

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR -UBM ANNABA - ALGERIE -
FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Laboratoire D'Amélioration Génétique Des Plantes

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

BIOLOGIE VEGETALE

**Effet de deux engrais de fond et des nanoparticules à base de ZnO sur
quelques marqueurs physiologiques et biochimiques des génotypes de blé
dur (*Triticum durum* Desf.)**

Présentée et soutenue publiquement par

M^{me} CHIAHI Nadia

Devant le Jury:

Président TAHAR Ali Professeur Université BADJI Mokhtar Annaba

Directeur de thèse BRINIS Louhichi Professeur Université BADJI Mokhtar Annaba

Examineurs

BELKHODJA Moulay : Professeur Université d'Oran1 Ahmed Ben Bella

CHEFROUR Azzedine : Professeur Université Mohamed Cherif MESSAADIA

Souk Ahras-

Invitée : BOULOUEDENINE Manel Université Mohamed Cherif MESSAADIA

Souk Ahras

Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à :

Mes chers parents.

Mon mari Yacine GHLIS.

Mes frères : Mohiéddine, Samir, Khaled.

Ma sœur Leila.

Mes filles.

Toute ma famille.

À tous.

Nadia

Remerciements

JE REMERCIE LE BON DIEU MISÉRICORDIEUX DE M'AVOIR AIDÉ À
RÉALISER CETTE THÈSE.

L'incroyable histoire de la thèse se termine...déjà. Ces années de recherche auront été pour moi une fabuleuse aventure tant sur le plan scientifique qu'humain. Elles m'ont permis de confirmer ma passion pour la recherche et de collaborer avec beaucoup de personnes, chacun apportant sa pierre à l'édifice.

Cette thèse marque l'aboutissement des années de travail intense et enrichissant, qui auraient été bien fades sans la participation de près ou de loin de nombreuses personnes que je remercie sincèrement et à qui je souhaite beaucoup de bonnes choses pour la suite.

Aux membres du jury et aux personnes qui m'ont encadrée...

Je remercie le Professeur TAHAR Ali d'avoir accepté d'être président de jury de ce travail de thèse. Je vous remercie pour le temps que vous avez consacré à sa lecture et d'y avoir porté un regard d'expert.

Mes sincères remerciements vont également à mon directeur de thèse :

Professeur BRINIS Louhichi qui m'a encadré et fait découvrir de nouveaux domaines ;
M^r BRINIS L, merci d'avoir accepté d'être directeur de thèse et de m'avoir apporté
votre soutien et un œil extérieur à mes travaux de recherche.

Merci de m'avoir suivie, fait confiance depuis toutes ces années et d'avoir cru en mes
capacités. Dès le premier jour, vous m'avez fait partager et transmis votre passion pour
la recherche. Malgré votre charge de travail, vous avez toujours été là, à l'écoute. Merci
pour votre rigueur scientifique, de m'avoir permis dans certains cas de prendre du recul
mais aussi pour m'avoir remise de nombreuses fois dans le droit chemin, pour vos
encouragements qui m'ont redonné force et confiance lorsque le moral n'y était plus.

Je tiens à exprimer également ma profonde gratitude A Messieurs les professeurs :

Moulay BELKHODJA, Azzedine CHEFROUR ; Je veux leur adresser ma profonde
reconnaissance pour avoir accepté de consacrer de leur temps à l'examen de ce travail.

Un ENORME MERCI !!! Madame Manel BOULOUEDENINE, grâce à votre soutien,
j'ai osé me lancer dans un nouveau domaine mais surtout de m'avoir fait découvrir le
monde des nanoparticules et leur complexité. Je vous exprime toute ma reconnaissance.

Merci à Fatima GABOUNI INRA RABAT - Maroc pour ses précieux conseils,
notamment dans l'utilisation du SAS (Statistical Analysis System) et l'interprétation des
résultats.

Un grand merci à tous les techniciens de la ferme pilote Yousfi Tayeb qui ont permis l'implantation des essais et la réalisation de toutes les opérations techniques au champ.

Parmi eux je remercie tout particulièrement M^r BEDDIAR Liamine Directeur de la ferme, Tahar MAHAYAOUI technicien chargé de la production végétale.

Je remercie M^r AICH Hamid directeur de la CCLS Souk Ahras pour les informations techniques qu'il a bien voulu me transmettre et aussi la délivrance des semences nécessaire.

Mes sincères remerciement et reconnaissances pour mes très chers parents. Ainsi qu'à mon mari qui m'a vraiment soutenu et encouragé. Sans oublier les membres de ma famille.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de cette thèse.

On fait la science avec des faits, comme on fait une maison avec des pierres : mais une accumulation de faits n'est pas plus une Science qu'un tas de pierres n'est une maison.

HENRI POINCARÉ

Sommaire

| | |
|---------------|----|
| Résumés | 08 |
|---------------|----|

CHAPITRE 01

| | |
|---|-----------|
| Introduction..... | 12 |
| 1. Synthèse bibliographique..... | 15 |
| 1.1. Systèmes de culture..... | 16 |
| 1.2. Interactions entre les cultures : Effet précédent – sensibilité..... | 19 |
| 1.3. La jachère et son rôle dans l’environnement agricole..... | 19 |
| 1.4. Les engrais minéraux..... | 28 |
| 1.4.1. Caractéristiques..... | 28 |
| 1.4.2. Nature des engrais..... | 29 |
| 1.4.3. Date d’apport et mode d’application..... | 34 |
| 1.5. La problématique..... | 37 |

CHAPITRE 02

| | |
|---|-----------|
| 2. Expérimentation sur champ..... | 45 |
| 2.1. Description et localisation du site d’étude..... | 45 |
| 2.2. Installation de l’essai..... | 46 |
| 2.3. Dispositif expérimental..... | 48 |
| 2.4. Conduite de l’essai..... | 50 |
| 2.5. Résultats et discussion (Partie terrain)..... | 51 |

CHAPITRE 03

| | |
|--|-----------|
| 3. Méthodes expérimentales..... | 62 |
| 3.1. Analyses du sol..... | 62 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1. Analyse physico-chimiques..... | 63 |
| 3.1.1.1. Le pH eau et pH- KCl | 63 |
| 3.1.1.2. Conductivité électrique | 64 |
| 3.1.1.3. Humidité..... | 65 |
| 3.1.1.4. Extrait sec..... | 65 |
| 3.1.1.5. Calcaire total..... | 66 |
| 3.1.1.6. Matières organiques..... | 66 |
| 3.1.1.7. Analyse granulométrie. | 67 |
| 3.1.2. Discussion. | 68 |

CHAPITRE 04

| | |
|---|------------|
| 4. Effets de quelques nanoparticules à base de ZnO sur le comportement du blé dur..... | 71 |
| 4.1. Bibliographie sur les nanoparticules..... | 72 |
| 4.2. Expérimentation sur les nanoparticules..... | 83 |
| 4.3. Conclusion générale et perspectives..... | 116 |
| 5. Références bibliographiques..... | 120 |
| Liste des figures..... | 135 |
| Liste des tableaux..... | 137 |
| Liste des abréviations..... | 139 |
| Annexe 01 :..... | 143 |
| Annexe 02 :..... | |
| Annexe 03 :..... | |
| Annexe 04 :..... | |

RESUME

Afin d'améliorer le rendement des semences de multiplication du blé dur (*Triticum durum* Desf.), sept (07) variétés ont été cultivées dans un champ expérimental (région de Tifech à Souk Ahras- Algérie). L'étude a porté sur le semis des variétés sur deux précédents culturaux (Sorgho et jachère pâturage), en plus de l'utilisation de deux engrais de fond, l'un potassique (le Fosfacyl) et l'autre phosho-azoté, il s'agit du (DAP).

L'analyse des résultats a montré une nette amélioration des rendements en grains chez les variétés récoltées sur le précédent cultural (Sorgho) et ayant reçues le Fosfacyl comme fertilisant. Les meilleurs rendements en grains ont été affichés par les variétés Carioca, Boussallem et Sersou.

Après récolte ; L'étude des paramètres pédologiques des parcelles concernées a montré des sols avec une texture sable-limoneuse, possédant une faible matière organique, avec un PH légèrement alcalin, tout en étant pauvres en sels.

L'évaluation de l'impact des nanoparticules à base de ZnO sur le comportement de trois variétés de blé dur (Boussallem, Gtadur et Ouarsenis), grâce à une gamme de paramètres de développement, physiologiques et biochimiques réalisé en laboratoire. Les variétés choisies (V1, V2 et V3) ont été exposées à des concentrations croissantes des nanoparticules de ZnO (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, 0,5mg/ml).

Les résultats montrent que la présence des nanoparticules à base de ZnO peut exercer un effet stimulant qu'inhibiteur selon l'effet concentration et le paramètre étudié ,il en ressort qu'à l'exception d'une diminution d'élongation racinaire : effet forte concentration ainsi qu'une réduction des teneurs en chlorophylles (chlo a, chlo b) induite par l'exposition aux faibles concentrations ; nous pouvons avancer que le développement des plantules de blé n'a pas été très affecté par la présence des nanoparticules de ZnO dans leur milieu expérimental parfois même elle a provoqué un effet stimulant (augmentation du pourcentage de germination).

De même leur présence a provoqué un stress oxydatif se traduisant par l'accumulation d'une Lipoperoxydes (MDA) enregistrée chez toutes les variétés étudiées suite à l'exposition aux différentes concentrations.

D'autre part un effet variétal a beaucoup contribué dans la variation des paramètres restants liés aux espèces réactives de l'oxygène (ROS), aux Caroténoïdes, Ascorbate Peroxidase et Catalase.

Mots clés : blé dur, rendement, pédologie, fertilisation, stress oxydant, marqueurs physiologiques, nanoparticules.

الملخص

من أجل تحسين أداء مردود البذور القمح الصلب (*Triticum durum* Desf.)، قمنا بغرس 07 سبعة أصناف من هذه البذور في حقول المزرعة النموذجية يوسف الطيب بمنطقة تيفاش ولاية سوق أهراس . وتم الاختيار على نوعين من التربة من خلال المحاصيل السابقة (أرض بور وأرض محاصيل الذرة) بالإضافة إلى استخدام نوعين مختلفين من الأسمدة هما DAP و Fosfacyl وأظهر النتائج الأولية من خلال المحاصيل وجود تحسن كبيراً من خلال المردود أرض المحاصيل السابقة المتمثلة في الذرة مع استعمال Fosfacyl كسماد.

أما من ناحية المردود قد أعطت الأصناف الثلاثة Boussallem , Carioca , Sersou أعلى وأفضل المعدلات الإنتاج.

أظهرت دراسة المعلمات التربة من الطرود منها التربة مع نسيج الرملية الطميية، مع المواد العضوية أنها منخفضة، مع درجة الحموضة القلوية، في حين يلاحظ إنخفاض في الأملاح. لهذين النموذجين من التربة في منطقة تيفاش .

في النهاية تم اختيار أصناف البذور الثلاث بعد الحصاد وهم Gtadur، Boussallem و Ouarsenis للقيام بالاختبارات المعملية حول تأثير الجسيمات النانوية على هذه الأصناف من تأثير أكسيد الزنك على المؤشرات التنموية على القمح الصلب وكذا المؤثرات الفسيولوجية والبيوكيميائية.

بعد التعرض لزيادة تركيزات أصناف من أكسيد الزنك (0.01ملغ / مل، 0.05ملغ / مل، 0.1mg / مل و 0.5mg / مل)، فقد بينت النتائج أن سلوك القمح الصلب بعد التعرض لجسيمات النانو أكسيد الزنك يختلف تبعاً لجرعات التركيز، وهي جزء من الشتلات الجذر أو الحانب العلوي) ويبقى الجانب الوراثي للتساؤل :

- تحفيز استطالة الجذر في تركيز عال.
- زيادة مستويات الكلوروفيل خاصة ب في شتلة التركيزات المنخفضة.
- تراكم (MDA (Liperoxydes في كل الأصناف وأحياناً يفضل أن يكون من APX أو CAT المتعلقة بأصناف جيدة وقابلة للاكسدة.

وباختصار، فإن وجود الجسيمات النانوية في إختبار الأصناف القمح الصلب لم يعطل التنمية السليمة للشتلة من القمح، وخصوصاً الصنف Boussallem.

كلمات البحث: القمح الصلب، المردودية، التربة، التسميد، الإجهاد التأكسدي، علامات الفسيولوجية، النانوية.

Abstract

To improve the performance of multiplication of durum wheat seed (*Triticum durum* Desf.), Seven (07) varieties were grown in an experimental field (Tifech region in Souk Ahras). The study focused on planting varieties on two previous crops (sorghum and fallow pasture), in addition to the use of two background fertilizer, a potassium (the Fosfactyl) and other nitrogen-phosphorus (DAP).

Analysis of the results showed a significant improvement in grain yield in varieties harvested from the previous crop (sorghum) and having received the Fosfactyl as fertilizer. The best grain yields were posted by varieties Carioca and Boussallem Sersou.

After harvest; the study of soil parameters of the respective parcels showed soil with a sandy loam texture, with a low organic matter, with a slightly alkaline pH, while being low in salts. The evaluation of the impact of nanoparticles based on ZnO on the behavior of three varieties (Boussallem, Gtadur and Ouarsenis), with a range of development parameters, physiological and biochemical made in the laboratory. The varieties (V1, V2 E V3) were exposed to increasing concentrations of ZnO nanoparticles (0.01mg / ml, 0.05mg / ml, 0.1mg / ml, 0.5mg / ml).

