



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifiques

جامعة محمد البشير الابراهيمي برج بوعريبيج

Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie se des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Départements des Sciences Agronomiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Amélioration des plantes

Thème

**Implication des voies du transport d'auxine dans la réponse
aux stress abiotique chez le maïs**

Présenté par : Mme TEBBAKH Kenza

Melle CHELIGUA Imane

Devant le jury :

Président : M. OULD KIAR R.	MAA	Univ. Bordj Bou Arreridj
Encadrant : M. ZERROUK I.Z.	MCA	ENS Constantine
Co-Encadrant: Mme TABTI D.	MCB	Univ. Bordj Bou Arreridj
Examineur : Mme KELALECHE H.	MCA	Univ. Bordj Bou Arreridj

Année universitaire : 2020/2021

Remerciements

Tout d'abord, louange à « ALLAH » qui nous a donné le courage, nous a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail et nous a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait pas abouti.

Avant de présenter ce travail, nous tenons à remercier tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à sa réalisation.

On tient aussi à exprimer notre plus grand respect et nos vifs remerciements à Monsieur OULD KIAR Rida professeur à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. pour son acceptation de présider le jury.

Nos remerciements les plus profonds vont aussi à madame KELALECHE Haizia professeur à l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail.

Nos sincères remerciements vont à Monsieur ZERROUK Izzeddine Zakarya, professeur à l'Ecole Normale Supérieure Assia Djebbar Constantine, qui a fait preuve d'une grande patience et qui a été d'une grande aide dans la réalisation de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à Mme. TABTI Dahbia professeur à l'université de BBA. Qu'elle trouve ici, l'expression de notre profonde reconnaissance, notre immense gratitude et notre grand respect, pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa grande disponibilité, sa confiance et ses encouragements.

Dédicace

Aux deux êtres les plus chers au monde, qui ont souffert nuit et jour pour nous couvrir de leur amour : mes parents. A ma source de bonheur, les prunelles de mes yeux : mon père SAOUD et ma mère SAHRA.

Je dédie aussi ce modeste travail :

A mon mari et mon âme YAKOUB, et toute sa famille.

A mes très chères sœurs : MOUNA, KARIMA et FARAH.

A mes très chers frères : FARES et YAKOUB.

A ma chère tante : NADIA.

A mon cher oncle : MEBARK et MERZAK.

Ainsi que pour toute mes amies.

A toute la promotion d'Amélioration des plantes 2021.

A tous ceux que j'aime et respecte.

KENZA

Dédicace

A mes parents,

Il n'y a pas assez de mots pour décrire à quel point je vous suis reconnaissant, vous m'avez tous les deux beaucoup appris et vos leçons sont et seront toujours les clés de mes exploits. Vous êtes les vrais héros et sans votre support incontestable je ne serai arrivée jusqu'ici. Puisse Allah vous bénir et vous protéger.

A ma famille,

Votre soutien n'est pas du tout négligé, vous étiez toujours à l'écoute et toujours disponible à mes côtés. Je suis heureuse et fière de vous avoir comme famille.

Aussi, je tiens à remercier mon fiancé, qui m'a donné un coup de main à chaque instant où j'avais besoin d'aide.

A tous les amis et les camarades,

Pour tous les bons moments que nous avons partagés ensemble. Merci d'exister.

IMANE

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des photos

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction.....1

Matériels et Méthodes

1. Matériel végétal.....4

2. Matériels de laboratoire.....4

2.1. Les produits.....4

2.2. Le matériel utilisé4

3. Méthodologie du travail.....4

3.1. Protocole expérimental.....4

3.1.1. Préparation des solutions.....5

3.1.2. Mise à germination.....6

3.2. Principes des méthodes de mesure des paramètres8

3.2.1. Poids des racines : frais et sec.....8

3.2.2. Nombres des racines : séminales et latérales.....8

3.2.3. Longueur des racines : principales et séminales.....8

3.3. Analyse des données.....8

Résultats et discussion

1. Analyse des résultats9

1.1. Poids Frais.....9

1.2. Longueur de la racine principale.....10

1.3. Nombre des racines séminales.....11

1.4. Longueur des racines séminales.....12

1.5. Nombre des racines latérales.....13

1.6. Poids sec15

1.7. Les corrélations17

2. Discussion générale.....19

Conclusion.....	22
Références bibliographiques.....	23

Résumés

Liste des tableaux

Tableau I : Les traitements utilisé.....	5
Tableau II : Analyse de la variance de poids frais.....	9
Tableau III : Analyse de la variance de longueur de la racine principale.....	10
Tableau IV : Groupes homogènes de longueur de racine principale.....	11
Tableau V : Analyse de la variance de nombre des racines séminales.....	12
Tableau VI : Analyse de la variance de longueur des racines séminales.....	13
Tableau VII : Groupes homogènes de longueur des racines séminales.....	13
Tableau VIII : Analyse de la variance de nombre des racines latérales.....	14
Tableau IX : Groupes homogènes de nombre des racines latérales.....	15
Tableau X : Analyse de la variance de poids sec.....	16
Tableau XI : Représentation les corrélations entre les paramètres morphologique.....	17

Liste des photos

Photo 01 : Graines de maïs	4
Photo 02 : Préparation des solutions.....	5
Photo 03 : Mise des graines dans les solutions préparées	6
Photo 04 : La germination des graines.....	7
Photo 05 : La morphologie des plantules.....	7
Photo 06 : La détermination des paramètres morphologique.....	8

Liste des figures

Figure 01 : Représentation graphique des moyennes de poids frais.....	9
Figure 02 : Représentation graphique des moyennes de Longueur de la racine principale...	10
Figure 03 : Représentation graphique des moyennes de nombre des racines séminales.....	11
Figure 04 : Représentation graphique des moyennes de longueur des racines séminales.....	12
Figure 05 : Représentation graphique des moyennes de nombre des racines latérales.	14
Figure 06 : Représentation graphique des moyennes de poids sec.....	15

Liste des abréviations

Na Cl : Chlorure de sodium

DMSO : Diméthylsulfoxyde

NPA : Acide NaphthylPhthalamique.

AIA : Acide indole-3-acétique (auxine).

ABA : Acide abscissique.

PF : Poids frais.

Lr : Longueurs des racines.

Nrs : Nombres de racines séminales.

Nrl : Nombres de racines latérales.

PS : Poids sec.

Lrs : Longueurs de racines séminales

AIAH : Auxine protoné

Introduction

Le maïs (*Zea mays*) est une plante tropicale herbacée annuelle, largement cultivée comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais aussi comme plante fourragère (**Baubricourt et Hedin, 1988.**).

Le maïs est la céréale la plus cultivée au monde, la production de grains devance légèrement celles du riz et du blé. D'importantes surfaces sont également consacrées à la production de maïs-fourrage destiné à l'alimentation du bétail soit en vert, soit sous forme d'ensilage (**Gay, 1984**).

