

UNIVERSITE DE KASDI MERBAH-OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences biologiques



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie Végétale

THEME

Effet d'amorçage des graines par les nanoparticules d'argent (AgNPs) et l'extrait de *Anacyclus valentinus* L. sur la germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en condition de stress salin.

Présenté par : Mlle. BENMIR Sara et Mlle. BENMIR Asma

Soutenu publiquement Le 17/06/2025

Devant le jury :

M. BENSELAMA A	Président	M.C.(A)	UKMOuargla
M. SALHI N	Promoteur	Pr.	UKM Ouargla
Mr. CHAABENA A	Examineur	M.A.(A)	UKMOuargla

Année Universitaire :2024/2025

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui j'ai donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mlle SALHI NESRINE, pour l'orientation, la confiance et la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du Jury le président Mlle BENSELAMA AMEL et l'examineur Mr CHAABENA AHMED pour l'intérêt qu'ils sont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants de la spécialité Biotechnologie végétale qui nous ont enseigné et qui, par leurs compétences, nous ont soutenus dans la poursuite de nos études.

Dédicace

*mes chère parents Mohammed et Zohra, source de vie, d'amour et d'affection, Je leur
souhaite une bonne santé.*

A mon soeur Linda, grande source d'espoir et motivation .

*A mes frères Ahmed, Kamel, Ibrahim, Ali, Lamine et Sofiane, pour leur soutien
indéfectible tout au long de mes études.*

A tous mes estimés professeurs en biotechnologie végétale.

Ben Mir Asma

Dédicace

Je dédie ce modeste mémoire

A mes chers Mohammed et Afaf , pour tous leurs sacrifices, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A mes sœurs : Aya, myasine

A mes chers frères : Hicham, hamza

Qui m'a soutenu et pour leur appui et leur conseil

A toute ma famille pour leur aide tout au long de mon parcours universitaire.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux

tant allégués, et le fuit de votre soutien infailible. Merci

d'être toujours là pour moi

Ben Mir Sara

LISTE DES PHOTOS

N°	TITRE	PAGE
01	LA VARIETE DE BLE BOUSSALEM	08
02	L'AMORÇAGE DES GRAINES DE BLE ETUDIEES PAR LES TRAITEMENTS	11
03	préparation des échantillons pour mesure de la teneur relative en eau (TRE%)	15

LISTE DES FIGURES

N°	Titre	Page
01	Photo des feuilles, et des fleurs du <i>Anacyclus valentinus L</i>	9
02	Mise en culture des graines étudiées dans les boites de pétrie	12
03	Mesure de la Teneur relative en eau (TRE%)	16
04	L'effet des traitements appliqués sur le cinétique de germination sous différent concentration de NaCl(ST :sans traitement, EXT : extrait végétale,NPS :solution d'AgNps)	18
05	L'effet des traitements appliqués sur le Taux de germination sous différent concentration de NaCl	18
06	L'effet des traitements appliqués sur la vitesse de germination sous différent concentration de NaCl	19
07	L'effet des traitements appliqués sur la longueur des racines sous différent concentration de NaCl.	20
08	L'effet des traitements appliqués sur la longueur des tiges sous différent concentration de NaCl	21
09	L'effet des traitements appliqués sur le nombre des racines , en fonction de trois concentrations de NaCl	22
10	L'effet des traitements appliqués sur la longueur des racines , en fonction de trois concentrations de NaCl	23
11	l'effet des traitements appliqués sur la hauteur de plantule , en fonction de trois concentrations de NaCl	24
12	l'effet des traitements appliqués sur la surface foliaire, en fonction de trois concentrations de NaCl	25
13	l'effet des traitements appliqués sur la longueur des feuilles, en fonction de trois concentrations de NaCl	26
14	Effet des traitements sur de la Teneur relative en eau (TRE%) différentes concentrations de NaCl.	27
15	Effet des traitements sur de la Teneur en chlorophylle différentes concentrations de NaCl	28

Listes des abréviations

ST : sans traitements

EXT : extrait végétale de l'espèce *Anacyclusvalentinus L*

NPS : solution de nanoparticule d'Argent

AgNps : Nanoparticule d'Argent

TMG : temps moyenne de germination (vitesse de germination)

LR : Longueur de racine des racines

NR : Nombre de racines

SF : surface foliaire

TRE : teneur relative en eau

LF : longueur des feuilles

HP : la hauteur des plantules

NaCl : chlorure de sodium

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Liste des photos

Liste des figures

Liste des abréviation

Introduction.....	2
Chapitre I : Matériels et méthodes.....	5
1-Matériel végétal.....	5
1-1- Description etTaxonomie:	6
2-2-Synthèse des nanoparticules d'argent (AgNPs)	7
2-4- Prétraitement d'amorçage des graines :.....	8
2-5- Préparation des Solution saline :	8
2-6-Préparation d'essai de germination :.....	9
2-7-1-Paramètres physiologique.....	9
2-7-1-1 Cinétique de germination	9
2-7-1-2-Taux de germination	9
2-7-1-3Vitesse de germination	10
2-7-2 Paramètres morphologique	10
2-7-2-1 Mesure des longueurs racines et des tiges.....	10
2-7-2-2-Repiquage des plantules dans les pots et Application du stress salin...	11
2-8-1 Paramètres morphologique :	11
2-8-1-1 Mesure la surface foliaire (SF « cm ² »).....	11

2-8-2-Paramètres physiologique.....	11
2-9Analyses statistique.....	13
Chapitre II-Résultats et discussion	15
1-Résultats de l'essai de germination.....	15
1-1 -Résultats de las paramètres physiologiques	15
1-1-1- Cinétique de germination	15
1-1 -2- L'effet des prétraitements sur le taux de germination sous différentes concentrations de NaCl.	17
1-1-3- Effet des traitements sur la vitesse de germination sous différentes concentrations de NaCl.	18
1-2- Résultats des paramètres morphologiques	19
1- 2-1- Effet des traitements sur la longueur des racines sous différentes concentrations de NaCl.	19
1- 2-2-Effet des traitements sur la longueur des tiges sous différentes concentrations de NaCl.	20
2 -Résultats au stade de croissance	21
2-1 -Résultats des paramètres morphologiques	21
2-1-1-Effet des traitements sur la nombre des racines sous différentes concentrations de NaCl.	21
2-1 -2- Effet des traitements sur la longueur des racines sous différentes concentrations de NaCl.	22
2-1 -3- Effet des traitements sur la hauteur des plantules sous différentes concentrations de NaCl.	23
2-1 -4-Effet des traitements sur la surface foliaire sous différentes concentrations de NaCl.	23
2-1 -5- Effet des traitements sur la longueur des feuilles des plantules sous différentes concentrations de NaCl.	25
2-2- Résultats des paramètres physiologique.....	26
2-2-1- Effet des traitements sur de la Teneur relative en eau (TRE%) différentes concentrations de NaCl.	26

2-2-2- Effet des traitements sur de la Teneur en chlorophylle différentes concentrations de NaCl	27
Discussion	29
Conclusion	35
Références bibliographiques.....	37
Annexes.....	42
RESUME	

Introduction

Introduction

A l'échelle mondiale les céréales occupent une place primordiale au sein des programmes de recherche agricole (Slama et al., 2005) « Parmi elles, le blé détient la première place en termes de production mondiale. (Greenway et Munns, 1980 ; Bonjean et Picard, 1990). Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) représente à lui seul environ 6 % des surfaces cultivées avec une production annuelle se situant entre 37 et 40 millions de tonnes. Les pays à climat méditerranéen sont les plus grands producteurs et consommateurs de produits à base de blé dur (FAO., 2022).

En Algérie, le blé avec ces deux espèces (dur et tendre), ainsi que l'orge constituent, une culture alimentaire irremplaçable. Selon diverses études, la superficie réservée à la céréaliculture en Algérie atteint aujourd'hui, de 3,3 millions d'hectares. 40% de ses surfaces sont destinées à la production de blé dur, (soit 1,35 millions d'hectares) tandis que les 20% restants sont réservés au blé tendre, dont la production reste généralement faible. Malgré les efforts consentis, les rendements demeurent très bas n'atteignant qu'environ 8 à 10 qx/ha. Ce faible niveau de production est souvent attribué à l'influence des mauvaises conditions pédoclimatiques associées, entre autres, à une faible maîtrise des techniques culturales (Selmi, 2000).

En effet le stress abiotique et le stress biotique constituent une limite majeure à la production et au développement du blé (Heydecker, 1973). La salinité est un problème agricole grave qui s'intensifie en raison des effets combinés des changements climatiques mondiaux et de l'expansion rapide de la population humaine (Singh, 2022 ; Bridges & Oldeman, 1999). À l'échelle mondiale, la salinisation transforme environ 3 hectares de terres arables en zones improductives chaque minute, ce qui pourrait réduire de 10 à 20 millions d'hectares de terres arables à une productivité nulle chaque année (Oelviani et al., 2023). La salinité affecte négativement la survie et la productivité des cultures, compromettant ainsi la sécurité alimentaire, en particulier dans les zones semi-arides et arides du monde, qui représentent environ un tiers de la surface de la Terre (Golla, 2021 ; Aksoy et al., 2022). Cela est contradictoire avec la réalisation de la sécurité alimentaire à l'avenir, car la population mondiale pourrait dépasser les 10 milliards d'ici 2050, ce qui nécessiterait deux fois plus de nourriture qu'aujourd'hui (Nadathur et al., 2024 ; Ghosh et al., 2024). Il est donc crucial de comprendre les interactions complexes entre le changement

climatique, la salinisation des terres/de l'eau et la durabilité de l'agriculture afin de concevoir des stratégies efficaces pour une production alimentaire durable et des systèmes agricoles résilients à travers le monde.

Parmi les solutions que les scientifiques et les chercheurs ont trouvé pour faire face aux dégâts engendrés par le stress salin ; figure la technique de l'amorçage ou du priming (Heydecker, 1973).

L'amorçage est un procédé agronomique pratique, particulièrement utile en cas de conditions environnementales défavorables, telles que les contraintes de stress salin (Dezfuli P et *al.*, 2008 ; Wahid et Shabbir ,2005). C'est une technique de traitement pré germinatif des semences qui consiste à soumettre les graines à différents types de traitements, (osmopriming, hormopriming, hydropriming thermopriming , biopriming ,nanopriming). pour l'amélioration de la germination et de la croissance en conditions de stress abiotique (Baazize et *al.*, 2021) .

Dans le cadre de notre travail, nous avons appliqué la méthode de biopriming et de nanopriming ,en utilisant deux traitements, un extrait aqueux de la plante (*Anacyclus valentinus.L*) et une solution de nanoparticules d'argent (AgNps) , synthétisée à partir de le même espèce.

Ainsi notre travail vise à évaluer l'effet d'amorçage des graines de blé dur du la variété de BOUSSALEM par deux traitements, extrait végétal de *Anacyclus valentinus .L* et solution d'AgNps sur le stade de germination et la croissance de plantule sous différentes concentrations de NaCl.

Les questions centrale de cette étude est les suivantes :

Y-a-t-il un effet des prétraitements aux stades (germination et de stade croissances ?), Quel est cet effet et à quel stade apparaît, et existe-t-il une différence entre l'effet du traitement avec l'extrait et ce lui avec la solution d'AgNps ?

Chapitre I

Matériels et méthodes

Chapitre I : Matériels et méthodes

L'objectif de cette étude vise à corriger les effets néfastes du stress salin sur la germination et la croissance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) grâce à l'application de techniques d'amorçage. Nous discuterons spécifiquement de l'impact de l'amorçage — utilisant un extrait végétal et des nanoparticules d'argent (AgNps) — sur la germination (via d'essai de germination) et la croissance des plantules (par un essai en pots) dans des conditions de stress salin.