The results show that the presence of ZnO-based nanoparticles can have a stimulating effect inhibitor according to the concentration and effect parameter studied, it shows that with the exception of a reduction of root elongation: strong effect concentration and reduced levels of chlorophyll (chl a and chl b) induced by exposure to low concentrations; We can advance the development of wheat seedlings was not much affected by the presence of ZnO nanoparticles in their experimental medium sometimes it provoked a stimulating effect (increasing the percentage of germination).

Similarly their presence caused oxidative stress resulting in the accumulation of lipoperoxide (MDA) recorded in all varieties studied following exposure to different concentrations.

On the other hand a variety effect has contributed greatly in the variation of the remaining parameters related to (ROS), Caroténoïdes, APX and CAT.

Keywords: Durum wheat, yield, soil, fertilization, oxidative stress, physiological markers, nanoparticles.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

La multiplication des céréales en Algérie reste tributaire de plusieurs facteurs abiotiques (principalement les précipitations et la nature pédologique des sols) et biotiques (potentialités génétiques des variétés), s'exprimant par leur variation phénotypique et la différence de leurs rendements.

En plus l'intervention des agriculteurs par le travail du sol, l'apport d'engrais et les traitements phytosanitaires influencent beaucoup la production d'une année à autre. (Chiahi 2010).

La céréaliculture a dû faire face à des contraintes liées à la mauvaise exploitation des sols et à la fertilisation aléatoire, néanmoins, des dispositifs adaptés aux besoins des sols ont été mis en place «de nouvelles méthodes d'exploitation ont été adoptées pour une nouvelle agriculture, une agriculture durable ». (Brinis 2012). Le fait que les professionnels du domaine, en collaboration avec le ministère de l'agriculture et d'autres organismes, développent de nouvelles méthodes tel que le concept viabilité/vigueur des semences, l'adaptation aux stress biotiques et abiotiques, l'amélioration de la qualité technologique et la fertilisation raisonnée. (Brinis 2012).

La différence des zones agro climatiques dans notre pays, accentue en plus la fluctuation de cette production d'une région à autre.

Cette problématique repose sur le fait que les potentialités agro-climatiques sont mal connues. Il est donc quasiment impossible de pressentir les cultures à développer dans les zones agro-climatiques. Il est tout aussi évident que les prévisions d'aménagement pourraient s'avérer peu en rapport avec les potentialités effectives des dites zones. (Derouiche 2007).

La production du blé en Algérie est caractérisée par des fluctuations très instables. Elle ne présente aucune tendance particulière, mais à partir de la campagne 1994/1995, elle subit une tendance linéaire plus ou moins croissante. Cette tendance subite pourrait être due à l'une des deux raisons essentielles, à savoir une nette amélioration de la pluviométrie ainsi que l'adoption de nouvelles réformes économiques durant la période (1989-1995), dont les répercussions se font sentir à partir de 1994. (Kellou 2008).

Mais si nous analysons l'effet de tous ces facteurs, nous pouvons limiter l'influence de certains facteurs là où le multiplicateur peut intervenir largement et améliorer au maximum la production de ces céréales, à savoir :

- 1.** L'installation du semis, avec labour, engrais de fond, le choix des variétés et de leurs doses de semis, engrais de couverture, le traitement phytosanitaire par l'utilisation surtout d'herbicides et suivant les régions d'insecticide et même de fongicide.
- 2.** En dehors de ces facteurs, liés à la culture en plein champs, nous pouvons aussi ajouter les conditions de stockage des semences, au niveau des C.C.L.S. que nous qualifions de facteur de post-récolte et qui peuvent influencer grandement la viabilité et la vigueur des semences.

Toutes ces raisons nous ont mené à étudier jusqu'où le multiplicateur peut améliorer la production des semences céréalière ! En adoptant un système de culture groupant plusieurs paramètres qu'il peut faire varier lui-même tels que : Différents précédents culturaux, plusieurs variétés et une multitude de produits herbicides.

Pour cela nous avons jugé nécessaire l'installation d'un tel système dans une région caractérisée par la production de la céréaliculture associée à l'élevage bovin et ovin qu'est la région de Tifech (36° 14 latitude Nord et 7° 10 longitude Est 25 km à la Nord-Est - wilaya de Souk Ahras-Algérie-).

Cette date de création très ancienne prouve clairement que Souk Ahras a été toujours une région de production des grandes cultures sûrement même avant l'époque coloniale (Aich 2010).

D'une manière générale le blé dur représente plus de la moitié de la collecte des céréales (80%) de 1980/1981 à 2008/ 2009.

1. Synthèse bibliographique.

Dans un contexte d'accroissement démographique mondial, de 7 milliards à 9 milliards dans les 50 années à venir, les besoins en alimentation peuvent atteindre de 7 GT actuels jusqu'à 12 GT d'équivalent grain (Van Ittersson 2010). Toutefois, l'actuelle production ne subvient pas encore aux besoins des pays en développement comme l'Afrique.

Actuellement, l'alternative potentielle de production agricole est déterminée soit par une extension de la surface cultivée, soit par l'augmentation de la production parcellaire, mais seuls l'Afrique et l'Amérique latine disposent encore de terrain potentiellement cultivable (Van Ittersson 2010). Par ailleurs, la réduction de la fertilité du sol notamment les déficiences en P et en N par l'érosion et les pratiques culturales rudimentaires constituent des facteurs importants du déclin de la production agricole chez les petits fermiers (Sanchez 1997). En effet, les pertes en nutriments sont évaluées à 4,4 millions de tonnes d'azote, 0,5 million de tonne de phosphore et 3 millions de tonnes de potassium chaque année à partir des terres cultivées (Wambeke 1974).

Ces pertes sont plus grandes que la consommation annuelle en fertilisants et se traduisent par une dégradation progressive de la fertilité du sol. L'intensification de la production agricole face aux contraintes d'ordre économique et social a conduit les producteurs à adopter des systèmes de production basés essentiellement sur l'utilisation intensive d'intrants chimiques, pesticide et engrais minéral.

Cependant, les fertilisants chimiques principalement les fertilisants phosphatés et azotés sont des ressources non renouvelables, issus des gisements miniers, et leurs exploitations requièrent une quantité non négligeable de combustibles qui sont aussi des ressources non renouvelables. En effet, la production de 1 tonne de fertilisant azoté nécessite environ 873 m³ de gaz naturel. Rien qu'aux Etats -Unis, l'utilisation et la production de fertilisants azotés requièrent 3% à 5% de la production annuelle de gaz naturel du pays (Vance 2001). Avec l'accroissement des besoins en fertilisants phosphatés, les gisements phosphatés risquent d'être épuisés dans les années à venir, 60 à 80 ans selon le conseil pour la science et la technologie de l'agriculture en 1988 (Vance 2001).

Dans un souci de développement durable, il convient de changer de paradigme avec une agriculture basée sur une consommation raisonnée voire largement diminuée des engrais minéraux. La «Royal society of London » a reporté en 2009 que les agronomes devraient avoir une connaissance en biologie, chimie, écologie, science du sol et génétique afin de mieux comprendre les interactions entre les composants biotiques et abiotiques de l'écosystème. Ces connaissances serviront à améliorer la production végétale dans le cadre d'une intensification durable de l'agriculture mondiale (John 2010).

L'intensification des systèmes de culture et de la monoculture ont entraîné une diminution des teneurs en matière organique des sols cultivés, leur conférant ainsi une moindre fertilité et une sensibilité accrue à la dégradation (Steutel et al. 2003).

Il est ainsi proposé de développer des pratiques agricoles basées sur une intensification écologique des déterminants de la production primaire dans le système sol-plante (Griffon 2006).

1.1. Système de culture : Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique selon Sébillotte Michel. (1990a).

Il se définit par :

- La nature des cultures et leur ordre de succession (rotation).
- Les itinéraires techniques appliqués à chacune de ces cultures.

1.1.1. Histoire de rotation de culture.

L'historique des rotations de culture (HRC) est un autre facteur qui a beaucoup d'effets sur la fertilité azotée des sols et le besoin en engrais azoté. Les cultures exercent des effets sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols. Elles affectent à long terme le bilan humique des sols selon les apports de matière organique qu'elles laissent au sol (Bolinder 2003 .; Quenum et al., 2004).

Les rotations de culture changent les quantités et les proportions de carbone et d'azote dans la fraction humique et dans la fraction labile, modifiant ainsi la capacité de minéralisation et l'activité biologique des sols (Dalal et Mayer 1987.; N'Dayegamiye et al., 1997).

Elles affectent également la structure, la densité apparente et la porosité des sols, selon la quantité et la composition des résidus de culture (Angers et Giroux, 1996). L'état des propriétés physiques des sols est en lien avec leur capacité de minéralisation. Les systèmes de rotation vont également affecter les rendements et le besoin en engrais N des cultures. Rivest (2006) a étudié la réponse à l'azote du maïs-grain en Montérégie de 2003 à 2005 dans 189 sites sous différents précédents culturaux.

1.1.2. La monoculture : Est la culture d'une seule espèce de plante (la monoculture du blé, du tabac, de la vigne,...). Ce concept s'oppose à la polyculture. Il peut s'appliquer soit à une parcelle, soit à un ensemble de parcelles au niveau d'une exploitation agricole.

Les monocultures continues exercent un très fort stress sur les micro-organismes du sol, mais les rotations culturales diminuent la diversité spécifique de façon encore plus importante (Wolters and Ekschmitt 1997).

1.1.3. Les successions culturales : C'est le développement de mosaïques de cultures diversifiées permettant de répondre au double enjeu agro-économique et agro-écologique (Estes 2011).

En réduisant les risques de développement des ravageurs, des maladies et des adventices et par voie de conséquence les besoins en intrants, la diversification des cultures au sein des rotations peut permettre d'optimiser les marges des systèmes de cultures dans un contexte de prix des intrants à la hausse (Viaux 2011).

De plus, les rotations diversifiées permettent de limiter l'apparition de certains ravageurs et le développement de résistances (vulpins, ray-grass...) entraînant des pertes de rendement et une augmentation des coûts de traitements pour plusieurs années au niveau de l'exploitation agricole mais également de la collectivité (Meynard et al., 2013).

Sur le plan de l'environnement, la réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires et de fertilisants permet d'améliorer la préservation de la biodiversité ordinaire ainsi que la protection de la ressource en eau (Butault 2010).

La rotation des cultures est souvent décrite comme un moyen d'éviter la prolifération des agents pathogènes spécifiques d'une espèce végétale donnée. (Alabouvette et al., 2004; Bailey and Lazarovits, 2003; Garbeva et al., 2008).

Monceau, 1758). « La meilleure préparation pour le blé est la jachère, surtout dans les terres très tenaces » (Moll, 1838).

✓ **La jachère, d'une signification à l'autre :** Une terre cultivable laissée temporairement à l'abandon : c'est ce que l'on entend aujourd'hui par jachère. Mais jusqu'au début du XXe siècle, ce terme désignait une préparation du sol par des labours. (Sigaut et al., 2008).

Jachérer pour redonner de la fertilité : Pour être tout à fait précis, le mot jachère désignait trois choses. D'abord, l'ensemble des labours de préparation des semailles d'automne (ou, plus précisément, le premier d'entre eux), chaque labour pouvant être suivi de travaux plus légers (hersages, émottages, arrachage manuel des mauvaises herbes, etc.).



Figure N°03 : Quelques photos des jachères.

La période de jachère était supposée rendre à la terre tout ou partie de sa fertilité perdue. Quels sont les mécanismes possibles de cette régénération ? Le premier est explicite dans tous les textes : chaque labour détruisait les mauvaises herbes germées et ramenait à la surface d'autres graines pour les faire germer à leur tour, ce qui réduisait ainsi le stock de graines présent dans le sol – procédé que les agriculteurs appellent aujourd'hui faux-semis.

1.3.1. Les rôles de la jachère sur le système parcelle.

L'analyse de ces rôles se fait en partant d'un schéma d'élaboration du rendement des divers peuplements végétaux cultivés après la jachère.

Selon Kribaa (2003) le système céréale-jachère apparaît comme solution permettant de minimiser les risques et les coûts de production. Les tentatives d'intensification de la céréaliculture n'ont toujours pas bénéficié de l'adhésion des producteurs dont la stratégie de minimisation des risques réside dans l'association culture de céréale-élevage ovin.

1.3.2. Rôle de la jachère sur l'humidité du sol.

Il s'agit de l'un des rôles les plus généralement reconnus à la jachère : en captant les pluies, elle accroît l'humidité du sol pour la culture suivante.

Le dry-farming est précisément un ensemble de techniques destinées à favoriser ce rôle.

Mais l'efficacité de la jachère dans ce domaine est l'objet de controverse :

Les pourcentages d'eau stockée par rapport aux précipitations cumulées dont la jachère sont très variables, selon les auteurs (Boiffin et Sebilotte.,1982).

1.3.3. Rôle de la jachère sur la matière organique.

La matière organique du sol joue de nombreux rôles. On peut retenir, parmi les principaux : Qu'elle sert de nutriment aux micro-organismes et à la microfaune.

Un tel système ne peut contribuer à maintenir un taux de matières organiques élevé dans le sol, sauf si, grâce à lui, les résidus de la culture suivante sont beaucoup plus élevés.

Luebs et Laag., 1967 (cités par Arnon 1972) montrent ainsi que dans ce système jachère-blé pour le sud de la Californie, après 50 et 70 ans, les pertes en matière organique des 25 premiers centimètres de sol sont de 30 à 40 %.

