

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



MEMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science Biologique

Spécialité : Biotechnologie Végétale

Présenté par : BENALI Widad et BOUGUETTAIA AFNANE

Thème

Effets d'une nano molécule sur la germination de quelques espèces cultivées

Soutenu publiquement le: 27/09/2020

Devant le jury

Melle. SALHI N.	Professeur	Présidente	UKM Ouargla
Mme..DJERROUDI O.	M.C.A	Examineur	UKM Ouargla
Mr. CHAABENA A.	M.A.A	Encadreur	UKM Ouargla
Mr. HENNI A. .	M.C.B	Co-Encadreur	UKM Ouargla

Année universitaire: 2019/2020

Remerciement

Merci au **BON DIEU** de m'avoir donné le courage, la volonté ainsi que la conscience pour que je puisse terminer mes études et réaliser cette mémoire.

Sincère remerciement à mon encadreur **Mr.CHAABENA Ahmed** pour ses précieux conseils, sa grande disponibilité et ses judicieuses orientations qui ont contribué à alimenter ma réflexion.Qu'il trouve ici ma profonde reconnaissance et mon immense respect.

Et je n'oublie pas mon co-encadreur **Mr.HENNI ABDELLAH** pour son confiance et pour ses informations.

J'adresse mes plus vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce modeste travail. Je désire aussi remercie chef de notre spécialité **M^{me}DJAROUDI OUIZA** pour son souci constant. Je remercie tous mes enseignants qu'ils m'ont transmis le savoir, la curiosité et la perseverance d'onnés durant mon cycle universitaire.

Maintenant je voudrais adresser toute ma gratitude à ma famille **BENALI** et **BENKHALFA** :

La plus merveilleuse de toutes les femmes au monde,
celle qui m'a transmis sa générosité, celle qui m'a appris
à pardonner, à aimer et à doner le meilleur de moi;
MAMAN.

Mon père qui m'a soutenu durant toutes mes années
d'études et qui m'a appris à compter sur moi-même, qu'il
me soit permis aujourd'hui de t'assurrer mond profond
amour et ma grande reconnaissance;PAPA.

À la partie intégrante de moi, le persone qui m'a donné
la force, le courage et le soutien ; qu'il paratage ses

experiences avec moi tous le temp ,vriment tu es
changé plusieurs chose dans ma vie.My Fiance

À mes sœurs adore et A mes adorables frères que Dieu
vous bénisse et comble votre vie de bonheur
et de réussite.

À mes chers amis et collègues à tous le corps
professorale de la faculté des siences de la Nature et
de Vie à l'Université Kasdi Merbah Ourgla.

MERCI à tous et à toutes.

With my gratitude, WIDAD

Remerciement

Avant tout je remercie Dieu tout puissant de m'avoir accordé la force, de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail

Tout d'abord Je voudrais remercier du fond du coeur **Mr. CHAABENA.A** qui a encadré cette étude au quotidien. Il fut toujours présent, en particulier lorsque je me suis confrontée au doute, je lui suis reconnaissante pour : son grande disponibilité, son ouverture d'esprit, son dynamisme et son optimisme, ainsi que pour ses multiples et précieux conseils scientifiques, professionnels ou tout simplement humains

Je remercie mon co-encadreur **Mr. HENNI.A** pour ses informations.

Je tiens également à remercier **M^{me} DJAROUDI OUIZA** qui est bien voulu être examinateur de Ce travail

En fin à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à notre formation universitaire, nous leur exprime ici notre profonde reconnaissance et nous leur dis merci plusieurs fois

AFNANE BOUGUETTAIA

Dédicace

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers

A ma chère mère Aldjia

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et J'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formules, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie

A la mémoire de mon Père Mohamed el-Akheldar

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.

A mon très cher mari Ala Eddine

Quand je t'ai connu, j'ai trouvé l'homme de ma vie, mon âme sœur et la lumière de mon chemin. Ma vie à tes côtés est remplie de belles surprises. Tes sacrifices, ton soutien moral et matériel, ta gentillesse sans égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études. Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait vu le jour. Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.

**À ma sœur Mariem et à mes frères Ouadjih, Chouaib et
Firas**

Merci beaucoup pour leur précieux soutien. Ma vie ne serait pas
.une sorcière sans leur présence et leur amour

.Je t'aime de tout mon cœur

A tous les membres de ma famille, petits et grands

Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon
.affection

AFNANE BOUGUETTAIA

Table des matières

Introduction.....	1
Chapitre I: Synthèse bibliographique.....	3
I.1. Les nanoparticules et les nanomatériaux.....	3
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2. Les sources.....	4
I.1.3. Application de la nanotechnologie et des nanomatériaux en fonction du secteur d'activité.....	5
I.1.4. Impact économique global des nanotechnologies dans le monde.....	5
I.2. Les nanoparticules et les plantes.....	6
I.2.1. La pénétration cellulaire des nanoparticules chez les végétaux.....	6
I.2.2. Les effets des nanoparticules chez les végétaux.....	8
I.3. Généralités sur la germination.....	9
I.3.1. Définition.....	9
I.3.2. Morphologie et physiologie de la germination.....	10
I.3.3. Conditions de la germination.....	10
I.3.4. Les différentes phases de la germination.....	11
I.3.5. Obstacles à la germination.....	11
I.3.6. Levées de dormances.....	11
Chapitre II: Matériels et méthodes.....	13
II-1 Objectif.....	13
II.2. Matériels.....	13
II.2.1. Matériel biologique.....	13
II.2.2. Autre matériel.....	13
II.3. Méthode et Protocole expérimental.....	14
II.3.1. Préparation de la nanoparticule : Mise en suspension des nanoparticules de ZnO	14
II.3.2. Préparation des graines et des boîtes de Petri.....	14
II.4. Paramètres retenus.....	14
II.4.1. Nombre de graines germées.....	14
II.4.2. Taux de germination.....	14
II.4.3. Taux final de germination ou taux cumulé de germination.....	14
II.4.4. Temps Moyen de germination ou TMG.....	15
II.4.5. Temps pour 50% germination (t_{50}).....	15
II.4.6. Vitesse de germination.....	15

II.4.7. Le coefficient de vélocité de germination.....	15
II.4.8. Mesure de la longueur maximale du coléoptile (blé) ou radicule (luzerne).....	16
II.5. Analyses statistiques.....	16
Chapitre III : Résultats et discussion :.....	17
III.1. Résultats concernant la luzerne (culture sous-jacente) :.....	17
III.1.1. Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) :.....	17
III.1.2. Coefficient de vélocité :.....	17
III.1.3. Temps moyen de germination (t) :.....	19
III.1.4. Taux de germination final :.....	20
III.1.5. Évolution du taux de germination :.....	21
III.1.6. Évolution de la vitesse de germination :.....	22
III.1.7. Évolution de la longueur maximale de la radicule :.....	23
III.1.8. La longueur maximale finale de la radicule :.....	24
III.2. Résultats concernant le blé (grande culture) :.....	26
III.2.1. Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) :.....	26
III.2.2. Coefficient de vélocité:.....	26
III.2.3. Temps moyen de germination (t):.....	28
III.2.4. Taux de germination final.....	29
III.2.5. Evolution du taux de germination :.....	30
III.2.6. Évolution de la vitesse de germination :.....	30
III.2.7. Évolution de la longueur maximale du coléoptile :.....	31
III.2.8. La longueur maximale finale du coléoptile :.....	32
III.3. Discussion.....	34
Conclusion.....	36
Références bibliographiques.....	37

Liste des abréviations

ISO TS-27687:	Nanotechnologies-terminologie et définitions relatives aux nano-objets-nanoparticule, nanofibre et nanoplat
Fe-NP :	Nanoparticule de fer
NP-Fe ₃ O ₄ :	Nanoparticule d'oxide de fer
Pb:	Le plomb
ZnO:	Oxide de zinc
DIRS:	Dynamique, Interaction et Réactivité des Systèmes
TMG:	Temps Moyen de Germination
CVG:	Coefficient de vélocité de germination
NPs:	Nanoparticules
ZnO NPs:	Nanoparticules d'Oxide de Zinc
Al ₂ O ₃ :	Oxyde d'aluminium
TiO ₂ :	Dioxyde de titane
TiO :	Oxyde de titane
Cu :	Cuivre
Cd :	Cadmium
Hg :	Mercure
Ag :	Argent
Pt :	Platine
Pb :	Plomb
Au :	Or
Fe :	Fer
Co :	Cobalt

Liste des figures

figure 1 : Gamme de taille des nanoparticules comparée à celle des principales structures chimique et biologique. (HOSOKAWA, 2007).....	3
figure 2: Impact économique global des nanotechnologies dans le monde (INERIS, 2007)	6
figure 3: Voies pour l'absorption du plomb après le dépôt de particules contenant de plomb: (UZU et al., 2010).....	7
figure 4: Relation entre les caractéristiques physiques, chimiques et surfaciques des nanoparticules et les effets biologiques (DIETZ et HERTH, 2011).....	9
figure 5.un pied à coulisse électronique.....	13
figure 6: Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour différentes concentraions.....	17
figure 7: Coefficient de vélocité pour les différentes concentrations.....	18
figure 8: Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations.....	19
figure 9 : Taux de germination final pour les différentes concentrations.....	20
figure 10: Évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentration.....	22
figure 11:Évolution de la vitesse de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations.....	23
figure 12 : Évolution de la longueur maximale de la racicule en fonction du temps selon les différentes concentrations.....	24
figure 13: La longueur maximale finale de la racicule pour les différentes concentrations.....	25
figure 14: Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations.....	26
figure 15 : Coefficient de vélocité pour les diffréentes concentrations.....	27
figure 16: Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations.....	28
figure 17: Taux de germination final pour les différentes concentrations.....	29
figure 18: Évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations.....	30
figure 19 : Évolution de la vitesse de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations.....	31
figure 20 : Évolution de la longueur maximale du coléoptile en fonction du temps selon les différentes concentrations.....	32
figure 21 : Longueur maximale finale du coléoptile pour les différentes concentrations	33

Liste des tableaux

tableau 1: Application de la nanotechnologie et des nanomatériaux en fonction du secteur d'activité (INRS, 2012).....	5
tableau 2 : Analyse de la variance du Coefficient de vélocité.....	18
tableau 3: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Coefficient de vélocité.....	18
tableau 4: Analyse de la variance du Temps moyen de germination.....	19
tableau 5 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Temps moyen de germination.....	20
tableau 6 : Analyse de la variance du Taux de germination final.....	21
tableau 7 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Taux de germination final.....	21
tableau 8: Analyse de la variance de la Longueur maximale finale de la radicule.....	25
tableau 9 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour la Longueur maximale finale de la radicule.....	25
tableau 10: Analyse de la variance du Coefficient de vélocité.....	27
tableau 11: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Coefficient de vélocité.....	27
tableau 12 : Analyse de la variance du Temps moyen de germination.....	28
tableau 13: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Temps moyen de germination.....	28
tableau 14: Analyse de la variance du Taux de germination final.....	29
tableau 15: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Taux de germination final.....	30
tableau 16 : Analyse de la variance de la Longueur maximale finale du coléoptile.....	33
tableau 17 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour la Longueur maximale finale de la radicule.....	33

INTRODUCTION

Introduction

Les nanomatériaux phytosynthésés (synthésés à partir des matières végétales aussi appelées nanoparticules biogènes) sont la préoccupation majeure des chercheurs, qui tentent toujours d'optimiser les nanomatériaux à utiliser comme nano-engrais pour les plantes cultivées d'importance agricole dans le respect de la garantie de leur utilisation en toute sécurité (GOGOS, 2012) Divers nanomatériaux utilisés dans les pratiques agricoles modernes ont des impacts à la fois positifs et négatifs sur les plantes cultivées.

Les nanoparticules sont étudiées à travers le monde dans des centaines de laboratoires et d'entreprises pour mettre à profit leurs propriétés physico-chimiques, les caractéristiques de leur échelle nanométrique et développer ainsi de nouvelles applications. La mise sur la marche de produits contenant des nanomatériaux est passée de 54 en 2005 à 1317 en 2011 (DANIEL, 2010).

De plus les connaissances actuelles des effets concernant les nanoparticules manufacturées sur les végétaux s'avèrent relativement limitées. Parmi ces études récentes nous citons ceux de YANG et *al.* (2005) qui ont étudié l'impact des nanoparticules d' Al_2O_3 sur plusieurs espèces végétales (maïs, concombre, soja, le chou et la carotte...) ; d'autre part, LIN et *al.* (2007) ont étudié l'impact des nanoparticules de ZnO sur la germination des graines de radis. Ainsi que RACUCIU et *al.* (2009) ont réalisé des études sur divers végétaux (maïs, pavot, chélidoine, courgette) ; et KHODAKOVSKAYA et *al.* (2009) ont déterminé l'impact des nanotubes de carbone sur les grains de tomate (*Lycopersicon esculentum*), colza, ray-grass, de la laitue et concombre. Dans le cadre de l'évaluation des sols pollués, les effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez la fève (*Vicia faba*) ont été déterminé par FOLTETE (2010). Pour les travaux qui ont étudié l'effet de nanoparticules de ZnO , une étude sur l'ail (*Allium sativum*) a été réalisée par SHAYMURAT et *al.* (2011), de même HERNANDEZ-VIEZCAS et *al.* (2011) qui ont déterminé les effets de ZnO sur velours mesquite (*Prosopis juliflora-velutina*) ; BOONYANITIPONG et *al.* (2011) qui se sont intéressés aux effets de nanoparticules ZnO et de dioxyde de titane (TiO_2) sur le riz (*Oryza sativa* L.). De plus, LARUE (2011) a étudié l'impact des nanoparticules de TiO et nanotubes de carbone sur blé tendre et colza.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre contribution et il s'agit de mettre en évidence l'impact des nanoparticules de synthèse ZnO sur deux cultures importantes l'une est une céréale, le blé tendre (*Triticum aestivum* L), et l'autre est une sous-jacente des palmeraies (et parfois hors palmeraie), la luzerne (*Medicago sativa* L.).

Le blé tendre (*Triticum aestivum* L), parmi les céréales, est l'espèce la plus cultivée à l'échelle mondiale dont il nourrit près de 40 % de la population mondiale et ce n'est que pour la campagne 2017-2018, les superficies récoltées de blé sont de 214291888 hectares avec une production globale de 734045174 de tonnes (FAO STAT, 2020). En Algérie, le blé tendre est la matière première nécessaire pour l'industrie de la transformation et l'extraction de la farine

ainsi que du son dont la première matière d'une part, rentre dans la fabrication de tous les types de pain d'autre part, elle constitue l'ingrédient de base de l'industrie des biscuiteries. Toutefois, le son est un sous produit de la mouture des grains de blé tendre destiné quasiment pour l'alimentation de bétail dans les zones à vocation céréalières et élevage. La superficie récoltée en blé en 2018 était de 2087003 ha pour une production de 3981219 tonnes (FAO STAT, 2020). Cependant, cette production reste en deçà des besoins vu que l'Algérie importait, en 2018, 8422057 tonnes de blé pour une valeur de \$2071961000, et 681 tonnes de farine de blé pour une valeur de \$293000 (FAO STAT, 2020).

La luzerne (*Medicago sativa* L.) est largement cultivée dans l'oasis algérienne et dans des nombreuses régions du monde, et elle est la principale culture pour l'alimentation du bétail. Il s'agit d'une culture très bien adaptée aux conditions édapho-climatiques sahariennes. La luzerne, la «reine des fourrages» est une plante herbacée à longue durée de vie, légumineuse vivace. Elle est largement utilisée comme fourrage pour le bétail et est le plus souvent récoltée comme foin, mais peut également être ensilée, broutée ou pâturée en vert. La luzerne a généralement la plus haute valeur de l'alimentation de toutes les récoltes de foin commun. De plus, la luzerne améliore le régime des agneaux (améliore la production) (RONG et al., 2014). La luzerne a une grande importance dans la rotation des cultures, car elle est connue depuis longtemps comme légumineuse de grande valeur comme culture améliorant le sol.