1-Matériel végétal

L'expérimentation est menée sur des graines du blé dur (*Triticum durum* Desf.), et la plante *Anacyclus valentinus* L.

a. Les graines de blé (*Triticum durum* Desf.),

Dans notre étude est constitué premièrement des grainés de blé dur de la variété Bousselam, (**Photo 01**) Qui nousont été fournier par l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Sétif en 2021. Les caractéristiques de cette variété sont présente en l'annexe(1).



Photo 1 La variété de blé Bousselam

b-Anacyclus valentinus.L

De plus pour la préparation de l'extrait végétale et des nanoparticules nous avons utilisés l'espèce *Anacyclus valentinus.L* qui collecté dans la région El Guerrara (Ghardaia) au stade floraison.

1-1- Description etTaxonomie:

Anacyclus valentinus L. Cette espèce, également connue sous le synonyme plante annuelle dont *Anacyclus hirsutus* Lamarck, est une la hauteur varie de 10 à 30 cm, caractérisée par une tige dressée et plus ou moins velue. Ses feuilles sont bipennatiséquées avec des lobes étroits, et elle produit des fleurs jaunes toutes tubuleuses (figure 01). L'involucre de ses fleurs est composé de bractées lancéolées, et les écailles du réceptacle sont oblongues-spatulées, avec un sommet arrondi et poilu. Les fruits sont remarquables, entourés de deux ailes minces s'écartant l'une de l'autre et obtuses au sommet. Au stade de la plantule, elle se distingue par des cotylédons elliptiques à ovales et des feuilles déjà divisées (INRAE Dijon. 2013).

Règne : Plantae Haeckel, 1866

Classe : EquisetopsidaC.Agardh, 1825

Ordre : Asterales Link, 1829

Famille : AsteraceaeBercht.&J.Presl, 1820

Genre : *Anacyclus* L., 1753

Espèce : *Anacyclus valentinus* L., 1753 (Inventaire National du Patrimoine Naturel. 2023)



photo 2 Photo des feuilles, et des fleurs du *Anacyclus valentinus* L(Le Driant, F. (2024).

Le choix de *Anacyclus valentinus* L pour la synthèse de AgNPs selon Jawhari et al. (2020) . il repose sur :

sa richesse potentielle en métabolites secondaires. L'objectif de cette approche est d'exploiter ces propriétés pour améliorer la germination et la croissance du blé (*Triticum durum*) sous stress salin.

2- Méthodologie de travail

2-1Préparation de l'extrait aqueux de *Anacyclus valentinus*.L

La préparation de l'extrait aqueux de *Anacyclus valentinus* L. débute par le mélange de 15 grammes de plante avec 150 ml d'eau distillée dans un erlenmeyer. Ce mélange est ensuite chauffé à 70 °C pendant 30 minutes sous agitation, après avoir été recouvert de papier d'aluminium. Après une période de repos de 6 heures, l'extrait est purifié par trois centrifugations successives à 4000 tours par minute pendant 10 minutes chacune.

2-2-Synthèse des nanoparticules d'argent (AgNPs)

Les nanoparticules d'argent (AgNps) utilisées dans cette étude été préparées par le doctorant KESBI Brahim, qui a adopté la méthode suivant:

La synthèse des nanoparticules d'argent (AgNps) commence par la préparation d'un extrait aqueux de feuilles d'*Anacyclus valentinus* L. : 5 grammes de feuilles sont chauffés dans 50 ml d'eau distillée (pH 7) à 60-70 °C pendant 15 à 30 minutes, puis la solution est filtrée. Parallèlement, une solution de nitrate d'argent (AgNO₃) à 1 mM est préparée en dissolvant 0,016 gramme d'AgNO₃ dans 100 ml d'eau distillée. La préparation des AgNps implique ensuite la réalisation de trois essais en mélangeant différentes proportions de l'extrait de plante et de la solution d'AgNO₃ (1:9, 2:8, et 3:7). Ces mélanges sont chauffés à 60-70 °C pendant 30 minutes, le changement de couleur servant d'indicateur visuel pour déterminer la dose optimale d'extrait. Une fois cette dose identifiée, la synthèse est mise à l'échelle en multipliant les proportions par dix, avec un chauffage et une agitation constante. Enfin, les nanoparticules formées sont purifiées par centrifugation et plusieurs lavages à l'eau distillée pour éliminer les impuretés, puis séchées dans un incubateur à 65 °C pour récupérer la poudre finale.

2-3-Préparation de la solution d' AgNps :

Pour préparer la solution de nanoparticules d'argent (AgNps), **40 mg** d'AgNps sont mélangés dans 1 litre d'eau distillée. La solution est ensuite placée dans un bain à ultrasons jusqu'à ce que les AgNps soient complètement dispersées dans l'eau.

2-4- Prétraitement d'amorçage des graines :

Avant le prétraitement les graines de blé sont d'abord désinfectées elles sont trempées dans d'une solution d'eau de javel (5%) javel pendant 10 minutes puis rincées trois fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore .Ensuite une quantité de graines est immergée dans la solution d'AgNps et une autre quantité dans l'extrait de *Anacyclus valentinus* les graines sont laissées à tremper pendant 06 heures pour finir toutes les graines ayant subi séchées par un papier absorbant(Figure 02)



photo 3 L'amorçage des graines de blé étudiées

2-5- Préparation des Solution saline :

La préparation des solutions salines a consisté à dissoudre du chlorure de sodium (NaCl) dans de l'eau distillée, afin d'obtenir deux concentrations distinctes : l'une à 12 g/L(205.33 mMol) et l'autre à 15 g/L(256.66mMol).

2-6-Préparation d'essai de germination :

L'essai de germination a été mis en place en plaçant 25 graines de blé par boîte dans 36 boîtes de Pétri stérilisées. Les graines ont été divisées en trois groupes principaux : celles prétraitées avec la solution d'AgNps (40 mg/L), celles traitées avec l'extrait végétal (10 %), et un groupe témoin sans traitement. Chaque traitement a été réalisé avec quatre répétitions. Un stress salin a ensuite été appliqué en arrosant les boîtes avec des solutions de NaCl à des



Photo4 Mise en culture des graines étudiées dans les boites de Pétrie

concentrations de 12 g/L et 15 g/L, ainsi qu'un témoin à l'eau distillée. Chaque boîte a initialement imbibé par 4 ml de solution de NaCl. La germination a été suivie quotidiennement pendant sept jours.(Figure 02)

2-7 Paramètres étudiés au stade de germination :

2-7-1-Paramètres physiologique

2-7-1-1 Cinétique de germination

C'est la cinétique d'évolution de la germination, obtenu dans les conditions choisies par l'expérimentateur, il dépend des conditions de la germination et des traitements subis par la semence (Belkhoujaet Bidai, (2004), In Molay 2010).

2-7-1-2-Taux de germination

Le taux de germination, aussi appelé capacité germinative, correspond au pourcentage de graines qui mènent à bien le processus de germination (Ranal et Santana, 2006). Ce paramètre est évalué en utilisant le package GerminaR

$$\text{GRP}(\%) = \left(\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{N} \right) \times 100$$

où :

n_i = le nombre de graines germées à la i (temps)

N = le nombre totale de graine dans chaque unité expérimentale.

k = le dernier jour du processus d'évaluation pour la germination.

2-7-1-3 Vitesse de germination

La vitesse de germination ou TMG est un indicateur crucial de la rapidité avec laquelle les graines germent. Elle est souvent évaluée en utilisant le package GerminAR, en s'appuyant sur les méthodes décrites par Ranal et Santana (2006). Le TMG représente le temps moyen nécessaire pour que les graines d'un lot donné germent. Il est calculé en prenant en compte le nombre de graines germées à chaque intervalle de temps, et s'exprime par une équation spécifique.

$$\text{TMG} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$$

où :

n_i : le nombre de graines germées au cours de la période i

t_i : temps entre le début de l'expérience et la i observation

N : le nombre total de graines dans chaque unité expérimentale.

k : le dernier jour de l'évaluation de la germination

2-7-2 Paramètres morphologique

2-7-2-1 Mesure des longueurs racines et des tiges

Les longueurs de la racine (racine) et de la tige des plantules ont été mesurées au septième jour de l'expérience. Afin d'assurer une représentativité adéquate de la croissance végétative dans chaque condition expérimentale, trois plantules présentant des longueurs similaires et faisant partie des plus développées ont été sélectionnées par répétition.

2-7-2-2-Repiquage des plantules dans les pots et Application du stress salin

Après sept jours de germination, les jeunes plantules obtenues des boîtes témoin (sans amorçage , Amorcée pas extrait et amorcée par AgNps) sont repiquées, avec une densité de 5 plantules/pot, dans des pots en plastique contenant 100 g de terreau.

L'ensemble des pots sont placés sur une table à la température ambiante, dans un endroit présentant une bonne intensité lumineuse. Afin de maintenir l'humidité des pots, nous avons procédé à un arrosage régulier selon la capacité de rétention (Annexe 2) avec d'eau jusqu'au moment de l'application du stress salin. Au stade de la troisième feuille, l'irrigation par l'eau saline est appliquée. Trois concentrations salines de NaCl sont utilisées pour cette étude : 0 mM (témoin), 200mM et 250 mM. Les pots sont répartis en 3 lots selon les traitements salins retenus. La durée d'irrigation avec les solutions salines est de 7 jours.

2-8 Paramètres étudiés au stade de croissance :

2-8-1 Paramètres morphologique :

2.8.1.1 Mesure des longueurs et la hauteur

Plusieurs paramètres morphologiques ont été mesurés pour évaluer le développement des plantules. Il s'agit notamment de la longueur maximale des racines, de la longueur des feuilles et de la hauteur des plantules. Toutes ces mesures ont été effectuées en centimètres (cm) à l'aide d'une règle graduée

2-8-1-1 Mesure la surface foliaire (SF « cm² »)

La surface foliaire a été calculée à l'aide de la formule suivante (Brahimi, 2017) :

$$SF (cm^2) = (L.l) \times 0,709$$

Où L= longueur de la feuille et l = largeur de la feuille, alors que 0,709 est le coefficient constant.

2-8-2-Paramètres physiologique

2-8-2-1-Mesure de la Teneur relative en eau (TRE%) :

La teneur relative en eau (TRE) est un indicateur physiologique essentiel pour évaluer la tolérance des plantes au déficit hydrique, notamment en cas de sécheresse (selon la méthode de Barrs, 1968). Pour la déterminer, l'avant-dernière feuille de chaque plantule de blé dur est

prélevée, et son **poids frais (PF)** est immédiatement mesuré. Ces feuilles sont ensuite placées dans des tubes à essai remplis à moitié d'eau distillée, puis laissées dans l'obscurité et au frais pendant 24 heures afin de permettre une réhydratation complète. Après cette période, les feuilles gorgées d'eau sont retirées, délicatement éponnées avec du papier buvard pour éliminer l'eau de surface, et pesées à nouveau pour obtenir le **poids de pleine turgescence (PT)**. Enfin, les échantillons sont séchés dans une étuve ventilée à 85 °C pendant 48 heures, puis pesés pour obtenir leur **poids sec (PS)**

La Teneur Relative en Eau est calculée à l'aide de la formule suivante (Clark et Mac-Caig, 1982) :

$$\text{TRE (\%)} = [(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})] \times 100$$

TRE : teneur relative en eau, **PF**: Poids frais, **PS**: Poids sec, **PT** : Poids à la turgescence.



Photo5 préparation des échantillons pour mesure de la teneur relative en eau (TRE%)

2-8-2-2- Mesure de la teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle a été mesurée avant et après l'application du stress salin à l'aide d'un appareil ChlorophyllMeter SPAD-502. Pour chaque mesure, le niveau de chlorophylle a été relevé sur la deuxième feuille, à partir d'un échantillon de trois plantules pour chacune des quarter répliques.