1.3.4. Rôle de la jachère sur les éléments minéraux

Les jachères agissent sur le cycle des éléments minéraux du sol de plusieurs manières :

Pour les jachères nues, en favorisant par le travail du sol la minéralisation de la matière organique et en permettant, en général, une accumulation d'azote minéral dans le sol pour la culture suivante.

D'une manière générale cet enrichissement du sol en azote entraîne pour les rôles de céréales qui suivent une plus grande richesse en azote (Mc Calla et Army, 1961, de Smika 1970).

Une fertilisation azotée peut entraîner un développement abondant de l'appareil foliaire donc une augmentation de l'évapotranspiration en fin de cycle. En l'absence de pluie la conséquence pourra en être un assèchement trop précoce du sol et un échaudage des grains de céréales comme conséquence (Luebs et Laag 1967-1969).

1.3.5. Rôle de la jachère sur les parasites.

Le rôle sur les adventices des cultures dépend de la durée de la jachère (zone tropicale) ou de ses modalités de travail (jachère de dix-huit à vingt-quatre mois des milieux sub-arides, jachère à trois labours en Europe (Sigaut 1975).

Pour la jachère d'un an, son effet sur les mauvaises herbes grâce au travail mécanique de la surface est bien connu. Mais cet effet suppose que le travail soit exécuté en temps opportun et il est lié au type d'outils employés.

La jachère permet une réduction de divers champignons parasites dans les systèmes céréaliers.

Cependant, Ponchet et Coppenet (1962) notent l'effet bénéfique pour le blé d'une année de prairie. Slope et al. (1972) montrent aussi l'effet bénéfique d'une interruption d'une période de culture par l'introduction d'une prairie pour diminuer l'infestation sur le blé des piétins verse et échaudage. Cependant, il existe un important effet-année : cet avantage ne se manifeste que les années favorables au développement du parasite.

1.3.6. Le sorgho

Le sorgho est l'une des principales denrées alimentaires dans les régions les plus pauvres du monde et où la sécurité alimentaire est la plus menacée. La culture est génétiquement adaptée aux agro écologies chaudes et sèches, où il serait difficile de cultiver d'autres céréales.

Dans ces régions, souvent frappées par la sécheresse, le sorgho est généralement cultivé à la fois pour son grain, utilisé en alimentation humaine, et sa paille utilisée comme fourrage. Dans les pays en développement, la paille peut représenter jusqu'à 50 pour-cent de la valeur totale de la culture, surtout en année de sécheresse.



Figure N° 04 : Photos des espèces de Sorgho

Environ 90 pour-cent des superficies cultivées en sorgho dans le monde et 70 pour-cent de la production mondiale se trouvent dans les pays en développement.

L'Asie et l'Afrique produisent chacune de 25 à 30 pour-cent de la production mondiale.

FAO (2012). Le sorgho est surtout cultivé par des ménages paysans pratiquant une agriculture à petite échelle. En Afrique, la production se caractérise par une culture extensive, à faible apport d'intrants et peu productive. La production est généralement plus intensive en Asie; les engrais et les semences améliorées y sont beaucoup plus

utilisés. Sur ces deux continents, le sorgho est d'abord utilisé en alimentation humaine. Par contre, dans les pays développés, la presque totalité de la production est destinée à l'alimentation animale. (FAO, 2012).

Le sorgho est une plantes au métabolisme en C4, ce qui freine la valorisation du CO2 atmosphérique en termes à la fois de photosynthèse et de fermeture stomatique par rapport aux plantes en C3, comme le blé, le tournesol ou le colza. Par ailleurs, leur cycle d'été, très similaire au maïs, est uniquement piloté par la température, ce qui les rend très sensibles au raccourcissement de la durée de leurs phases induit par le réchauffement. Pour les mêmes raisons, on peut cependant fonder quelques espoirs sur l'anticipation des semis et l'esquive face au déficit hydrique. (Brisson 2009).

Le sorgho présente d'indéniables atouts d'adaptation à la sécheresse, tant au niveau de son système racinaire, qu'en même de son métabolisme photosynthétique (C4).

Le sorgho dispose d'un supplément d'azote, lié à la minéralisation, qui est plus important que dans le cas de la monoculture de maïs, car les pailles de toutes les cultures de la rotation sont recyclées.

L'absence d'irrigation évite le lessivage de cet azote, mais la sécheresse ne permet pas d'absorber tout l'azote disponible. (Brisson 2007).

1.3.7. Description de la plante: Sorgho

Les plantes de sorgho dans leurs stades de croissance végétative ressemblent aux plantes de maïs. Elles produisent des chaumes robustes pouvant atteindre jusqu'à 4 mètres de hauteur et sont soutenues par un système racinaire profond et ramifié.

La croissance est déterminée et les fleurs sont regroupées sur des panicules terminales fortement ramifiées. Les épillets, un sessile et un pédicellé, regroupés par deux à chaque

nœud des axes des rachis secondaires et tertiaires produisent deux types de fleurs
(Figure 05).

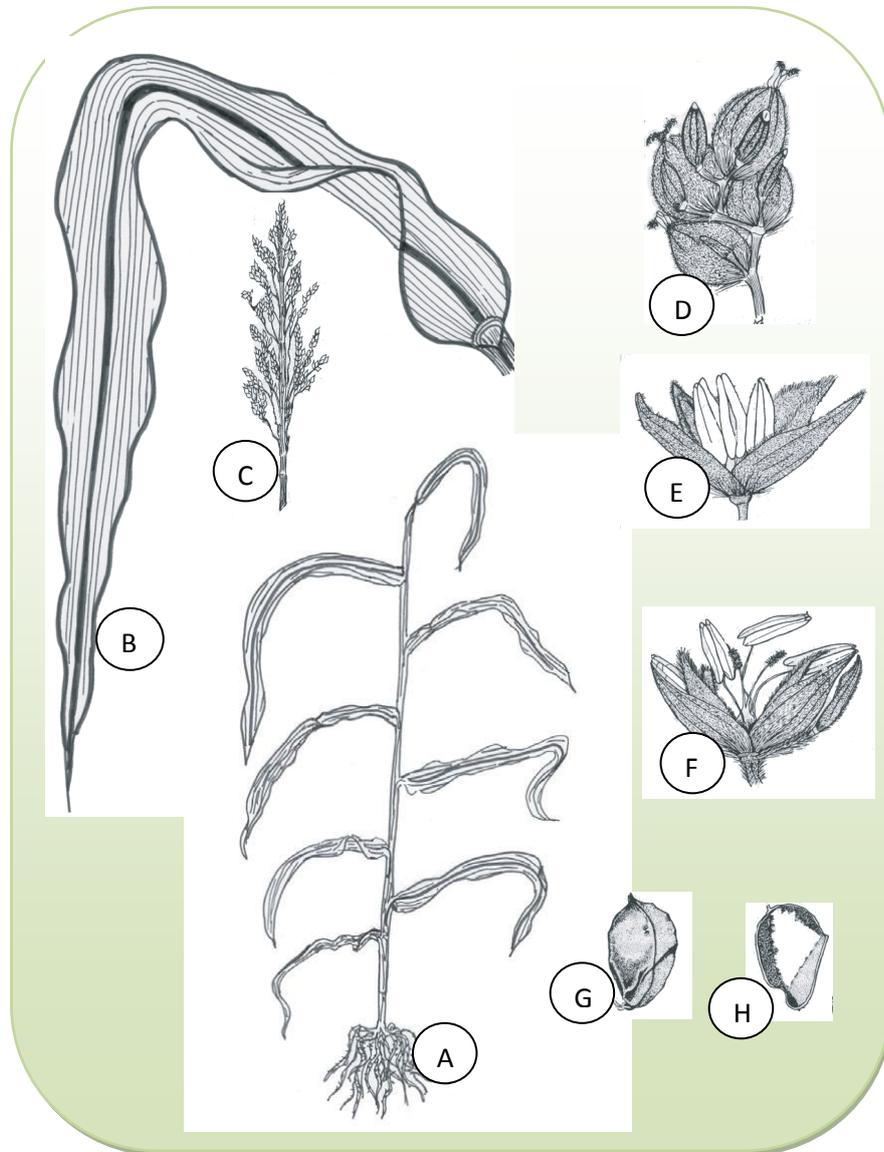


Figure 05: *Sorghum bicolor* (L.) Moench. : Sorgho. A. Jeune plante; B.- Feuille; Inflorescence; D.- Portion d'inflorescence; E.- Épillet mâle; F.- Épillet hermaphrodite; G.- Caryopse; H.- Coupe longitudinale d'un caryopse.

L'épillet sessile produit une fleur hermaphrodite possédant un ovaire uniovulé, un pistil bifide plumeux et trois étamines, la structure florale caractéristique des céréales.

L'épillet pédicellé produira, soit une fleur hermaphrodite avortée, soit une fleur mâle (étamine) fonctionnelle. Les fleurs hermaphrodites sont généralement auto fécondées,

mais dépendant des variétés et conditions environnementales, un taux réduit de fécondation croisée, pouvant atteindre jusqu'à 15 % des fleurs, est normalement observée. Les caryopses produits sont de petites dimensions, globuleux à elliptiques, dont les testa, dépendant des variétés, peuvent présenter des colorations très diverses allant du blanc, au brun au rouge et au noir et toutes les nuances intermédiaires.

1.3.8. Évolution et origine de la culture du sorgho.

Le genre *Sorghum*, placé dans la tribu d'origine tropicale Andropogoneae, comprend de 39 à 79 espèces (dépendant des taxonomistes) regroupées dans 6 sections.

La section *Sorghum* contient la totalité des les taxons d'origine africaine impliqués dans le processus de domestication et de culture.

La morphologie des plantes de sorgho cultivé est si variable parmi les différents types, formes et variétés reconnues que celles-ci ont, par le passé, été assignées à jusqu'à 23 espèces différentes. A la suite des analyses approfondies effectuées par les botanistes américains de l'Université d'Illinois-Urbana dirigés par Harlan (1992) et Janick et al., (1981) de Wet., et Harlan (1971), tous ces types et formes qui sont cultivés pour leurs fruits et leurs parties végétatives ont été regroupés sous deux espèces très rapprochées, *Sorghum sudanense* et *Sorghum bicolor*.

Une espèce vivace de pâturage, *Sorghum. sudanense* ($2n= 20.40$) de morphologie très variable, est originaire des régions tropicales humides d'Afrique. Les plantes de ce taxon sont prostrées, se propagent végétativement par rhizomes et produisent des panicules relâchées et peu denses. Ce taxon, parfois nommé sous le synonyme *Sorghum .halepense*, est considéré comme le taxon ancestral du complexe à partir duquel les sorghos à graines ont évolué lors du processus de domestication humaine. Les variétés de *Sorghum. bicolor* ($2n=20$) sont regroupées sous quatre races biologiques qui sont

reconnues par Harlan (1992) et collaborateurs comme faisant partie d'un complexe
(Schéma de la figure 06).

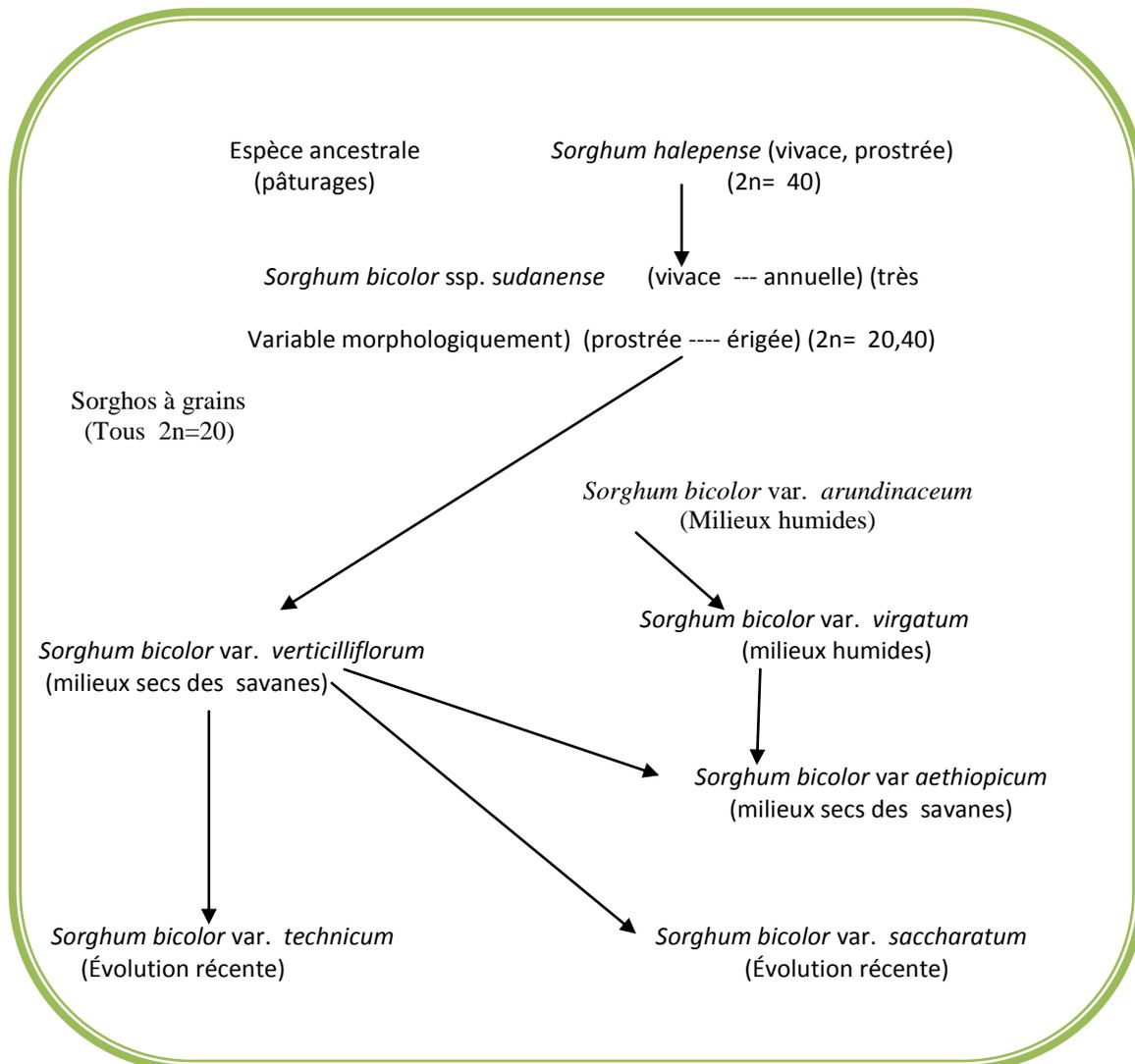


Figure N° 06 : Schéma d'évolution probable des différentes espèces et races de sorghos cultivés.