Ce travail se divise en trois parties

- La première partie est consacrée aux données bibliographiques sur les nanoparticules et les nanomatériaux, Les nanoparticules et les plantes et généralités sur la germination.
- La seconde décrit le matériel et les méthodes utilisées.
- La troisième partie une présentation des résultats obtenus suivis d'une discussion.
- Enfin, ce travail se termine par une conclusion avec des recommandations.

CHAPITRE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1. Les nanoparticules et les nanomatériaux

I.1.1. Définition

A ce jour, il n'existe de consensus sur la définition de nanoparticules ou de nanomatériaux. Cependant, les nanoparticules sont couramment définies comme des particules ayant au moins une de leurs dimensions inférieure à 100 nm. L'INERIS (2007) parle classiquement de nano-objets pour désigner des nanoparticules ou particules ultrafines inférieures à 100 nanomètres, des nanotubes, des nanofibres, des nanofilaments, nano-objets cylindriques dont une seule dimension peut-être supérieure à 100 nanomètres mais dont les diamètres vont de un à quelques dizaines de nanomètres. A l'échelle du monde vivant, les nanoparticules se situent entre l'hélice d'ADN (3.4 nm) et un virus (100 nm) (figure 1).

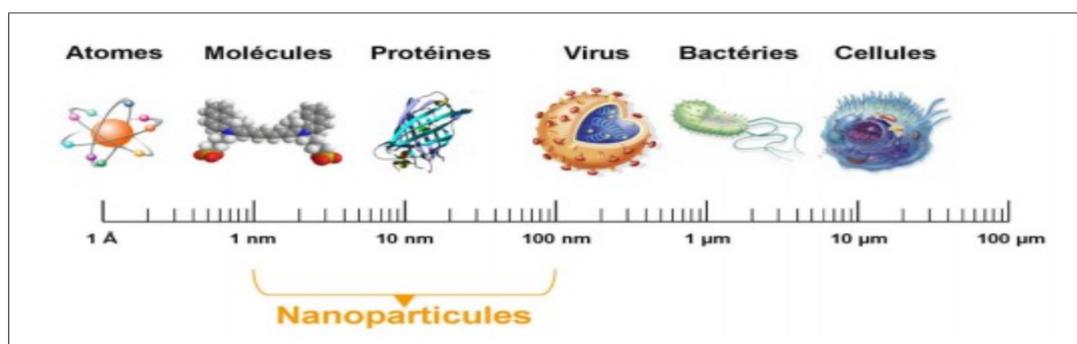


Figure 1 : Gamme de taille des nanoparticules comparée à celle des principales structures chimique et biologique. (HOSOKAWA, 2007)

Les nano-objets ont été définis par la norme ISO TS-27687 (Nanotechnologies-terminologie et définitions relatives aux nano-objet-nanoparticule, nanofibre et nanoplat), publiée à la fin du mois de septembre 2008. Plus récemment, la commission européenne a finalement adopté, le 18 octobre 2011, la recommandation concernant la définition des nanomatériaux :

- « un matériau naturel, formé accidentellement ou manufacturé, contenant des particules libres, sous forme d'agrégat ou sous forme d'agglomérat, dont au moins 50 % des particules, dans la répartition numérique par taille, présentent une ou plusieurs dimension externes se situant entre 1 nm et 100 nm.»
- « De plus, dans des cas spécifiques et lorsque cela est justifié par un souci pour l'environnement, la santé, la sécurité ou la compétitivité, le seuil de distribution de taille de 50% peut-être remplacé par un seuil compris entre 1 et 50 %.

- Par dérogation à ce qui précède, les fullerènes, les flocons de graphène et les nanotubes de carbone à paroi unique avec une ou plusieurs dimensions externes inférieures à 1 nm devraient être considérées comme des nanomatériaux. >> (COMMUNAUTE EUROPEENNE, 2011)

I.1.2. Les sources

Les nanoparticules peuvent être produites par différentes sources, naturelles, anthropiques ou être produites intentionnellement par l'Homme (nanoparticules manufacturées).

La production naturelle de nanoparticules se caractérise par les poussières minérales, les éruptions volcaniques, l'érosion éolienne, les particules d'origines marines, etc.

Aux émissions naturelles viennent s'ajouter les nanoparticules anthropiques, dont les combustions de gaz-oil (diesel) et d'essence des véhicules automobiles, l'utilisation de combustibles domestiques solides (charbon, lignite et biomasse) et les procédés industriels représentent les principales sources (FONTAN *et al.*, 2005). Ces nanoparticules d'origines naturelles et/ou anthropiques se retrouvent mélangées dans l'atmosphère et sont souvent désignées sous le nom de particules ultrafines.

Les nanoparticules atmosphériques ont des tailles polydispersées, allant de quelques nanomètres à plusieurs centaines de nanomètres. (COMITE DE LA PREVENTION ET DE LA PRECAUTION, 2006).

Enfin, les nanoparticules peuvent être produites intentionnellement par l'homme par le biais des nanotechnologies. Ces nanoparticules manufacturées correspondent en général à des particules dont la fraction granulométrique est monodispersée. Selon leur nature et leur forme nous distinguons différentes catégories (selon le COMITE DE LA PREVENTION ET DE LA PRECAUTION, 2006) :

- ❖ Les nano objets de forme et taille contrôlées conçus pour remplir une fonction (ex : les dendrimères, polymère de structure bien définie) ;
- ❖ Les métaux, semi-conducteur, oxydes métalliques, carbone, polymères composites;
- ❖ Les céramiques ;
- ❖ Les nanosphères, fils, aiguilles, tubes, enveloppes, anneaux, plaquettes (ex: nanotubes de carbone) ;
- ❖ Les molécules (fullerènes) et complexes;
- ❖ Les agrégats moléculaires ou atomiques non traités ou enrobés (nanotechnologie appliquée à de nombreux produits : cosmétiques, médicaments, textiles, électroniques, optique, afficheurs, etc.) :
 - matériaux nanostructurés ;
 - matériaux mésoporeux (zéolites artificiels) ;
 - nanomatériaux greffés ;
 - nanomatériaux interactifs (ou intelligents).

I.1.3. Application de la nanotechnologie et des nanomatériaux en fonction du secteur d'activité

Le marché actuel des nanotechnologies est réparti sur plusieurs activités (tableau 1).

Tableau 1: Application de la nanotechnologie et des nanomatériaux en fonction du secteur d'activité (INRS, 2012).

Secteurs d'activité	Exemples d'applications actuelles et potentielles
Automobile, aéronautique et aérospatial	Matériaux renforcés et plus légers; peintures extérieures avec effets de couleur, plus brillantes, antirayures, anticorrosion et antisalissures; capteurs optimisant les performances des moteurs; détecteurs de glace sur les ailes d'avion ; additifs pour diesel permettant une meilleur combustion; pneumatiques plus durables et recyclables.
Électronique et communications	Mémoires à haute densité et processeurs miniaturisés; cellules solaires; bibliothèques électroniques de poches; ordinateurs et jeux électroniques ultrarapides; technologies sans fil; écrans plats.
Agroalimentaire	Emballages actifs; additifs: colorants ; antiagglomérants, émulsifiants
Chimie et matériaux	Pigments; charges; poudres céramiques ; inhibiteurs de corrosion; catalyseurs multifonctionnels; textiles et revêtements antibactériens et ultra-résistants.
Construction	Ciments autonettoyants et antipollution, vitrages autonettoyants et antisalissures; peintures; vernis; colles; mastics.
Pharmacie et santé	Médicaments et agents actifs; surfaces adhésives médicales anti-allergènes; médicaments sur mesure délivrés uniquement à des organes précis; surfaces biocompatibles pour implants; vaccins oraux; imagerie médicale.
Cosmétique	Crèmes solaires transparentes; pâtes à dentifrice abrasives; maquillage avec une meilleur tenue.
Énergie	Cellules photovoltaïques nouvelle génération; nouveaux types de batteries; fenêtres intelligentes; matériaux isolants plus efficaces; entreposage d'hydrogène combustible.
Environnement et écologie	Diminution des émissions de dioxydes de carbone ; production d'eau ultra-pure à partir d'eau de mer; pesticides et fertilisants plus efficaces et moins dommageables; analyseurs chimiques spécifiques.
Défense	Détecteurs d'agents chimiques et biologiques; système de surveillance miniaturisés; systèmes de guidage plus précis; textiles légers et qui se réparent d'eux-mêmes.

I.1.4. Impact économique global des nanotechnologies dans le monde

Nous pouvons citer l'électronique qui occupait en 2007, 30% du marché, la pharmacie 18%, la chimie 10%, etc. Le domaine d'activité le plus important est celui des nanomatériaux, qui représentait à la même période 34% du marché (INERIS,

2007). La figure 2 présente la répartition du marché mondial de ces nanotechnologies en 2010.

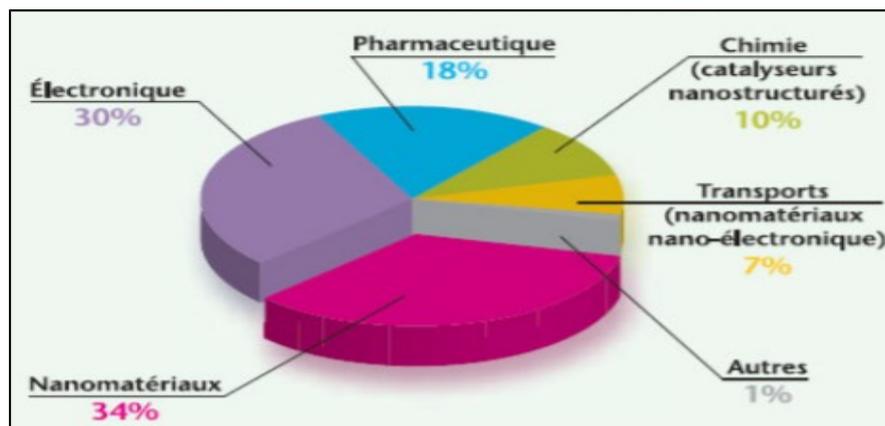


Figure 2: Impact économique global des nanotechnologies dans le monde (INERIS, 2007)

I.2. Les nanoparticules et les plantes

I.2.1. La pénétration cellulaire des nanoparticules chez les végétaux

Les plantes jouent un rôle important dans le comportement et le transport des particules ultrafines et des nanoparticules dans l'environnement au travers leur pénétration et leur bioaccumulation au sein des plantes (MONICA et CREMONINI, 2009). Même si les investigations scientifiques sur la pénétration intercellulaire et intracellulaire, et l'accumulation des nanoparticules chez les végétaux sont encore rudimentaires, de nouvelles publications sont venues compléter ce domaine de recherche (pénétration, comportement, accumulation, toxicité) (MA et al., 2010). Plusieurs études ont montré la pénétration tissulaire de différentes nanoparticules chez des plantes supérieures suite à une exposition racinaire (BATTKE et al., 2008; GONZALEZ-MELENDEI et al., 2008; LIN et XING, 2008; LARUE et al., 2011,2012)

I.2.1.1. L'exposition racinaire

GONZALEZ-MELENDEI et al. (2008) ont utilisé des Fe-NP avec une couche de carbone sur des plantes comme *Cucurbita pepo* (courgette) et les résultats ont montré leur présence dans l'ensemble des espaces extracellulaires et à l'intérieur de plusieurs cellules. De même, ZHU et al. (2008) ont étudié les effets de nanoparticules magnétiques (NP-Fe₃O₄) sur *Cucurbita maxima* (potiron) cultivé en milieu liquide, mettant en évidence leur adsorption et leur accumulation dans les tissus des plantes, à la différence, *Phaseolus limensis* (haricot de lima) n'a pas été capable d'absorber et de mobiliser ces mêmes nanoparticules. Ainsi, différentes plantes donnent des réponses différentes suite à une exposition aux mêmes nanoparticules. Enfin, en raison de la

capacité de certaines espèces, certaines plantes sont hyper-accumulatrices sans qu'apparaisse de dommages physiologiques, au moins dans la condition de l'expérience (RUFFINI-CASTIGLIONE et CREMONINI, 2009).

I.2.1.2. L'exposition aérienne

En 2009, CORREDOR et *al.* ont étudié la pénétration et le transport de nanoparticule de fer "coatées" avec de carbone chez la citrouille suite à une exposition par une pulvérisation localisée sur les parties aériennes de la plante. Seuls les échantillons observés après une exposition de 16h (7 jours) au microscope électronique ont permis de mettre en évidence la présence de nanoparticules dans les cellules de l'épiderme au niveau du pétiole, c'est-à-dire au point d'application. Dans ces cellules, les nanoparticules sont apparues isolées, non agrégées. Les auteures ont également noté qu'aucune nanoparticule n'a été clairement détectée dans les cellules voisines de l'épiderme. Ainsi, suite à une application par pulvérisation, des nanoparticules isolées étaient présentes dans le cytoplasme des cellules de l'épiderme dans la région proche de point d'application.

I.2.1.3. Les voies de pénétrations (intercellulaire et intracellulaire)

UZU et *al.* (2010) ont étudié la pénétration foliaire de particule (dont nanoparticules) de plomb chez la laitue suite à une exposition à des retombées atmosphériques.

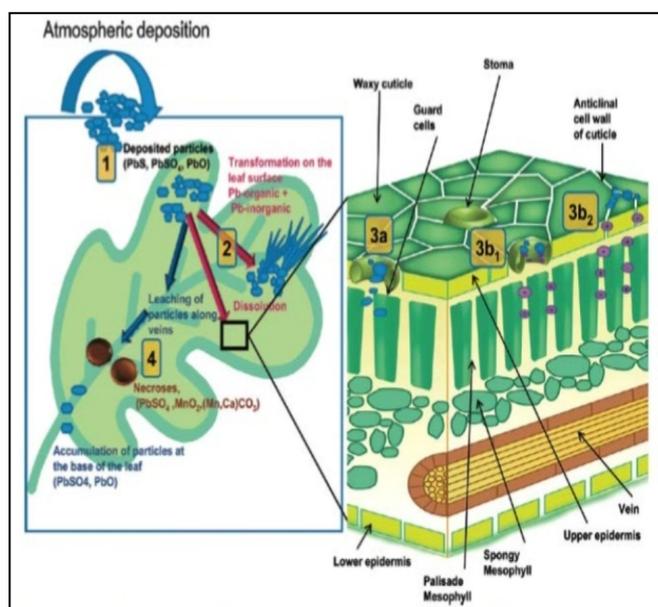


Figure 3: Voies pour l'absorption du plomb après le dépôt de particules contenant de plomb: (1) dépôt de particules sur la surface des feuilles, (2) transformation chimiques sur la surface foliaire menant à des phases secondaires contenant du Pb et éventuellement des solutés, (3a) accumulation de particule dans les stomates et éventuellement pénétration de nanoparticule, (3b₁) diffusion possible des soluté par les pores aqueux sur les rebords de la cuticule des stomates et (3b₂) les parois cellulaire anticlinale de cuticules. (4) les symptômes

de toxicité (nécroses) induite par la présence des particules contaminées sur la feuille (UZU et *al.*, 2010).