PHOTO 6 Mesure de la Teneur en chlorophylle

2-9Analyses statistique

Les données collectées ont été soumises à des analyses statistiques pour évaluer la signification des résultats. Pour les données obtenues au stade de germination, les analyses ont été réalisées à l'aide du package GerminaR (version 2.1.5). Quant aux données des stades de post-germination et de croissance, elles ont été traitées et analysées avec le logiciel R (version 4.5). Une ANOVA à deux facteurs (two-way ANOVA) a été utilisée afin de déterminer la signification des traitements (amorçage), de la salinité, et de leur interaction sur les différents paramètres étudiés. De plus, le test de Tukey a été appliqué pour le classement et la comparaison des groupes.

Chapitre II

Résultats et Discussion

Chapitre II-Résultats et discussion

1-Résultats de l'essai de germination

1-1 -Résultats de las paramètres physiologiques

Afin de déterminer l'effet de la salinité sur la germination et la croissance des graines de blé préalablement amorcée par l'extrait végétale et les AgNps nous évalué plusieurs paramètres morpo physiologiques à savoir : le taux, la vitesse de germination, ainsi que l'analyse des variations des mesures biométriques de la tige et les racines.

1-1-1- Cinétique de germination

La figure 04 représente l'effet des traitements appliqués sur la cinétique de germination sous différent concentration de NaCl(Nbr des graines germées en termes de temps (jours).

Pour les graines non traitée (ST), la germination et imbibée par l'eau distillé (C1) la germination a été commencé à partir du premier jour avec un valeur de 22.85 graines, ensuite le nombre a été augmenté et stabilisé à partir du 3ème jour où la germination atteint son maximum avec 25 graines germées. Pour les graines imbibées par la concentration 200 mM NaCl (C2), la germination a commencé dans le 1er jour avec 8.25graines puis elles ont augmenté et stabilisés à partir de 3 ème jour avec un valeur de 22.75 graines germées. Mais, pour la concentration C3 (250mM de NaCl), la germination a débuté au premier jour avec un nombre de 20.25 graines puis elle augmente et se stabilise à partir de 3 -ème jour, avec 23.25graines(figure4a.)

Pour la figure (4b)présent les résultats des graines traitées par l'extrait Aqueux (EXT), et imbibée par l'eau dessillée (C1) la germination a débuté au premier jour avec un valeur de 23 graines, , ensuite le nombre a été augmenté du 2ème et 4ème jour avec 24.25 graines germées, puis il est augmenté de 25 graines de 6ème jusqu'à 7eme jour. Pour le concentration 200 mM NaCl (C2), la germination a débuté au premier jour avec un valeur de 16 graines puis elle augmente et stabilisés à partir de 5ème jour avec 24graines germées. Mais, dans la concentration 250Mm NaCl(C3), la germination a débuté premier jour avec un valeur de 5.25graines puis elle augmente et se stabilise à partir de 5 -ème jour, avec 23graines.

parallèlement les graines traitées par les nanoparticules (AgNps), et imbibée par l'eau dessillée (C1) la germination a débuté premier jour avec un valeur de 19.25 graines, ensuite le nombre a été augmenté est stabilisé à partir du 3ème jour où là où la germination atteint son maximum avec 25graines germées, au concentration 200 mM NaCl (C2), la germination a débuté premier jour avec un valeur de 9.5 graines , ensuite le nombre a été augmenté est stabilisé à partir du 3ème jour où la germination atteint son maximum avec 24 graines germées (Figure4c.)

Mais, au concentration 250mM NaCl (C3), la germination a débuté premier jour avec un valeur de 4.25 graines et monte jusqu'à 7 -ème jour avec 23.75 graines.

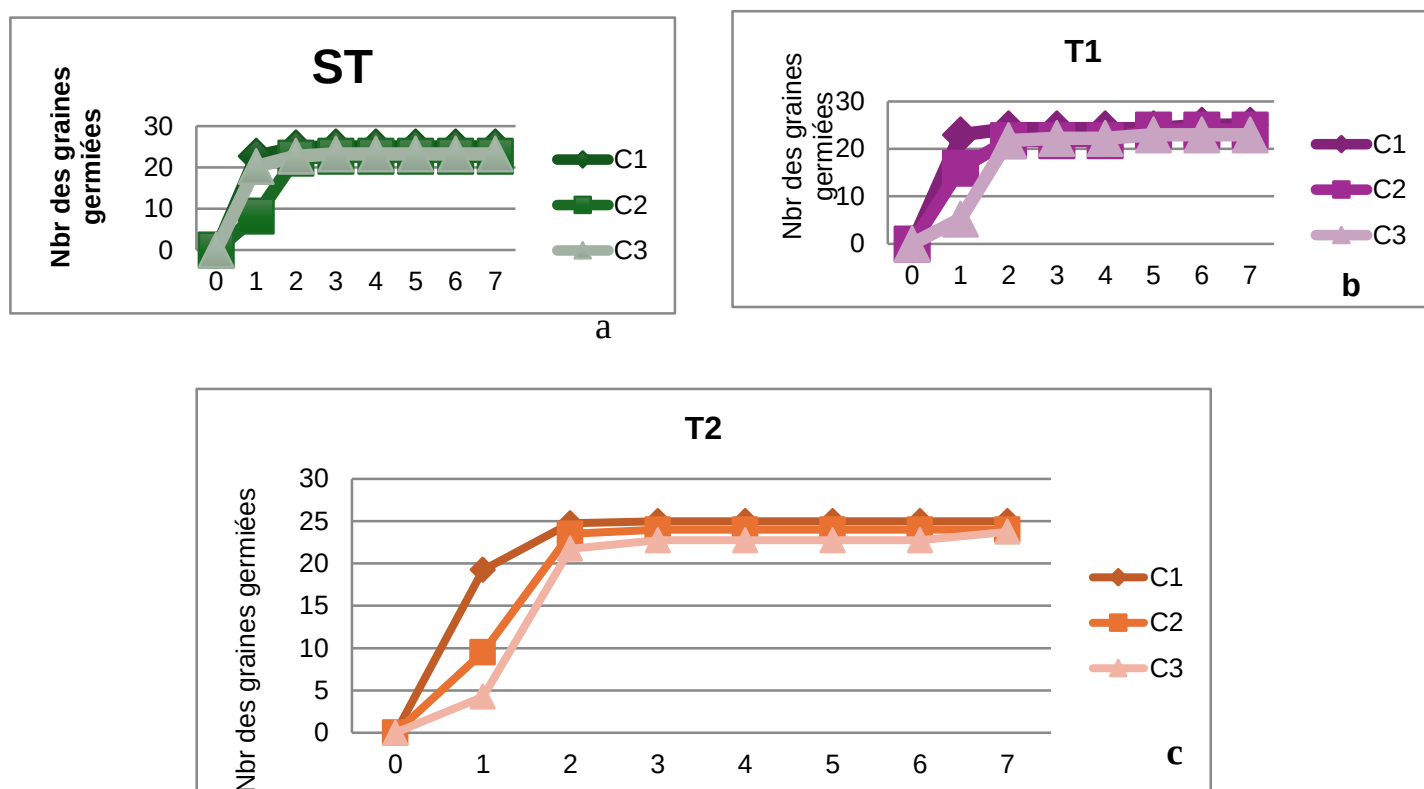


Figure 1 L'effet des traitements appliqués sur le cinétique de germination sous différent

1-1 -2- L'effet des prétraitements sur le taux de germination sous différentes concentrations de NaCl.

La figure 2 représente l'effet des traitements appliqués sur le Taux finale de germination sous différent concentration de NaCl.

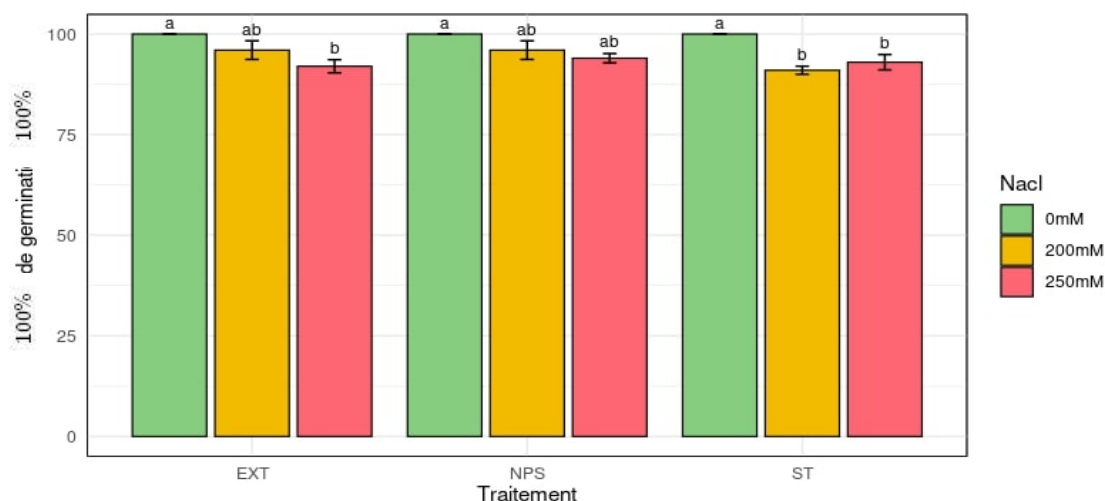


Figure 2 : l'effet des traitements appliqués sur le taux finale de germination sous différent concentration de NaCl .(ST : sans traitement, EXT : extrait végétale, NPS : solution d'AgNps)

Les résultats obtenus après les 07 jours de culture et vérifier par les tests statistiques d'ANOVA ((tableau1) d'Annexe 3) montrent que le Taux de germination est très hautement significatif influencé par le facteur concentration en NaCl ($p < 0.001$), par contre le facteur de traitements, et l'interaction concentration x traitements n'ont pas un effet significatif sur ce paramètre.

Selon le test Tukey HSD, trois groupes différents (a, ab, b) ont mis en évidence ; le groupe (a) est formé par l'interaction $C1 \times EXT$, $C1 \times NPS$ et $C1 \times ST$, le deuxième groupe (ab) est formé par l'interaction $C2 \times EXT$, $C2 \times NPS$ et $C3 \times NPS$, et le troisième groupe (b) est formé par l'interaction $C2 \times ST$, $C3 \times ST$ et $C3 \times EXT$.

Le taux de germination le plus élevée est enregistré à 100% chez le témoin C1 (avec les prétraitements ST, EXT et NPS). ce Taux a été diminué jusqu'à 91% avec le traitement $C2 \times ST$.

1-1-3- Effet des traitements sur la vitesse de germination sous différentes concentrations de NaCl.

La figure 3 représente l'effet des traitements appliqués sur la vitesse de germination sous différentes concentrations de NaCl.

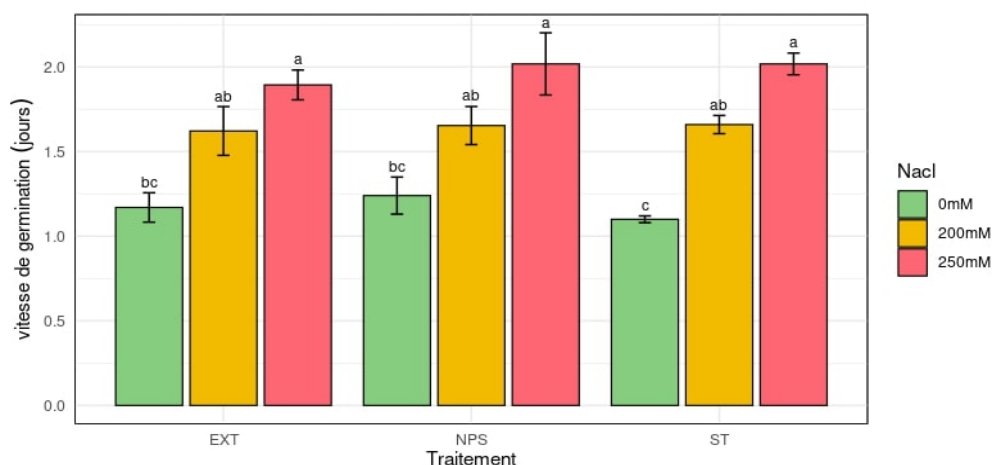


Figure 3 : l'effet des traitements appliqués sur la vitesse de germination sous différent concentration de NaCl .(ST : sans traitement, EXT : extrait végétale, NPS : solution d'AgNp

Les résultats du test statistiques ANOVA (Tableau 2) d'annexe3) montrent que la Vitesse de germination est très hautement significativement influencée par le facteur concentration en NaCl ($p < 0.001$), En revanche, le facteur traitements, et l'interaction concentration x traitements n'ont pas d'effet significatif sur ce paramètre.