En Algérie le maïs était connu des indigènes avant 1830, il ne semble pas cependant que sa culture ait été très développée en Algérie avant l'implantation de la colonisation (**Rozet, 1833**).

Le maïs est une plante à grand développement végétatif (**Henri et al., 1968**). Le système racinaire est du type fasciculé avec la racine principale issue des racines séminales, des racines secondaires constituant la partie fonctionnelle et les racines d'ancrage qui assurent la fixation de la plante au sol (**Hiema, 2005**). La tige d'une hauteur variant de 1,5 à 2,5 m, présente des entre-nœuds presque cylindriques d'un diamètre d'environ 3 à 4 cm (**Hiema, 2005**). Les feuilles sont alternes et présentent chacune une gaine embrassante munie de poils plus ou moins abondants en fonction des variétés. On compte en général entre 8 à 20 feuilles. (**Hiema, 2005**). L'épi est porté par un pédoncule de longueur variable. Il est enveloppé par 10 ou 20 spathes. Chaque épi est un ensemble d'épillets insérés sur un rachis ou rafle. Un épillet renferme 2 fleurs femelles insérées sur des glumes courtes. La fleur supérieure en général plus âgée est la seule fertile et entourée de glumes. Chaque fleur comporte un ovaire surmonté d'une longue soie (**Hiema, 2005**). Un grain de maïs est constitué de trois parties principales qui sont l'embryon, l'albumen et une membrane fibreuse mince (**Boukari, 2016**).

Le maïs comme les autres plants répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements, révélant le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques (**Bataillon et al., 2006**).

Parmi les stress abiotiques, on trouve le stress salin. La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na⁺ et Cl⁻ cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et une limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (**Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005**), l'arrêt de la croissance est

Introduction

directement lié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (**Greenway et Munns, 1980 in Parida et Das,2005**).

Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress (**Parida et Das, 2005**). Le stress salin se manifeste aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (**Chartzoulakis et Klapaki, 2000**).

Une fois que la plante est exposée au stress, elles synthétisent des molécules actives (les phytohormones) en quantité inhabituellement importantes, qui gouvernent l'ensemble des processus de leur croissance, de leur différenciation et de leur développement, leur permettant ainsi de s'adapter sans cesse aux différentes conditions de leur environnement. Leur modes d'action sont multiples et complexe, impliquant des récepteurs spécifiques et des voies de signalisation moléculaires pas toujours complètement identifiées. Parmi ces phytohormone, l'auxine (**Morot-Gaudry et al., 2017**).

L'auxine (Acide indole-3-acétique) naturelle est la plus courante dans le monde végétal. Elle a un effet positif sur la croissance des racines, la prolifération cellulaire et l'absorption des minéraux et des nutriments du sol par la plante (**Vessey, 2003**). Il faut cependant noter que la plupart de ces substances sont impliquées dans les voies de synthèse de l'AIA, en tant qu'intermédiaires, et il n'est pas clairement établi si elles ont une action auxinique par elles-mêmes ou si leur effet résulte de leur conversion rapide en AIA lors du test biologique (effet de précurseurs). D'autres substances non indoliques comme l'acide phénylacétique ont une action auxinique plus faible, à même concentration que l'AIA (**Peret, 2007**).

La synthèse de l'auxine chez les plantes supérieures s'effectue dans les apex des tiges, les méristèmes, les jeunes feuilles et les bourgeons terminaux (**Rambour, 2003**). Selon **Roussel (1974)**, l'auxine possède de nombreux rôles, son action dépende à la fois de sa concentration et du type de tissu sur lequel elle agit. Parmi ses rôles (**Roussel, 1974**):

- L'auxine est impliquée dans le contrôle de la division cellulaire chez les plantes, elle est requise pour que les cellules puissent entrer dans le cycle cellulaire.
- L'auxine est capable de stimuler l'élongation des cellules de la partie aérienne de la plante.

Introduction

- L'auxine joue un rôle essentiel dans l'activité du cambium et dans la formation des vaisseaux conducteurs qui forment le bois.
- L'auxine joue également un rôle majeur à toutes les étapes de la reproduction. Elle est essentielle à la croissance du fruit.
- La parthénocarpie (production de fruit sans fécondation de l'ovule) peut être induite chez de nombreuses espèces par des applications d'auxine.

La mise en évidence du transport polarisé de l'auxine et l'étude des transporteurs doivent beaucoup à l'utilisation d'inhibiteurs spécifiques du transport, en particulier le NPA (Acide NaphthylPhthalamique) qui inhibe fortement l'efflux de l'auxine. Cet inhibiteur appartient à la classe des phototropines, molécules identifiées pour leurs effets sur les réponses tropiques. Certains métabolites secondaires naturellement présents dans la plante, notamment parmi les flavonoïdes, peuvent modifier le transport polarisé (**Morot-Gaudry et al., 2017**).

La vitesse moyenne de transport polarisé de l'auxine dans des tiges oscille entre 5 et 20 mm/h selon les plantes. À ce transport actif s'ajoute un transport par flux de sève par phloème, assurant une distribution plus rapide de l'hormone aux différents organes de la plante (**Morot-Gaudry et al., 2017**).

Dans notre travail, on va voir qu'elle est l'implication des voies du transport d'auxine dans la réponse aux stress abiotique (stress salin). Pour réaliser l'équilibre hormonal en supposant que les inhibiteurs de NPA diminuent la vitesse de distribution de l'hormone d'auxine dans le cas de salinité sur la plante de maïs, ou bien ces inhibiteurs ont un effet mauvais sur la plante.

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est constitué d'une variété commerciale de maïs (*Zea mays*). Des graines saines et homogènes ont été choisies (Photo 01).



Photo 01 : Graines de maïs (*Zea mays*).

2. Matériels de laboratoire

L'essai a été mené au niveau du laboratoire de Zoologie au niveau de l'université Mohamed El Bachir El Ibrahimy de Bordj Bou Arréridj.

2.1. Les produits

- Chlorure de sodium
- Diméthylsulfoxyde
- Acide NaphthylPhthalamique.
- Eau distillée.

2.2. Le matériel utilisé

- Incubateur.
- Les béchers.
- Micropipette (10 μ L et 100 μ L).
- Papier filtre.
- Balance de précision.

3. Méthodologie du travail

3.1. Protocole expérimental

Pour réaliser notre travail, nous avons adopté la méthodologie suivante (Zerrouk et al., 2016).

3.1.1. Préparation des solutions

Les traitements appliqués sont : Na Cl (150 mM) et NPA (10 et 20 μ M) (**photo 02**).

Pour préparer 150 mM de solution Na Cl, faire dissoudre 2.2 g de sel (NaCl) dans 250 ml d'eau distillée.

Pour préparer les solutions de NPA, d'abord dissoudre 14.5 mg de NPA en poudre dans 1 mL de DMSO (pour avoir la solution mère). Puis ajouter 100 et 200 μ L de la solution mère à 500 mL d'eau distillée pour avoir les concentrations 10 et 20 μ L respectivement.