Ces races ont évoluées et ont été cultivées dans différentes régions de l'Afrique centrale et de l'Est impliquant de vastes territoires. À cause des croisements naturels et provoqués par l'homme, de nombreuses variétés intermédiaires entre ces races ont été produites et il est parfois difficile d'assigner certaines variétés à une race particulière.

1.3.9. Culture du Sorgho dans le site expérimental.

Une parcelle de six hectares consacrée par la ferme Yousfi-Tayeb à la culture des fourrages verts (Sorgho) dont la teneur forte en «composants azotés» permet d'augmenter les rendements des vaches laitières.

La culture est semé en été, la variété est SUDANGRASS, au cours de son développement 03 à 04 coupes sont réalisées avec à chaque fois un apport de l'azote en plus de l'irrigation.

1.4. Les engrais minéraux.

1.4.1. Caractéristiques et utilisations

Les plantes ont besoin d'au moins 16 éléments nutritifs essentiels pour accomplir leur cycle de croissance. Ces éléments sont le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, le soufre, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre, le bore, le molybdène et le chlore. Les plantes utilisent l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) en quantités importantes, et donc les réserves du sol en ces éléments doivent être périodiquement réapprovisionnées afin de maintenir une bonne productivité. Des engrais synthétiques ont été développés pour fournir ces trois éléments majeurs. D'autres engrais ont été mis au point pour fournir les 13 autres éléments nutritifs, en cas de besoin (Baschet 2009).

Un engrais est un produit inorganique ou organique qui est apporté pour fournir les quantités suffisantes de un ou de plusieurs éléments essentiels pour les plantes. Les récentes préoccupations sur les effets des engrais sur l'environnement, la faible efficacité des engrais, leurs prix élevés et les prix faibles des produits agricoles ont

rendu urgent le développement d'une approche rationnelle pour choisir les engrais à utiliser (MADREF/DERD 2000).

1.4.2. Nature des engrais.

1.4.2.1. Les engrais azotés N.

L'azote est l'élément nutritif le plus déficient dans les systèmes de productions agricoles à travers son rôle dans :

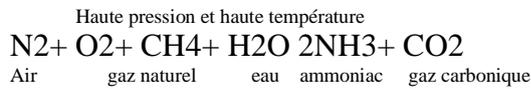
La synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale et d'après

Soltner(2003), l'azote est un constituant essentiel du cytoplasme car il favorise :

- La synthèse des glucides grâce à l'augmentation du nombre de chloroplastes.
- La constitution des réserves azotées dans les graines.
- La multiplication cellulaire donc la croissance des tissus.
- La multiplication des chloroplastes, puisque la chlorophylle est une substance azoté d'où la couleur vert foncée des plantes après un apport d'azote.

L'apport d'azote (N) minéral ou organique permet généralement d'augmenter les rendements du blé (Ayoub et al., 1994; Tran et Tremblay 2000; Ziadi et al., 2008), du maïs-grain (Tran et al. 1997; Elmi et al. 2002; Ma et al. 2005; Tremblay et al., 2007; Gagnon et Ziadi 2010), mais n'a pas beaucoup d'impact sur les rendements du soja (Tremblay et Beausoleil 2000; Pellerin et al., 2006). Plusieurs facteurs peuvent influencer les besoins en éléments fertilisants d'une culture : La disponibilité de l'élément fertilisant dans le sol, la localisation géographique, les conditions climatiques, les types de sol, les rotations, les cultivars ou les hybrides, etc. (Tremblay et al., 2006, 2007; Chantigny et al.,2008; Ziadi et al., 2008; Gagnon et Ziadi 2010).

L'azote de l'atmosphère est la principale source de l'azote utilisé par les plantes. Ce gaz inerte représente 78% des gaz de l'atmosphère. Dans l'industrie des engrais, l'azote de l'atmosphère est fixé chimiquement pour former l'ammoniac selon la réaction suivante :



L'ammoniac est ensuite combiné avec d'autres produits pour donner naissance à d'autres engrais azotés.

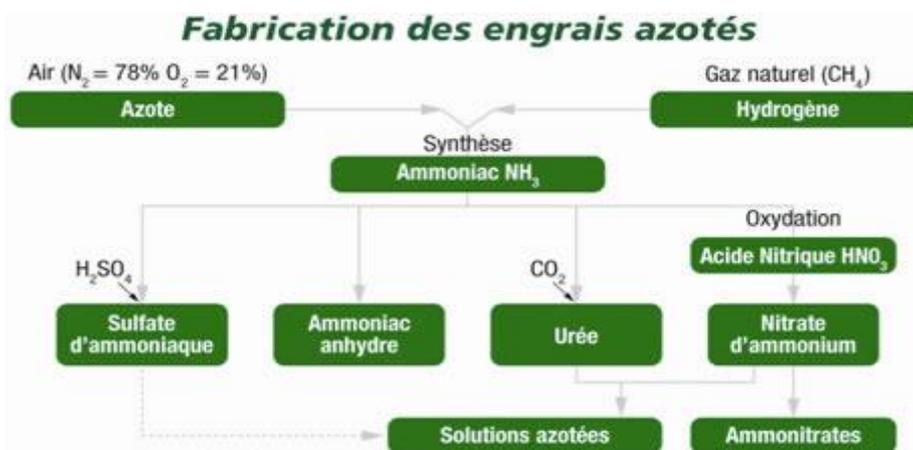
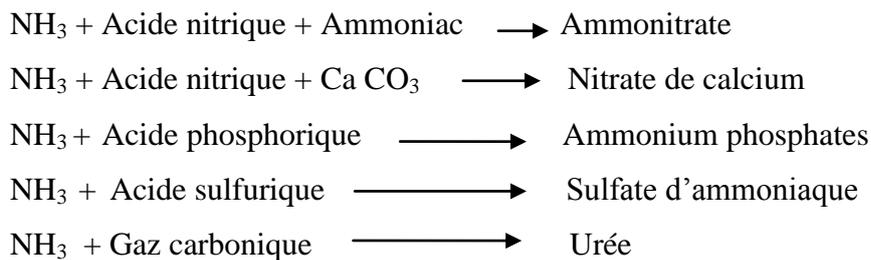


Figure N° 07 : Principe de fabrication les engrais azotés (MADREF/DERD 2000)

L'action de l'azote sur les céréales dépend surtout de l'époque de son apport. En effet, tous les chercheurs dont Remy et Viaux (1980) qui se sont préoccupés des apports azotés admettent que pour avoir de bons résultats, il est nécessaire que l'azote soit disponible en quantité suffisante sous forme assimilable au début montaison.

Pendant la maturation, l'azote minéral du sol en quantité insuffisante ne peut pas couvrir les besoins du blé (Masle et Meynard ,1981).

1.4.2.2. Les engrais phosphatés P.

Le phosphore se trouve dans la plante sous forme minérale (Duthil 1973). Mais il est beaucoup plus fréquemment présent combiné sous forme organique.

Sa répartition dans les tissus est très inégale et augmente généralement avec la teneur en azote (Gervy 1970).

Le phosphore intervient directement dans la composition de l'adénosine triphosphate (ATP) qui est impliqué dans les processus biochimiques des plantes. Le phosphore participe aussi activement au développement cellulaire et à la formation d'ADN (Hyland 2005).

Evers (2002), suggère que les prélèvements du phosphore sont directement liés à la croissance de la plante. D'après Soltner (2005), le blé dur est classé parmi les plantes moyennement exigeantes en phosphore. Les exportations en éléments minéraux (N, P_2O_5 et K_2O) du blé sont mentionnées dans le tableau N° 01 selon (Prevost 1999).

Tableau N° 01: Exportation de blé en (N, P_2O_5 et K_2O) (selon Prevost 1999)

| Culture | Nature du produit | N (Kg/quintal) | P_2O_5 (kg/quintal) | K_2O (Kg/quintal) |
|---------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------------|
| blé | Grain | 1.9 | 0.95 | 0.5 |
| | Paille | 0.6 | 0.25 | 1.2 |

Les engrais phosphatés sont fabriqués à partir des roches phosphatées qui sont extraites de la terre. Le phosphore présent dans ces roches n'est pas disponible pour les plantes surtout dans les sols basiques.

Pour rendre le phosphore soluble, ces roches sont attaquées avec l'acide sulfurique pour produire de l'acide phosphorique.

Les processus de fabrication aboutissent au superphosphate simple ou triple qui est utilisés directement comme engrais phosphatés. Ils sont aussi utilisés en combinaison avec d'autres sources d'azote ou de potassium pour fabriquer des engrais composés.

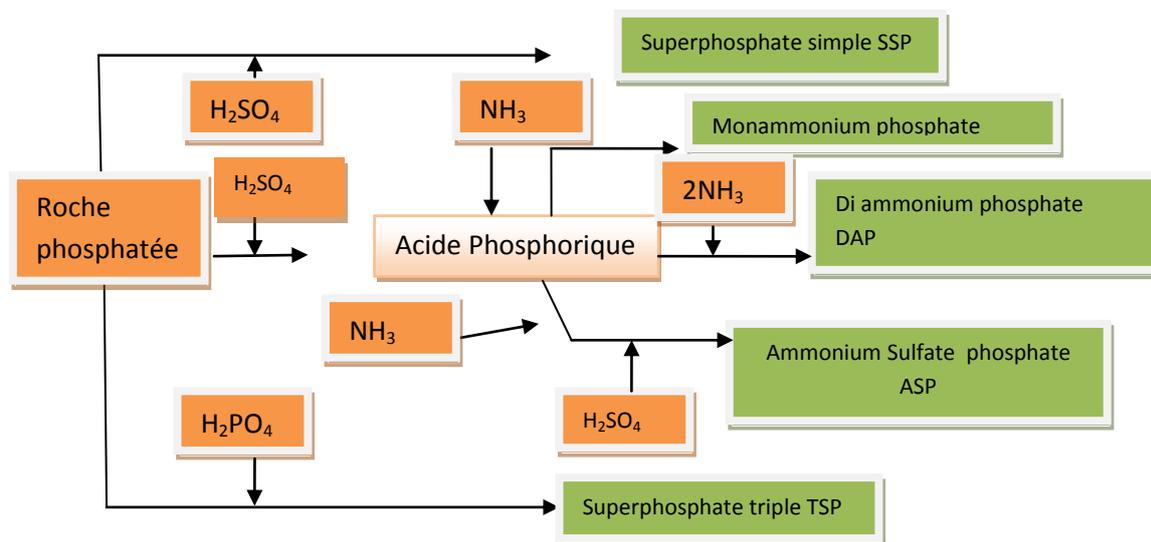


Figure N°08 : Principe de fabrication des engrais phosphaté (Source MADREF/DERD 2000)

1.4.2.3. Les engrais potassiques K.

Le potassium provient de dépôts, souterrains ou marins, de mélanges de KCl et de NaCl. Pour leur extraction, ces minerais sont soit dissous dans l'eau soit extraits en tant que solides.

Le chlorure de potassium sert pour la fabrication des autres engrais, tel que le sulfate de potassium, par l'action de l'acide sulfurique.