Selon le test TukeyHSD, quatre groupes différents (a,ab,bc,c) ont été mis en évidence, le groupe (a) est formé par les interactions C3×EXT, C3 ×NPS et C3 ×ST, le deuxième groupe (ab) est formé par les interactions C2 ×EXT, C2× NPS et C2 × ST, le troisième groupe (bc) est formé par les interaction C1 ×EXT et C1 × NPS, et le quatrième groupe (c) est représenté par le témoin (C1x ST) .

Le temps de germination le plus rapide enregistré est 1,1 jour (pour le témoin sans concentration NaCl (0 mMol NaCl)), alors que le Vitesse de germination le plus ralentir est obtenu avec la concentration 250 mMol NaCl (C3)avec de moyenne (2.018 jours).

1-2- Résultats des paramètres morphologiques

1- 2-1- Effet des traitements sur la longueur des racines sous différentes concentrations de NaCl.

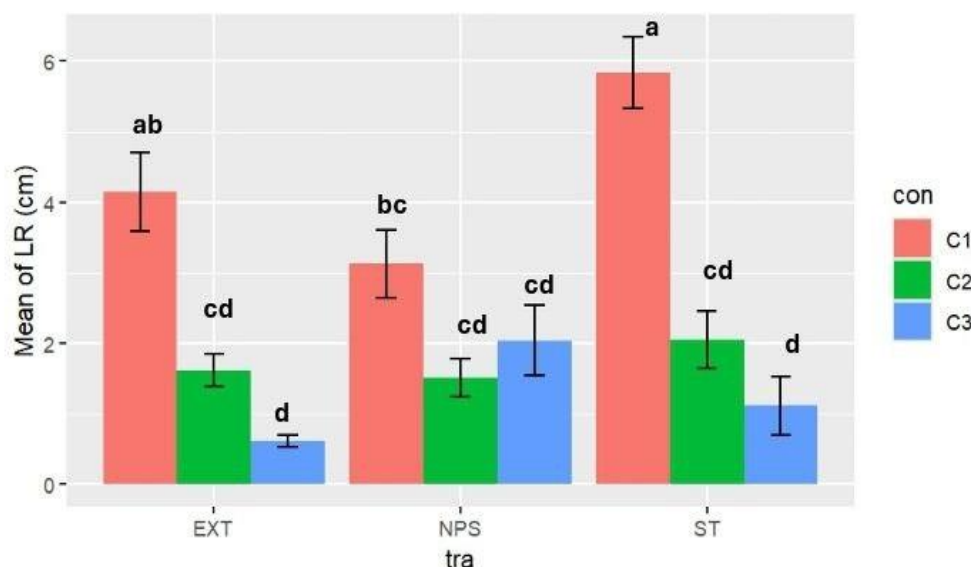


Figure 4 l'effet des traitements appliqués sur la longueur des racines sous différent concentration de NaCl.(ST : sans traitement, EXT : extrait végétale ,NPS :solution d'AgNps C1:0 mM,C2:200Mm, 250Mm)

Les résultats vérifiés par le test statistique ANOVA (tableau 1-3) d'annexe 4) montrent que le facteur concentration en NaCl a un effet très hautement significatif ($p < 0.001$), l'influence de l'interaction concentration x traitements est hautement significative ($p < 0.01$), et les traitements ont un effet significatif ($p < 0.05$) sur la longueur des racines.

Le test Tukey HSD a mis en évidence cinq groupes distincts (a, ab, bc, cd, d), le groupe (a) est formé par l'interaction C1 x ST, le groupe (ab) est formé par l'interaction C1 x EXT, le groupe (bc) est formé par l'interaction C1 x NPS, le groupe (cd) est formé par l'interaction C2 x ST, C2 x NPS, C3 x NPS et C2 x EXT. le groupe (d) est formé par l'interaction C3 x ST et C3 x EXT.

La longueur la plus élevée est obtenue par le témoin avec une longueur de moyenne 5,83cm, par contre les plus faibles longueurs sont obtenues par l'interaction C3 x EXT avec une longueur de 0,61cm.

1- 2-2-Effet des traitements sur la longueur des tiges sous différentes concentrations de NaCl.

La figure 5 représente l'effet des traitements appliqués sur la longueur des tiges sous différents concentrations de NaCl

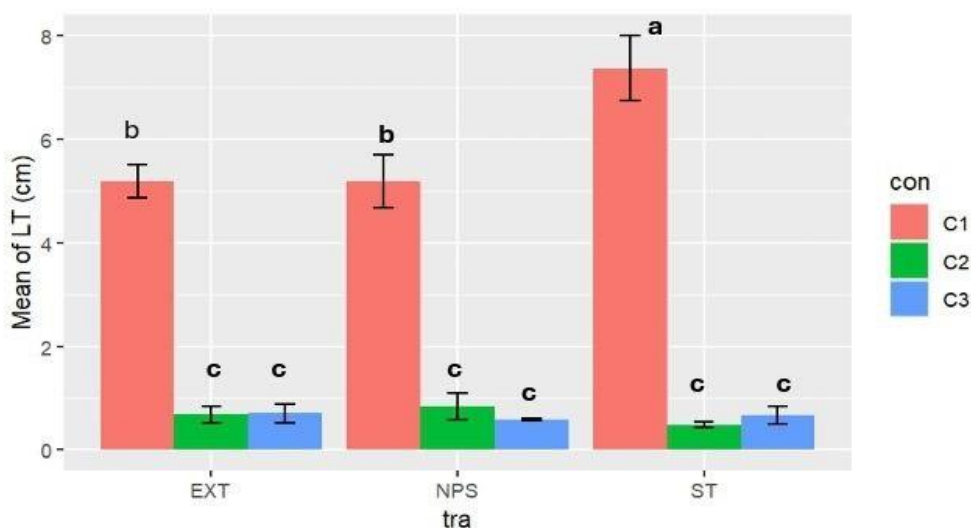


Figure 5 : l'effet des traitements appliqués sur la longueur des tiges sous différentes concentrations de NaCl. (ST : sans traitement, EXT : extrait végétale, NPS : solution d'AgNps) C1:0mM, C2:200Mm, 250Mm

Les résultats obtenus après les 07 jours de culture montrent que le facteur concentration en NaCl a un effet très hautement significatif ($p < 0.001$) sur la longueur des tiges, l'interaction concentration x traitements est hautement significative ($p < 0,01$) et les traitements influencent significativement ($p < 0,05$) ce paramètre.

Le test Tukey HSD a mis en évidence trois groupes distincts (**a**, **b** et **c**), le groupe (**a**) est formé par l'interaction C1 x ST, le groupe (**b**) est formé par l'interaction C1 x NPS et C1 x EXT. le groupe (**c**) est formé par les interactions C2x EXT, C3 x EXT, C2 x NPS C3 x NPS, C2x ST et C3x ST.

La longueur la plus élevée est obtenue par le témoin avec une longueur de 7,36cm, par contre la plus faible longueur est obtenue chez l'interaction C2xST avec une longueur de 0,48cm.

2 -Résultats au stade de croissance

2-1 -Résultats des paramètres morphologiques

2-1-1-Effet des traitements sur la nombre des racines sous différentes concentrations de NaCl.

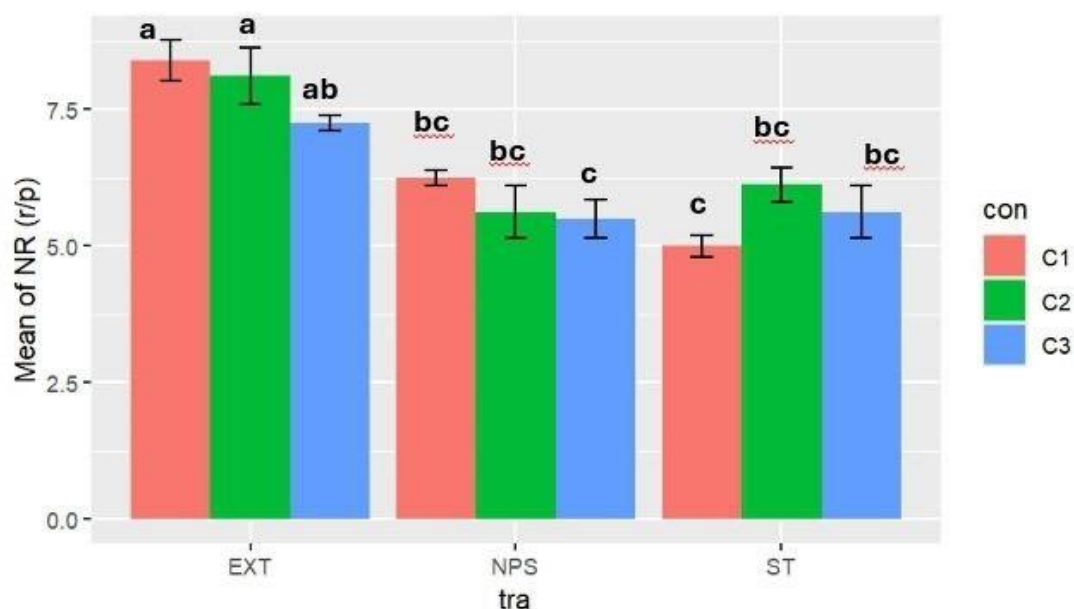


Figure 6 l'effet des traitements appliqués sur le nombre des racines , en fonction de trois concentrations de NaCl. (ST : sans traitement, EXT : extrait végétale ,NPS :solution d'AgNps C1:0mM,C2:200Mm, 250Mm)

La figure 6 représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur le nombre des racines, en fonction de trois concentrations de NaCl.

L'Analyse de variance présenter dans ((tableau1-4) d'annexe 4) montre que le facteur traitement y a un effet très hautement significatif ($p < 0,001$), par contre le facteur concentration et l'interaction concentration x traitement Ils ont d'effet non significatif sur ce paramètre.

selon les résultats de test Tukey HSD mis en évidence quatre groupes différents (a, ab, b c, c), Le groupe (a) comprend(C1 et C2)×EXT, Le groupe (ab) forme par C3× EXT, le groupe (bc) forme par l'interaction (C1 et C2)×NPS et C2×ST et C3 ×ST, le groupe(c) présent l'interaction C1×ST et C3 ×NPS.

le Nombre des racines le plus élevée est obtenu par l'interaction C1x EXT de moyenne (8,4 cm), alors que le plus faible Nombre des racines est obtenu au niveau de l'interaction C1× ST de moyenne (5 cm).

2-1 -2- Effet des traitements sur la longueur des racines sous différentes concentrations de NaCl.