Les tests seront conduits dans des béchers (ou tasses ou erlenmeyer) contenant 250 mL de solution. Dans chaque bécher, 30-40 semences de maïs seront plantées (devisées sur deux papiers filtres).

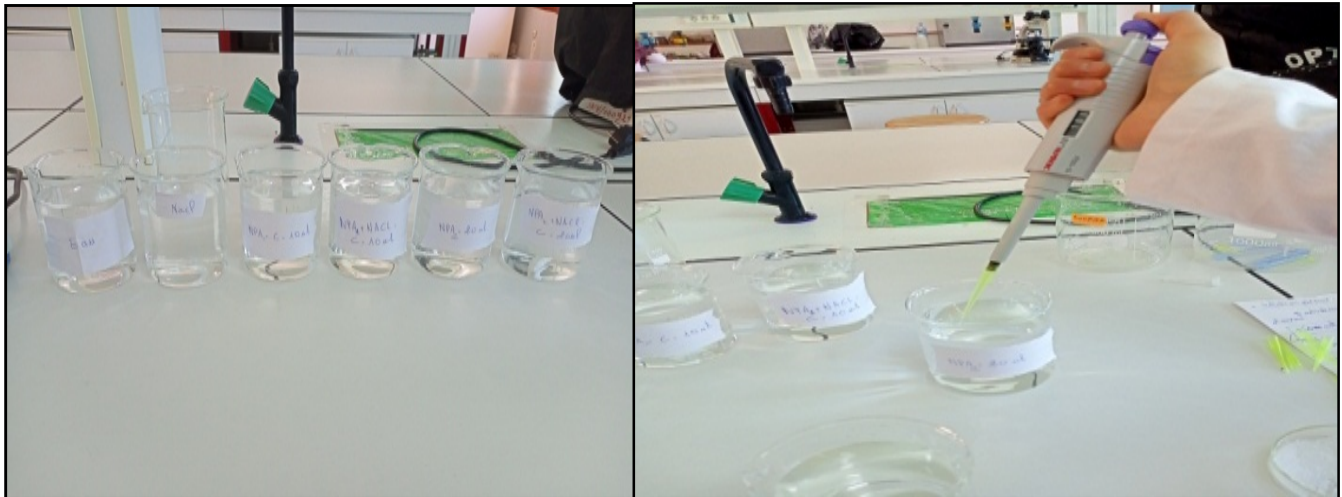


Photo 02 : Préparation des solutions.

Le nombre total de béchers est de 6 devisés comme mentionné dans le tableau suivant :

Tableaux I : les traitements utilisés.

Béchers	1	2	3	4	5	6
Traitement	Contrôle	NaCl	NPA1	NPA2	NaCl/NPA1	NaCl/NPA2

Contrôle : solution contenant que de l'eau distillée

NaCl : solution contenant 150 mM NaCl

NPA1 : solution contenant 10 μ M NPA

NPA2 : solution contenant 20 μ M NPA

NaCl/NPA1 : solution contenant 150 mM NaCl + 10 μ M NPA

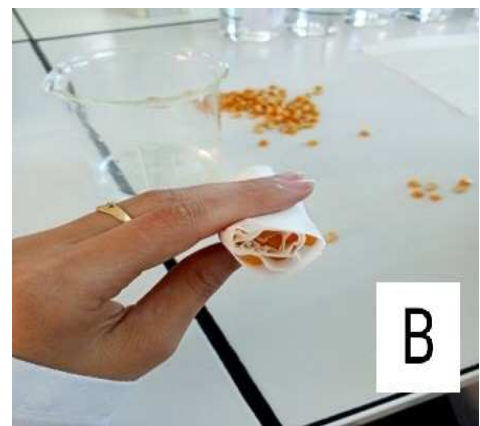
NaCl/NPA2 : solution contenant 150 mM NaCl + 20 μ M NPA

3.1.2. Mise à germinations

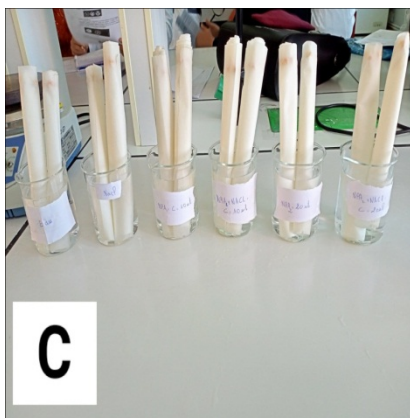
Les graines sélectionnées sont placées dans un papier filtre mouillé et nous roulons le papier sur les graines pour que chaque tour contient une graine et on mis les papiers dans les solutions déjà préparées (2 répétition dans chaque solutions) et mettre les bécher dans l'incubateur de 30 à 32 degré (**photo 03**).



A- Enroulement des graines sur le papier



B- La fin de l'enroulement du papier



C-Mise des graines dans les solutions



D-Mise dans l'incubateur

Photo 03 : Mise des graines dans les solutions préparées

Matériels et méthode

5 jours après l'expérience on obtient les résultats suivants (photo 04 et 05)



Photo 04 : La germination des graines

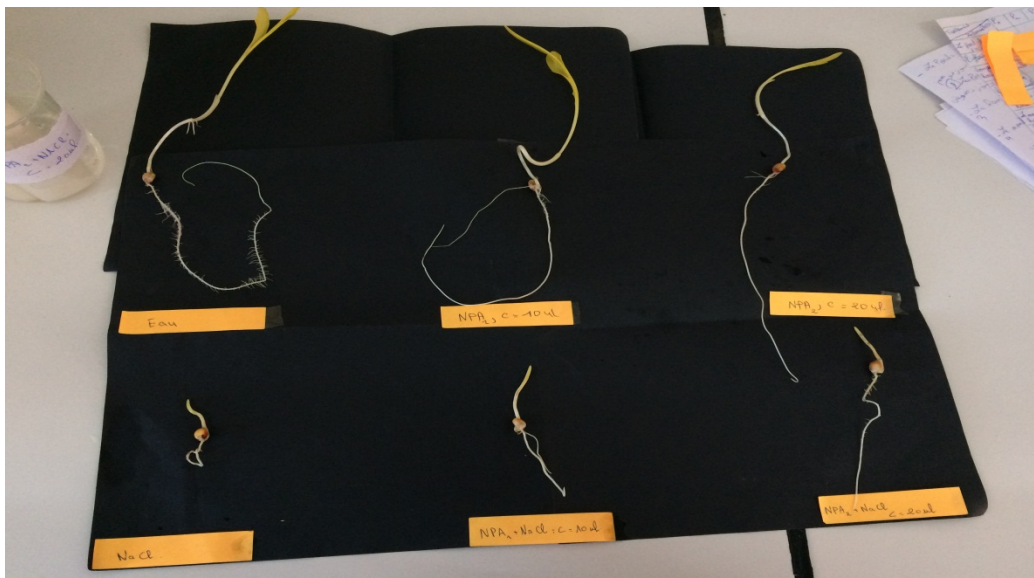


Photo 05 : La morphologie des plantules

3.2. Principes des méthodes de mesure des paramètres

Pour les mesures des paramètres morphologiques, on a choisi les plantules les plus homogènes (10 plantules) (photo 06).