Occasionnellement, le phosphore et le potassium peuvent être exprimés en termes de P et de K. Les conversions d'une forme à l'autre peuvent être faites en utilisant les formules suivantes:

$$\% \text{P} = \% \text{P}_2\text{O}_5 \times 0,44$$

$$\% \text{P}_2\text{O}_5 = \% \text{P} \times 2,3$$

$$\% \text{K} = \% \text{K}_2\text{O} \times 0,83$$

$$\% \text{K}_2\text{O} = \% \text{K} \times 1,2$$

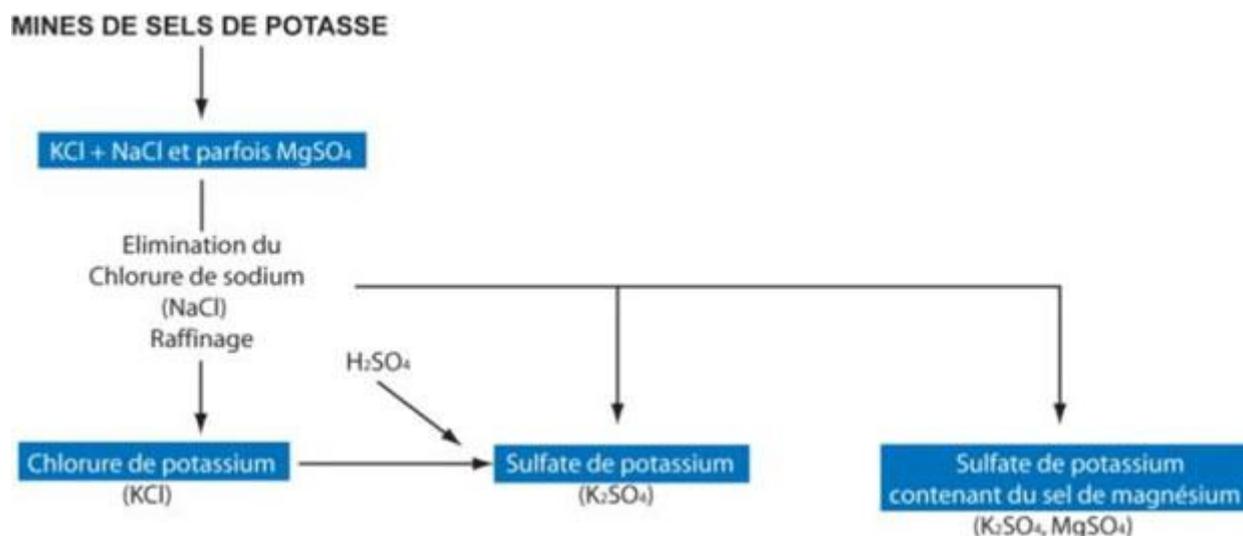


Figure N°09 : Principe de fabrication des engrais potassique (Source MADREF/DERD 2000)

Les besoins en potassium des céréales peuvent être supérieurs aux quantités contenues à la récolte 30 à 50 Kg de K₂O de plus/ha, (Belaid1987).

La mobilité des ions K⁺ dans le sol, bien que supérieure à celle des ions PO₄⁻³, n'est pas très élevée (de l'ordre du centimètre), mais selon la nature et les aptitudes de son système racinaire, la plante a une capacité plus ou moins grande à extraire du sol le potassium nécessaire à ses besoins.

On distingue ainsi des plantes d'exigences différentes.

Tableau N°02: Les besoins de potasse dans des différentes cultures (Source tableau COMIFER 1995)

| Exigence en potasse (K ₂ O) | Cultures |
|--|--|
| Elevé | Betterave, pomme de terre, cultures légumières |
| Moyen | Colza ; Luzerne, Maïas ensilage, Maïs grains, pois ; Ray-grass, Tournesol, Soja. |
| Faible | Blé dur, Avoine, blé tendre ; Orge , Sorgho |

1.4.2.4. La formulation des engrais.

Les engrais simples sont des molécules chimiques bien définies ne contenant qu'un seul des trois éléments, N ou P ou K.

Les engrais qui contiennent plus d'un de ces éléments sont des engrais composés. Les engrais à deux éléments sont des engrais binaires et les engrais à trois éléments sont des engrais ternaires. Les engrais composés peuvent être fabriqués de trois manières:

Des molécules chimiques résultant de la réaction de deux produits contenant chacun un élément nutritif telle le cas des phosphates avec l'ammoniac pour donner des phosphates d'ammoniaque (exemple: DAP).

Résultat de mélanges chimiques de plusieurs produits pour donner un engrais à granules qui contiennent la même proportion des éléments nutritifs et on parle alors de complexes. C'est le cas du 14-28-14 C qui est le résultat du mélange du superphosphate, de l'ammoniac et du chlorure de potassium.

Par le biais de mélanges physiques d'engrais simples ou binaires. Ceci permet de mettre au point la formule souhaitée pour une culture et un sol donnés. C'est le cas de grandes exploitations qui, après analyse du sol, peuvent commander la formule convenable, ou le cas de formule d'engrais développée pour une région donnée. Cependant, les mélanges ne sont pas toujours possibles du fait que les engrais utilisés pour faire ces mélanges doivent être chimiquement et physiquement compatibles.

1.4.3. Date d'apport et mode d'application.

Les apports d'engrais se font en deux types d'apports. Les engrais de fond sont apportés avant le semis pour les cultures annuelles et avant le repris de végétation pour les cultures pérennes. Les engrais de couverture, généralement azotés, sont appliqués en pleine végétation en un ou plusieurs apports. (Destain 1990)

1.4.3.1. Les apports de fond.

Les engrais phosphatés sont rapidement immobilisés dans le sol après application.

Ainsi, la réponse de la culture à un apport de phosphore et/ou de potassium avant le

semis est meilleur par rapport à celui effectué en couverture. Seule une partie de l'azote est apportée en fond.

1.4.3.2. Applications en couverture

Le besoin en azote varie avec la phénologie de la culture et qu'il y a risque de lessivage de l'azote, on préfère fractionner les apports pour les faire coïncider avec la période de grand besoin. Ces apports sont généralement faits sous forme d'engrais azotés simples.

Plusieurs facteurs influencent la décision d'apport d'engrais de couverture tels que :

- **La texture du sol:** Une fois qu'on connaît la quantité d'engrais de couverture à apporter, le nombre d'apports et la dose de chaque apport doivent tenir compte de la texture du sol. En sol léger, plusieurs applications de N sont nécessaires pour réduire les pertes d'azote par lessivage et pour maximiser le rendement. En sol lourd, moins d'applications de N sont souhaitables.

- **Le pH du sol:** La volatilisation de l'ammoniac est plus importante à partir du sulfate d'ammoniaque et de l'urée en sol basique et surtout calcaire. Afin d'éviter ces pertes, il est recommandé d'irriguer juste après l'apport ou bien de choisir un engrais azoté à base de nitrate, tel que l'Ammonitrate.

Les engrais apportés au sol ont des effets sur le pH du sol ; Les engrais acidifiants sont à éviter sur des sols acides car la diminution de pH dans ces sols va entraîner une concentration excessive de l'aluminium, du fer et du manganèse à des niveaux toxiques pour les plantes.

Ces engrais, par contre, améliorent la disponibilité de certains éléments nutritifs tels que le phosphore, le fer, le manganèse, le zinc et le cuivre dans les sols basiques.

- **Le climat:** Le choix de l'engrais de couverture est aussi influencé par les précipitations et la température. L'entraînement de l'azote par de fortes précipitations (ou irrigation) nécessite des apports fréquents de faibles doses.

Les températures élevées favorisent la volatilisation de l'ammonium (NH_4^+) sous forme d'ammoniac (NH_3).

1.4.3.3. Méthodes d'application des engrais

Les engrais peuvent être apportés au sol, en pulvérisation foliaire et dans l'eau d'irrigation (fertilisation).

Les applications des engrais sur le sol sont les plus fréquentes. La plupart des engrais utilisés sont suffisamment solubles dans l'eau du sol.

Les produits utilisés dans la fertilisation peuvent être des produits fertilisants solides facilement solubles ou des produits liquides. Les caractéristiques de ces produits doivent être : Une grande solubilité dans l'eau.

Une pureté de la solution fertilisante: les impuretés peuvent provenir de la solubilisation d'un des produits utilisés ou de la réaction de plusieurs produits. Elles provoquent l'obstruction du réseau d'irrigation (tuyaux, émetteurs, ...). Ces problèmes peuvent être aggravés par la présence d'algues et de microorganismes variés dans l'eau d'irrigation.

Une compatibilité entre les produits utilisés de sorte à éviter la formation de composés insolubles. Pouvant ou non être mélangés en solution mère.

Les apports d'engrais en pulvérisation foliaire servent à corriger des carences aiguës en azote et/ou en oligo-éléments. Afin d'éviter les brûlures des feuilles, il est recommandé d'utiliser des concentrations faibles d'urée ayant des teneurs en biurets (composés

proches de l'urée produits pendant la fabrication de cet engrais et toxiques pour les plantes) inférieures à 2%.

1.4.3.4. Les effets des engrais sur l'environnement

L'utilisation des engrais pour augmenter les rendements des cultures a récemment été l'objet de préoccupations environnementales. Parmi les effets négatifs attribués aux engrais, on peut citer :

- ✓ Ils polluent le sol par des métaux lourds toxiques, tel que le cadmium.
- ✓ Ils polluent les eaux souterraines, ce qui affecte la potabilité de l'eau et augmente les dangers de santé.(Auger 2000).
- ✓ Ils polluent les rivières et les eaux côtières, ce qui peut entraîner l'eutrophisation et affecter la vie des poissons et autres vies aquatiques. (Davies 1997)
- ✓ Ils polluent l'atmosphère à travers la dénitrification et la volatilisation de l'ammoniac et contribuent ainsi au réchauffement global de la terre.

Ces effets négatifs des engrais sont le résultat de leur mauvaise utilisation plutôt que des propriétés intrinsèques de ces produits. (Davies 1997)

Actuellement, ces problèmes se posent surtout dans les pays industrialisés à forte utilisation des engrais.

1.5. Problématique.

Les interprétations de la très grande variation dans les rendements de deux variétés de blé dur Gtadur G4 et Waha G3, cultivées sous les mêmes conditions météorologiques (précipitations) à la ferme pilote de Tifech (Souk Ahras) pendant la campagne 2009/2010 (DSA Souk Ahras), en vue d'étudier l'influence des produits phytosanitaire, nous ont mené à déduire plusieurs probabilités des causes de cette variation :

A l'exception des différences liées aux génotypes utilisées et à la génération de leurs semences (Waha G3 et Gta dur G4) ainsi que la nature chimique des désherbants utilisés (les deux variétés ont subi l'association de deux produits différents), nous pouvons avancer qu'il existe une multitude d'autres facteurs contribuant largement à la variation des rendements de variétés de blé dur dans une même région ayant reçues les conditions météorologiques similaires (T^0 , humidité et précipitations).

Ce dernier facteur reste primordial pour la réussite des campagnes des grandes cultures et où l'irrigation totale ou bien complémentaire n'est pas encore envisagée (exemple des régions classées dans les zones à pluviométrie abondante). Certes la collecte de la production céréalière varie en fonction du volume pluviométrique et sa répartition dans le temps, en bonne année, la CCLS de Souk Ahras arrive à récolter plus d'un million de quintaux ou de manière générale le blé dur représente 80% de la collecte de céréales. (Aich 2010)

Par contre en année de sécheresse la quantité collectée n'atteint même pas le volume des semences vendues durant la période labours semailles du même exercice.

Or, en dehors des pics de hausse et de baisse de la production céréalière dont le blé dur et l'espèce prépondérante lié principalement au facteur abondance et répartition pluviométrique. Aucune stabilité des rendements n'a été affichée (d'après les courbes sinusoïdales établies de l'évolution de la production de blé dur pendant trois décennies de 1980 /1981 à 2008/2009(Aich 2010) , d'où l'idée toujours de l'influence d'autres facteurs dans la variation des productions.

Nous pensons bien sûr à l'effet :

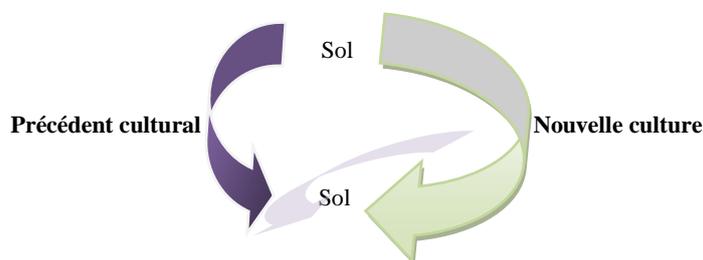
1. Le précédent cultural.
2. La nature des engrais (de fond et de couverture) qui n'ont pas beaucoup varié.

3. Les génotypes utilisés (doses et la génération de leurs semences).
4. L'emploi des herbicides (une large gamme de produits chimique très différente dans leur nature (sélectivité et action) est utilisée.

1.5.1. Rappel sur les objectifs.

1.5.1.1. Les objectifs scientifiques :

- Expérimentation du matériel végétal en milieu réel ;
- L'utilisation d'un système de culture comprenant un cycle de rotation (précédent cultural) nous permettra de déduire des informations sur :
 - ▶ L'influence de la mobilité de certains macroéléments dans le cycle de développement du blé dur.
 - ▶ L'influence des symbiotes rhizobiums et mycorhiziques sur l'alimentation de ce cycle en macroéléments (N, P, K).



- ▶ Cibler les caractères de tolérance de chaque variété aux pics de hausse et de baisse de température (sécheresse, froid), d'une part trait par trait morphologique Exemple : surface foliaire, longueur des entre-nœuds et qui sont la réponse de phénomènes physiologique " transport " et biochimiques " synthèses " (dosages des chlorophylles, sucres solubles, etc... D'autre part la périodicité de chaque stade végétatif et reproducteur se traduisant soit par la précocité ou l'allongement du cycle.
- ▶ Déterminer la dynamique de développement des annuelles spontanées dans la jachère vis-à-vis des conditions météorologiques, des conditions pédologiques et de la

rémanence de produits pesticides. En se basant sur le métabolisme des plantes (synthèses et sécrétions) :

1. Comprendre aux mieux le comportement des plantes vis-à-vis des conditions météorologiques et trophiques.
2. Connaître aux mieux relations plante- plante (plante cultivé – mauvaise herbe) ; Plante – microorganismes (symbiose) ; Plante- traitement chimique (sélectivité).