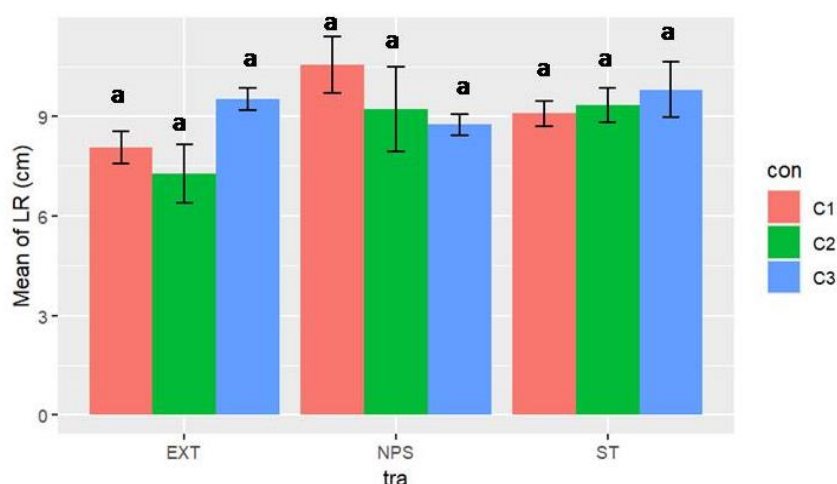


Figure 6 l'effet des traitements appliqués sur la longueur des racines, en fonction de trois concentrations de NaCl.(ST : sans traitement, EXT : extrait végétale ,NPS :solution d'AgNps,C1:0mM, C2:200Mm ,C3:250mM

La figure 7 représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la longueur des racines, en fonction de trois concentrations de NaCl.

L'Analyse de variance présentés dans ((tableau1-5) d'annexe 4) montre que le facteur traitement, Par contre facteur concentration et l'interaction concentration x traitement, Ils ont d'effet non significatif ($p > 0,05$) sur le paramètre la longueur des racines

Selon le test Tukey HSD, tous les moyennes appartiennent au même groupe statistique (a). Les valeurs les plus élevées de la longueur des racines sont observées chez l'interaction C1×NPS de moyenne (10.55cm), en revanche chez l'interaction C2×EXT montre que la longueur des racines le plus faible de moyenne (7.27cm).

2-1 -3- Effet des traitements sur la hauteur des plantules sous différentes concentrations de NaCl.

La figure 8 représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la hauteur de plantule, sous trois concentrations de NaCl.

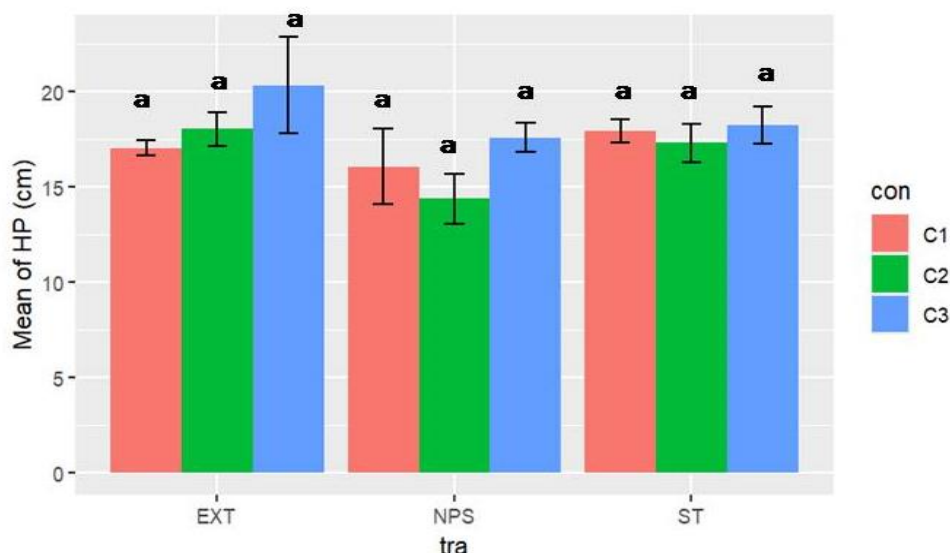


Figure 8 l'effet des traitements appliqués sur la hauteur de plantule, en fonction de trois concentrations de NaCl. (ST : sans traitement, EXT : extrait végétale, NPS : solution d'AgNps, C1:0mM, C2:200mM, C3:250mM)

L'Analyse de variance présentée dans (tableau 1-6) d'annexe 4) montre que les deux facteurs (traitement, concentration) et l'interaction concentration x traitement, n'ont d'effet non significatif sur ce paramètre.

Selon le test Tukey HSD, toutes les moyennes appartiennent au même groupe statistique.

Les valeurs les plus élevées de la hauteur des plantules sont observées chez l'interaction C3×EXT de moyenne (20.31cm), en revanche chez l'interaction C2×NPS, on observe la hauteur des plantules la plus faible de moyenne (14.36cm).

2-1 -4- Effet des traitements sur la surface foliaire sous différentes concentrations de NaCl.

La figure 9 représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la surface foliaire, sous trois concentrations de NaCl.

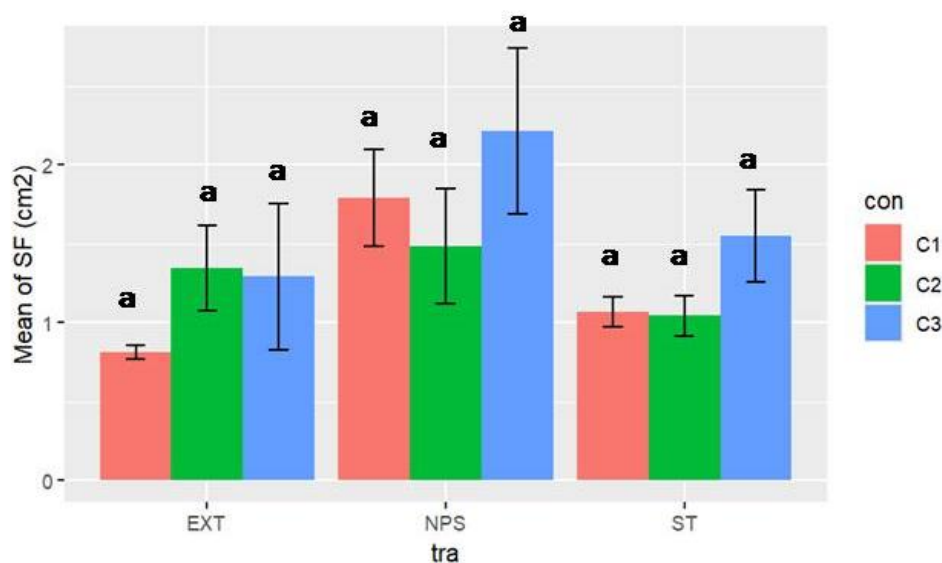


Figure 9 l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la hauteur de plantule, sous trois concentrations de NaCl

L'Analyse de variance est présentée dans ((tableau 1-7) d'annexe4) montre que le facteurs traitement y a d'effet significatif ($p < 0,05$), Par contre le facteurs concentration et l'interaction concentration x traitement, Ils ont d'effet non significatif sur ce paramètre

Selon le test Tukey HSD, tous les moyennes appartiennent au même groupe statistique.

Les valeurs les plus élevées de surface foliaire sont observées chez l'interaction C3×NPS de moyenne (2.22cm), en revanche chez l'interaction C1×EXT montre que la surface foliaire le plus faible de moyenne(0.81cm).

2-1 -5- Effet des traitements sur la longueur des feuilles des plantules sous différentes concentrations de NaCl.

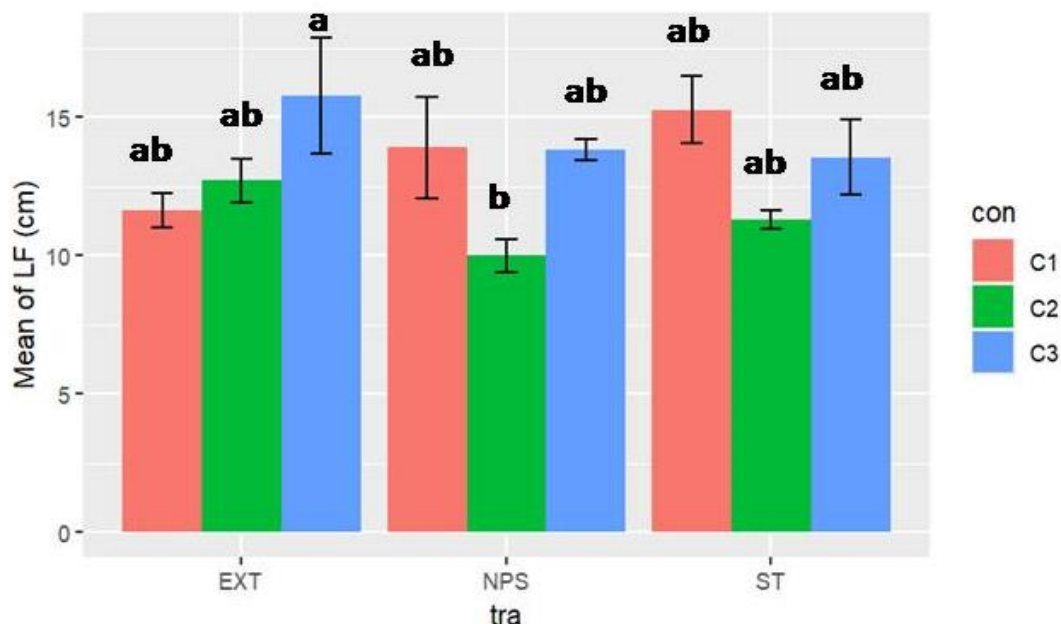


Figure 10 l'effet des traitements appliqués sur la longueur des feuilles, en fonction de trois concentrations de NaCl. (ST : sans traitement, EXT : extrait végétale, NPS : solution d'AgNps, C1:0mM, C2:200mM, 250mM)

Les résultats vérifiés par le test statistique à l'aide d'ANOVA présentés dans ((tableau 1-8) d'annexe 4) montrent que le facteur (concentration) a un effet significatif ($p \leq 0.05$). Par contre, le facteur concentration et l'interaction concentration x traitement, ils ont un effet non significatif sur ce paramètre.

Selon le test Tukey HSD, mis en évidence trois groupes différents (a, ab, b). Le groupe (a) formé par l'interaction C3 x EXT, le groupe (ab) formé par l'interaction C1 et C2 x ST et C3 x ST, l'interaction C1 x EXT et C2 x EXT, C1 x NPS et C3 x NPS. Le troisième groupe (b) formé par l'interaction C2 x NPS.

La longueur la plus élevée est obtenue par l'interaction C3 x EXT pour une longueur moyenne (15,75 cm), par contre les plus faibles résultats sont obtenus par l'interaction C2 x NPS avec une longueur de (9,98 cm).

2-2- Résultats des paramètres physiologique

2-2-1- Effet des traitements sur de la Teneur relative en eau (TRE%) différentes concentrations de NaCl.

La figure (11) représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la teneur relative en eau, en fonction de trois concentrations de NaCl.