3.2.1. Poids des racines : frais, sec

Les racines ont été pesées par une balance de précision pour obtenir le poids frais. Ces dernières mises dans l'incubateur 50° pendant 2jour pour obtenir le poids sec des racines.

3.2.2. Nombres des racines : séminale, Latérale

La détermination du nombre des racines séminales et latérales a été réalisée par comptage manuellement.

3.2.3. La longueur des racines : principale, séminale

La mesure de la longueur de racine principale et les racines séminales a été réalisée avec le papier millimétré.



Photo 06 : La détermination des paramètres morphologiques.

3.3. Analyse des données

L'analyse des données des paramètres morphologiques mesurés a été faite par le test de Tukey.

1. Analyse des résultats

1.1. Poids Frais

Les valeurs moyennes pour le poids frais des racines, exprimées en mg, sont représentées dans la figure 01. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées dans le tableau II.

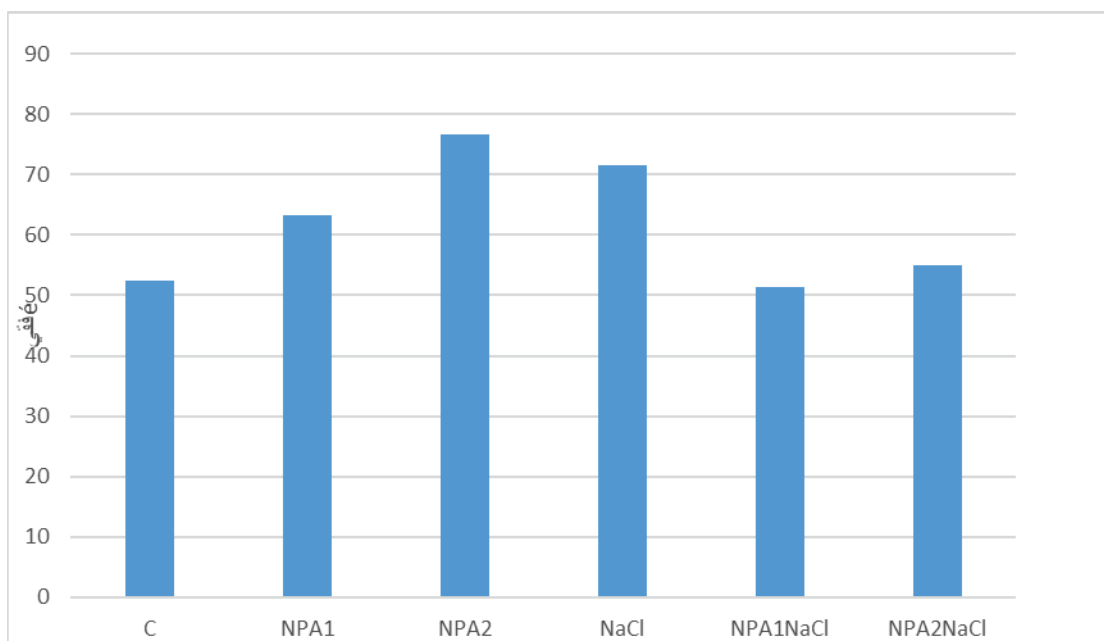


Figure 01 : Représentation graphique des moyennes de poids frais

L'analyse de la variance ne révèle aucun effet significatif des traitements appliqués sur la biomasse racinaire fraîche. Cependant, il est à noter que la moyenne la plus élevée est enregistrée en présence du NPA2 (76.66 mg), et la moyenne la plus faible est en présence du NPA1 et NaCl combinés (51.42 mg).

Tableaux II : Analyse de la variance de poids frais

Source	ddl	Moyenne des carrés	Sig.
Traitement	5	0,001	0,178
Erreur	54	0,001	
Total	60		

1.2. Longueur de la racine principale

Les valeurs moyennes pour la longueur de la racine principale, exprimée en cm, sont représentées dans la figure 02. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées le tableau III. Les groupes homogènes selon le test de Tukey sont portés dans le tableau IV.

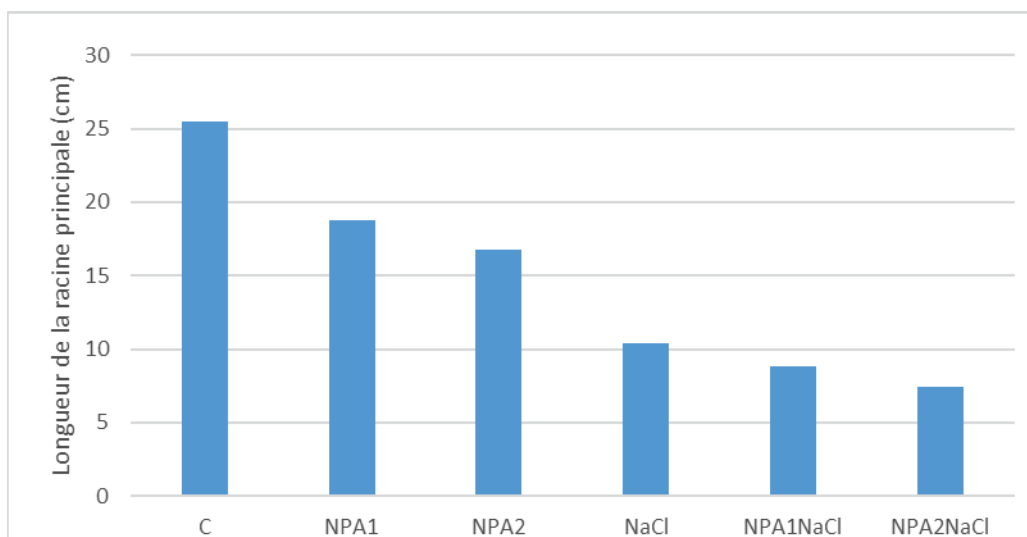


Figure 02 : Représentation graphique des moyennes de Longueur de la racine principale.

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet très hautement significatif du stress salin ainsi que de l'inhibition du transport d'auxine sur la longueur de la racine principale.

Le test de Tukey fait ressortir l'existence de trois groupes homogènes, la valeur moyenne la plus élevée (25.5 cm) est enregistrée pour le témoin, et la plus faible (7.39 cm) pour la combinaison NPA2 et NaCl.

