentage de leur germination ainsi qu'une stimulation rapide et précoce de la levée des plantules (Mohammed et al. 2023) sont observées. Selon Shah et al. (2023), l'amorçage avec l'AG<sub>3</sub> permet de déclencher des processus pré-germinatifs et d'induire également une forte mobilisation des réserves associée à une forte activation de certains gènes responsables de la tolérance au sel. Nos données sont en accord avec les travaux de Balaguera-Lopez et al. (2008) qui ont montré que le prétraitement des graines de tomate avec l'AG<sub>3</sub> provoque clairement une accélération de la germination. Les mêmes observations ont été enregistrées chez plusieurs espèces telles que le brocoli (Ellouzi et al. 2021), le chou (Ellouzi et al. 2017), le pois (Ahmad et al. 2021), la fève (Rady et al. 2021) et l'orge (Mohammed et al. 2023).

En analysant l'effet de l'amorçage, la croissance (production de matière sèche) des plantules issues des GP, il est apparu que la meilleure capacité germinative observée chez le lot des GP avec l'AG<sub>3</sub> est accompagnée d'une meilleure habilité à croître en condition saline sévère (100 mM NaCl). Malgré ces conditions, la plante n'était pas dans un état de stress, ce qui confirme l'augmentation de la croissance observée chez ce groupe durant toute la période de traitement salin. Il s'agit de l'effet régulateur de l'acide gibbérellique, considéré comme phytohormone de croissance (Shah et al. 2023). Ceci a été aussi vérifié par Singh et al. (2017), en montrant que

cette phytohormone est largement utilisée comme médiateur clé dans la perception du stress salin et la réponse sur la croissance. Ce fait a été bien établi aussi chez la majorité des plantes sensibles au sel, telles que le pois chiche (Shariatmadari et al. 2017) et le melon (Barbosa et al. 2016).

La première difficulté d'une plante en milieu salin est d'assurer l'alimentation hydrique de ses tissus. De ce fait, la modification de la composante hydrique est l'un des effets précoces s'ajoutant à la diminution de la croissance (Huang et al. 2012). Nos résultats démontrent de nouveau que la meilleure performance de croissance des plantules issues des GP avec l'AG<sub>3</sub> est associée à un fort potentiel de maintenir l'alimentation hydrique. Cet effet se poursuit durant toute la période d'application du sel pour montrer à la fin de l'expérience des niveaux d'hydratation dépassant même les plantes en condition contrôle (non exposées au sel), signe d'ajustement osmotique. Ces résultats rejoignent ceux de Mustafa et al. (2017) qui ont démontré que cet effet bénéfique de l'AG<sub>3</sub> sur l'ajustement osmotique peut être relié à une augmentation de l'expression des aquaporines, ainsi qu'une stimulation de la biosynthèse des osmolytes au niveau des embryons (Bhat et al. 2023).

L'examen de ces travaux de recherche suggère que le priming est une mise en mémoire plus intense, qui engendre une tolérance croisée aux stress (Munné-Bosh, 2013), ce qui indique que le prétraitement aide la plante à conserver une mémoire de stress qui pourrait être transmise aux générations ultérieures et, par conséquent, à améliorer sa réactivité envers son environnement. À cet égard, certaines études suggèrent que le phénomène de « priming/plant memory » est contrôlé par des mécanismes épigénétiques qui influencent l'expression de certains gènes sans en modifier la séquence (Sun et al. 2021).

#### 5. CONCLUSION

Dans l'ensemble, les résultats de cette étude mettent en évidence les effets bénéfiques des différents traitements de prétraitement des graines, que ce soit par osmo-amorçage ou hormo-amorçage. Cependant, il est crucial de souligner que des différences significatives ont été observées en fonction du type de prétraitement employé. Plus spécifiquement, les plantes issues du groupe de prétraitement avec l'AG<sub>3</sub> (hormone de croissance) ont affiché une performance germinative nettement