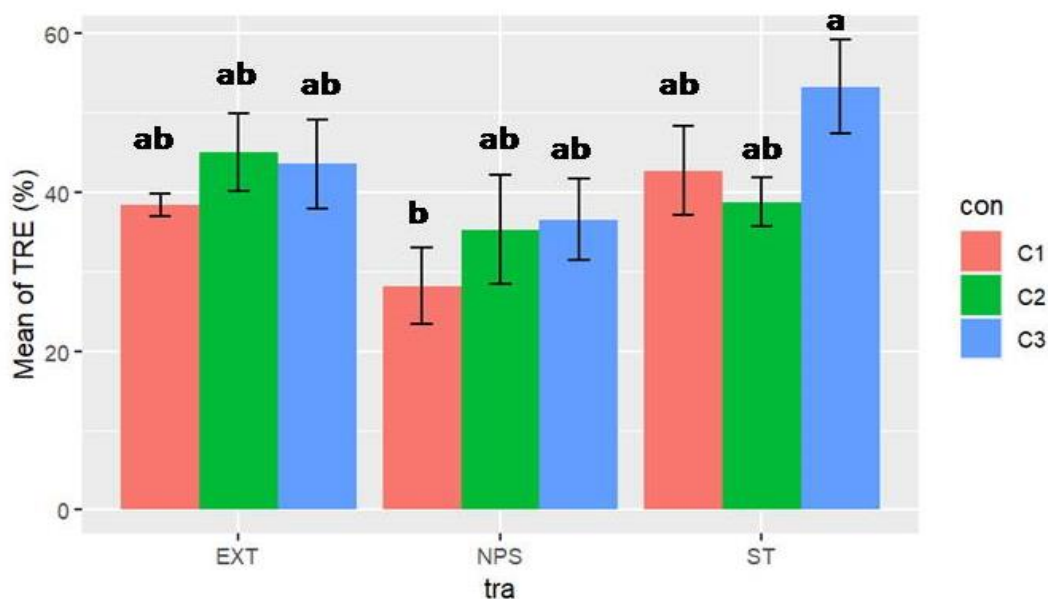


Figure 11 l'effet des traitements sur la teneur relative en eau, en fonction de trois concentrations de NaCl..(ST : sans traitement, EXT : extrait végétale ,NPS :solution d'AgNps C1:0mM, C2:200Mm, 250mM)

L'analyse de variance présentés dans ((tableau 1-9) d'annex4) montre que le facteur traitement y a d'effet significatif sur le teneur relative en eau, par contre le facteur concentration et l'interaction concentration x traitement Ils ont d'effet non significatif sur ce paramètre

Grâce au test post-hoc (Tukey HSD), trois groupes ont été représentés (a;ab;b), le groupe (a) formé par l'interaction C3×ST,le groupe (ab) présenté par l'interaction C2×EXT et C3×EXT, C1×ST, C2×ST, C1×EXT, C3×NPS, C2×NPS, C1×NPS, le troisième groupe (b) formé par C1×NPS.

Les valeurs les plus élevées de teneur relative en eau sont observées chez l'interaction C3×ST de moyenne (53.27%), en revanche l'interaction C1×NPS montre une teneur relative en eau plus faible de moyenne (28.18%).

2-2-2- Effet des traitements sur de la Teneur en chlorophylle différentes concentrations de NaCl

La figure (19) représente l'effet des traitements appliqués aux graines de blé sur la teneur en chlorophylle, en fonction de trois concentrations de NaCl.

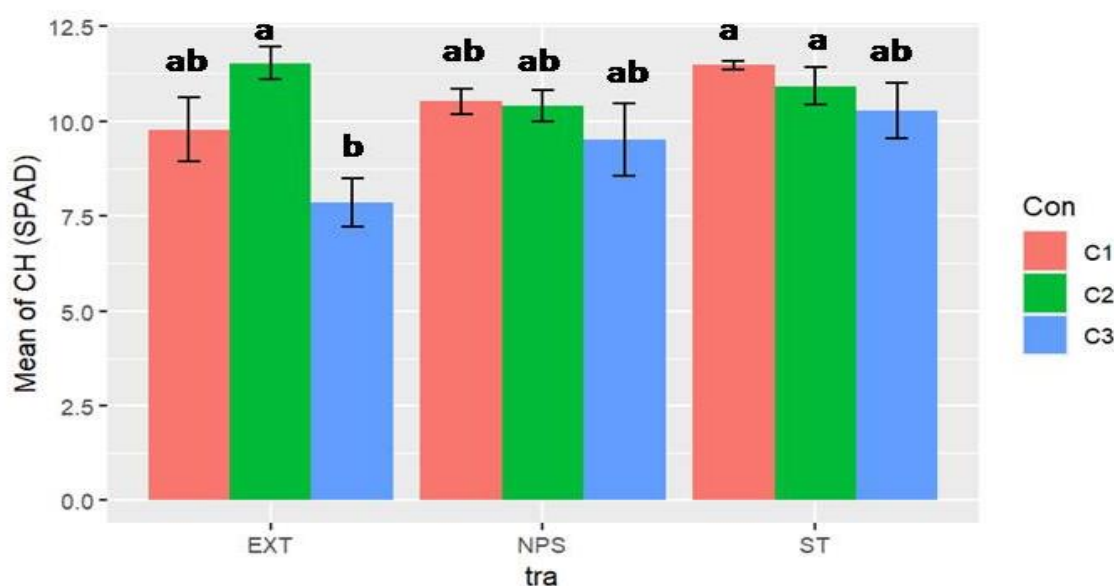


Figure 7 l'effet des traitements sur la teneur de chlorophylle en fonction de trois concentrations de NaCl. (ST : sans traitement, EXT : extrait végétale ,NPS :solution d'AgNps) C1:0mM, C2:200Mm, 250mM)

L'Analyse d'ANOVA est présentée dans ((tableau 1-10) d'annexe 4) montre que le facteur concentration y a d'effet hautement significatif ($p < 0.001$) sur le teneur en chlorophylle par contre l'effet de facteur traitements ($p = 0.07191$) et l'interaction concentration x traitement ($p = 0.11$) ont un effet non significatif.

Les résultats de test Tukey HSD, a mis en évidence trois groupes (a ,ab,b) , le groupe (a) est formé par l'interaction C2×EXT, C1×ST,C2×ST, le groupe (ab) est formé

par l'interaction C1x EXT, C3xST, C1etC2etC3xNPS le groupe (b) est formé par l'interaction C3x EXT.

La valeur de teneur en chlorophylle la plus élevée est obtenue par l'interaction C2xEXT pour une moyenne pourcentage de (11.52 SPAD), par contre les plus faibles résultats sont obtenus par l'interaction C3xEXT avec une moyenne pourcentage de (7.85SPAD).

Discussion :

Durant la phase de germination, nos résultats sur le taux de germination montrent que le pouvoir germinative est plus élevé même en condition salines particulièrement pour les interactions C2x NPS .C3xNPS et C2xEXT comparativement au témoin sans traitement, cela indique que les traitements ont amélioré le pouvoir germinative.

Ce constat est confirmé par les travaux de Hojjat (2015), qui a évalué l'effet des nanoparticules d'argent sur l'atténuation des impacts négatifs de la salinité sur la germination et la croissance des graines de fenugrec (*Trigonellafoenum-graecum*). Dans cette étude L'application de cinq concentrations différentes de nanoparticules(0,10,20,30,40µg/ml) d'argent a révélé une augmentation significative du taux de germination a été observée par rapport au témoin.

La tolérance au sel au cours de la germination est une réponse directe de l'embryon à ses conditions nutritionnelles. Elle est directement liée à une sélectivité efficace du plasmalemmes à l'égard de l'ion sodium. Cette sélection au stade embryonnaire est associée à une accumulation de calcium par la graine lors de la phase de maturation (Groome et al., 1991)

En absence de salinité, L'amorçage des graines de blé par solution d'AgNps et l'extrait de (*Anacyclusvalentinus L*) a influencé négativement sur la longueur des racines et des tiges , provoquant une inhibition /réduction de leur croissance En revanche, la même concentration d'extrait végétal appliqué au stade de croissance stimule significativement la longueur des feuilles et le nombre des racines et la teneur en chlorophylle, même sous des conditions de salinité élevée.

l'inhibition partielle enregistré chez les graines traitées par l'extrait végétale pourrait être due à la présence considérable des molécules allélopathiques inhibitrice dans cet extrait, Ceci a été confirmé par Jawhari et al. (2020) selon les résultats de son étude sur *Anacyclus pyrethrum*, sur la présence de métabolites secondaires dans l'extrait, notamment des phénols et des flavonoïdes.

Certains métabolites secondaires végétales influent sur la croissance des plantes par des mécanismes multiples (Einhellig et al., 1985). La division et l'élongation cellulaire, phases essentielles pour le développement, sont sensibles à la présence des composées allélopathique (Muller, 1965). Ainsi il est observé une chute dans l'index mitotique chez les graines misent en présence de cinéole (composé terpenoïde), indiquent ainsi une inhibition de la prolifération des cellules au niveau des racines. En effet, une inhibition de la synthèse d'ADN dans les noyaux du méristème apical et des racines est soupçonnée (Koitababashi et al, 1997) citer par (Regnault-Roger et al., 2008). La synthèse des protéines et des acides nucléiques peut aussi être effectuée par plusieurs composées phénoliques qui ralentissent l'incorporation des acides aminées (Cameron Et Julian, 1980; Baziramakenga et al; 1997).

Concernant l'inhibition partielle enregistré chez les graines traitées par solution d'AgNps, Kumar (2014) a également indiqué que l'effet des nano-oxydes métalliques était toxique sur les facteurs de croissance, tels que la longueur des racines, la longueur de la tige et l'indice de vitalité des plants de maïs.

L'augmentation de la concentration de NaCl chez les graines traitées a provoqué une prolongation du période de germination.

Notre étude montre que le NaCl ralentit la vitesse de germination des graines de *Triticum durum* Desf, ce retard peut être expliqué par le temps nécessaire aux graines de mettre en place d'ajuster sa pression osmotique interne (Bliss et al., 1986).

En ce qui concerne la croissance des tiges et les racines, nos résultats indiqués que, les traitements NPS et EXT n'ont pas été efficaces pour réduire les effets négatifs de la salinité, en particulier aux concentrations de NaCl les plus élevées.

C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre ne devienne irréversible à l'intérieur de l'organisme, augmentant jusqu'à un seuil où les dommages seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou d'une variété (Bois, 2005).

Nos résultats ont montré que la hauteur des plantes n'a pas été significativement affectée par le type de traitement, la concentration de NaCl, ni par l'interaction entre ces deux facteurs. Cette observation est digne d'intérêt, car la salinité est généralement reconnue comme un facteur majeur de réduction de la croissance et de la hauteur des plantes due à la toxicité ionique et au stress osmotique qu'elle induit (Munns & Tester, 2008). Le manque de différence significative dans la hauteur des plantes sous stress salin, même avec l'application de traitements, suggère que les effets combinés de la salinité et des prétraitements n'ont pas conduit à des variations morphologiques majeures et mesurables sur ce paramètre dans nos conditions expérimentales.

Il est possible que la durée de l'expérimentation (7 jours) ait été trop courte pour que des différences significatives en hauteur apparaissent. Les effets des stress abiotiques sur la croissance peuvent parfois prendre plus de temps à se manifester pleinement, ou les mécanismes de réponse des plantes aux traitements peuvent nécessiter une période d'adaptation plus longue avant de se traduire par des changements morphologiques macroscopiques. Yahyaoui (2021) évoque également des effets variables des nanoparticules sur le développement végétal, qui peuvent dépendre de la concentration, de la nature des NPs et de l'espèce végétale. Il se peut que des paramètres de croissance moins visibles, comme le poids sec ou le volume racinaire, aient révélé des différences plus prononcées, reflétant une allocation des ressources différente en réponse au stress. Certains travaux, bien que ne concernant pas directement la hauteur, ont montré que la réduction de croissance est une capacité adaptative (Bois, 2005), permettant à la plante d'allouer de l'énergie à des mécanismes de défense plutôt qu'à l'élongation.

En ce qui concerne la surface foliaire, nos résultats indiquent que la valeur la plus élevée a été enregistrée chez les plantes ayant reçu le traitement avec la solution d'AgNPs. Cette augmentation de la surface foliaire sous l'influence des AgNPs est un résultat encourageant et un indicateur positif de l'efficacité de ces nanoparticules. Une surface foliaire plus importante est directement corrélée à une capacité accrue de photosynthèse, ce qui peut soutenir une meilleure production de biomasse et une meilleure performance globale de la plante, même dans des conditions de stress.