Tableaux III : Analyse de la variance de longueur de la racine principale

Source	ddl	D	Sig.
Traitement	5	33,703	0,000***
Erreur	54		
Total	60		

*** Très hautements significatif

Résultats et Discussions

Tableau IV : Groupes homogènes de longueur de racine principale

Traitement	Sous-ensemble		
	1	2	3
NPA2NaCl	7,39		
NPA1NaCl	8,81		
NaCl	10,38		
NPA2		15,76	
NPA1		19,93	
C			25,5

1.3. Nombre des racines séminales

Les valeurs moyennes pour le nombre de racines séminales sont représentées dans la figure 03. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées le tableau V.

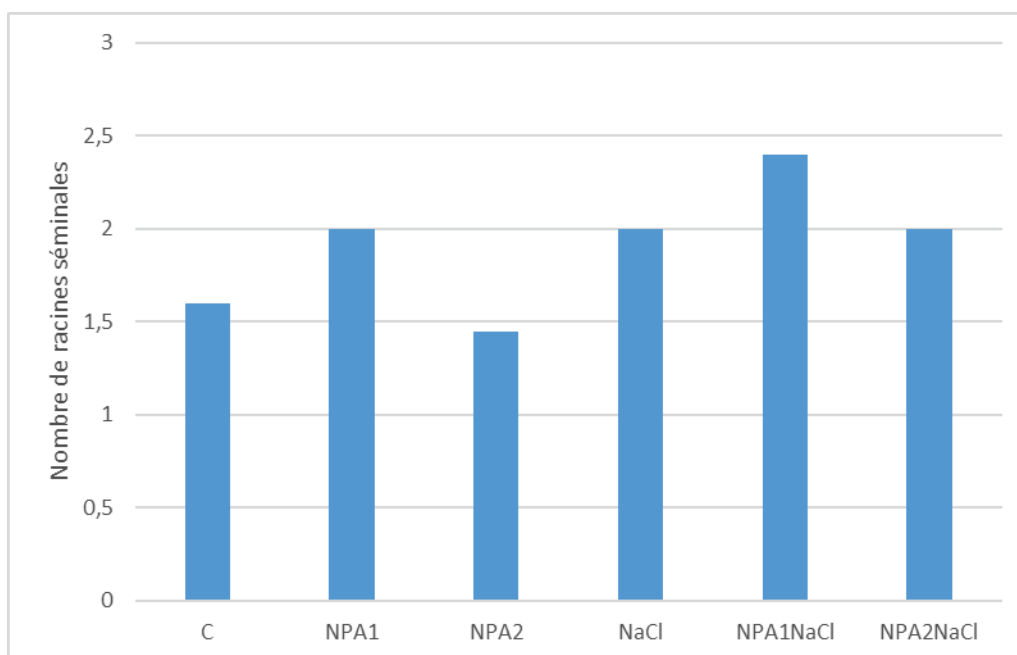


Figure 03 : Représentation graphique des moyennes de nombre des racines séminales.

Résultats et Discussions

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a aucun effet significatif ni du stress salin ni de l'inhibition du transport d'auxine sur le nombre de racines séminales. Toutefois, la combinaison NPA1/NaCl a provoqué une augmentation considérable en nombre de racines séminales (2.4), au contraire du traitement NPA2 dont l'application était accompagnée d'une diminution pour ce paramètre (1.44).

Tableaux V : Analyse de la variance de nombre des racines séminales

Source	Ddl	Moyenne des carrés	Sig.
Traitement	5	0,897	0,895
Erreur	54	2,743	
Total	60		

1.4. Longueur des racines séminales

Les valeurs moyennes pour la longueur des racines séminales, exprimée en cm, sont représentées dans la figure 04. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées le tableau VI. Les groupes homogènes selon le test de Tukey sont portés dans le tableau VII.

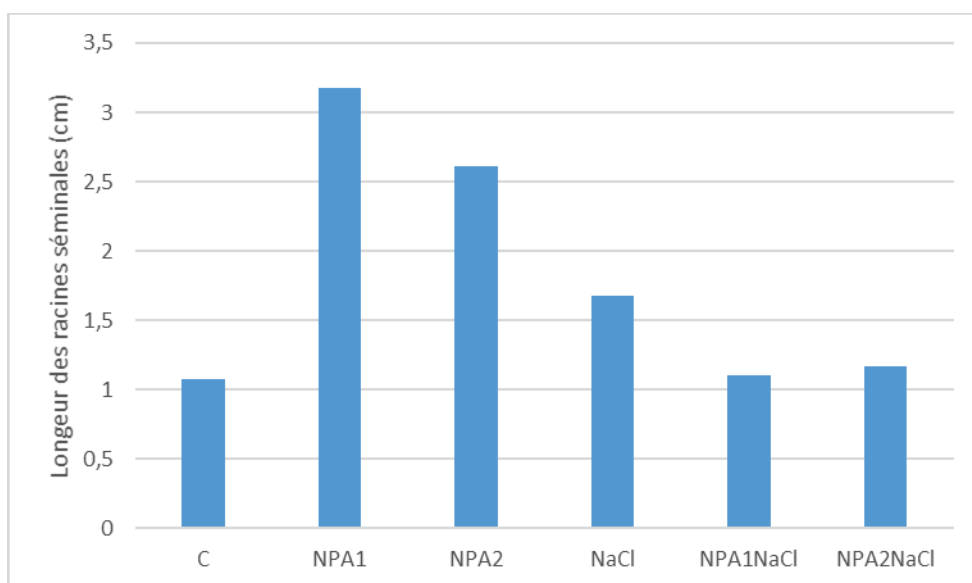


Figure 04 : Représentation graphique des moyennes de longueur des racines séminales.

Résultats et discussions

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif de l'inhibition du transport d'auxine sur la longueur de la racine principale.

Le test de Tukey fait ressortir l'existence de deux groupes homogènes, la valeur moyenne la plus élevée (3.17cm) est enregistrée pour le traitement NPA1, et la plus faible (1.07 cm) pour le témoin.