1.5.2. Objectifs technologiques

- Production des semences par des nouvelles techniques de culture in vitro.
- Sélection des variétés par des techniques de biologie moléculaire.
- Améliorer l'accès aux intrants (surtout engrais...) et aux moyens de production (Matériel, irrigation, etc.).
- Créer des références sur les techniques de production.

1.5.3. Etat des connaissances.

Si, au cours des trois dernières décennies, la production des semences a beaucoup fluctué (courbe sinusoïdale) dans une wilaya connue par sa vocation agricole (production de la céréaliculture associée à l'élevage bovin et ovin), dont la S.A.U (surface agricole utile), représente 58% de la S.T, soit 25300 hectares (Aich 2010). Et où on considère jusqu'à ce jour que seul le facteur pluviométrique est responsable de cette variation. En plus la C.C.L.S de Souk Ahras n'est arrivée qu'à couvrir durant la dernière décennie que 36% de volume ensemencé, la différence peut être considérée comme semence d'origine inconnue.

Aujourd'hui, sommes-nous en mesure d'envisager la courbe d'évolution de la production céréalière dans cette wilaya pour les prochaines décennies ; Sachant que les variations météorologiques (avant même de parler des variations climatiques)

deviendront plus accrus à savoir des périodes de sécheresse plus longues et des hivers plus doux (conséquences du réchauffement de la terre d'après les écotoxicologues).

Donc, nous devons dès maintenant aller vers l'avant et adopter une stratégie d'amélioration de la production céréalière incluant tous les facteurs restés jusque-là marginaux.

A titre d'exemple :

➔ L'amélioration des conditions pédologiques en associant plusieurs paramètres, tels que le précédent cultural et l'introduction de nouveaux fertilisants qui peuvent enrichir et restaurer les sols d'une part et d'autre part augmenter les potentialités d'adaptation des espèces aux différents stress.

Ce n'est qu'à partir de 2009/2010 que les engrais de fond se constituent de Fosfacyl et de NPK (3X15) en plus du TSP 46% avant cette période les engrais de fond étaient constitués uniquement de TSP 46%. Quant aux engrais de couverture ils comportent l'apparition du sulfazote 26% depuis 2009/2010, en plus de l'urée utilisée à partir de 2006/2007, se substituant ainsi au S.A.M 21% après retrait de l'Ammonitrate 33%.
(Aich 2010)

➔ L'utilisation de variétés performantes : Cette performance ne signifie pas uniquement des rendements très élevés en condition favorable, mais aussi le maintien d'une certaine stabilité de leurs rendements en conditions limitantes de développement (tel que le froid non gélif et ou la sécheresse). Les variétés les plus tolérantes aux facteurs de l'environnement s'avèrent les plus intéressantes.

Nous savons maintenant que comme les plantes ont développé des mécanismes de perception des facteurs de l'environnement (absorption de la lumière, de la solution minérale et association symbiotique), les plantes ont par la même développé des

mécanismes de tolérance ou d'évitement aux différents stress, telle que l'accumulation d'osmolyte pour réduire la transpiration en cas de sécheresse.

➔ Le traitement des grandes cultures par les pesticides reste un mal nécessaire malgré les problèmes engendrés par leur utilisation (résidus des pesticides, phytotoxicité des plantes cultivées etc....).

En Algérie, en attendant l'adoption de nouvelles techniques de protection des cultures telles que la lutte biologique pratiquée déjà dans certains pays maghrébins (surtout en Tunisie) où ils cultivent déjà les arbres fruitiers, les plantes aromatiques, et le miel biologique (culture biologique).

Les agriculteurs sont contraints à utiliser encore de tels produits surtout en grandes cultures, mais c'est grâce aux métabolismes des plantes cultivées qui arrivent à se détoxifier du produit soit par oxydation ou par conjugaison c'est ainsi que la sélectivité des produits herbicides est assurée , (les mauvaises herbes n'arrivent pas à effectuer de tels réactions rendant ainsi le produit efficace et sont éliminées) ; toutefois les variétés de blé dur ne se comportent pas de la même façon vis-à-vis de ces produits herbicides.(Chiahi1995)

D'après nos travaux en amélioration des plantes et grâce à l'étude de l'évaluation et l'observation de plusieurs paramètres morpho physiologiques, biochimiques et des composantes du rendement en plein champ et la détermination des paramètres de viabilité en post-récolte (pourcentage et vitesse de germination), nous avons pu conclure qu'il existe une variabilité intra et inter variétale dans la réponse des plantes aux différents produits utilisés. A titre d'exemple :

- Waha a supporté le Caliofop-méthyl mieux que le 2,4-D (Chiahi et al., 2009).

- Le MBB (Mohamed Ben Bachir) a affiché le poids de 1000grains le plus élevé.
- Bidi17 a enregistré le taux moyen de germination le plus élevé.

Ceci nous conduit à déceler toute altération même très minime au cours du développement des céréales ; à partir de là, nous traiterons chaque variété par le produit le plus approprié (qui occasionnera le moins d'altérations possibles). (Chiahi et al., 2009).

Quant aux insecticides et aux fongicides, leur utilisation reste à titre préventif et facultatif suivant les saisons, (humidité élevé), et la proximité des parcelles de retenue d'eau, favorisant l'apparition des maladies cryptogamiques.

CHAPITRE 02

Expérimentation sur champ

2. Expérimentation sur champ.

2.1. Description et localisation du site d'étude

2.1.1. Situation géographique.

L'étude expérimental en milieu réel a été effectuée au niveau de la ferme pilote Yousfi dans la région de Souk Ahras, Nord Est d'Algérie -36° 14 latitude Nord et 7° 10 longitude Est.

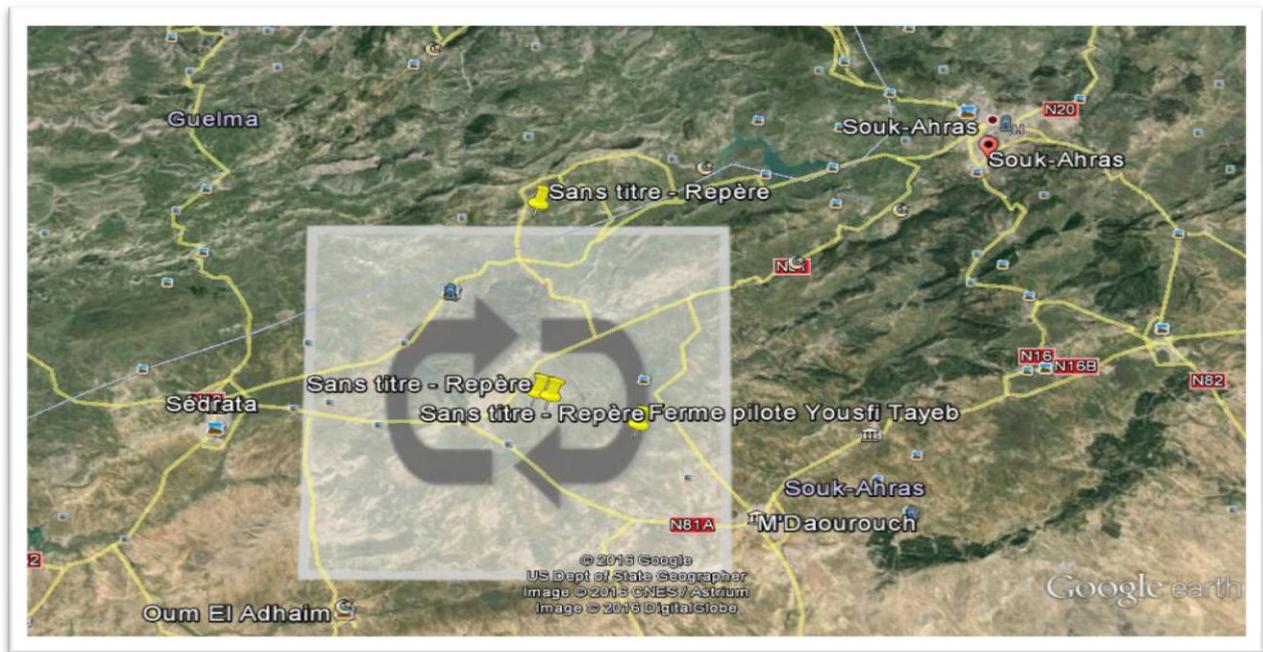


Figure N° 10 : Image par satellite du site expérimental : Ferme pilote Yousfi Tayeb.

La date de création; 1987 d'une superficie total: 374 ha dont la superficie agricole utile est de 367 ha. Cette dernière, située dans une cuvette et entourée de montagnes boisées, est caractérisée par des températures très variables selon les saisons, avec un climat froid en hiver et chaud en été. La pluviométrie moyenne dépasse 600 mm/an, et surtout abondante en hiver, de décembre à février, et les gelées sont très présentes en février et mars (ONM 2013).

Vocation:

- Grande culture:

- a) Céréales de multiplication-----180 ha
 - Blé dur -----120 ha
 - Blé tendre-----40 ha
 - Orge -----15 ha
 - Avoine -----05 ha
- b) Legumes sec-----10 ha
- c) Cultures fourragères -----40 ha
 - Luzerne -----15 ha
 - Sorgho -----10 ha
 - Orge en vert -----10 ha
- d) Culture de pomme de terre et autres -----+70ha.

(Source la ferme pilote Yousfi Tayeb Tifech – Souk Ahras- Algérie)

2.2. Installation de l'essai :

L'année 2012, date correspondant à l'entame de cette thèse et comme ça été prévu dans le planning des taches et la méthodologie du travail à exécuter.

Un essai en plein champ a comporté le semis de sept (07) variétés de blé dur à la ferme pilote Yousfi Tayeb de Tifech « Souk Ahras ».

Les semences de cinq « 05 » variétés (Boussallem, Gtadur, Ouarsenis, Sersou et Waha, nous ont été délivrées par les soins de la CCLS de Souk Ahras.

Quant à la semence de la variété locale MBB elle a été ramenée de la CCLS de GUELMA, en plus de la semence variété Carioca dont les agriculteurs lui atteste de très bon rendement dans la région, nous a été procurée par un particulier en même temps que l'un des engrais de fond ; il s'agit du DAP (Diamonium de Phosphate).

Les semences des variétés ont été semées sur deux (02) précédents culturaux différents : Le Sorgho et Jachère pâturage.

Les deux parcelles avoisinant ont reçu simultanément deux engrais différents de fond, en plus du DAP déjà cité, le Fosfactyl a été utilisé.

2.2.1. Description de l'engrais utilisé DAP

En agriculture il est utilisé comme type d'engrais libre de composé binaire du NP, ses éléments totaux (N + P₂O₅) est 64%, et est une matière première de qualité d'engrais composé de NP.

Tableau N° 03 : Composition chimique des engrais de DAP (Source AGRIFET Annaba)

| | La composition | L'effet sur la culture |
|--|--|---|
| Le Di-Ammonium de Phosphate (DAP) | Azote (18%), P ₂ O ₅ (46%), K ₂ O (00%). Oligo-éléments: Mn-Zn-Cu Fe-B | Favorise l'assimilation des éléments nutritifs. |

2.2.2. Description de l'engrais Fosfactyl

Le Fosfactyl est un engrais de fond, granulé composé de NPK, adapté aux sols neutres et basiques.

Tableau N°04 : Composition chimique des engrais de Fosfactyl.(Source Fertial Annaba)

| | La composition | L'effet sur la culture |
|---------------------------|--|--|
| Le Fosfactyl (FOS) | Un complexe MPPA, Azote, Phosphore, Potasse, Soufre. | Engrais soufré à triple effet solubilisant, protecteur et stimulant. L'apport en soufre est nécessaire à la photosynthèse protège les plantes contre les maladies |