I.2.2. Les effets des nanoparticules chez les végétaux

En effet, des études sur les effets de nanoparticules sur les végétaux mettent en évidence des effets bénéfiques et des effets néfastes (LARUE, 2011). Des recherches accrues sont en cours sur les effets des nanoparticules métalliques sur les systèmes végétaux. Bien que de nombreuses recherches ont été faites sur la synthèse des nanoparticules et leur application sur les systèmes biologiques (HOMAEI et EHSANPOUR 2015 ; RAHMANI et *al.*, 2016), les travaux observant l'effet des nanoparticules sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques des systèmes végétaux sont rares.

Différentes concentrations de mêmes nanoparticules provoquent des effets différents sur les systèmes végétaux ; c'est-à-dire que de faibles concentrations de nanoparticules peuvent ne présenter aucun effet négatif sur les plantes, mais des concentrations plus élevées peuvent provoquer des effets négatifs sur les plantes, mais des concentrations plus élevées peuvent provoquer des effets positifs ou négatifs sur les plantes (THUESOMBAT et *al.* 2014).

Très récemment ZUVERZA-MENA et *al.* (2016) ont suggéré que TiO_2 et ZnO ont un effet phytotoxique positif ou négatif. BOONYANITIPONG et *al.* (2011) ont rapporté que les nanoparticules ZnO inhibent la longueur des racines et réduisent le nombre de racines. Cependant, les nanoparticules TiO_2 n'ont pas un tel effet inhibiteur sur la longueur des racines. Les différents résultats sur la toxicité des nanoparticules sur les plantes dépendent du type de nanoparticules (FENG et *al.*, 2013) et de leurs propriétés (MA et *al.*, 2010 ; DIETZ et HERTH, 2011 ; GHAFARIYAN et *al.*, 2013), mais aussi des espèces végétales (ZHU et *al.*, 2008) et de leur stade de développement, du temps, des doses (MA et *al.*, 2013) et des méthodes d'exposition. Des recherches ont été menées pour mettre en évidence l'importance de prendre en compte les méthodes de préparation des solutions d'exposition. En effet, ces dernières vont donner lieu à des distributions de taille et les propriétés toxicologiques différentes des nanoparticules. Enfin, dans une revue sur les effets des nanoparticules de ZnO , chez les espèces aquatiques dépendent fortement des conditions d'exposition et de leurs caractéristiques.

I.2.2.1. Les modes d'action

Les nanoparticules interagissent avec les systèmes biologiques par cinq principaux modes (DIETZ et HERTH, 2011) (figure 4) :

- Les effets chimiques des ions métalliques susceptibles d'être dissous dans la solution;
- Les effets mécaniques dus à des sphères dures et les interfaces définies;
- Les effets catalytiques sur les surfaces;

- Les effets de surface, en raison de la liaison des protéines à la surface, soit par des mécanismes non-covalents ou covalents ou des effets oxydants;
- et les changements dans l'environnement chimique (pH).

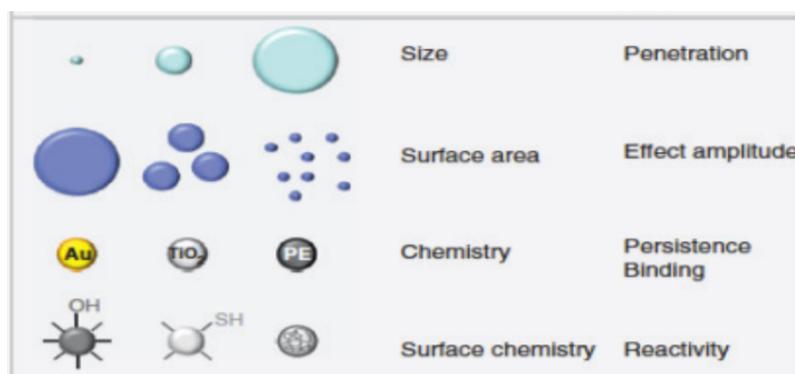


Figure 4: Relation entre les caractéristiques physiques, chimiques et surfaciques des nanoparticules et les effets biologiques (DIETZ et HERTH, 2011)

Les effets chimiques dépendent principalement de la composition des nanoparticules. Certains métaux toxiques (Cu, Cd, Hg, etc.) peuvent se lier à certains composants cellulaires comme des protéines et ainsi modifier leur propriétés ou leurs activités. Ces interférences avec le processus cellulaire causent souvent des déséquilibres des potentiels redox et un stress oxydant chez les plantes exposées aux métaux (SCHUTZENDUBEL et POLLE, 2002 ; SHARMA et DIETZ, 2009). D'autres métaux comme le fer transfèrent des électrons à l' O_2 comme accepteur pour former des radicaux O_2^- ou H_2O_2 et un radical extrêmement réactif OH^\cdot . Ces réactions provoquant un stress oxydant qui peut affecter la cellule et donc l'organisme. Les nanoparticules peuvent également entraîner des effets mécanistiques qui dépendent de leur taille et de leur concentration en bloquant certains pores cellulaires par exemple. Certains métaux comme l'argent (Ag), le platine (Pt), le plomb (Pb), l'or (Au), le fer (Fe) et le cobalt (Co) peuvent catalyser certaines réactions chimiques comme les réactions d'oxydo-réduction.

I.3. Généralités sur la germination

I.3.1. Définition

La germination est définie comme la somme des événements qui conduisent la graine sèche à germer; elle commence par la prise d'eau et se termine par l'allongement de l'axe embryonnaire (HOPKINS, 2003).

La germination est le passage de la vie latente de la graine à la vie active, sous l'effet de facteurs favorables. Selon MAZLIAK (1982), c'est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Une semence a germé, lorsque la radicule a percé les enveloppes ou elle est visiblement allongée (BEWLEY, 1997).

I.3.2. Morphologie et physiologie de la germination**I.3.2.1. Morphologie de la germination**

La graine est constituée de plusieurs types de tissus d'origines différentes, l'embryon et l'album en sont issus de la fécondation (NOUARA, 2007). L'embryon, qui représente l'élément principal de la graine, est totalement recouvert de l'albumen, c'est la zone de stockage des réserves nécessaires au développement de la plantule (ANZALA, 2006).

Les phénomènes morphologiques de la germination débutent toujours par la sortie de la radicule qui perce le tégument, se recourbe et s'implante dans le milieu; la tigelle ne se dégage que plus tard (OZENDA, 2006).

I.3.2.2. Physiologie de la germination

Lors de la germination, la graine s'imbibe d'eau et se gonfle, le tégument se fend et la radicule émerge et s'oriente vers le milieu (sol) selon un géotropisme positif. Puis, la tigelle émerge et s'allonge vers le haut. Les tégument de la graine se dessèchent et tombent (MEYER *et al.*, 2004).

I.3.3. Conditions de la germination**I.3.3.1. Conditions internes de la germination**

Avant la germination, la graine doit répondre à de nombreuses conditions internes qui sont :

- La maturité c'est-à-dire que toutes les parties qui la constituent soient complètement différenciées morphologiquement (HELLER, 2000).
- La disponibilité de l'amidon, des protéines, des lipides, et des nutriments pour l'embryon de la graine à travers l'activité des enzymes et des voies spécifiques (MIRANSARI et SMITH, 2014).
- La longévité des semences, autrement-dit, la durée pendant laquelle les semences restent vivantes et gardent leur pouvoir germinatif, varie considérablement en fonction des espèces (HELLER, 2000).

I.3.3.2. Conditions externes de la germination

La graine exige la réunion de conditions extérieures favorables à savoir l'eau, l'oxygène, la température et la lumière (SOLTNER, 2007).

I.3.4. Les différentes phases de la germination

D'après EVENARI (1975) la germination est validée par des mesures d'imbibition et d'activité respiratoire effectuée sur des semences en cours de germination. Il est ainsi démontré, selon BINNET et BRUNNEL (1968) et CÔME (1970), que la germination comprend trois phases successives:

- La phase d'imbibition qui correspond à la réhydratation de la graine par une prise d'eau rapide à l'état liquide, mais l'excès d'eau peut gêner la germination;
- La phase de germination stricto-sensu (la germination au sens strict) qui correspond à l'activation physiologique de la semence après l'imbibition et s'achève avec le début de l'allongement de la radicule;
- La troisième est caractérisée par une reprise de l'absorption d'eau et une augmentation de la consommation d'oxygène, elle correspond à un processus de croissance de la radicule puis la tigelle (HELLER et *al.*, 2000 ; RAVEN et *al.*, 2003 ; MEYER et *al.*, 2004).

Alors, la germination au sens strict comme étant la phase de réactivation du métabolisme après réhydratation de la graine et semble sans changement morphologique apparent (MEYER et *al.*, 2004).

I.3.5. Obstacles à la germination

Les semences qui ne germent pas dans les différentes conditions de milieu, sont des semences dite «dormantes», et leur dormance peut concerner soit les téguments (*inhibition tégumentaire*), soit l'embryon (*dormance au sens strict*), soit les deux à la fois (SOLTNER, 2001).

I.3.5.1. Inhibition tégumentaires

L'imperméabilité à l'eau ou à l'oxygène cause des dormances tégumentaires, c'est le cas des graines dures (SOLTNER, 2001).

I.3.5.2. Dormances embryonnaires

Il existe deux types de dormances embryonnaires : la dormance primaire où l'embryon peut être dormant au moment de la récolte des semences et la dormance secondaire dont laquelle l'embryon est capable de germer mais il perd cette aptitude sous l'influence des facteurs défavorables à la germination (CHAUSSAT et *al.*, 1975).

I.3.6. Levées de dormances

I.3.6.1. Levées naturelles de dormances

Par l'altération des enveloppes sous l'effet des alternances de sécheresse, d'humidité, de gel et de réchauffement (SOLTNER, 2007).

I.3.6.2. Levées artificielles de dormances

Par les différentes méthodes dont on pourra citer :

- **Stratification** : ce traitement consiste à placer les semences au froid dans un milieu humide (terre, sable, tourbe) en période déterminée selon l'espèce (LAFON et *al.*, 1998).
- **Lixiviation** : par le trempage ou lavage à l'eau, pour éliminer les inhibiteurs hydrosolubles (LAFON et *al.*, 1998).
- **Traitements oxydants** : on préconise dans ce traitement l'emploi de l'eau oxygénée pour améliorer la germination (MAZLIAK, 1982)
- **Scarification** : il suffit souvent de blesser plus ou moins profondément les enveloppes pour faciliter la germination. On peut le faire de façon mécanique (coupe, pique, décortication, battage des enveloppes, etc.) ou par voies chimiques (immersion dans de l'acide sulfurique, lyophilisation dans de l'azote liquide, etc.) (LAFON et *al.*, 1998).

CHAPITRE II :
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Chapitre II: Matériels et méthodes

II-1 Objectif

Le principal objectif de ce travail est la détermination de l'effet de différente concentration de solution de nanoparticule ZnO et quelle est le concentration optimal permettant d'améliorer le pouvoir germinatif des graines de quelques espèces cultivés.

II.2. Matériels

II.2.1. Matériel biologique

Le matériel biologique retenu pour la réalisation de cette expérimentation est formé par deux espèces qui sont le **blé tendre** (*Triticum aestivum*, Famille des *Poaceae*) représentant des grandes cultures et la **luzerne** (*Medicago sativa* L., Famille des *Fabaceae*) représentant les cultures sous-jacentes des palmeraies.

D'autres plantes ont été retenues au début, mais suite à certaines contraintes dont la fermeture des laboratoires suite à la pandémie du Covid-19, la quantité de nanomolécules synthétisée ne pouvait nous permettre de réaliser nos investigations avec différentes plantes cultivées ainsi qu'avec différentes concentrations.

II.2.2. Autre matériel

Les nanoparticules de ZnO ont été synthétisées par la méthode de co-précipitation qui est largement utilisée pour l'élaboration de ce type de matériau, cette méthode est simple, moins coûteuse et ne demande pas de dispositifs compliqués (HENNI A,2020).

La synthèse et la caractérisation physico-chimique de cette nanoparticule a eu lieu au niveau du laboratoire de Dynamique, Interaction et Réactivité des Systèmes (DIRS), Université de Ouargla.

Le reste du matériel utilisé est constitué par :

- ☐ des boîtes de Petri en plastique,
- ☐ du papier filtre ou analogue permettant une humectation des graines,
- ☐ de l'eau distillée,
- ☐ un pied à coulisse électronique.



Figure 5.un pied à coulisse électronique

II.3. Méthode et Protocole expérimental**II.3.1. Préparation de la nanoparticule : Mise en suspension des nanoparticules de ZnO**

En vue de leurs utilisations biologiques, les nanoparticules de ZnO sont mises en suspension dans de l'eau ultra pure. Pour la réalisation de l'essai trois concentrations croissantes de ZnO sont choisies ($C_1=25$ mg/l, $C_2=100$ mg/l et $C_3=200$ mg/l). Pour la dispersion des nanoparticules dans l'eau, l'agitation par ultrasons a été retenue pour avoir une meilleure dispersion.

II.3.2. Préparation des graines et des boîtes de Petri

Les graines ne sont pas stérilisées ni conditionnées mais gardées dans les conditions naturelles (telles quelles).

Nous avons utilisé 20 graines par boîte de Petri de chaque espèce (Blé et Luzerne) et sont imbibées par la solution à la concentration retenue. Chaque test (espèce et concentration) est répété trois fois.

L'ensemble (2 fois 12 boîtes) est placé à la température ambiante d'une pièce faite de phytotron ou d'étuve (suite à la fermeture des laboratoires comme cité plus haut).

II.4. Paramètres retenus

Les paramètres retenus pour évaluer le comportement des graines au cours de la germination et après la germination sont appréciés à travers les certaines mesures.

II.4.1. Nombre de graines germées

Le comptage des graines germées est réalisé manuellement quotidiennement pour chaque boîte.

Nous avons adopté la définition physiologique de la germination où nous considérons qu'une graine a germé lorsque la radicule a percé le tégument de la graine [CITATION MAZ82 \l 1036].

Ceci nous permettra d'établir les courbes d'évolution du taux de germination ainsi que celles d'évolution de la vitesse de germination.

II.4.2. Taux de germination

Le taux de germination est déterminé à partir du nombre total des graines (NT) mises en germination et le nombre total de graines germées (NI) (AHOTON, ADJAKPA, M'PO, AKPO, 2009).

$$TG(\%) = (NI/NT) \times 100$$

II.4.3. Taux final de germination ou taux cumulé de germination

Ce taux est obtenu par le cumul des taux quotidiens des graines germées dès le début jusqu'à la fin de germination.

II.4.4. Temps Moyen de germination ou TMG

Le Temps Moyen de Germination (TMG), exprime l'énergie de la germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. Il correspond au temps (exprimé en jours) mis par la graine pour germer (ELLIS et ROBERTS, 1981).

$$\text{TMG} = \frac{N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_i T_i}{N_1 + \dots + N_i}$$

N_1 : nombre de graine germé au temps T_1

N_2 : nombre de graine germé entre le temps T_1 et T_2

II.4.5. Temps pour 50% germination (t_{50})

Le temps de germination est mesuré avec le temps médian qui correspond à 50 % de la germination ($T_{50\%}$). Cette mesure permet de prendre en compte le comportement de germination de l'ensemble des graines dans un échantillon. D'après SALEHZADE, SHISHVAN, GHIYASIM, FOROUZI, et SIYAHJAN (2009), le temps médian s'exprime comme suit:

$$T_{50} = t_{i50} + \frac{(N/2 - n_{i50}) (t_{j50} + t_{i50})}{n_{j50} - n_{i50}}$$

vec N : le nombre final de graines germées

n_{j50}, n_{i50} : le nombre de graines cumulées correspondant au temps lorsque

$$n_{j50} < N/2 < n_{i50}.$$

II.4.6. Vitesse de germination

D'après COME (1970), la vitesse de germination peut être exprimée de plusieurs façons :

- Pourcentage de semences germées ou taux de germination au bout d'un certain temps après l'ensemencement.
- Le temps moyen nécessaire à la germination représente l'inverse du «Coefficient de vélocité» [CITATION BEN10 \l 1036].

$$C_V = \frac{(N_1 + N_2 + \dots + N_n)}{(N_1 T_1 + N_2 T_2 + \dots + N_n T_n)} \cdot 100$$

Avec N_1 : nombre de grains germés au temps T_1

N_2 : nombre de graines germées au temps T_2

N_n : nombre de graines germées au temps T_n

II.4.7. Le coefficient de vélocité de germination

RANAL et SANTANA (2006) , attestent que ce paramètre est libre de l'influence du nombre de graines germées dans les échantillons et correspond à la réciproque du temps moyen de germination. Il est noté comme suit:

$$CVG = 100(n_1/n_1 + n_2/n_2 + \dots + n_x/n_x)$$

Avec **nx**: le nombre de graines germées pour une observation **x**

Tx : le jour correspondant à la germination des graines

II.4.8. Mesure de la longueur maximale du coléoptile (blé) ou radicule (luzerne)

La longueur de la coléoptile pour le blé ou de la radicule pour la luzerne des plantules est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse. Et nous retenons la valeur maximale pour chaque boîte et ceci quotidiennement.