Tableaux VI : Analyse de la variance de longueur des racines séminales

Source	ddl	Moyenne des carrés	Sig.
Traitement	5	14,808	,016*
Erreur	107	5,027	
Total	113		

* : significatif

Tableaux VII : Groupes homogènes de longueur des racines séminales

Traitement	N	Sous-ensemble	
		1	2
NPA1	19	3,17894737	
NPA2	16		2,6125
NaCl	20		1,675
NaCINPA2	20		1,165
C	14		1,07857143
NaCINPA1	24		1,1

1.5. Nombre des racines latérales

Les valeurs moyennes pour le nombre de racines latérales sont représentées dans la figure 05. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées le tableau VIII. Les groupes homogènes selon le test de Tukey sont portés dans le tableau IX

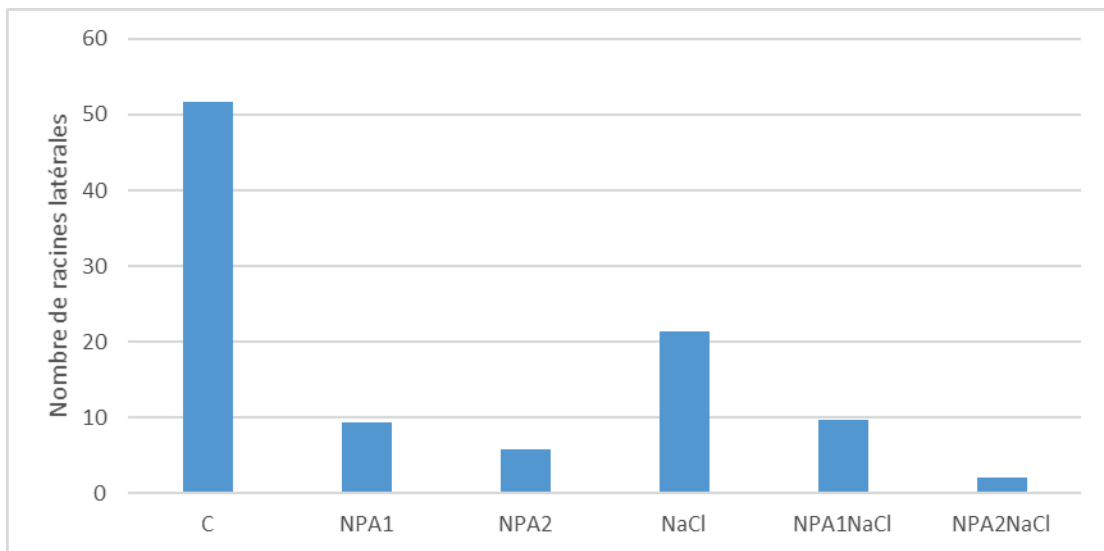


Figure 05 : Représentation graphique des moyennes de nombre des racines latérales

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet très hautement significatif du stress salin et de l'inhibition du transport d'auxine sur le nombre de racines latérales.

Le test de Tukey fait ressortir l'existence de deux groupes homogènes, la valeur moyenne la plus élevée (51.7) est enregistrée pour le témoin, et la plus faible (2) pour la combinaison NPA2 et NaCl.

Tableaux VIII : Analyse de la variance de nombre des racines latérales

Source	ddl	Moyenne des carrés	Sig.
Traitement	5	3353,017	0,000***
Erreur	54	391,369	
Total	60		

*** : Très hautement significatif

Résultats et discussions

Tableaux IX : Groupes homogènes de nombre des racines latérales

Traitement	N	Sous-ensemble	
		1	2
NPA2NaCl	10	2	
NPA1	10	6,4	
NPA2	10	9,1	
NPA1NaCl	10	9,6	
NaCl	10	21,3	
C	10		51,7

1.6. Poids sec

Les valeurs moyennes pour le poids sec des racines sont représentées dans la figure 06. L'analyse de la variance et l'interprétation statistique de l'effet des différents traitements sont consignées le tableau X.

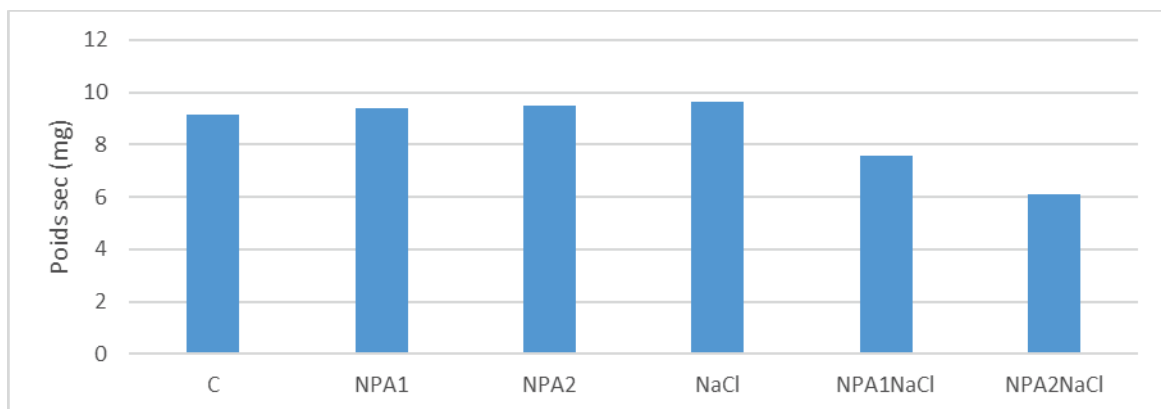


Figure 06 : représentation graphique des moyennes de poids sec.

Résultats et Discussions

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a aucun effet significatif ni du stress salin ni de l'inhibition du transport d'auxine sur la biomasse racinaire sèche. Néanmoins, une diminution notable était observée après l'application du traitement combiné NPA2/NaCl (33% par rapport au témoin).

Tableau X : Analyse de la variance de poids sec

Source	ddl	Moyenne des carrés	Sig.
Traitement	5	20,135	0,058
Erreur	54	8,791	
Total	60		

Résultats et discussions

1.7. Les corrélations

Les corrélations entre l'ensemble de paramètres étudiés sont représentées dans le tableau XI.

Tableaux XI : représentation des corrélations entre les paramètres morphologiques étudiés

			Pf	Lr	Nrs	Nrl	Ps	Lrs	
Pf	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	1	,272*	,207	,091	,646**	-,027	
Lr	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	,272*	1	-,039	,404**	,452**	-,034	
Nrs	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	,207	-,039	1	,012	,184	,099	
Nrl	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	,091	,404**	,012	1	,287*	-,010	
Ps	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	,646**	,452**	,184	,287*	1	-,026	
Lrs	Corrélation Pearson Sig. (bilatérale) N	de	-,027	-,034	,099	-,010	-,026	1	

Pf : le poids frais, Lr : la longueur de la racine principale, Nrs : le nombre de racines séminales, Nrl : le nombre de racines latérales, Ps : le poids sec, Lrs : la longueur des racines séminales.

Résultats et discussions

Mis à part la longueur des racines séminales et entre Nrs-Lr, nos résultats montrent que les corrélations entre la plupart des paramètres de croissance étaient positives, c'est à dire toute augmentation d'un paramètre provoque l'augmentation des autres. Cependant, la signification des corrélations n'était que pour Pf-Lr, Pf-Ps, Lr-Nrl, Lr-Ps et Nrl-Ps.

2. Discussion générale

L'auxine la plus active et la plus commune chez les plantes est l'acide indole 3-acétique (AIA), qui régleme les nombreux aspects de la croissance et du développement des plantes pendant tout le cycle des cellules végétales de la division, l'élongation, la différenciation cellulaire jusqu'à l'initiation racinaire, la dominance apicale, la floraison, la maturation des fruits, la sénescence et la stimulation de la croissance des plantes. La régulation de ces processus par l'auxine implique des changements induits par l'auxine dans l'expression des gènes (Sauer et al., 2013). De plus, cette hormone est impliquée dans les réponses au stress. Coupe et al. (2006) ont montré que les gènes associés à la voie de signalisation de l'auxine sont stimulés chez les plantes exposées aux différents stress abiotiques.