Cette observation est en accord avec les travaux de Wahid et al. (2020), qui ont démontré que l'application de nanoparticules d'argent chez le blé sous stress salin permettait

d'améliorer divers paramètres de croissance, y compris la teneur en chlorophylle (ce qui est lié à la capacité photosynthétique et à la santé foliaire). L'augmentation de la surface foliaire sous l'effet des AgNPs pourrait être attribuée à plusieurs mécanismes sous-jacents : Les AgNPs sont connues pour leur capacité à améliorer la photosynthèse et l'efficacité d'utilisation de l'eau (Etesami et al., 2021). Une meilleure efficacité photosynthétique permettrait à la plante de disposer de plus d'énergie pour la croissance des feuilles. La salinité induit un stress oxydatif important, qui endommage les cellules et les tissus, y compris ceux des feuilles. En atténuant ce stress oxydatif, comme le soulignent Wahid et al. (2020) et sami et al. (2021) via l'augmentation de l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, CAT, APX), les AgNPs protègent les cellules foliaires, favorisant ainsi un développement plus sain et une plus grande expansion des feuilles. Bien que non directement abordée ici pour la surface foliaire, Wahid et al. (2020) ont explicitement montré que les AgNPs modulent la concentration d'ABA. Un équilibre hormonal optimisé (impliquant potentiellement auxines et cytokinines qui régulent la division et l'expansion cellulaire) pourrait contribuer à une plus grande surface foliaire.

Les résultats concernant la teneur relative en eau (TRE) indiquent une légère augmentation chez les plantes stressées sous l'effet de la salinité. La TRE est un indicateur clé de l'état hydrique de la plante et de sa capacité à maintenir la turgescence cellulaire. Une augmentation de la TRE chez les plantes soumises à la salinité, même légère, suggère une meilleure régulation hydrique ou une meilleure adaptation osmotique en présence des traitements.

Ce phénomène peut être expliqué par plusieurs mécanismes soutenus par la littérature :

Les nanoparticules, y compris les AgNPs, peuvent favoriser la synthèse et l'accumulation de solutés compatibles (tels que la proline et les sucres solubles) qui aident les cellules à maintenir leur potentiel hydrique et à résister à la déshydratation induite par le sel (Wahid et al., 2020). Etesami et al. (2021) confirme que l'amélioration de l'équilibre hydrique via l'ajustement osmotique est un mécanisme clé par lequel les NPs atténuent le stress salin.

Le stress salin perturbe l'intégrité des membranes cellulaires. En réduisant le stress oxydatif, les AgNPs peuvent protéger ces membranes, limitant ainsi les fuites d'électrolytes et permettant une meilleure rétention d'eau par les cellules (Etesami et al., 2021).

Une meilleure TRE pourrait également impliquer une régulation plus efficace de l'ouverture et de la fermeture des stomates, potentiellement influencée par des hormones comme l'ABA (Wahid et al., 2020), ou une amélioration de la fonction des aquaporines (protéines de transport de l'eau) facilitant l'absorption d'eau.

Une augmentation de la TRE sous stress salin est un signe positif de la tolérance de la plante au stress hydrique secondaire induit par le sel, démontrant l'efficacité des traitements dans le maintien d'un statut hydrique plus favorable.

Nos résultats confirment que le stress salin, induit par l'augmentation des concentrations de NaCl, provoque une diminution générale de la teneur totale en chlorophylle. Cette dégradation des pigments chlorophylliens, largement documentée (Wu et al., 2015; Rehman et al., 2016), est principalement due à des dommages chloroplastiques et à l'augmentation du stress oxydatif (Etesami et al., 2021).

Cependant, une exception notable a été observée pour l'interaction C2×EXT, où la teneur en chlorophylle a été préservée, suggérant un effet protecteur de l'extrait (EXT) à cette concentration de salinité. Cette protection est en accord avec les travaux de Wahid et al. (2020) qui ont démontré la capacité des nanoparticules d'argent (AgNPs) à maintenir des niveaux de chlorophylle élevés chez le blé sous stress salin, grâce à l'atténuation du stress oxydatif et à la stimulation du système antioxydant. Yahyaoui (2021) pourrait également soutenir ces observations si elle rapporte des effets similaires des NPs sur la teneur en chlorophylle. L'efficacité de l'extrait (EXT) à la concentration C2 pourrait s'expliquer par une concentration optimale de ses composés bioactifs, agissant comme antioxydants ou régulateurs de croissance, offrant une protection synergique contre la dégradation chlorophyllienne. Des concentrations plus élevées (C3) de NaCl pourraient toutefois dépasser cette capacité protectrice ou induire une toxicité de l'extrait.

Conclusion

Conclusion

Au terme de notre étude, nous nous sommes intéressés à l'effet d'amorçage des graines de blé dur de la variété BOUSSELAM par deux traitements – un extrait végétal d'*Anacyclus valentinus* L. (EXT) et une solution de nanoparticules d'argent (AgNPs) – sur la germination et la croissance des plantules sous différentes concentrations de NaCl.

Concernant le stade de germination, nos résultats montrent que les deux traitements (EXT et AgNPs) améliorent significativement le pouvoir germinatif, même sous stress salin, agissant ainsi comme des biostimulants.

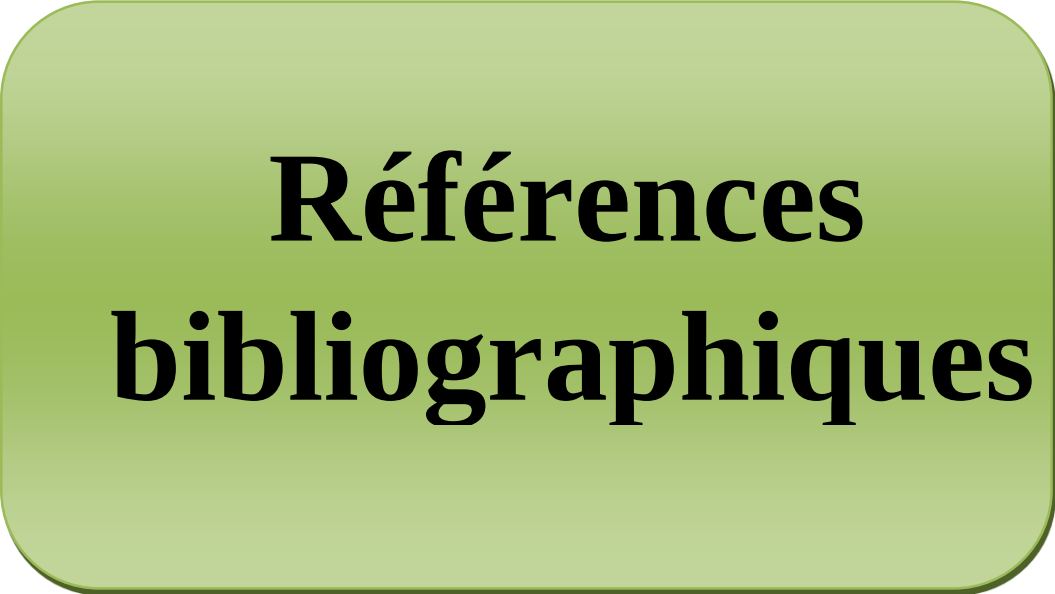
En post-germination, nous avons observé un effet négatif des traitements, se traduisant par une inhibition de la croissance racinaire et caulinaire en absence de salinité. Parallèlement, les AgNPs et l'extrait n'ont pas atténué efficacement les effets négatifs de la salinité sur la vitesse de germination et la croissance des parties aériennes et racinaires à des concentrations élevées de NaCl.

Au stade juvénile, l'extrait végétal a stimulé la croissance des feuilles et le nombre de racines, même sous forte salinité, confirmant son rôle biostimulant à ce stade. De même, les AgNPs ont amélioré la teneur en eau et la surface foliaire. Cependant, il est important de noter que ces traitements n'ont pas efficacement atténué les effets négatifs de la salinité sur la vitesse de germination, la teneur en chlorophylle et la croissance des parties aériennes et racinaires à des concentrations élevées de NaCl.

Ces résultats nous amènent à envisager des perspectives d'applications biotechnologiques pour l'amélioration de la résistance des cultures dans des environnements à forte salinité.

Perspectives Futures : Dans le futur, nous proposons de :

- Utiliser une large gamme de variétés de blé dur .
- Appliquer cette étude sur plusieurs stades du cycle de vie de la plante.
- Compléter ce travail par des études de biologie moléculaire afin d'identifier les gènes responsables des réponses observées.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Aksoy, S., Yildirim, A., Gorji, T., Hamzehpour, N., Tanik, A., et Sertel, E. (2022).** Assessing the performance of machine learning algorithms for soil salinity mapping in Google Earth Engine platform using Sentinel-2A and Landsat-8 OLI data. *Advances in Space Research*, 69,p1072-1086
- Baazize, N., Snoussi, S. A., & Saladin, G. (2021).** Amélioration de la germination et de la résistance du haricot (*Phaseolus vulgaris L.*) à la salinité par la technique de priming. *Revue AgroBiologia*, 11(1), p162-170.
- Barrs H., 1968.** Determination of water deficit in plant tissues. In: *Water Deficit and Plant Growth*. Koslowski T. Academy Press. New York. 235-368 p.
- Brahimi H. A., 2017-** Variations phénotypiques pour la tolérance aux stress salin et hydrique chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Master Académique. Université Mohamed Boudiaf - M'sila : 24 p.
- Bridges, E. M., et Oldeman, L. R. (1999).** Global assessment of human-induced soil degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 13, p319–325.
- Bliss R.D., Platt-Aloia K.A et Thomon W.W., 1986** Osmotic sensitivity in relation to sensitivity in germination barley seeds. *Plant Cell and Env.* 9,721-725.
- Bois G., 2005** Ecophysiologie de semis de conféresectomycorhizés en milieu salin et soclique .thèse de doctorat.Univ de Merséille.France .187p.
- Bonjean, A.P., & Picard, E. (1990).** Le blé: production, amélioration génétique et qualité. Paris: Lavoisier.
- Feeny P., 1976.** Plant appetency and chemical defense. Ed. Plenum Press, New York.
- Camron H.J. et Julian J.R., 1980.** Inhibition of protein synthesis in lettuce (*Lactuca sativa* cultivar Black Seed Simpson) by allelopathic compounds. *J. Chem. Ecol.*, 6 :p 989-996.
- Einhellig F.A.,1985** .Mechanisms and modes of action of allelochemicals .In “The Science of Allelopathy”(Eds.): A.P.Putnam and C.Teng.JohnWiley and Sons Publishers.pp. 170-188.

Etesami, H., Fatemi, H., & Rizwan, M. (2021). Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 225, 112769

FAO.,(2022)., Durum wheat and its economic and agricultural importance in Mediterranean regions. *Journal of Agricultural Research*, 10, 45–52p.

Ghosh, A., Kumar, A., et Biswas, G. (2024). Exponential population growth and global food security: Challenges and alternatives. In P. Kumar, A. L. Srivastav, V. Chaudhary, E. D. Hullebusch, et R. Busquets (éds.), *Bioremediation of emerging contaminants from soils: Soil health conservation for improved ecology and food security* (pp. 1–20). Elsevier.

Golla, B. (2021). Agricultural production system in arid and semi-arid regions. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*, 7, p234–244.

Greenway H. & Munns R. (1980). Mécanismes de tolérances au sel chez les non-halophytes. *Examen annuel de l'usine Physiologie* 31, p 149-190.

Heydecker, W.J., Heydecker, J., Higgins and Gulliver, K. 1973. Accelerated germination by osmotic seed treatment, *Nature* 246: p42-46.

INPN - Inventaire National du Patrimoine Naturel. (2023). Fiche espèce: *Anacyclus valentinus*.

https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/82318/tab/fiche

INRAE, Dijon. (2013). *Anacyclus valentinus*. Hypp: Encyclopédie en protection des plantes.

https://www2.dijon.inrae.fr/hyppa/hyppa-f/anyva_fh.htm

Jawhari, F. Z., El Moussaoui, A., Bourhia, M., Imtara, H., Mechchate, H., Es-Safi, I., & Bari, A. (2020). *Anacyclus pyrethrum (L)*: Chemical composition, analgesic, anti-inflammatory, and wound healing properties. *Molecules*, 25(22), 5469.

Koitababashi R., Suzuki T., Kawazu T., Sakai A., Kuroiwa T., 1997. 1,8-cineole inhibits root growth and synthesis in the root apical meristem of *Brassica campestris* L.J. *Plant Res* 110 :1-6.