II.5. Analyses statistiques

Pour cerner s'il y a ou non des différences significatives entre les différentes concentrations, nous avons retenu l'analyse de variance (ANOVA) avec le logiciel XLSTAT.

CHAPITRE III :
RÉSULTAT ET DISCUSSION

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. Résultats concernant la luzerne (culture sous-jacente) :

III.1.1. Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) :

Ce paramètre exprime le Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations. Les résultats sont montrés dans la figure 06.

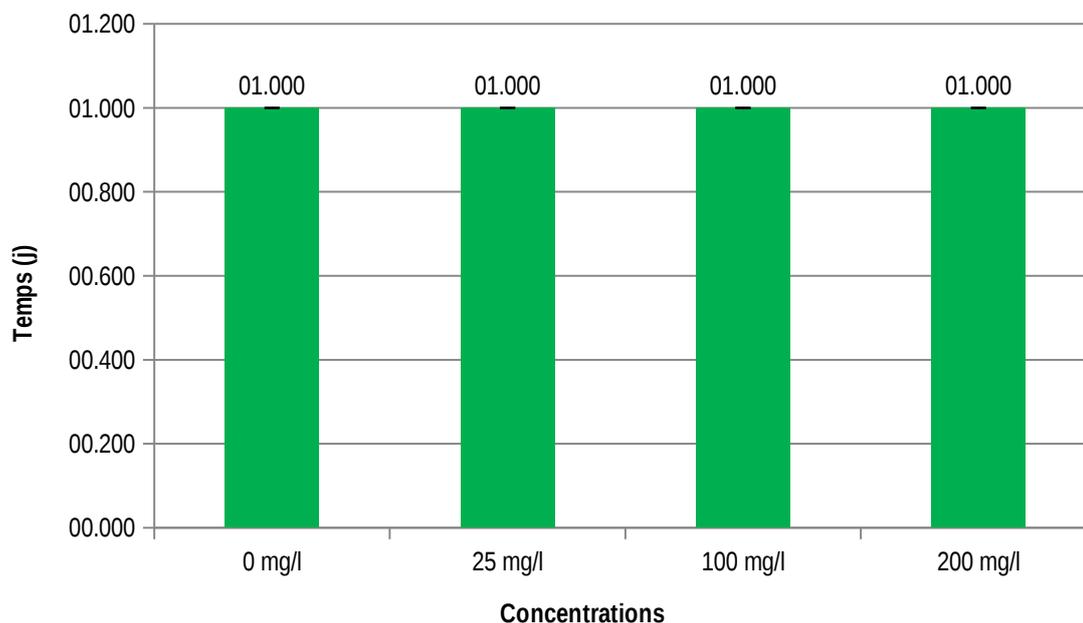


Figure 6: Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations

On remarque que le Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations correspond à 1j pour toutes les graines qui sont traitées ou non par la solution à différentes concentrations (0mg/l, 25mg/l, 100mg/l et 200mg/l).

Vu que pour toutes les concentrations, c'est la même valeur du Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) qui est obtenue (aucune différence entre les traitements), il n'est pas possible d'établir une analyse de variance.

III.1.2. Coefficient de vitesse :

Ce paramètre exprime le Coefficient de vitesse pour les différentes concentrations. Les résultats sont présentés dans la figure 07.

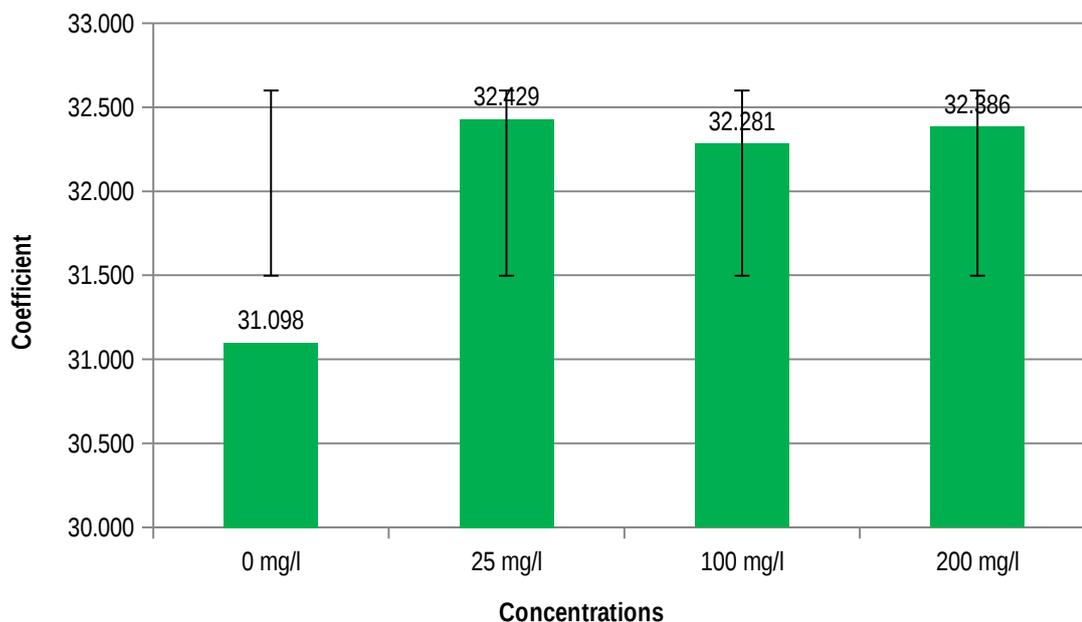


Figure 7: Coefficient de vitesse pour les différentes concentrations

On remarque que le Coefficient de vitesse le plus élevé est de 32.429 pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 25mg/l, suivi par le Coefficient de vitesse de 32.386 pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 200mg/l, les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 100mg/l est 32.281 et les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 0mg/l est 31.098.

Dans les tableaux 02 et 03, l'analyse de variance fait ressortir des différences significatives entre les différentes concentrations et le test Newman-Keuls a regroupé tous les traitements hormis le témoin (0mg/l) en un seul groupe homogène (B), alors que le témoin est seul dans le groupe A. De ce fait, pour ce paramètre, la présence de la nano-molécule (quelque soit la concentration) induirait une augmentation du coefficient de vitesse.

Tableau 2 : Analyse de la variance du Coefficient de vitesse

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	3.6464	1.2155	3.2444	0.0814
Erreur	8	2.9971	0.3746		
Total corrigé	11	6.6435			

Tableau 3: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Coefficient de vitesse.

Modalité Traitement	ou Moyenne	Groupes
0 mg/l	31.0984	A
100 mg/l	32.2813	B
200 mg/l	32.3861	B
25 mg/l	32.4288	B

III.1.3. Temps moyen de germination (t) :

Ce paramètre exprime le Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations. Les résultats sont illustrés dans la figure 08.

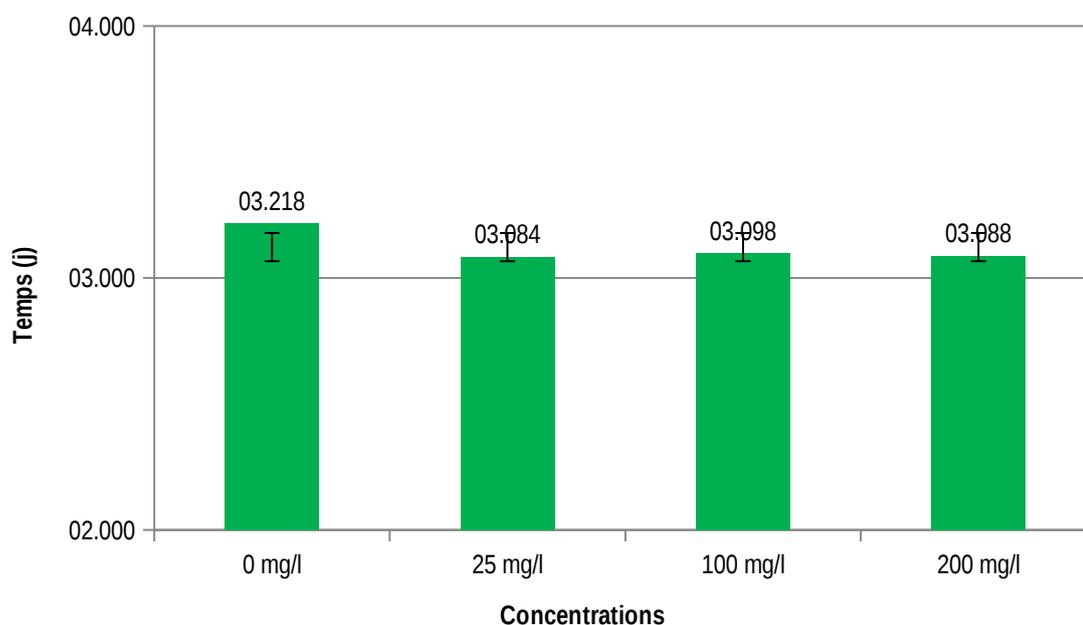


Figure 8: Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations

Nous remarquons que le temps moyen de germination est de 3.218j pour le Témoin (0mg/l), par contre le temps moyen de germination des graines traitées par les solutions de concentrations 25mg/l, 100mg/l et 200mg/l sont 3.084 j, 3.098j et 3.088j respectivement.

Dans les tableaux 04 et 05; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations bien qu'il y ait une apparente influence de l'ajout de nano-particules, et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène.

Tableau 4: Analyse de la variance du Temps moyen de germination

Source	DDL	Somme carrés	des Moyenne des carrés	des F	Pr > F
Modèle	3	0.0375	0.0125	3.2898	0.0791
Erreur	8	0.0304	0.0038		

Total corrigé	11	0.0679
---------------	----	--------

Tableau 5 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Temps moyen de germination.

Modalité ou Traitement	Temps moyen de germination (t) (en jours)	Groupes
25 mg/l	3.0839	A
200 mg/l	3.0879	A
100 mg/l	3.0978	A
0 mg/l	3.2184	A

III.1.4. Taux de germination final :

Le taux de germination final exprime le nombre final des graines germées par rapport au nombre total des graines semées. Les résultats sont présentés au niveau de la figure 09.

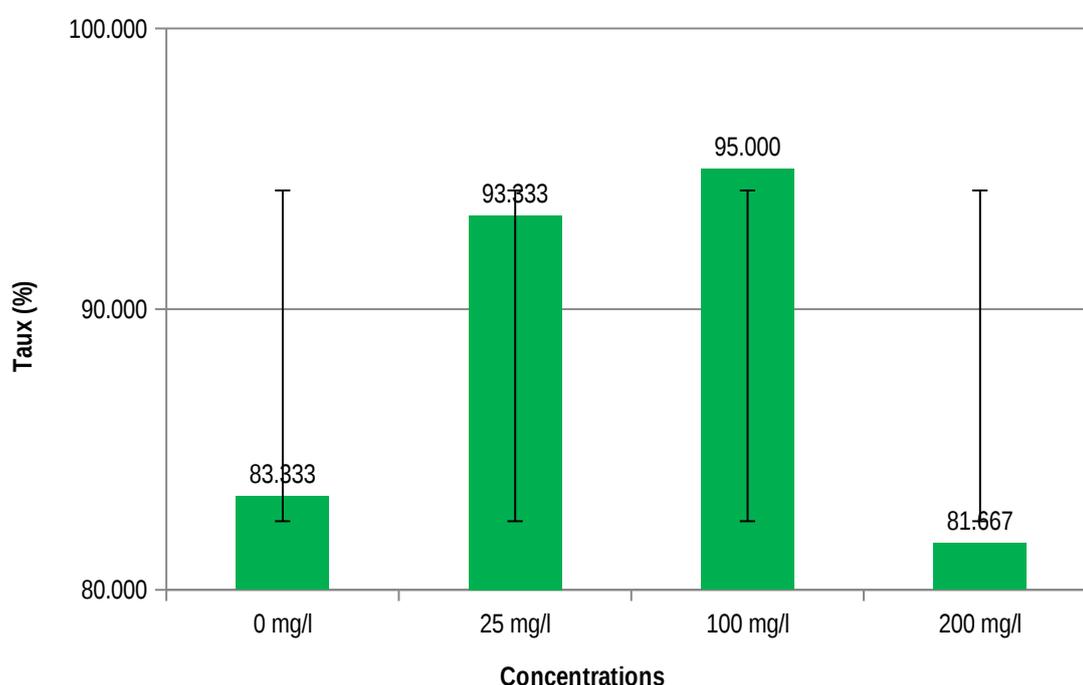


Figure 9 : Taux de germination final pour les différentes concentrations

On remarque que le taux de germination final le plus élevé est de 95 % pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 100m g/l, suivi par le taux de germination final de 93.333 % pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 25mg/l. Ensuite; le taux de germination final de 83.333% pour les graines qui sont traitées par l'eau distillée (0mg/l) et le taux de germination final le

plus bas est de 81.667% pour les graines traitées par la solution de la concentration 200mg/l.

Dans les tableaux 06 et 07, l'analyse de variance fait ressortir des différences significatives entre les différentes concentrations et le test Newman-Keuls a regroupé le traitement le plus élevé (200mg/l) et le témoin (0mg/l) en un seul groupe homogène (A) avec les valeurs les plus faibles, alors que les deux autres modalités (25 et 100mg/l) sont au niveau du groupe B avec les valeurs les plus élevées. De ce fait, pour ce paramètre, la présence de la nano-molécule avec des concentrations pas très importantes (inférieures à 200mg/l) induirait une augmentation du taux de germination final.

Tableau 6 : Analyse de la variance du Taux de germination final

Source	DDL	Somme carrés	Moyenne carrés	des F	Pr > F
Modèle	3	416.6667	138.8889	7.4074	0.0107
Erreur	8	150.0000	18.7500		
Total corrigé	11	566.6667			

Tableau 7 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Taux de germination final

Modalité Traitement	ou Taux de germination final (%)	Groupes
200 mg/l	81.6667	A
0 mg/l	83.3333	A
25 mg/l	93.3333	B
100 mg/l	95.0000	B

III.1.5. Évolution du taux de germination :

Ce paramètre exprime l'évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations figure 10.