2.3. Dispositif expérimental.

Pour plus de représentativité et moins de variabilité, nous avons opté pour un BAC en split plot. La superficie de chaque grande parcelle (Sorgho et Jachère pâturage) est de :

$$700 \text{ m}^2 \times 2 = 1400 \text{ m}^2 .$$

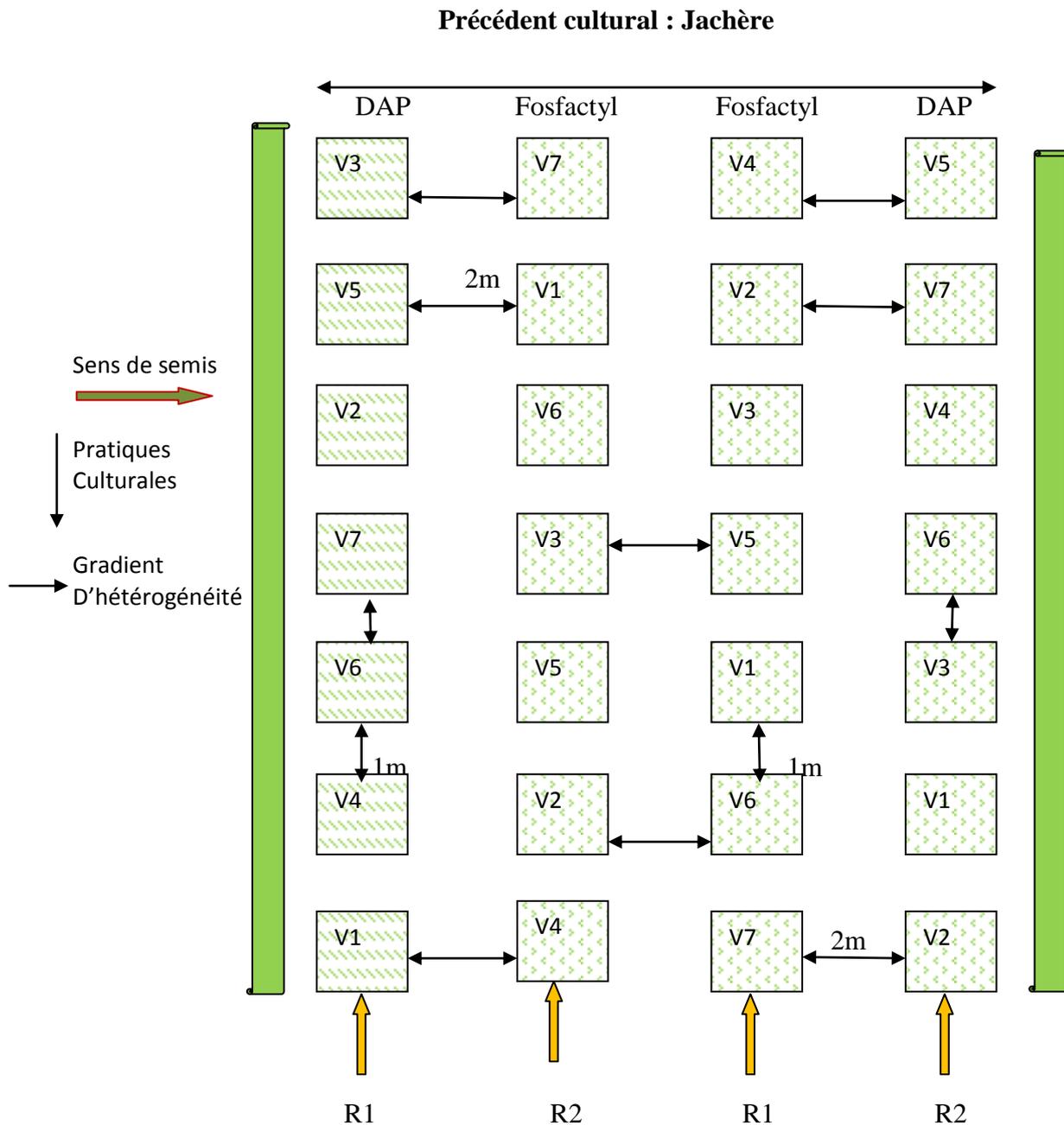


Figure N° 11 : Dispositif de l'essai expérimental du précédent cultural Jachère.

NB : V1 : Boussallem V2 : Carioca V3 : Gtadur V4 : MBB V5 : Ouarsenis

V6 : Sersou **V7 :** Waha

Deux(02) répétitions ont été utilisées pour chaque fertilisation distante d'un intervalle de 02m.

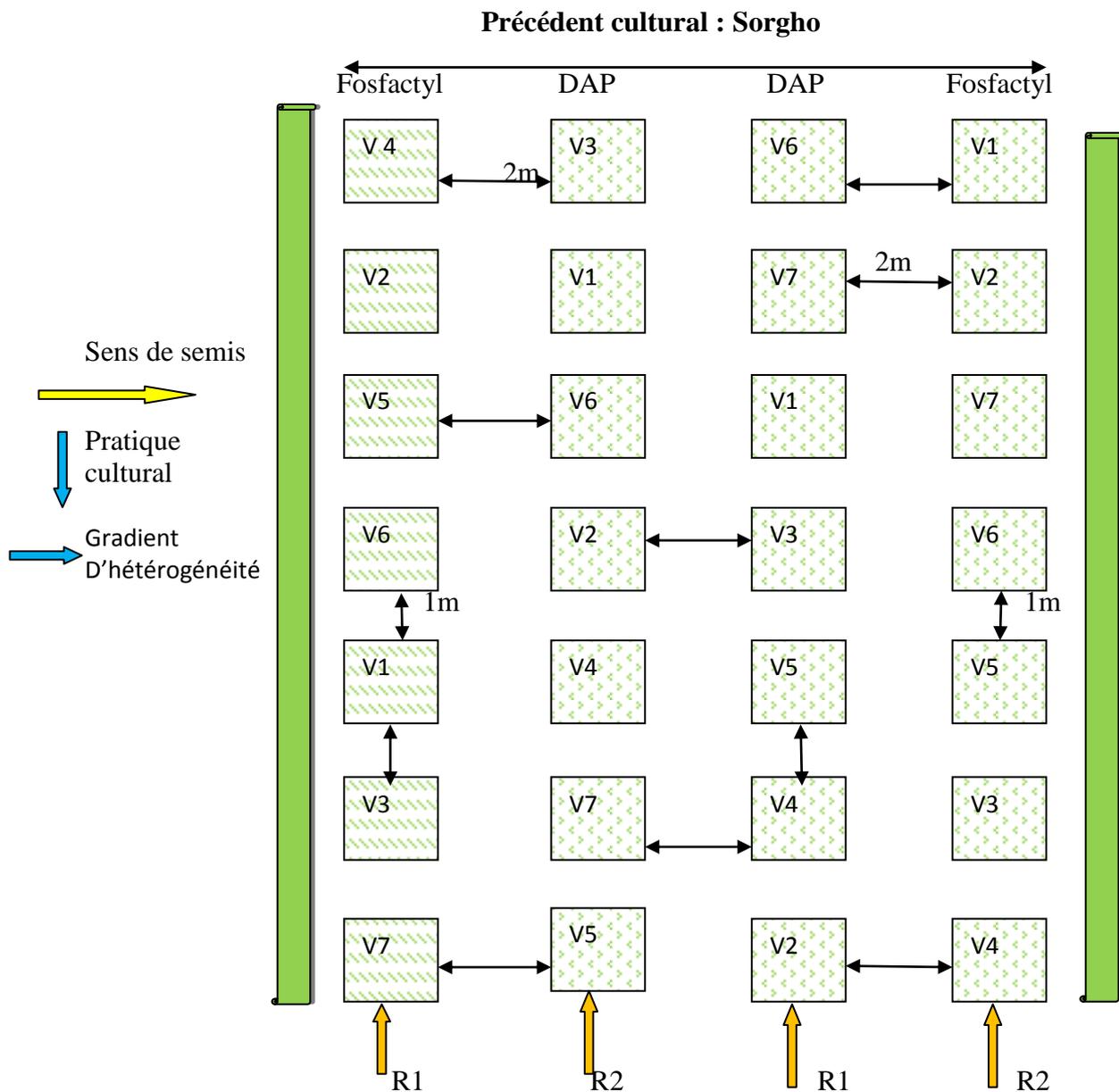


Figure N° 12 : Dispositif de l'essai expérimental du précédent cultural Sorgho

NB : V1 : Boussallem V2 : Carioca V3 : Gtadur V4 : MBB V5 : Ouarsenis

V6 : Sersou **V7 :** Waha.

Chaque variété a été représentée deux fois dans des mini parcelles ayant une surface de 25m². Chaque mini parcelle a été semée par une dose de 350gr de semences à raison de (140kg/ha) disposée sur 07 lignes. Les mini parcelles étaient séparées d'une distance de 01 m.



Figure N° 13 : Vue des différentes parcelles (Photos Chiahi, 2012).

2.4. Conduite de l'essai

2.4.1. Date du semis

Composition

Dialen® Super 464 SL contient 120 g/l de Dicamba* et 344 g/l de 2,4 D**. * 3,6-dichloro-2-methoxy-benzoic acid, formulé comme sel de dimethylammonium ** (2,4-dichlorophenoxy)- acetic acid

Le semis a été réalisé respectivement le 11 et 12 Janvier 2012 pour parcelle jachère pâturage et 15 et 16 janvier 2012 pour la seconde parcelle Sorgho. (Figure 13).

2.4.2. Traitement phytosanitaire : Traitement des parcelles par un désherbant mixte le DIALEN à raison de 01litre/ha.

Les parcelles ont été traitées par le même herbicide (Dialen super) le 02/05/2012 pour réduire les interactions d'autres facteurs.



Figure N°14 : Photos de traitement des parcelles par l'engrais de couverture (Photos Chiahi 2012).

2.5. Récoltes.

La récolte a été effectuée en 180 jours après le semis, simultanément pour les deux parcelles nous permettons ainsi la détermination du poids en grains de chaque mini parcelle.



Figure N° 15 : Photos de quelques variétés de blé dur (Photo Chiahi 2012).

Tableau N°05 : Production de la parcelle précédent cultural poids des grains: Jachère pâturage

| | Précédent cultural - Engrais Jachère / DAP | | Précédent cultural - Engrais Jachère / Fosfactyl | | Précédent cultural - Engrais Jachère / Fosfactyl | | Précédent cultural - Engrais Jachère / DAP | |
|-----------------------------------|--|------------|--|------------|--|------------|--|------------|
| | | | | | | | | |
| Variétés/ Poids en grains (kg) | V3 | 2,7 | V7 | 4,8 | V4 | 3,2 | V5 | 4,2 |
| | V5 | 3 | V1 | 5,9 | V2 | 6,9 | V7 | 3,8 |
| | V7 | 3,7 | V6 | 4,4 | V3 | 3,2 | V4 | 1,8 |
| | V2 | 7,3 | V3 | 4,9 | V5 | 3,4 | V6 | 5,2 |
| | V6 | 4,1 | V5 | 6,8 | V1 | 6,2 | V3 | 2,8 |
| | V4 | 3,8 | V2 | 4,6 | V6 | 5,8 | V1 | 6,3 |
| | V1 | 5,8 | V4 | 2,2 | V7 | 2,4 | V2 | 5,9 |

Tableau N°06: Production parcelle précédent cultural : Sorgho

| | Précédent cultural - Engrais Sorgho /Fosfactyl | | Précédent cultural - Engrais Sorgho / DAP | | Précédent cultural - Engrais Sorgho / DAP | | Précédent cultural - Engrais Sorgho /Fosfactyl | |
|-----------------------------------|--|------------|---|------------|---|------------|--|-------------|
| | | | | | | | | |
| Variétés/ Poids en grains (kg) | V4 | 5,9 | V3 | 4,6 | V6 | 6,2 | V1 | 7,7 |
| | V2 | 8,3 | V1 | 6,8 | V7 | 5,9 | V5 | 5,4 |
| | V5 | 5,4 | V6 | 7,3 | V1 | 7,9 | V7 | 6,2 |
| | V6 | 6,1 | V2 | 9 | V3 | 4,9 | V6 | 6,5 |
| | V1 | 7,2 | V4 | 6,1 | V5 | 5,1 | V2 | 10,2 |
| | V3 | 4,9 | V7 | 5,1 | V4 | 5,1 | V3 | 5,1 |
| | V7 | 4,4 | V5 | 4,8 | V2 | 7,4 | V4 | 4,8 |

2.5.1. Analyse statistique.

L'interprétation des résultats de la récolte a été effectuée en utilisant le logiciel SAS (Statistical Analysis System) version 9.

2.5.2. Rendement sur précédents cultureux.

Tableau N°07 : La différence dans les rendements en grains des précédents cultureux.

| Alpha | | 0.05 | |
|---|---------|----------|-----------|
| Erreur Degrés de Liberté | | 26 | |
| Erreur du Carré Moyen | | 1.008736 | |
| Valeur critique de t | | 2.05553 | |
| Plus petite différence significative | | 0.5518 | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | |
| T Groupement | Moyenne | Nb | Prec Cult |
| A | 6.2250 | 28 | Sorgho |
| B | 4.4679 | 28 | Jachère |

Le traitement statistique montre la nette différence dans la récolte sur les deux précédents cultureux ; En effet la récolte sur le précédent culturel (Sorgho) avec une moyenne de 6.22Kg (24.88 qx/ha) a été meilleure que celle enregistrée sur le précédent culturel (jachère pâturage) avec uniquement une moyenne autour de 4.50 kg (18qx/ha). Cette différence pourrait être due à quelques facteurs, principalement reliés à la culture du Sorgho, ainsi parmi eux :

- a. La période de culture du Sorgho cultivé en période chaude, le manque de précipitation et l'absence d'irrigation évite le lessivage de l'azote (Brisson et al., 2007). Donc la minéralisation du sol en plein sécheresse ne favorise pas l'absorption de tout l'azote disponible, ce qui entraîne l'enrichissement du sol par ce minéral.
- b. Le comportement du sorgho en rotation : Il dispose d'un supplément d'azote, plus important que dans le cas du maïs, car les pailles de toutes les cultures sont recyclées.

c. La nature photosynthétique de la plante comme le maïs, le sorgho c'est une plante en C4 lui permettant ainsi le déroulement de son système photosynthétique, et de ce fait de son métabolisme en période de sécheresse ou la tolérance des plantes en C3 par la fermeture du stomate et la diminution de l'absorption, induit des effets secondaires (Brisson et al., 2007).