Le Driant, F. (2024). *Anacyclus valentinus*. FloreAlpes.

https://www.florealpes.com/comparaison.php?compar_code_1=anacyclusvalen

Muller C.H., 1965. Inhibitory terpenes volatilized from *Salvia* shrubs. Bulletin of the Torrey Botanical Club 92 : p38-45.

Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59, p651–681.

Nadathur, S., Wanasundara, P., & Scanlin, L. (2024). Feeding the globe nutritious food in 2050: Obligations and ethical choices. In S. Nadathur, L. Scanlin, et P. Wanasundara (éds.), *Sustainable protein sources advances for a healthier tomorrow* (pp. 649–668). Elsevier.

Oelviani, R., Adiyoga, W., Bakti, I. G. M. Y., Suhendrata, T., Malik, A., Chanifah, C., et al.(2023). Climate Change Driving Salinity: An Overview of Vulnerabilities, Adaptations, and Challenges for Indonesian Agriculture. *Agricultural and Environmental Journal*, 16, p29–49.

Ranal, M. A., & Santana, D. G. (2006). How and why to measure the germination process? *Blazilian Journal of Botany*, 29, 1–11. <https://doi.org/10.1590/s0100-84042006000100002>

Rehman MZ, Rizwan M, Sabir M, Shahjahan Ali S, Ahmed HR, 2016. Comparative effects of different soil conditioners on wheat growth and yield grown in saline-sodic soils. *Sains Malays.* 45: p339-346.

Selmi, R. 2000. Fin du mythe de l'autosuffisance alimentaire et place aux avantages comparatifs. *Revue Afrique Agriculture*, 280: p30-23.

Singh, A. (2022). Soil Salinity: A Global Threat to Sustainable Development. *Soil Use & Management*, 38, p39–67.

Slama, A., Ben Salem, M., Ben Naceur, M., Zid ED. (2005). Les céréales en Tunisie : production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Institut national de la recherche agronomique de Tunisie (INRAT).Univ.Elmanar.Tunisie,p62.

Wahid, I., Kumari, S., Ahmad, R., Hussain, S.J., Alamri, S., Siddiqui, M.H., Khan, Rizwan, M., Irshad, M., Raza, A., Mehmood, T., & Hafeez, M. (2020). Silver nanoparticle regulates salt tolerance in wheat through changes in ABA concentration, ion homeostasis, and defense systems. *Biomolecules* 10, p1506.

Wu H, Shabala L, Zhou M. Shabala S. 2015. Chloroplast-generated ROS dominate NaCl-induced K⁺ efflux in wheat leaf mesophyll. *Plant Signal Behave.* 10: p1-4.

Yahyaoui, A. (2021). Les effets de l'exposition aux nanoparticules sur la germination et le développement d'un modèle alternatif végétal (Mémoire de master, Université Badji Mokhtar de Annaba).

Annexes

Annexe 1 : fiche technique de la variété utilisées

Blé dur

Boussellam



Origine : Syrie
 Pédigrée : Heider/Marli/Heider-Cro ICD
 -414-1BLCTR-4AP
 Obtenteur : Semilas Fito .Sa.
 Demandeur : ITGC
 Année d'inscription : 2007

CARACTÉRISATION AU CHAMP



Coléoptile	
Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
Première feuille	
Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
Plante	
Port au tallage:	Mi- dressé à mi- étalé
Fréquence des plantes ayant la dernière feuille retombante :	Nulle ou très faible
Hauteur (tige, épi et barbes) :	Moyenne



Dernière Feuille:	
Glauescence de la gaine :	Moyenne
Glauescence du limbe :	Faible
Epoque d'épiaison (1er épillet visible sur 50% des plantes) :	Précoce
Barbes	
Pigmentation anthocyanique :	Nulle ou très faible
Tige	
Pilosité du dernier nœud :	Nulle ou très faible
Glauescence du col de l'épi :	Faible
Epi	
Glauescence :	Faible

CARACTÉRISATION SUR ÉPI SEC

Barbes	
Distribution des barbes :	Sur toute la longueur
Longueur par rapport à l'épi :	Plus longues
Couleur :	Noire

Annexe 2

	Pot 1	Pot2	Pot3	Moyenne
Poids 1(g)	128	130	129	129
Poids 2(g)	124	123	124	124

Tableau 1: calcul de la capacité de rétention

La capacité de rétention pour 100g de terreau dans première jour est 33,3ml.

P0 : poids du terreau : 100g

P1 : poids du terreau après irrigation

P2 : poids du sol cultivé après 48h de saturation

$$CR = \frac{\text{Poids de sol humide (p1)} - \text{poids de sol sec (p2)}}{\text{poids de sol sec (p2)}} \times 100$$

Équation 2 capacité de rétention

$$CR = (129) - (124) / (124) \times 100 = 4,03$$

4,03ml est la capacité de rétention pour 100g de terreau .

Annexe3 :

1-Tableaux d'analyse de la variance twoway ANOVA des paramètres étudiées

Tableau 2 Analyse de variance du le taux de germination

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
trait	2	0.035	0.0173	0.381 0.687
nacl	2	3.946	1.9730	43.560 3.54e-09 ***
trait:nacl	4	0.049	0.0123	0.271 0.894
Residuals	27	1.223	0.0453	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Tableau 3Analyse de variance du la vitesse de germination

Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
trait	2	0.035	0.0173	0.381 0.687
nacl	2	3.946	1.9730	43.560 3.54e-09 ***
trait:nacl	4	0.049	0.0123	0.271 0.894
Residuals	27	1.223	0.0453	

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Annexe4

1-3- Analyse de variance de la longueur de racines au stade de germination

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con2	67.7533.88	50.663	7.26e-10	***	
tra	2	5.49	2.74	4.105	0.02777 *
con:tra4	14.31	3.58	5.350	0.00264	**
Residuals	27	18.05	0.67		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Treatments with the same letter are not significantly different.

1-4- Analyse de variance de la longueur des tiges au stade de germination

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con	2	220.85	110.43	274.148	< 2e-16 ***
tra	2	3.31	1.65	4.106	0.02775 *
con:tra	4	9.58	2.39	5.943	0.00145 **
Residuals	27	10.88	0.40		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Treatments with the same letter are not significantly different.

1-5- Analyse de variance de la longueur des racines au stade de croissance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con	2	3.87	1.937	0.927	0.4080
tra2	10.98	5.491	2.627	0.0907	.
con:tra4	14.59	3.647	1.745	0.1693	
Residuals	27	56.44	2.090		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Treatments with the same letter are not significantly different

1-6- Analyse de variance de la nombre des racines au stade de croissance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con	2	1.75	0.873	1.698	0.2019
tra2	40.3120.156	39.236	1.03e-08	***	
con:tra	4	4.97	1.243	2.420	0.0729
Residuals	27	13.87	0.514		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Treatments with the same letter are not significantly different.

-7- Analyse de variance de la hauteur des plantules au stade de croissance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con	2	30.73	15.365	2.188	0.1317
tra2	39.13	19.563	2.785	0.0795	.
con:tra4	14.44	3.610	0.514	0.7260	
Residuals	27	189.64	7.024		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Treatments with the same letter are not significantly different.

1-8- Analyse de variance de la surface foliaire au stade de croissance

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
con	2	1.493	0.7466	1.872	0.1732
tra2	3.328	1.6641	4.173	0.0263	*
con:tra4	0.922	0.2305	0.578	0.6810	
Residuals	27	10.766	0.3987		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

1-9- Analyse de variance de longueur des feuilles au stade de croissance

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

con 2 59.91 29.955 5.286 0.0116 *

tra 2 5.15 2.573 0.454 0.6398

con:tra4 48.25 12.063 2.129 0.1047

Residuals 27 153.02 5.667

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

1-10- Analyse de variance de la teneur en eau

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

con 2 393.2 196.6 1.925 0.1654

tra2 885.0 442.5 4.332 0.0233 *

con:tra4 316.7 79.2 0.775 0.5509

Residuals 27 2757.6 102.1

1-10- Analyse de variance de la teneur en chlorophylle

Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)

Con 2 20.18 10.088 6.914 0.00376 **

tra 2 8.48 4.241 2.907 0.07191 .

Con:tra 4 12.17 3.042 2.085 0.11063

Residuals 27 39.40 1.459

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Résumé

Résumé

Ce travail est consacré à l'étude de l'effet de prétraitements, à base de nanoparticules d'argent (AgNPs) et d'un extrait aqueux de l'espèce *Anacyclusvalentinus*, sur la germination et la croissance des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf.) de la variété Bousselam, exposées au stress salin. Pour cela, les graines prétraitées ont été soumises à différentes concentrations de NaCl (200mM et 250mM) ainsi qu'à un témoin sans sel (0mM). Les résultats ont montré que les AgNPs et l'extrait aqueux ont eu un effet positif en améliorant la capacité de germination, la teneur relative en eau et la surface foliaire (particulièrement les AgNPs). Quant à l'extrait aqueux, il a eu un effet positif sur la longueur et le nombre des racines, la longueur des feuilles, ainsi que la hauteur des feuilles sous salinité. Cependant, un effet négatif des AgNPs et de l'extrait aqueux a été observé en l'absence de salinité, se manifestant par une inhibition de la croissance des radicules et des coléoptiles.

Mots-clés : *Triticum durum* Desf., germination, croissance, stress salin, NaCl, nanoparticules.

Priming effect of seeds with silver nanoparticles (AgNPs) and *Anacyclusvalentinus* L. extract on the germination and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under salt stress conditions.

Abstract

This work investigates the effect of pretreatments, based on silver nanoparticles (AgNPs) and an aqueous extract of the species *Anacyclusvalentinus*, on the germination and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) of the Bousselam variety, exposed to salt stress. For this purpose, pretreated seeds were subjected to different NaCl concentrations (200mM and 250mM) as well as a salt-free control (0mM). The results showed that both AgNPs and the aqueous extract had a positive effect by improving germination capacity, relative water content, and leaf area (particularly the AgNPs). As for the aqueous extract, it positively influenced root length and number, leaf length, and leaf height under salinity. However, a negative effect of AgNPs and the aqueous extract was observed in the absence of salinity, manifested by an inhibition of radicle and coleoptile growth.

Keywords: *Triticum durum* Desf., germination, growth, salt stress, NaCl, nanoparticles.

تأثير تحفيز البذور بجسيمات الفضة النانوية (AgNPs) ومستخلص (*Anacyclusvalentinus* L.) على إنبات ونمو بادرات القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.) تحت ظروف الإجهاد الملحي.

الملخص:

تناول هذا العمل دراسة تأثير المعالجات الأولية بجسيمات الفضة النانوية والمستخلص المائي لنبات *AnacyclusValentinus* على مؤشرات الإنبات ومرحلة ما بعد الإنبات وكذا نمو بادرات القمح الصلب من صنف بوسلام والمعرضة للإجهاد الملحي. ولهذا الغرض، عُرضت البذور المعالجة مسبقاً لتركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (200 ملي مولار و 250 ملي مولار)، بالإضافة إلى مجموعة ضابطة خالية من الملح (0 ملي مولار). أظهرت النتائج أن الجسيمات النانوية الفضية والمستخلص المائي كان لهما تأثير إيجابي في تحسين قدرة الإنبات، المحتوى المائي النسبي مساحة الورقة خاصة عن طريق المعالجة بالجسيمات الفضة النانوية. أما بالنسبة للمستخلص المائي فقد كان له تأثير إيجابي على طول الجذور وعددها، وطول الأوراق، و طول النبات تحت تأثير الملوحة. ومع ذلك لوحظ التأثير السلبي لجسيمات الفضة النانوية والمستخلص المائي في غياب الملوحة علي نمو الجدير وغمد الريشة.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب ، الانبات ، النمو ، الاجهاد الملحي ، كلوريد الصوديوم، الجسيمات النانوية