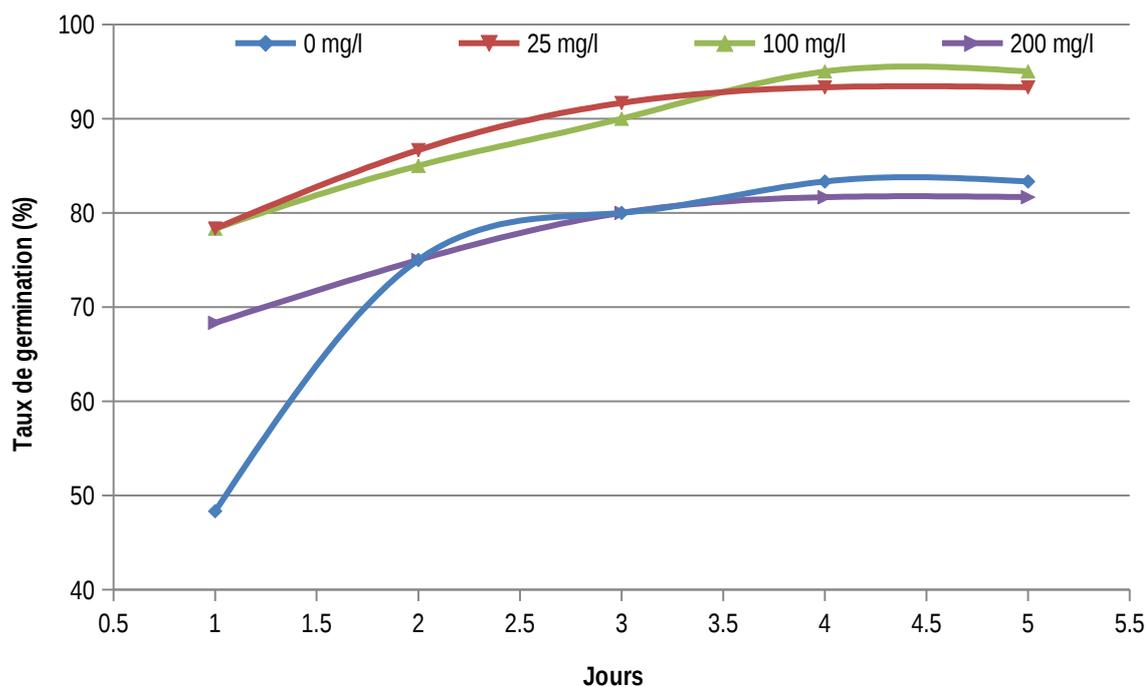


Figure 10: Évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentration.

Nous relevons que la germination a débuté le lendemain de la mise à germer des graines pour toutes les concentrations. Toutefois, avec des taux très distincts (48.33% pour 0mg/l contre 78.33% pour 25mg/l). L'évolution des taux de germination des graines traitées par 25 et 100mg/l est similaire avec des valeurs très proches. Tandis que pour 0 et 200mg/l, l'évolution est analogue à partir du second jour, et les taux restent inférieurs et distincts des deux autres.

III.1.6. Évolution de la vitesse de germination :

Ce paramètre exprime l'évolution de la vitesse de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations figure 11.

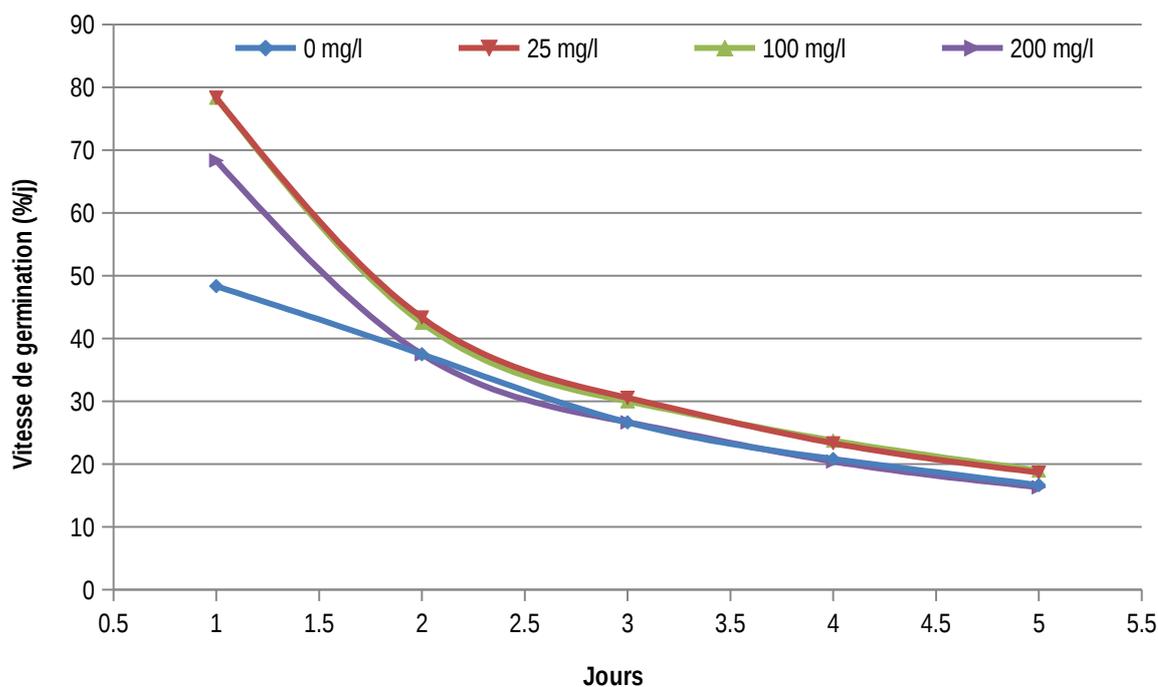


Figure 11:Évolution de la vitesse de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations

Inversement à l'évolution des taux de germination, la vitesse de germination évolue de manière dégressive et l'allure des courbes est identiques à celle des taux mais inversée (mais pas d'effet miroir !). Ainsi, la concentration 0mg/l débute par la vitesse la plus faible suivie par celle de 200mg/l et viennent les deux autres avec les valeurs les plus importantes. Par la suite, toutes les concentrations voient leurs valeurs diminuer et évoluer vers des valeurs inférieures à 20% de germination par jour et avec des écarts infimes le 5^{ème} et dernier jour d'expérimentation.

III.1.7. Évolution de la longueur maximale de la racicule :

Ce paramètre exprime l'évolution de la longueur maximale de la racicule en fonction du temps selon les différentes concentrations figure 12.

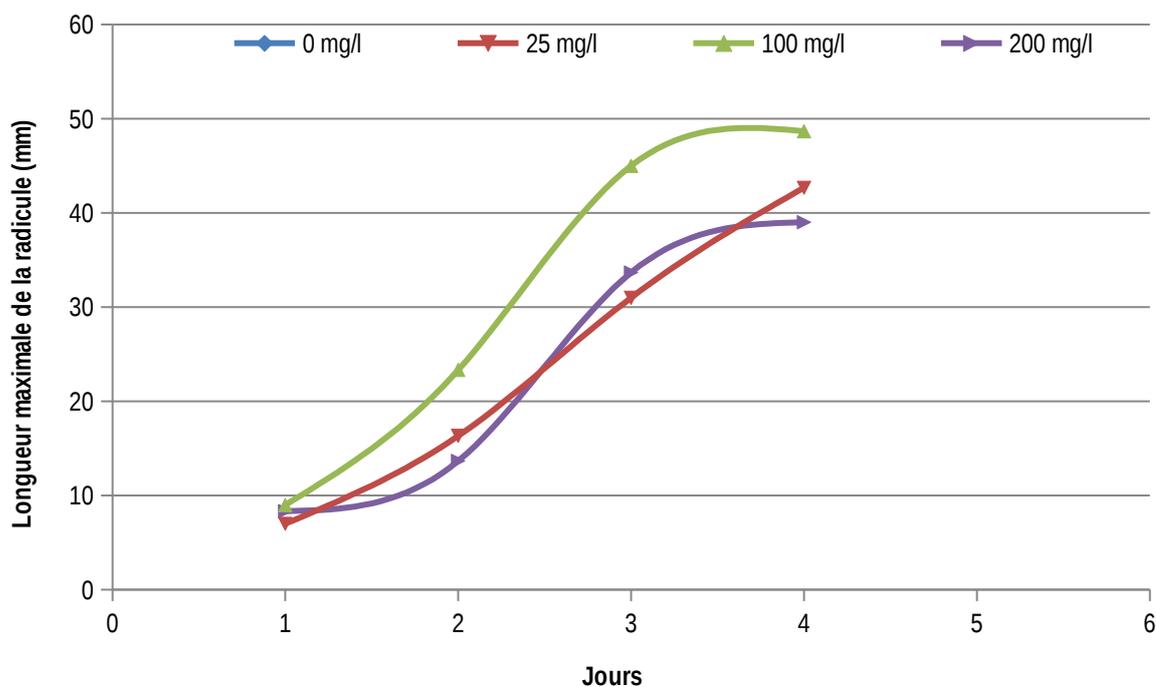


Figure 12 : Évolution de la longueur maximale de la racine en fonction du temps selon les différentes concentrations

Le premier jour, toutes les concentrations (y compris le témoin 0mg/l) ont des longueurs proches (entre 7 et 9 mm). Avec le temps, les valeurs évoluent différemment et divergent selon la concentration mais avec des allures semblables. Le dernier jour du test, c'est la concentration témoin (0mg/l) qui permet d'avoir la longueur la plus élevée avec 52.333 mm contre 39.000 mm pour 200mg/l.

III.1.8. La longueur maximale finale de la racine :

Ce paramètre exprime la longueur maximale finale (dernier jour d'expérimentation) de la racine selon les différentes concentrations figure 13.

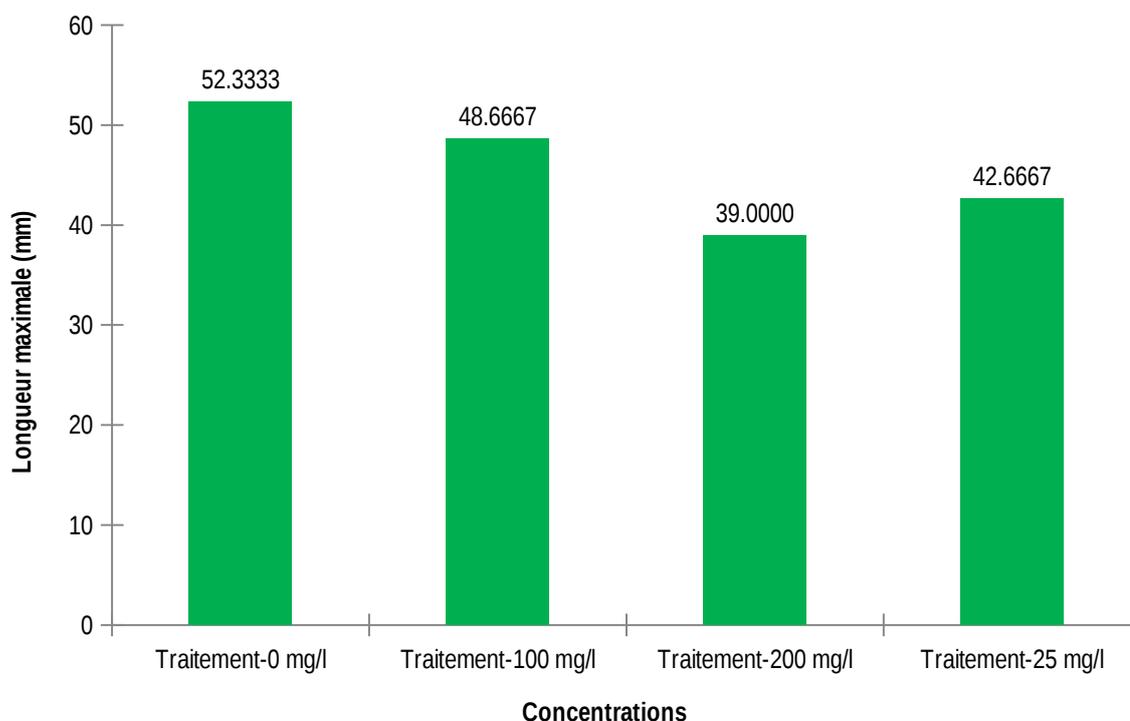


Figure 13: La longueur maximale finale de la racine pour les différentes concentrations

La longueur maximale finale de la racine est la plus faible (39.000 mm) pour la concentration la plus élevée en nano-particule (200mg/l). En contrepartie, la concentration témoin (0mg/l) permet une longueur de 52.333 mm et les deux autres concentrations ont des valeurs intermédiaires.

Dans les tableaux 08 et 09; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène.

Tableau 8: Analyse de la variance de la Longueur maximale finale de la racine

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	320.6667	106.8889	0.4831	0.7032
Erreur	8	1770.0000	221.2500		
Total corrigé	11	2090.6667			

Tableau 9 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour la Longueur maximale finale de la racine

Modalité ou Traitement	Longueur maximale (mm)	Groupes

200 mg/l	39.0000	A
25 mg/l	42.6667	A
100 mg/l	48.6667	A
0 mg/l	52.3333	A

III.2. Résultats concernant le blé (grande culture) :

III.2.1. Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) :

Ce paramètre exprime le Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations concernant le blé. Les résultats sont montrés dans la figure 14.

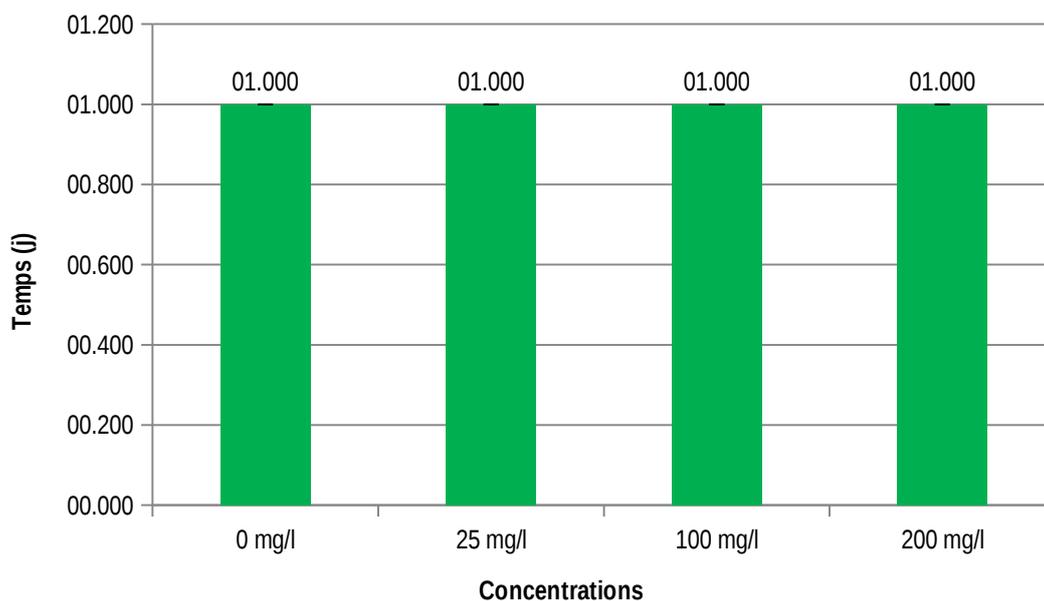


Figure 14: Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations

Identiquement que pour la luzerne, on remarque que le Temps pour 50 % germination ($t_{1/2}$) pour les différentes concentrations est égal à 1j pour toutes les lots de graines quelque soit la concentration de 0 mg/l à 200mg/l.

De même, avec de tels résultats il est impossible de réaliser une analyse de variance.

III.2.2. Coefficient de vélocité:

Ce paramètre exprime le Coefficient de vélocité pour les différentes concentrations concernant le blé. Les résultats sont présentés dans la figure 15.