Le transport polaire de l'auxine est crucial pour la génération et le maintien des maxima et gradients locaux d'auxine. Des études moléculaires et génétiques ont révélé que les composants porteurs d'efflux et d'afflux d'auxine et sont codés par les protéines des familles AUX1 et PIN/ABCB (Bennett et al., 1996; Murphy et al., 2002). L'ensemble de ces protéines a été identifié comme des protéines ayant des affinités de liaison avec l'inhibiteurs du transport de l'auxine NPA, étant la raison sur laquelle nous avons basé notre étude sur cet inhibiteur de transporteurs d'efflux.

Le stress salin induit une accumulation d'auxine chez Arabidopsis et sa redistribution à la pointe de la racine, entraînant une inhibition primaire de la croissance des racines, une réduction marquée de la formation de primordial des racines latérales et une augmentation significative de l'allongement des racines latérales existantes (Wang et al., 2009). Ces résultats suggèrent donc que le transport d'auxine semble essentiel pour le remodelage adaptatif de l'architecture des systèmes racinaire sous contrainte saline. En effet, (Zörb et al., 2013) ont montré des différences dans les niveaux d'AIA endogènes dans les feuilles et les racines en expansion de deux cultivars de maïs. Ces chercheurs ont observé que le génotype résistant au sel a significativement augmenté les niveaux d'AIA dans les feuilles et a maintenu sa teneur dans les racines.

Nos résultats confirment l'implication des voix du transport d'auxine dans la réponse au stress abiotique. Une inhibition de croissance notable a été marquée chez les plants de maïs étudiés. Mise à part la longueur des racines séminales, toutes les paramètres mesurés ont enregistré des diminutions suite à l'inhibition du transport d'auxine en condition du stress

salin. Cette inhibition de croissance pourrait être en grande partie due à des diminutions dans les niveaux des hormones de croissances. Dans une étude similaire, **Zerrouk et al. (2020)** révèlent (qu'en conditions de stress abiotique l'application des NPA et 1-NOA (deux inhibiteurs du transport polar d'AIA) entraînent non seulement une diminution du taux d'AIA, mais également des taux d'acide phénylacétique (APA) et d'acide oxinodole acétique (OxAIA).

La réduction de la croissance des plants de maïs dans la première phase du stress salin est caractérisé par des effets osmotiques et, dans une moindre mesure, par la toxicité du sodium (**Sümer et al., 2004**). Il est connu pour le blé que la germination des graines diminue avec l'augmentation des niveaux de salinité, tandis que les effets indésirables de ce stress sont atténués par trempage des graines avec AIA (**Gulnaz et al., 1999**).

Dunlop et Binzel, 1996) ont assisté à la réduction significative dans les niveaux de l'AIA chez la tomate en présence de la salinité. **Sakhabutdinova et al. (2003)** ont signalé un déclin progressif des niveaux d'AIA dans le système racinaire en raison de la salinité. **Afzal et al., (2005)** ont documenté que l'application exogènes d'AIA aux semences avant le semis atténue l'effet inhibiteur de la croissance du stress salin. Par ailleurs, l'application exogène d'auxine a entraîné une augmentation significative du rendement des cultures en réduisant l'effet néfaste du stress hydrique (**Abdoli et al., 2013**).

Les travaux de **Javid et al. (2010)** sur des hybrides de maïs sensibles à la salinité montrent que cette dernière induit une réduction de la concentration d'AIA libre dans les racines ce qui pourrait entraîner une diminution du taux de croissance des hybrides sensibles en raison de l'activité moins stimulée du plasmalemme ATPase. Par conséquent, l'inhibition de la croissance induite par la salinité pourrait être en partie attribuable à une diminution dans l'AIA libre dans les racines de l'hybride sensible au sel.

Les niveaux d'AIA chez les plantes de maïs soumises à des conditions du stress salin pourrait être significativement augmentés par l'application d'acide salicylique (**Fahad et al., 2012**), ce qui indique que l'équilibre hormonal est essentiels à la perception du signal, à la transduction et à la médiation de la réponse au stress. De même, le traitement par l'acide gibbérellique des plants du riz pendant le stress salin a partiellement réduit l'effet néfaste de la salinité sur les niveaux d'AIA (**Prakash et Prathapasanen, 1990. Du et al., 2012, 2013**) ont constaté que le changement de l'homéostasie d'auxine pouvait influencer sur la synthèse de

Résultats et discussions

l'ABA et que l'équilibre de l'homéostasie d'auxine et d'ABA jouait un rôle crucial dans les réponses au divers stress.

Conclusion

Les stress abiotiques en générale et le stress salin en particulier provoquent, dès les stades juvéniles, des effets néfastes sur la croissance des plants de maïs. Face à telles conditions, la réaction de la plante commence par la perception et la transduction de signaux par des messagers tels que l'auxine qui est impliquée dans plusieurs phénomènes de développement et de croissance chez la plante.

En condition de stress salin une altération dans l'accumulation de l'auxine a été observée chez le maïs ce qui affecte l'architecture et le développement des racines. Par conséquent, toute inhibition des voies de transport de cette hormone entraîne une augmentation des concentrations dans les extrémités racinaires. Dans cette étude nous avons montré que l'inhibition du transport efflux de l'AIA à des concentrations de 10 et 20 μM aggrave l'inhibition de la croissance des plantes maïs en condition de stress salin.

Cette étude ouvre la porte pour des travaux plus approfondies sur la signalisation entre le stress salin l'auxine pour une explication des phénomènes impliqués dans l'inhibition acquise des plants de maïs.