supérieure. Cette amélioration de la performance germinative est attribuée à une capacité de croissance renforcée en présence de conditions salines, avec une vigueur accrue et un maintien de l'ajustement osmotique sur l'ensemble de la période de stress salin. Il est essentiel de noter que l'impact positif de l'AG3 est étroitement lié aux mécanismes de régulation de la croissance, faisant de cette phytohormone un élément clé dans l'amélioration des performances des plantes confrontées au stress salin. En outre, nos observations ont démontré que l'AG3 a non seulement accéléré la vitesse de germination, mais a également favorisé une croissance racinaire et coléoptilaire exceptionnelle en présence de sel. De plus, les plantules issues des graines prétraitées avec l'AG3 ont affiché la meilleure hydratation des tissus en situation saline, ce qui témoigne de l'efficacité de cette hormone dans le maintien du statut hydrique des plantes. En résumé, cette étude souligne l'importance cruciale de l'AG3 en tant qu'agent de prétraitement pour améliorer la réponse des plantes au stress salin. Ces résultats offrent des perspectives prometteuses pour l'agriculture durable et la culture du mil dans des environnements salins.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été soutenu par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (LR15 CBBC02).

## RÉFÉRENCES

- Anschütz, U., Becker D., Shabala, S. (2014). Going beyond nutrition: regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology* 171, 670–687. DOI:[10.1016/j.jplph.2014.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.01.009).
- Ahmad, P., Raja, V., Ashraf, M., Wijaya, L., Bajguz, A., Alyemeni, M.N. (2021). Jasmonic acid (JA) and gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) mitigated Cd-toxicity in chickpea plants through restricted cd uptake and oxidative stress management. *Scientific Reports* 11, 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98753-8>.
- Al-Mudaris, M. (1998). Notes on various parameters recording the speed of seed germination. *Der Tropenlandwirt* 99, 147-54.
- Alves, R.C., Nicolau, C.M., Checchio, M.V., Junior, G.S.S., Oliveira, F.A., Prado, R.M., Grata, P.L. (2019). Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. *Bragantia* 79, 19–29. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20190360>.
- Arif, M., Afrin, S., Polash, M.A.S., Akter, T., Ray, S.R., Hossain, M.T., Hossain, M.A. (2019). Role of exogenous signaling molecules in alleviating salt-induced oxidative stress in rice (*Oryza sativa* L.): a comparative study. *Acta Physiologia Plantarum* 41, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11738-019-2861-6>.
- Balaguera-López, H.E., Cárdenas-Hernández, J.F., Álvarez-Herrera, J.G. (2008). Effect of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on seed germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *ISHS Acta Horticulturae* 821: International Symposium on Tomato in the Tropics. <https://doi.org/10.1766/ActaHortic.2009.821.15>.
- Barbosa, W.F.S., Steiner, F., Oliveira, L.C.M., Henrique, P., Chagas, M.D. (2016). Comparison of seed priming techniques with regards to germination and growth of watermelon seedlings in laboratory condition. *African Journal of Biotechnology* 15, 2596-2602. DOI:[10.5897/AJB2016.15279](https://doi.org/10.5897/AJB2016.15279).
- Bhat, J.A., Basit, F., Alyemeni, M.N., Mansoor, S., Kaya, C., Ahmad, P. (2023). Gibberellic acid mitigates nickel stress in soybean by cell wall fixation and regulating oxidative stress metabolism and glyoxalase system. *Plant Physiology and Biochemistry* 198, 107678. DOI: [10.1016/j.plaphy.2023.107678](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107678).
- Boucelha, L., Abrous-Belbachir, O., Djebbar, R. (2021). Is protein carbonylation a biomarker of seed priming and ageing?. *Functional Plant Biology* 48, 611-623. <https://doi.org/10.1071/FP21001>.
- Ellouzi, H., Sghayar, S., Abdelly, C., (2017). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> seed priming improves tolerance to salinity; drought and their combined effect more than mannitol in *Cakile maritima* when compared to *Eutrema salsugineum*. *Journal of Plant Physiology* 210, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.014>.
- Ellouzi, H., Oueslati, O., Hessini, K., Rabhi, M., Abdelly, C. (2021). Seed-priming with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> alleviates subsequent salt stress by preventing ROS production and amplifying antioxidant defense in cauliflower seeds and seedlings. *Scientia Horticulturae* 288, 110360. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110360>.