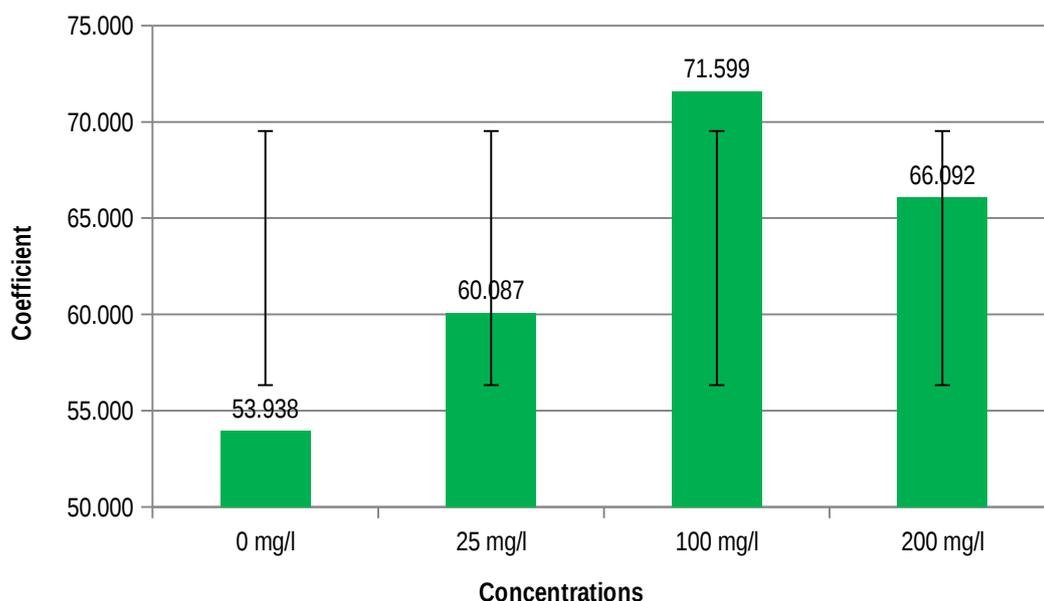


Figure 15 : Coefficient de vitesse pour les différentes concentrations

On remarque que le Coefficient de vitesse le plus élevé est de 71.599 pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 100mg/l, suivi par le Coefficient de vitesse de 66.092 pour les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 200mg/l, les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 25mg/l est 60.087 et les graines qui sont traitées par la solution de la concentration 0mg/l est 53.938. Nous relevons que les valeurs du coefficient de vitesse pour le blé sont plus élevées que celle pour la luzerne.

Dans les tableaux 10 et 11; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène..

Tableau 10: Analyse de la variance du Coefficient de vitesse

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	des F	Pr > F
Modèle	3	522.2673	174.0891	0.7929	0.5313
Erreur	8	1756.4731	219.5591		
Total corrigé	11	2278.7403			

Tableau 11: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Coefficient de vitesse.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
0 mg/l	53.9379	A
25 mg/l	60.0871	A

200 mg/l	66.0916	A
100 mg/l	71.5991	A

III.2.3. Temps moyen de germination (t):

Ce paramètre exprime le Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations relevant du blé. Les résultats sont illustrés dans la figure 16.

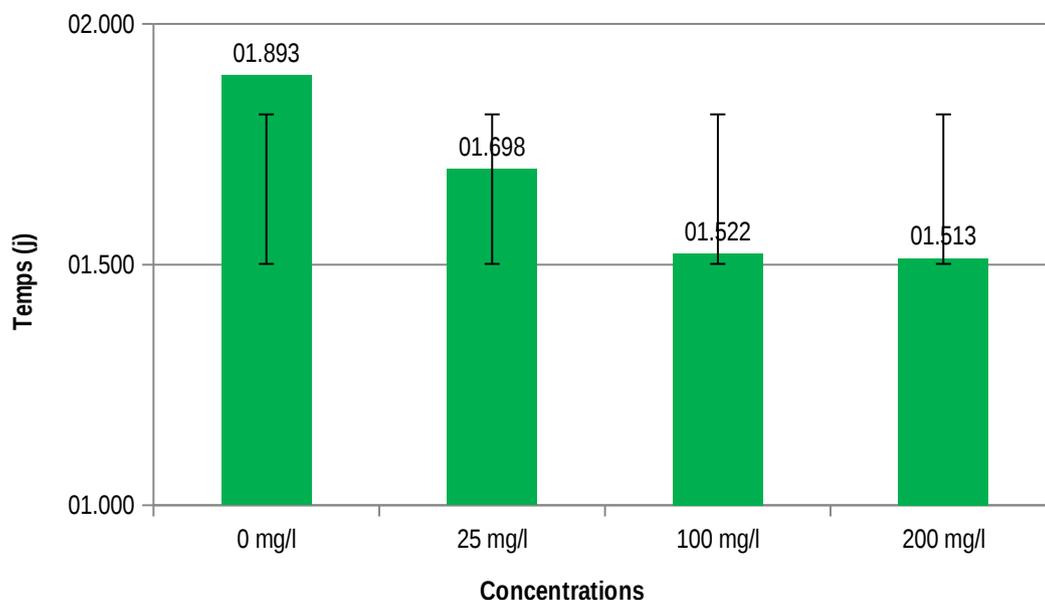


Figure 16: Temps moyen de germination (t) pour les différentes concentrations

Nous remarquons que le temps moyen de germination est de 1.893j pour le Témoin (0mg/l), par contre le temps moyen de germination des graines traitées par les solutions de concentrations 25mg/l, 100mg/l et 200mg/l sont 1.698 j, 1.522j et 1.513j respectivement. Ainsi, les graines de blé germent plus vite que celles de la luzerne (dans notre cas).

Dans les tableaux 12 et 13; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène.

Tableau 12 : Analyse de la variance du Temps moyen de germination

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	3	0.2891	0.0964	0.8140	0.5212
Erreur Total corrigé	8	0.9470			
	11	1.2361			

Tableau 13: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Temps moyen de germination.

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
200 mg/l	1.5131	A
100 mg/l	1.5221	A
25 mg/l	1.6981	A
0 mg/l	1.8931	A

III.2.4. Taux germination de final

Le taux de germination final exprime le nombre final des graines germées par rapport au nombre total des graines semées. Les résultats portant sur le blé sont présentés au niveau de la figure 17.

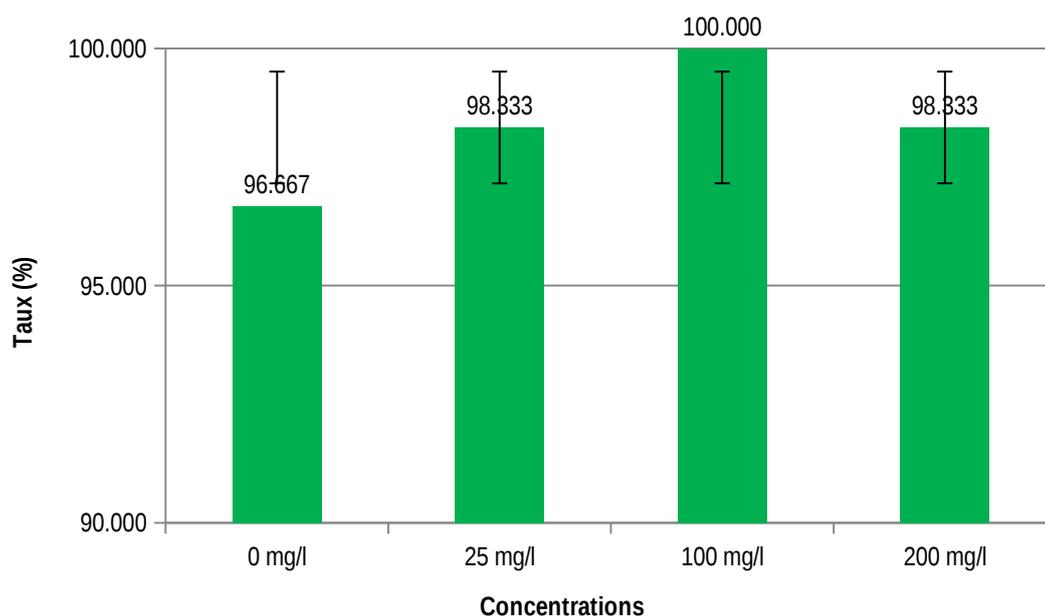


Figure 17: Taux de germination final pour les différentes concentrations

On remarque que le taux de germination final le plus élevé est de 100 % pour les grains qui sont traitées par la solution de la concentration 100m g/l, suivi par le taux de germination final de 98.333 % pour les graines qui sont traitées par la solution des concentrations 25 et 200mg/l. Et le taux de germination final le plus bas est de 96.667% pour les graines traitées par la solution de la concentration 0mg/l (témoin).

Dans les tableaux 14 et 15; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations bien qu'il y ait une apparente influence de l'ajout de nano-particules, et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène.

Tableau 14: Analyse de la variance du Taux de germination final

Source	DDL	Somme carrés	Moyenne des carrés	des F	Pr > F
Modèle	3	16.6667	5.5556	0.8889	0.4872

Erreur Total corrigé	8	50.0000	6.2500
	11	66.6667	

Tableau 15: Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour le Taux de germination final

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
0 mg/l	96.6667	A
200 mg/l	98.3333	A
25 mg/l	98.3333	A
100 mg/l	100.0000	A

III.2.5. Evolution du taux de germination :

Ce paramètre exprime l'évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations figure 18.

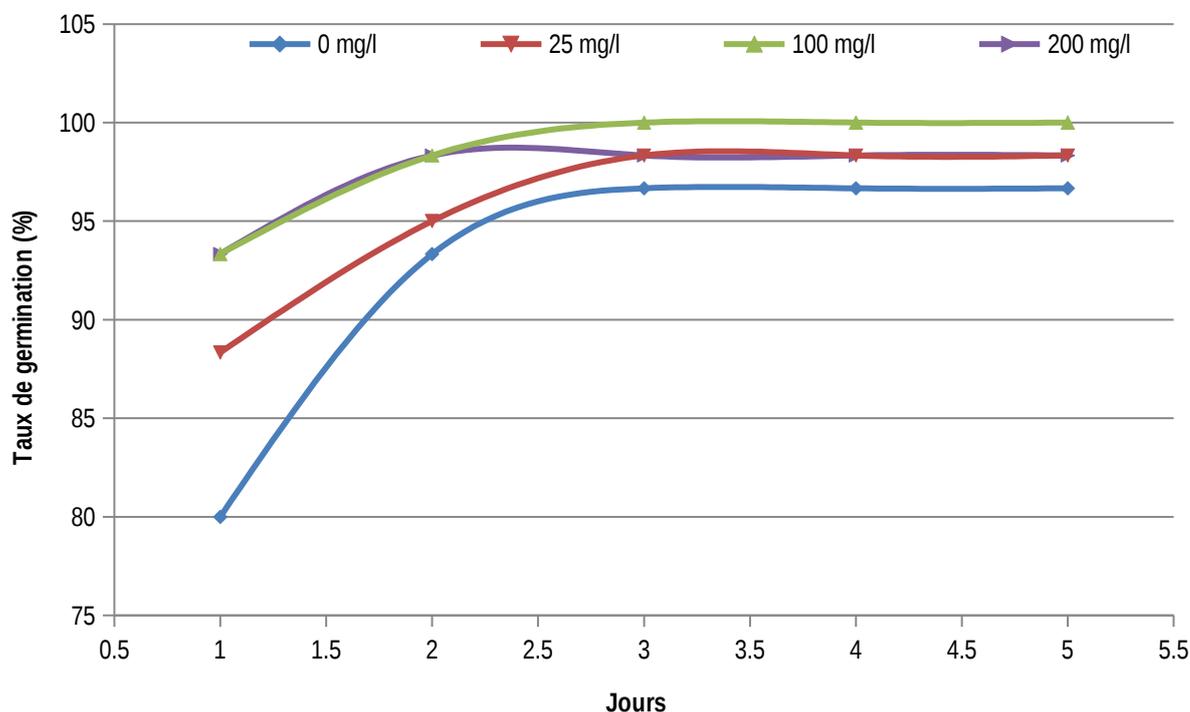


Figure 18: Évolution du taux de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations

Nous relevons que la germination a débuté le lendemain de la mise à germer des graines pour toutes les concentrations. Dès le troisième (3^{ème}) jour, la concentration 100mg/l permet la germination de toutes les graines (100%), par contre, les graines traitées par la solution à 200mg/l atteignent le maximum (98.33%) le deuxième jour qui se stabilise et se confond avec le taux de germination de 25mg/l à partir du

troisième jour. Pour le témoin, les valeurs restent tous le temps (jusqu'au dernier jour) inférieures aux autres : 80.00% le premier jour et finissant avec 96.67%.

III.2.6. Évolution de la vitesse de germination :

Ce paramètre exprime l'évolution de la vitesse de germination des graines de blé en fonction du temps selon les différentes concentrations figure 19.

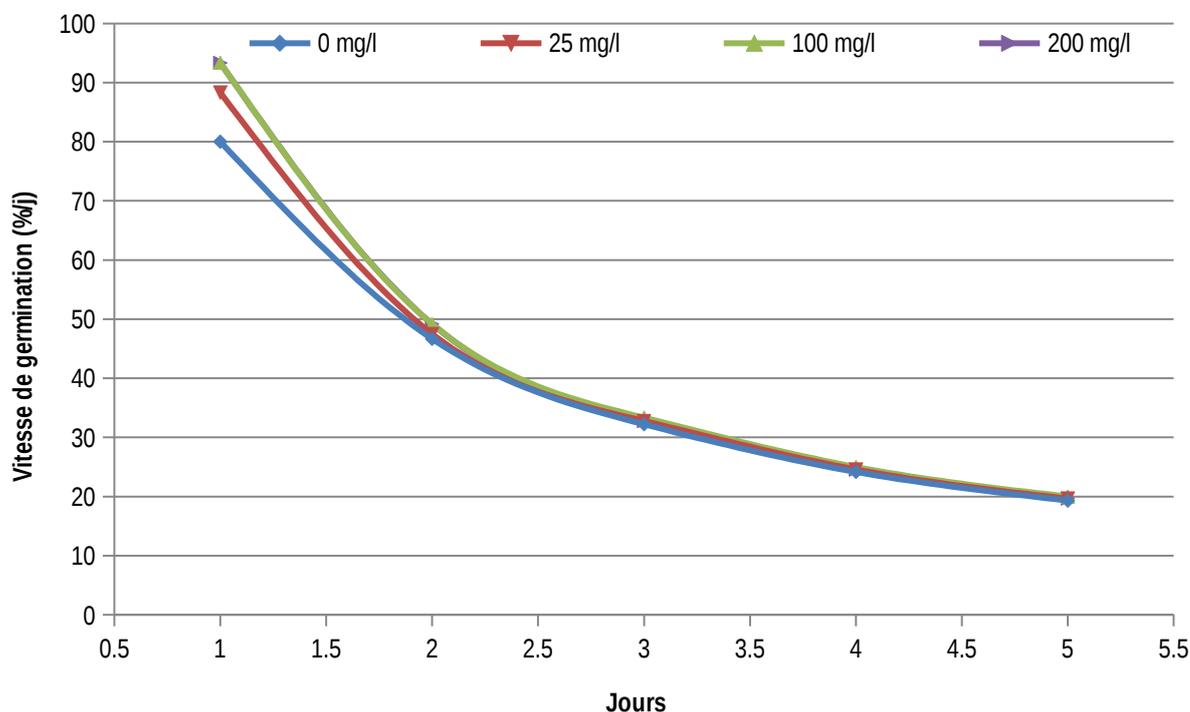


Figure 19 : Évolution de la vitesse de germination en fonction du temps selon les différentes concentrations

Réciproquement à l'évolution des taux de germination, la vitesse de germination suit une allure descendante et les courbes se confondent au-delà du second jour pour finir ensemble avec une valeur variant entre 19.33% par jour (0mg/l) et 20% par jour (100mg/l) alors qu'au départ, les valeurs oscillaient entre 93.33%/j (100 et 200mg/j), et 80.00%/j (0mg/j).