Références bibliographiques

1. **Abdoli, M., Saeidi, M., Azhand, M., Jalali-Honarmand, S., Esfandiari, E. & Shekari, F., 2013.** The effects of different levels of salinity and indole-3-acetic acid (IAA) on early growth and germination of wheat seedling. *J. Stress Physiol. Biochem.* 9, 329-38.
2. **Afzal, I., Basra, S. M. A., & Iqbal, A., 2005.** The effects of seed soaking with plant growth regulators on seedling vigour of wheat under salinity stress. *J. Stress Physiol. Biochem.* 1, 6- 14.
3. **Bataillon T., Chantret N., Cenci A., Gautier MF., Joudrier Ph., Haudry A., Muller M.H., Poncet C. , Prospero J.M., Ronfort J., Roumet P., Santoni S., Thuillet A.C.,**
4. **Baubricourt A.G, L Hedin ; 1988.** Le maïs et les industries, éd A.M. Métailié ; p 97.
5. **Belkheiri O., 2008 :** Adaptabilité des espèces du genre *Atriplex* aux conductions de salinité et d'aridité, Tesi di Dottorato in agrometeorologia ed ecophysologia dei sistemi Agrari e Forestali, Università di Sassari p 42.
6. **Bennett, M.J., Marchant, A., Green, H.G., May, S.T., Ward, S.P., Millner, P.A.,**
7. **Boukar. Imane, 2016.** Comportement de quelques variétés importées du maïs vis-à-vis des conditions du milieu de la région d'ADRAR. Page 7.
8. **Chartzoulakis K. & Klapaki G.(2000):** Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.
9. **Fahad, S., & Bano, A., 2012.** Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. *Pak. J. Bot.* 44, 1433-1438.
10. **Javid, M. G., Sorooshzadeh, A., Moradi, F., Sanavy, S. A. M. M., & Allahdadi, I., 2010.** The role of phytohormones in alleviating salt stress in crop plants. *Aust. J. Crop Sci.* 5, 726.
11. **Haim S, Clovis.** Caractérisation et classification de lignées de maïs (*zea mays l.*). page 3-4.
12. **King J. 1991. Morphology and growth of maize.** International of tropical agriculture , Ibadan, Negeria. Page 12-20
13. **Leclerc J.C., 1999.** Ecophysologie végétale-publications univ. Saint Etienne p 188-235.
14. **Levitt, J. 1980.** Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing and High Temperature Stresses, 2 nd edn. Levitt, J. (ed.). *Academic Press, New York, NY.*

Références bibliographiques

15. **Levitt J. 1980.** Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt, and other stresses, Academic Press, New York, pp. 365-488.
16. **Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A. & Martinez C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599–612.
17. **Mohammad M., Shibli R., Ajouni M. & Nimri L., 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.
18. **Morot-Gaudry, J.F., Lepiniec, L. & Part, R. 2017.** Biologie végétale croissance et développement (Edition 3). DUNOD, Paris, 288p.
19. **Murphy, A.S., Hoogner, K.R., Peer, W.A., Taiz, L., 2002.** Identification, purification, and molecular cloning of N-1-naphthylphthalmic acid-binding plasma membrane-associated aminopeptidases from Arabidopsis. *Plant Physiology.* 128, 935–950.
20. **Parida A., Das A.B. & Das P., 2002.** NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera arviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.
21. **Parida A.K. & Das A.B. (2005):** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* Vol.60, pp. 324-349.
22. **Prakash, L., & Prathapasenan, G., 1990.** NaCl-and gibberellic acid-induced changes in the content of auxin and the activities of cellulase and pectin lyase during leaf growth in rice (*Oryza sativa*). *Ann. Bot.* 65, 251-257.
23. **Peret B. (2007).** Transport de l’auxine et développement du nodule actinorhizien chez l’arbre tropical. *Casuarina glauca*. Thèse de doctorat. Université Montpellier. France.
24. **Rambour S. (2003).** Physiologie végétale. 2ème (ed.). 341
25. **Roussel L. (1974).** Les auxines agents essentiels de la croissance des végétaux. *Revue. Bois et Forêts des Trop.*158
26. **Rozet. H, 1833 .**Voyage dans la Régence d'Alger. - Paris.
27. **Sakhabutdinova, A. R., Fatkhutdinova, D. R., Bezrukova, M. V., & Shakirova, F. M., 2003.** Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulg. J. Plant Physiol.* 21, 314-319.
28. **Sauer, M., Robert, S. & kleine-Vehn, J., 2013.** Auxin: simply complicated. *J. Exp. Bot.* 64, 2565-2577.

Références bibliographiques

29. **Vessey J.K., (2003).** Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil.* **255**, 571–586
30. **Walker, A.R., Schulz, B., Feldmann, K.A., 1996.** Arabidopsis AUX1 gene: a permease-like regulator of root gravitropism. *Science* 273, 948–950.
31. **Wang, H., Liang, X., Wan, Q., Wang, X. & Bi, Y., 2009.** Ethylene and Nitric Oxide Are Involved in Maintaining Ion Homeostasis in *Arabidopsis callus* under Salt Stress. *Planta*, 230, 293-307.
32. **Zerrouk, I.Z., Benchabane, M., Khelifi, L., Yokawa, K., Ludwig-Müller, J., Baluska, F., 2016.** A Pseudomonas strain isolated from date-palm rhizospheres improves root growth and promotes root formation in maize exposed to salt and aluminum stress. *Journal of Plant Physiology.* 191, 111–119.
33. **Zerrouk, I. Z., Rahmoune, B., Auer, S., Rößler, S., Lin, T., Baluska, F., ... & Ludwig Müller, J. (2020).** Growth and aluminum tolerance of maize roots mediated by auxin-and cytokinin-producing *Bacillus toyonensis* requires polar auxin transport. *Environmental and Experimental Botany.* 176, 104064.
34. **Zörb, C., Geifus, C. M., Mühlhng, K. H., & Ludwig-Müller, J., 2013.** The influence of salt stress on ABA and auxin concentrations in two maize cultivars differing in salt resistance. *J. Plant Physiol.* 170, 220-224.

Résumé

La production agricole est fréquemment touchée par plusieurs contraintes abiotiques limitant la productivité des plantes. Le maïs est l'une des plus importantes cultures vivrières dans le monde entier. Cette espèce est souvent cultivée dans les régions où les conditions sont défavorables comme les sols salins. Dans ce travail nous avons étudié l'implication des voies du transport d'auxine dans la réponse du maïs au stress salin en utilisant deux doses de l'inhibiteur du transport efflux d'auxine, le NPA. Les résultats obtenus indiquent que la présence de NPA influence le comportement des paramètres morphologiques de croissance et que la longueur des racines principale est le paramètre le plus affecté.

ملخص

كثيرا ما يتأثر الإنتاج الزراعي بعدة قيود غير حيوية تعمل على الحد من إنتاجية النبات. تعتبر الذرة من أهم المحاصيل الغذائية حول العالم، و غالبا ما يزرع هذا النوع في المناطق ذات ظروف غير مواتية مثل التربة المالحة. في هذا العمل قمنا باتباع المسار الذي يتخذه الأكسين في الاستجابة ضد ملوحة التربة داخل نبات الذرة، وذلك باستخدام جرعتين من حمض النفثيل الذي يعمل على تثبيط نقل الأكسين. تشير النتائج المتحصل عليها الى ان وجود حمض النفثيل يؤثر على السلوك المرفولوجي للنمو، و أن طول الجذور الرئيسية هي الاكثر تأثرا .

Summary

Agricultural production is frequently affected by several abiotic stress limiting plant productivity. Maize is one of the most important food crops around the world. This species is often cultivated in areas with unfavourable conditions such as saline soils. In this work we investigated the involvement of auxine transport voices in the response of corn to salt stress using two doses of the auxine efflux transport inhibitor, NPA. The results obtained indicate that the presence of NPA influences the behaviour of the morphological of growth and that the length of the main roots is parameter most affected.