- Ellouzi, H., Rabhi, M., Khedher, S., Debez, A., Abdelly, C., Zorrig, W. (2023). Silicon seed priming enhances salt tolerance of barley seedlings through early ROS detoxification and stimulation of antioxidant defence. *Silicon* 2, 941. <https://doi.org/10.1007/s12633-022-02001-1>.
- GBIF (2023). Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org/fr/species/2706141>. accédé le 15/11/2023.
- Huang, G.T., Ma, S.L., Bai, L.P., Zhang, L., Ma, H., Jia, P., Liu, J., Zhong, M., Guo, Z.F. (2012). Signal transduction during cold, salt, and drought stresses in plants. *Molecular Biology Reports* 39, 969- 987. DOI: [10.1007/s11033-011-0823-1](https://doi.org/10.1007/s11033-011-0823-1).
- Jisha, K.C., Vijayakumari, K., Puthur, J.T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologia Plantarum* 35, 1381-1396. <https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>.
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cikili, Y., Kolsarici, O. (2006). Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy* 24, 291-295. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>.
- Mansour, M.M., Ali, E.F., Salama, K.H. (2019). In: Hasanuzzaman M., Fotopoulos V., Nahar K., Fujita M. (eds) Does seed priming play a role in regulating reactive oxygen species under saline conditions? Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species. *Plants: production, metabolism, signaling and defense mechanisms*, 1<sup>st</sup>edn. Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch18>.
- Mohammed, A., Baldwin, B. (2023). Effect of seed priming with gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) on seed germination and seedling growth of some barley varieties (*Hordeum vulgare* L.). *Tikrit Journal for Agricultural Sciences* 190-200. DOI:<https://doi.org/10.25130/tjas.23.2.16>.
- Munné-Bosch, S., Queval, G., Foyer, C.H. (2013). The impact of global change factors on redox signaling underpinning stress tolerance. *Plant Physiology* 161, 5-19. DOI: [10.1104/pp.112.205690](https://doi.org/10.1104/pp.112.205690).
- Mustafa, H.S.B., Mahmood, T., Ullah, A., Sharif, A., Bhatti, A.N., Nadeem, M., Ali, R. (2017). Role of seed priming to enhance growth and development of crop plants against biotic and abiotic stresses. *Bulletin of Biological and Allied Sciences Research Section Plant Sciences* 2, 1-11.
- PlantUse (2023). [https://uses.plantnet-project.org/fr/Pennisetum\\_glaucum\\_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Pennisetum_glaucum_(PROTA)).
- Rady, M.M., Boriek, S.H., El-Mageed, A., Taia, A., Seif El-Yazal, M.A., Ali, E.Z., Abdelkhalik, A. (2021). Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in *Vicia faba* by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. *Plants* 10:748. <https://doi.org/10.3390/plants10040748>.
- Sen, A., Puthur, J.T. (2023). Comparative Study of Cis-and Trans-Priming Effect of PEG and BABA in Cowpea Seedlings on Exposure to PEG-Induced Osmotic Stress. *Seeds* 2(1), 85-100. <https://doi.org/10.3390/seeds2010007>.
- Shah, S.H., Islam, S., Mohammad F., Siddiqui, M.H. (2023). Gibberellic Acid: A Versatile Regulator of Plant Growth, Development and Stress Responses. *Journal of Plant Growth Regulation*. <https://doi.org/10.1007/s00344-023-11035-7>.
- Shariatmadari, M.H., Parsa, M., Nezami, A., Kafi, M. (2017). Effects of hormonal priming with gibberellic acid on emergence, growth and yield of chickpea under drought stress. *Bioscience Research* 14, 34-41.
- Singh, P., Singh, D., Bahadur, V., Jaiswal, D.K. (2017). Study on Naphthalene Acetic Acid and Gibberellic Acid on Growth and Quality of Capsicum (*Capsicum annum* L.) cv. Indra under Shade Net Conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6, 2582-2585. DOI:[10.20546/ijcmas.2017.606.307](https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.307)
- Sun, K., Yue, Y., Zhang, H., Yang, N., Wen, D., Li, X., Wang, K. (2020). Potential of gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) and uniconazole for enhancing the Cd absorption efficiency of maize (*Zea mays* L.). *Polish Journal of Environmental Studies* 30, 851-861.