III.2.7. Évolution de la longueur maximale du coléoptile :

Ce paramètre exprime l'évolution de la longueur maximale du coléoptile du blé en fonction du temps selon les différentes concentrations (figure 20)

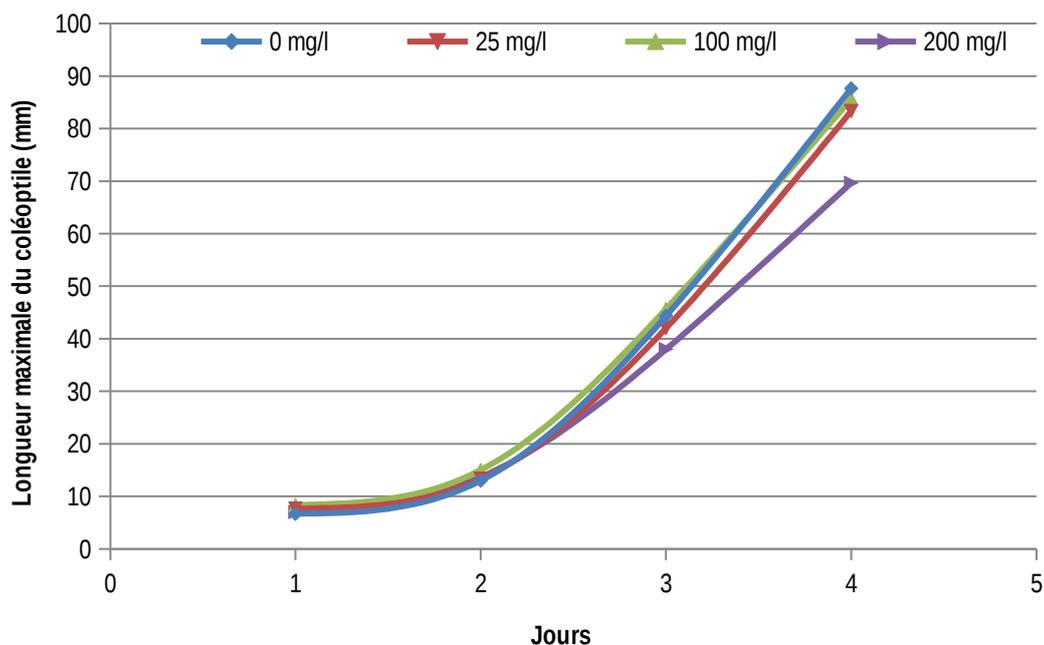


Figure 20 : Évolution de la longueur maximale du coléoptile en fonction du temps selon les différentes concentrations

Pour la longueur maximale du coléoptile, nous percevons que le premier jour les valeurs sont inférieures à 10mm (entre 6.67mm pour 0mg/l et 8.33mm pour 100mg/l). Par la suite, les courbes progressent de manière analogue jusqu'au troisième (3^{ème}) jour où nous relevons une divergence jusqu'au dernier jour spécialement pour la concentration 200mg/l dont la longueur maximale du coléoptile reste inférieure (69.67mm) à celle des autres (83.33mm pour 25mg/l ; 85.67mm pour 100mg/l et 87.67mm pour 0mg/l).

III.2.8. La longueur maximale finale du coléoptile :

Ce paramètre exprime la longueur maximale finale (dernier jour d'expérimentation) du coléoptile de blé selon les différentes concentrations figure 21.

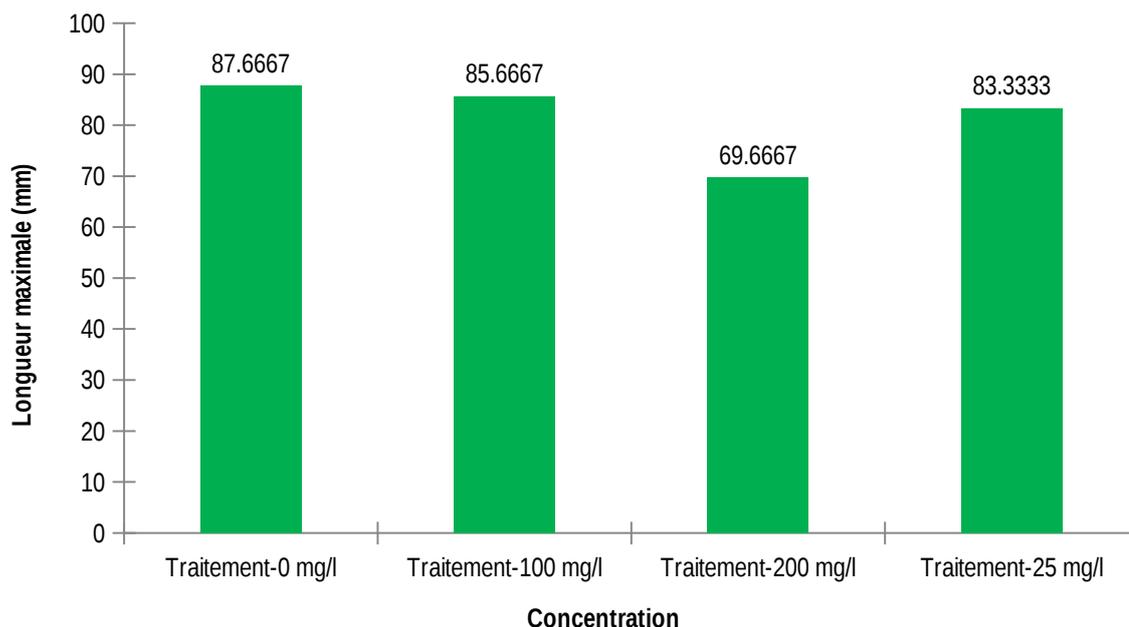


Figure 21 : Longueur maximale finale du coléoptile pour les différentes concentrations

La longueur maximale finale du coléoptile est la plus faible (69.67 mm) pour la concentration en nano-particule de 200mg/l. En contrepartie, la concentration témoin (0mg/l) permet une longueur de 87.67 mm et les deux autres concentrations ont des valeurs intermédiaires.

Dans les tableaux 16 et 17; l'analyse de variance n'a pas fait ressortir de différences significatives entre les différents concentrations et le test Newman-Keuls les a regroupées en un seul groupe homogène.

Tableau 16 : Analyse de la variance de la Longueur maximale finale du coléoptile

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	des F	Pr > F
Modèle	3	596.2500	198.7500	2.5211	0.1315
Erreur	8	630.6667	78.8333		
Total corrigé	11	1226.9167			

Tableau 17 : Test de Newman-Keuls (SNK) / Analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95% pour la Longueur maximale finale de la racicule

Modalité	Moyenne estimée	Groupes
200 mg/l	69.6667	A
25 mg/l	83.3333	A
100 mg/l	85.6667	A
0 mg/l	87.6667	A

III.3. Discussion

À partir des résultats que nous avons obtenu, ce sont les faibles concentrations de nanoparticule de monoxyde de zinc (25 mg/l et 100mg/l) qui contribueraient le plus à l'amélioration du processus de germination des graines de luzerne et de blé, ce dernier dont les graines germent plus vite que celles de luzerne (dans nos conditions expérimentales).

En effet, la germination ou l'embryogénèse tardive, est la première phase du développement d'une plante (TAULAVOURI, PARASAD, TAULAVOURI, et LAINE,2005), dans laquelle la graine retourne à la vie active après une période de dormance (THÉRON, 1964 ; MAYER, REED,et BOSDEVEIX, 2004). Lors de la germination l'embryon augmente de volume par l'utilisation de l'énergie provenant de l'oxydation des réserves sous l'influence de l'action des différentes enzymes hydrolasiques, qui dégage progressivement les enveloppes qui l'entourent et la sortie du coléoptile et des radicelles. Dans cette phase, la graine a besoin de conditions externes et internes favorables pour un développement normal.

La raison probable de l'amélioration de la germination peut être due à l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau des grains, qui est à nouveau favorisé par les nanoparticules de ZnO en créant de nouveaux pores sur le tégument (KHODAKOVSKAVA et *al.*, 2009). D'autre part, les graines de blé germent plus vite que les grains de luzerne. Cette amélioration des caractéristiques associées à la qualité physiologique de la graine peut être attribuée à l'incitation des NPs à des réactions de photosensibilisation et à la photo-génération d'oxygène, nécessaire à une germination rapide (GOKAK et *al.*, 2015). De plus, les effets bénéfiques des ZnO-NPs pendant la germination entraînent une biosynthèse hormonale, en particulier des auxines et des gibbérellines, qui favorise la dégradation des réserves de semences et une vigueur accrue des semences (EL-KERTI, EL-FEKY, KHATER, OSMAN, et EL-SHERBINI, 2013).

Et au-delà d'un certain seuil (entre 100 et 200 mg/l dans notre cas), l'effet de nanoparticule de ZnO s'inverse vers le négatif pour les grains de blé et de luzerne à la fois. La raison probable d'une diminution de la germination à une concentration plus élevée pourrait être l'augmentation de l'absorption et de l'accumulation de ces ZnO NPs à la fois dans l'espace extracellulaire et au sein des cellules, entraînant une réduction de la division cellulaire, de l'allongement cellulaire et de l'inhibition des enzymes hydrolytiques impliquées dans la mobilisation des aliments au cours du processus de germination des graines. Des résultats similaires ont été notés par plusieurs auteurs qui ont observé que les ZnO NPs, à une concentration plus élevée,

avaient un effet inhibiteur sur la croissance et le développement de différentes cultures, dont le maïs (LEE et *al.*, 2010 ; SHYLA et NATARJAN, 2014).

Les concentrations plus élevées des nanoparticules d'oxyde de zinc ne provoquent pas toujours des effets négatifs sur le processus de germination, il y a des études qui montrent que la dose de 200-800 mg/l de nanoparticule de ZnO induit une amélioration de germination de l'espèce *Cucumis sativus* (Concombre) (CABRESE et BALADWIN, 2001). Donc l'effet des nanoparticules sur la croissance des plantes dépend de la plante, du type de nanoparticule, de son mode et de la dose d'application (CHEN, QIU, LIU, JIANG, CAI, et *al.*, 2015 ; NAIR, 2016).

CONCLUSION

Conclusion

Les nanoparticules ont été récemment exploitées dans le système agricole, mais elles posent toujours des défis aux chercheurs en raison de leur taille, de leur toxicité, de leur réactivité avec les facteurs environnementaux. Il est évident à partir de diverses études antérieures que toutes les nanoparticules ne sont pas de nature toxique et ont influencé positivement les traits morphologiques ou physiologiques des plantes.

A cet égard, cette étude révèle quelques effets des nanoparticules de monoxyde de zinc à différentes concentrations (25, 100 et 200 mg/l) sur la germination et post-germination des grains de *Triticum aestivum* et *Medicago sativa* L.. D'une manière générale, les graines traitées avec les concentrations 25 et 100 mg/l de ZnO-NPs ont montré un effet globalement positif sur le processus de germination. Par contre, l'augmentation de concentration pourrait provoquer des effets négatifs ou toxiques. De même, ces effets sont plus tangibles sur la luzerne que sur le blé. Des études plus approfondies et plus élaborées sont nécessaires pour expliquer le mécanisme et les facteurs derrière ce domaine de recherche inexploré.

Donc en perspective, il est souhaitable de s'orienter vers les recommandations suivantes:

- La présente étude soutient le rôle des nanoparticules dans le développement des plantes jusqu'à une certaine limite. Cette étude ouvre la perspective future d'explorer le rôle des différents micronutriments et macronutriments et d'évaluer leurs effets sur la physiologie et l'anatomie des plantes en formant leurs nanoparticules. Il pourrait aider à réduire la toxicité des éléments sur le métabolisme des plantes
- Une analyse des graines de blé et luzerne en germination est nécessaire pour élucider les mécanismes moléculaires par lesquels les nanoparticules de ZnO peut médier le processus de germination dans les graines.
- Les changements induits par les ZnO-NP dans la physiologie et la biochimie des plantes peuvent entraîner la production de métabolites secondaires souhaitables. Cependant il est nécessaire d'évaluer les effets des ZnO-NPs pour comprendre les changements spécifiques qu'ils provoquent dans les plantes dans de futures études.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **AHOTON, L., ADJAKPA, J., M'PO, I., et AKPO, E., 2009.** Effets des prétraitements des semences sur la germination de *Prosopis african* Alexandria University: (Guill., Perrot. et Rich) Taub. (Caesalpiniaceae) .(éd. Trop.27(4) :233-238). Egypt.
- **ANZALA F.J., 2006.** Contrôle de la vitesse de germination chez le maïs (zeamays) : étude de la voie biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de doctorat. Université d'Angers. 148p.
- **BATTKE, F., LEOPOLD, K., MAIER, M., SCHIDHALTER, U. et SCHUSTER, M., 2008.** Palladium exposure of barley uptake and effects. *Plant biology*, 10: 272-276.
- **BEN KHATTOU, H. (2010):** Contribution à l'étude de l'aptitude à la germination des graines d'*Agraines spinosa* L. (SAPOTACEAE) dans la région d'Ouargla. Mémoire ING.Eco.,univ,Ouargla.
- **BEWLEY, J.D., 1997 :** germination and dormancy. Ed *Plant cell* 9 :1055-1066.
- **BINNET J. ET BRUNEL P., 1968.**Physiologie végétale, Tome I, Dion (Ed.) Paris.
- **BOONYANITIPONG P, KUMAR P, KOSITSUP B, BARUAH S, DUTTA J., 2011.** Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Roots of Rice *Oryza Sativa* L. Int Conf Environ BioSci 21:172–176.
- **BOONYANITIPONG. P, KOSITSUP. B, KUMAR. P, BARUAH.S, AND DUTTA.J., 2011.** Toxicity of ZnO and TiO₂ Nanoparticles on Germinating Rice Seed *Oryza sativa* L. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 1, No. 4:282-285 .
- **CALABRESE, et BALDWIN., 2001.** In Nanoparticules dans les biosolides: effet sur la santé du sol et la croissance des cultures. ISSN: 2641-2969.
- **CHAUSSAT R, LE DEUNFF Y., 1975.** Microflora and seed deterioration in viability of seed. éd.Chapman and Hall Londres, 59-93.
- **CHEN, G., QIU, J., LIU, Y., JIANG, R., CAI, S., et al., 2015.** les nanotubes de carbone agissent comme porteurs de contaminants et se translatent au sein des plantes. No15682.
- **COME D., 1970-** Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Masson et Cie (Ed.) Paris, 162p.

- **COMITÉ DE LA PRÉVENTION ET DE LA PRÉCAUTION., 2006.** Nanotechnologies, nanoparticules - Quels dangers, quels risques ?. Ministère de l'écologie et du développement durable, Paris, 64p.
- **COMMUNAUTE EUROPEENNE., 2011.** In Caractérisation et toxicité de nanoparticules manufacturées de fer chez *Physcomitrella patens* (Hedw. Bruch & Schimp.) et sur cellules épithéliales bronchiques humaines (HBEC) : vers une utilisation en biosurveillance d'aérocontaminants nanoparticulaires.
- **CORREDOR, E., TESTILLANO, P.S., CORONADO, M.J., GONZALEZ-MELENDE, P., FERNANDEZ-PACHECO, R., MARQUINA, C., IBARRA, M.R., M DE LA FUENTE, J., RUBIALES, D., PEREZDE-LUQUE, A. & RISUEÑO, M.C., 2009.** Nanoparticle penetration and transport in living pumpkin plants: in situ subcellular identification. *BMC Plant Biology*, 9(45): doi:10.1186/1471-2229-9-45.
- **DANIEL J. FIORINO., 2010.** Voluntary initiatives regulation and nanotechnology oversight: Charting a Path.P.56.
- **DIETZ, K.J. & HERTH, S., 2011.** Plant nanotoxicology. *Trends in Plant Science*, 16(11): 582-589.
- **EL-KERETI, M., EL-FEKY, S., KHATER, M., OSMAN, Y., & EL-SHERBINI, E., 2013.** ZnO for promoting growth and yield of sweet basil plant. *Recent Pat.Food Nutr.Agric.* 5, 169-181.
- **ELLIS, & ROBERTS., 1981.** In *Ecologie de la germination des espèces indigènes de la Réunion.*
- **EVENARI M., 1957.** Les problèmes physiologiques de la germination. *Soc. France, Physiologie végétale.* (3), 2451-2494.
- **FAO STAT 2020 :** <http://www.fao.org/faostat/fr/#data>
- **FENG, Y., CUI, X., HE, S., DONG, G., CHEN, M., WANG, J. & LIN, X., 2013.** The role of metal nanoparticles in influencing arbuscular mycorrhizal fungi effects on plant growth. *Environmental Science and Technology*, 47: 9496-9504.
- **FOLTETE, A-S., 2010.** Effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* (Fabaceae) dans le cadre de l'évaluation des sols pollués. Thèse de doctorat en Ecotoxicologie, Biodiversité, Ecosystèmes. Laboratoire des Interactions Écotoxicologie Biodiversité, Ecosystèmes. Université Paul Verlaine –Metz. 245p.
- **FONTAN, J., MASCLLET, P., MONTAGNE, X., QUISEFIT, J-P., TYMEN, G. & WEILL, A., 2005.** Les particules : caractérisation pour les problèmes de santé. *Pollution atmosphérique*, 188: 469-474.
- **GOGOS A, KNAUER K, BUCHELI, T.D., 2012.** Nanomaterials in plant protection and fertilization: current state, foreseen applications, and research priorities. *J Agric Food Chem* 60: 9781-9792.

- **GOKAK, I., et TARANATH, T., 2015.** Seed germination and growth responses of *Macrotyloma uniflorum* (Lam.) Verdc. exposed to zinc and zinc nanoparticles. *Int. J. Environ. Sci.*5,540-54.
- **GONZALEZ-MELENDI, P., FERNANDEZ-PACHECO, R., CORONADO, M.J., CORREDOR, E., TESTILLANO, P.S., RISUENO, M.C., MARQUINA, C., IBARRA, M.R., RUBIALES, D. & PEREZDE-LUQUE, A., 2008.** Nanoparticles as smart treatment-delivery systems in plants: assessment of different techniques of microscopy for their visualization in plant tissues. *Annals of Botany*, 101: 187-195.
- **HELLER R. ET ESNAULT R. ET LANCE C., 2000.** Physiologie végétale et développement, Dunod (Ed.) Paris, 366p.
- **HERNANDEZ-VIEZCAS, J.A., CASTILLO-MICHEL, H., SERVIN, A.D., PERALTA-VIDEA, J.R., GARDEA TORRESDEY, J.L. , 2011.** Spectroscopic verification of zinc absorption and distribution in the desert plant *Prosopis juliflora velutia* (velvet mesquite) treated with ZnO nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*. Elsevier B.V 170:346–352.
- **HOPKINS W.G., 2003.** physiologie végétale. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par Serge.R. Ed. de boeck, p. 66-81.
- **INERIS., 2007.** Nanotechnologies, Nanomatériaux, Nanoparticules, Quels impacts ? sur l’homme et l’environnement. INERIS, Verneuil en Halatte, 20p.
- **INRS., 2012.** Les nanomatériaux. INRS, 52P.
- **KHODAKOVSKAYA, M., DERVISHI, E., MAHMOUD, M., XU, Y., LI, Z., 2009.** “Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth”, *ACS Nano*. 3: 3221-3227.
- **KHODAKOVSKAYA, M., DERVISHI, E., MOHAMMAD, M., XU, Y., LI, Z., WATANABE, F., et al., 2009.** Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS Nano* 3:3221-3227.
- **KOTOWSKI, F., 1926.** Temperatures relations to germination of vegetable seed. *Proc.Amer.Soc.Horticult.Sci.*,23,176-184.
- **LAFON J.P., THARAUD-PRAYER C., LÉVY G., 1998.** Biologie des plantes cultivées Tome 2, Physiologie du développement, génétique et amélioration. Paris : Tec & Doc-Lavoisier, ISBN 10 : 274300259x, ISBN 13 : 9782743002596, 150p.
- **LARUE, C., 2011.** Impact de Nanoparticules de TiO2 et de Nanotubes de Carbone sur les Végétaux.Thèse de doctorat. Spécialité : Eco toxicologie/Environnement .L’institut des Sciences et Industries.296p.

- **LARUE, C., 2011.** Impact de nanoparticules de TiO₂ et de nanotubes de carbone sur les végétaux. Thèse pour l'obtention de grade de docteur d'AgroParisTech, Paris, 296p.
- **LARUE, C., KHODJA, H., HERLIN-BOIME, N., BRISSET, F., FLANK, A.M., FAYARD, B., CHAILLOU, S. & CARRIERE, M., 2011.** Investigation of titanium dioxide nanoparticles toxicity and uptake by plants. *Journal of Physics: Conference Series*, 304: 1-7.
- **LARUE, C., LAURETTE, J., HERLIN-BOIME, N., KHODJA, H., FAYARD B., FLANK, A.M., BRISSET, F. & CARRIERE, M., 2012.** Accumulation, translocation and impact of TiO₂ nanoparticles in wheat (*Triticum aestivum* spp.): Influence of diameter and crystal phase. *Science of the Total Environment*, 431: 197–208.
- **LEE, C., MAHANDRA, S., ZODROW, K., COUVERCLE., TASI, Y., BRAAM, J., et al., 2010.** Phytotoxicité des pour le développement de nanoparticules d'oxyde métallique pour *Aribidopsis thaliana*. *Environ. Toxicol.Chem.*29,669-675.
- **LIN, D. & XING, B., 2008.** Root uptake and phytotoxicity of ZnO nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 42: 5580-5585.
- **LIN. D, XING. B., 2007.** “Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth”, *Environ Pollut.*150, 243 -250.
- *lotus à différentes températures et durées de trempage (Provenance : Bousâada, M'sila).*
- **M. HOSOKAWA, NANO PARTICLE TECHNOLOGY HANDBOOK, ELSEVIER B.V., 2007.**
- **Ma, X., Geiser-Lee, J., Deng, Y. & Kolmakov, A., 2010.** Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation. *Science of the Total Environment*, 408: 3053–3061.
- **MAZLIAK P., 1982.** Physiologie végétale II. Croissance et développement. Paris Hermann, collection Méthodes. ISBN/ISSN/EAN : 978-2-7056-5943-1, 465p.
- **MB.HOMAE, AA.EHSANPOUR., 2015.** *Indian Journal of Plant Physiology*, Springer.
- **MEYER S, REEB C, BOSDEVEIX R., 2004.** Botanique, biologie et physiologie végétale. Ed. Moline, Paris, 461p.
- **MEYER, M., REED, C., & BOSDEVEIX, R., 2004.** *Botanique (Biologie et physiologie végétales)*. Maloine.56/461.
- **MIRANSARIM M ; SMITH D.L., 2014.** Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany* 99: 110- 121.
- **MONICA, R.C. & CREMONINI, R., 2009.** Nanoparticles and higher plants. *Caryologia*, 62: 161–165.

- **N.ZUVERZA-MENA, R. ARMENDARIZ , JR. PERALTA-VIDEA AND JORGE L. GARDEA-TORRESDEY** Metallurgical and Materials Engineering Department, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX, USA. Chemistry Department, The University of Texas at El Paso, El Paso, TX, USA. University of California Center for Environmental Implications of Nanotechnology – The University of Texas at El Paso, El Paso, TX, USA.
- **NAIR, R., 2016.** Effets des nanoparticules sur la croissance et le développement des plantes. Nanotechnologie végétale: principe et pratiques 95-118.
- **NOUARA., 2007.** In Effet du stress salin sur la germination de trois variétés d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L).
- **OZENDA., 2006.** In Effet du stress salin sur la germination de trois variétés d'haricot (*Phaseolus vulgaris* L).
- **RACUCIU, M., CREANGA, D. & OLTEANU, Z., 2009.** Water Based Magnetic Fluid Impact on Young Plants Growing. Romanian Reports in Physics 61(2): 259-268.
- **RANAL, M., & SANTANA, D. D., 2006.** How and why to measure the germination process. revista Brasil Botanica 29:1-11.
- **RAVEN et al., 2003.** In Conditions optimales de la germination des graines de Ziziphus
- **RONG Y., YUAN F., JOHNSON D.A., 2014.** Addition of alfalfa (*Medicago sativa* L.) to lamb diets enhances production and profits in northern China. Livestock Research for Rural Development. Volume 26, Article #224. Retrieved October 24, 2015, from <http://www.lrrd.org/lrrd26/12/rong26224.htm>.
- **RUFFINI CASTIGLIONE, M. & CREMONINI, R., 2009.** Nanoparticles and higher plants. Caryologia, 62(2): 161-165.
- **SALEHZADE, H., SHISHVAN, I., GHIYASI.M., FOROUZI, F., & SIYAHJANI, A., 2009.** Effects of seed priming on germination and seedling growth of wheat. Res.J.Biol.Sci., 4(5), 629-631.
- **SCHÜTZENDÜBEL, A. & POLLE, A., 2002.** Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J. Exp. Bot.* 53: 1351–1365.
- **SHARMA, S.S. & DIETZ, K.J., 2009.** The relationship between metal toxicity and cellular redox imbalance. Trends Plant Sci. 14: 43–50.
- **SHAYMURAT. T, JIANXIU GU, CHANGSHAN XU, ZHIKUN YANG, QING ZHAO, YUXUE L., 2011.** Phytotoxic and genotoxic effects of ZnO nanoparticles on garlic (*Allium sativum* L.): A morphological study. Centre for Advanced Optoelectronic Functional Materials Research, Northeast Normal

University, Changchun, P. R. China, EarlyOnline, Nanotoxicology: 1-8.

- **SHYLA, K., & NATARAJAN, N., 2014.** Personalisation des nanoparticules d'oxyde de zinc, d'argent et de dioxyde de titane pour améliorer la qualité des graines d'arachide. *IntJ Sci Environ Technol.* 7(9):1376-1381.
- **SOLTNER D., 2007.** Les bases de la production végétale tome III, la plante. Ed. Collection sciences et technique agricole Paris, 304p.
- **SOTNER D., 2001.** Les bases de la production végétale. Tome III la plante et son amélioration, 3ème édition Paris, 189p.
- **TAULAVOURI, K., PARASAD, M., TAULAVOURI, E., & et LAINE, K., 2005.** Metal stress consequences on frost hardiness of plants at northern high latitudes: A review and hypothesis. *Environ Pollut.*135:209-220.
- **THERON, A., 1964.** Botanique (classe de 2eM). Boradas.121-141/287.
- **THUESOMBAT, P., HANNONGBUA, S., AKASIT, S., CHADCHAWAN, S., 2014.** Effect of silver nanoparticles on rice (*Oryza sativa* L. cv. KDML 105) seed germination and seedling growth. *Ecotoxicology and Environmental Safety* Volume 104, Issue 1, Pages 302-309.
- **UZU, G., SOBANSKA, S., SARRET, G., MUNOZ, M. & DUMAT, C., 2010.** Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental Science and Technology*, 44: 1036-1042.
- **YANG, L., WATTS, D.J., 2005.** “Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles”, *Toxicology Letters* 158, 122-132.
- **ZHU, H., HAN, J., XIAO, J.Q. & JIN, Y., 2008.** Uptake, translocation and accumulation of manufactured iron oxide nanoparticles by pumpkin plants. *Journal of Environmental Monitoring*, 10: 713-717.

Effets d'une nano molécule sur la germination de quelques espèces cultivées

Résumé : Les chercheurs tentent toujours d'optimiser les nanomatériaux à utiliser comme nano-engrais pour les plantes cultivées d'importance agricole dans le respect de la garantie de leur utilisation en toute sécurité.

Le présent travail porte sur la recherche des effets d'une nano molécule (ZnO) sur la germination de deux espèces cultivées à savoir le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et la luzerne (*Medicago sativa* L.). Pour cela, différentes doses, d'une solution de nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO-NPs), ont été utilisées (0 mg/l, 25 mg/l, 100 mg/l et 200mg/l).

Les résultats de cette expérience révèlent quelques effets des nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO-NPs) à différentes concentrations sur la germination et post-germination des grains de *Triticum aestivum* L. et *Medicago sativa* L.. Les graines traitées avec les concentrations 25 et 100 mg/l de ZnO-NPs ont montrés un effet globalement positif sur le processus de germination. Par contre, l'augmentation de concentration pourrait provoquer des effets négatifs ou toxiques. De même, ces effets sont plus tangibles sur la luzerne que sur le blé.

Mots clés: Luzerne, Blé, Germination, Nanoparticule, ZnO.

Effects of a nano-molecule on the germination of some cultivated species

Abstract: Researchers are still trying to optimize nanomaterials to be used as nano-fertilizers for crops of agricultural importance while ensuring their safe use.

The present work concerns the research of the effects of a nano-molecule (ZnO) on the germination of two cultivated species, namely common wheat (*Triticum aestivum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.). For this, different doses of a solution of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs), were used (0 mg/l, 25 mg/l, 100 mg/l and 200 mg/l).

The results of this experiment reveal some effects of zinc oxide nanoparticles (ZnO-NPs) at different concentrations on the germination and post-germination of seeds of *Triticum aestivum* L. and *Medicago sativa* L.. The seeds treated with the concentrations of 25 and 100 mg/l of ZnO-NPs showed an overall positive effect on the germination process. On the other hand, the increase in concentration could cause negative or toxic effects. Likewise, these effects are more tangible on alfalfa than on wheat.

Key words: Alfalfa, Wheat, Germination, ZnO, Nanoparticles.

تأثير الجزيء النانوي على إنبات بعض الأنواع المزروعة

الملخص: لا يزال الباحثون يحاولون تحسين المواد النانوية لاستخدامها كأسمدة نانوية للمحاصيل ذات الأهمية الزراعية مع ضمان استخدامها الآمن.

يتعلق هذا العمل ببحوث آثار جزيء النانو (ZnO) على إنبات نوعين مزروعين، وهما القمح اللين (*Triticum aestivum* L.) والفصة (*Medicago sativa* L.). لهذا الغرض، تم استخدام جرعات مختلفة من محلول جزيئات أكسيد الزنك النانوية (ZnO-NPs) (0 ملغ/لتر، 25 ملغ/لتر، 100 ملغ/لتر و 200 ملغ/لتر).

كشفت نتائج هذه التجربة عن بعض تأثيرات جزيئات أكسيد الزنك النانوية (ZnO-NPs) بتركيزات مختلفة على إنبات وبعد إنبات بذور *Triticum aestivum* L. و *Medicago sativa* L.. عموماً أظهرت البذور المعالجة بتركيزات 25 و 100 ملغ/لتر من ZnO-NPs تأثيراً إيجابياً على عملية الإنبات. من ناحية أخرى، يمكن أن الزيادة في التركيز تتسبب في آثار سلبية أو سامة. وبالإضافة، فإن هذه التأثيرات أكثر وضوحاً على الفصة منها على القمح.

الكلمات الدالة : الفصة، القمح، الإنبات، الجسيمات النانوية، ZnO.