2.5.3. Rendement avec les engrais de fonds.

Tableau N°08 : Différence dans les rendements en grains avec les engrais de fonds.

| Alpha | | 0.05 | |
|---|----------------|-------------|----------------|
| Erreur Degrés de Liberté | | 2 | |
| Erreur du Carré Moyen | | 0.071429 | |
| Valeur critique de t | | 4.30265 | |
| Plus petite différence significative | | 0.3073 | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | |
| T Groupement | Moyenne | Nb | Engrais |
| A | 5.45714 | 28 | Fosfactyl |
| A | | | |
| A | 5.23571 | 28 | DAP |

Concernant les engrais, malgré que la récolte rendements en grains après l'utilisation des deux engrais était presque similaire, les parcelles ayant reçus le Fosfactyl ont enregistré une récolte légèrement supérieur avec une moyenne autour de 5.50kg (22qx/ha) que celle obtenue sur les parcelles ayant été fertilisées par le DAP, même si le traitement statistique n'a pas pu déceler une différence importante dans la récolte entre les parcelles ayant été fertilisées différemment. Sur le terrain ça été remarquable, les parcelles avec le Fosfactyl étaient meilleurs que celles avec le DAP. Cette légère différence pourrait être du à la variation dans la composition minéral des deux engrais

d'une part le Fosfactyl renferme du potassium K, malgré que les besoins de culture du blé vis-à-vis de cet élément sont faibles, mais cette élément très mobile (ion K⁺) dissous dans les liquides intracellulaire (notamment dans la vacuole) joue des rôles d'une extrême importance dans la plante, tel que le maintien de pression osmotique dans la turgescence des vacuoles, et diminue dans certains cas, la transpiration réduisant les risques de flétrissement (Soltner 2005). Ceci prouve clairement sa relation avec l'action hormonale de l'ABA (acide abscissique) dans la tolérance à certains stress abiotiques, tel que la carence hydrique ou le froid (Gravot 2009). D'autre part le Fosfactyl contient du soufre(S) et les cultures du blé nécessitent un tel élément pour une bonne croissance (Mallarino et al.,1999).

2.5.4. Rendement des variétés

Tableau N° 09 : La différence dans les rendements en grains des variétés.

| Alpha | | | | 0.05 |
|---|---|----------------|-----------|----------------|
| Erreur Degrés de Liberté | | | | 26 |
| Erreur du Carré Moyen | | | | 1.008736 |
| Valeur critique de t | | | | 2.05553 |
| Plus petite différence significative | | | | 1.0322 |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | | |
| T Groupement | | Moyenne | Nb | variété |
| | A | 7.4500 | 8 | V2 |
| | A | | | |
| B | A | 6.7250 | 8 | V1 |
| B | | | | |
| B | C | 5.7000 | 8 | V6 |
| | C | | | |
| D | C | 4.7625 | 8 | V5 |
| D | | | | |
| D | | 4.5375 | 8 | V7 |
| D | | | | |
| D | | 4.1375 | 8 | V3 |
| D | | | | |
| D | | 4.1125 | 8 | V4 |

Pour le comportement des variétés nous avons obtenus trois groupes de variétés selon leur récolte (poids de leurs grains).

1^{er} groupe : Regroupant les variétés **Carioca (V2) et Boussallem (V1)** qui ont affiché les meilleurs poids surtout la variété Carioca avec 7.45 Kg (30 qx /ha) ont pourrait la qualifier par variété de très bon rendements en grains..

2^{ém} groupe : Ces variétés ont été suivis par Sersou et Ouarsenis ayant enregistré des rendements bons avoisinant 6.72 kg (27 qx/ha) et 5.70 kg (23 qx/ha).

Enfin les autres variétés peuvent être classées dans le dernier **groupe (3^{ém})** qui a affiché des rendements moyens, il s'agit de Waha, Gtadur et MBB qui n'ont pas même pas atteint 4.20 kg (17 qx/ha).

2.5.5. Différence des rendements dans le précédent cultural jachère.

Tableau N° 10 : La différence dans les rendements du précédent cultural : jachère.

| Alpha | | | 0.05 | | |
|---|---|---|----------------|-----------|----------------|
| Erreur Degrés de Liberté | | | | 12 | |
| Erreur du Carré Moyen | | | | 1.521429 | |
| Valeur critique de t | | | | 2.17881 | |
| Plus petite différence significative | | | | 1.9003 | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | | | |
| T Groupement | | | Moyenne | Nb | variété |
| | A | | 6.1750 | 4 | V2 |
| | A | | | | |
| | A | | 6.0500 | 4 | V1 |
| | A | | | | |
| B | A | | 4.8750 | 4 | V6 |
| B | A | | | | |
| B | A | C | 4.3500 | 4 | V5 |
| B | | C | | | |
| B | | C | 3.6750 | 4 | V7 |
| B | | C | | | |
| B | | C | 3.4000 | 4 | V3 |
| | | C | | | |
| | | C | 2.7500 | 4 | V4 |

Concernant le comportement des variétés sur chaque précédent cultural ainsi que l'influence des engrais sur les récoltes, signalent toujours le même résultat et qui est le faible rendement en grains enregistré sur le précédent cultural jachère et avec le même classement des variétés (en trois groupes) ; Les meilleurs rendements chez Carioca et Boussallem aux alentours de 6.1kg (24.40 qx/ha) suivies par les variétés Sersou et Ouarsenis avec des poids avoisinant 4.50 kg (18 qx/ha) et enfin les variétés Waha, Gtadur et MBB ont affiché les poids des grains les plus faible n'atteignant même pas 3kg (12qx/ha).

2.5.6. Différence des rendements entre les engrais sur jachère.

Tableau N° 11 : La différence des rendements entre les engrais sur : Jachère pâturage

| Alpha | | 0.05 | |
|---|----------------|-------------|----------------|
| Erreur Degrés de Liberté | | 2 | |
| Erreur du Carré Moyen | | 0.228929 | |
| Valeur critique de t | | 4.30265 | |
| Plus petite différence significative | | 0.7781 | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | |
| T Groupement | Moyenne | Nb | Engrais |
| A | 4.6214 | 14 | Fosfactyl |
| A | | | |
| A | 4.3143 | 14 | DAP |

Pour les engrais le rendement avec l'application du Fosfactyl dépasse légèrement celui de la parcelle (sorgho) ayant reçu le DAP , avec 4.60kg (18.40) qx/ha.

2.5.7. Le rendement dans le précédent cultural Sorgho.

Tableau N° 12 : La différence dans les rendements des variétés dans le précédent cultural : Sorgho

| | | | | |
|---|-------------------|----------------|-----------|----------------|
| Alpha | | 0.05 | | |
| Erreur Degrés de Liberté | | 12 | | |
| Erreur du Carré Moyen | | 0.547857 | | |
| Valeur critique de t | | 2.17881 | | |
| Plus petite différence significative | | 1.1404 | | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | | |
| T | Groupement | Moyenne | Nb | variété |
| | A | 8.7250 | 4 | V2 |
| | | | | |
| | B | 7.4000 | 4 | V1 |
| | B | | | |
| C | B | 6.5250 | 4 | V6 |
| C | | | | |
| C | D | 5.4750 | 4 | V4 |
| C | D | | | |
| C | D | 5.4000 | 4 | V7 |
| | D | | | |
| | D | 5.1750 | 4 | V5 |
| | D | | | |
| | D | 4.8750 | 4 | V3 |

Alors que les meilleurs poids des grains ont été enregistré sur le précédent cultural (Sorgho) et toujours chez la variété Carioca V2 qui se distingue dans un groupe à part avec 8.72 kg (35qx/ha) suivie du 2^{ém} groupe avec les mêmes variétés Boussallem V1 avec 7.40 kg (30 qx/ha) et Sersou V6, le 3^{ém} groupe avec des récoltes moyennes regroupant les mêmes variétés MBB, Waha et Gtadur.

2.5.8. Les rendements avec les engrais sur sorgho

Tableau N° 13 : La différence des rendements avec les engrais sur sorgho

| Alpha | | 0.05 | |
|---|---------|----------|-----------|
| Erreur Degrés de Liberté | | 2 | |
| Erreur du Carré Moyen | | 0.540357 | |
| Valeur critique de t | | 4.30265 | |
| Plus petite différence significative | | 1.1954 | |
| Les moyennes avec la même lettre ne sont pas très différentes. | | | |
| T Groupement | Moyenne | Nb | Engrais |
| A | 6.2929 | 14 | Fosfactyl |
| A | | | |
| A | 6.1571 | 14 | DAP |

Encore une fois la différence entre les rendements n'apparaît pas avec l'application des deux engrais mais toujours avec le classement du Fosfactyl en premier avec 6.30 kg (25.20 qx/ha) suivie du DAP avec 6.16 kg (24.64 qx/ha).

2.5.9. CONCLUSION

Dans le but de l'amélioration de la culture du blé dur dans la région céréalière à la ferme pilote Yousfi Tayeb Tifech (Souk Ahras), le semis de sept(07) variétés sur deux précédents culturaux (Jachère pâturage et Sorgho), en plus de l'utilisation de deux engrais de fonds, l'un potassique : le Fosfactyl, l'autre binaire (phospho-azoté) : le DAP a conduit à des récoltes différentes **entre variétés et parcelles.**

La comparaison des moyennes des rendements en grains des variétés nous a permis de déduire les résultats suivants :

- a. La différence des rendements en grains sur les deux précédents culturaux ou les meilleurs rendements en grains ont été affichés sur le précédent cultural Sorgho.
- b. Aucune différence des récoltes n'a été décelée entre les rendements des variétés avec l'incorporation des deux engrais, malgré que le classement des variétés a été meilleur suite à la fertilisation par le Fosfactyl, remarqué aussi bien dans l'ensemble (sur les deux précédents culturaux) qu'au sein de chaque parcelle.
- c. Une nette différence entre les rendements en grains des variétés, avec un comportement parfois similaire vis à vis de l'influence des deux facteurs de variation, précédent cultural et engrais de fond, un comportement qui peut être expliqué par :
- d. La supériorité de certaines variétés introduites principalement Carioca, suivie de Sersou (Simeto.) et d'Ouarsenis (Ofanto).
- e. En plus de sa supériorité, la variété locale Boussallem a montré une très bonne régularité dans son rendement, que ce soit sur les deux parcelles (précédents culturaux) que dans chaque parcelle avec l'implication de l'influence de l'engrais.
- f. Les variétés introduites Waha, Gtadur, et surtout la variété MBB ont marqué les plus faibles rendements en grains.

CHAPITRE 03

Méthodes expérimentales

3. Méthodes expérimentales :

3.1. Analyse du sol.

Les sols peuvent être définis de manière générale comme le produit remanié et organisé de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre, essentiellement sous l'action d'agent climatique et biologique. De cette définition se dégagent les deux dimensions fondamentales de l'étude des sols, à savoir le temps et l'espace (André et al., 1991).

Le sol, on entend les horizons extérieurs des roches naturellement modifier par l'influence mutuelle de l'eau, de l'air et des organismes vivants et morts, c'est un corps naturel indépendant et variant (Dockouchaev, 1983, in Gobât et al, 2003).

Le terme sol se rapporte à la couche extérieure de la surface terrestre qui s'est fragmentée par l'altération au cours des âges. Il est formé initialement par la désintégration et la décomposition des roches dans des processus physiques et chimiques et sont influencées par l'activité et l'accumulation des résidus de nombreuses espèces biologiques (Daniel 1988).

Le sol est constitué du minéral et de l'organique, solide, liquide et du gazeux, du vivant et du inerte, les éléments minéraux et organiques formant l'ossature solide, la solution du sol est vecteur privilégié des matières alors que l'atmosphère du sol représente une interface gazeuse (Gury, 1990, Duchaufour., 2001, in Calvet., 2003), et qui présentent les trois phases du sol.

L'étude des sols comporte ainsi d'un côté la description du sol, en tant que système isolé d'une part et d'autre part l'analyse de ses relations et interactions avec les autres éléments d'écosystème.

Il est clair qu'il n'existe pas de limite bien définies entre ces divers domaines et que l'on ne saurait étudier l'un sans effectuer de fréquentes incisions dans l'autre, ne serait-ce qu'en raison de l'échelle réduite (chimique, biologique ou physique) à laquelle se déroulent souvent les phénomènes étudiés, alors que leurs causes et leurs effets dépassent le cadres du sol-plante- atmosphère (André et al., 1991).

Autrefois, pour l'analyse du sol, on s'attachait presque uniquement à doser des éléments naturels et à déterminer certaines caractéristiques de pollution, on s'est préoccupé des éléments toxiques d'origine minérale, l'accroissement de l'utilisation des composés organiques de synthèse est venu compliquer le problème (Bendjedid et al.,2010).

Il est alors devenu nécessaire de développer des méthodes analytiques de plus en plus sensibles et les limites de détection sont ainsi passées successivement du centigramme au milligramme par litre. En même temps, s'est élaborée toute une technologie instrumentale dont les performances sont de plus en poussées (Rodier 2005).

Mais pour restaurer n'importe quel écosystème, il faut d'abord le caractériser et l'identifier (Omernik, 1995 ; Allan ,1997 ; Bryce et al., 1999).

C'est dans cette optique que notre étude s'est montrée indispensable et essaye d'apporter des réponses aux problématiques suivantes :

Quelles sont les caractéristiques physico-chimiques des sols de quelque parcelles d'étude dans la ferme pilote Yousfi Tayeb- Tifech. Comment est-elle la texture de ces sols-là ?

3.1.1. Analyse physico-chimique.

3.1.1.1. Le pH eau et pH- KCl :

Le pH est la quantité d'ions H^+ dissociés présente dans une solution à un instant donné. Les valeurs du pH eau et du pH- KCl obtenues au laboratoire varient entre 8.2 pH eau, 7.3 pH-KCl et de moyen de 7.75 pour l'échantillon I, et 7.63 pH eau, 7.02 pH KCl et de

moyen de 7.33 pour l'échantillon II. Ces valeurs sont résumées dans le diagramme suivant :

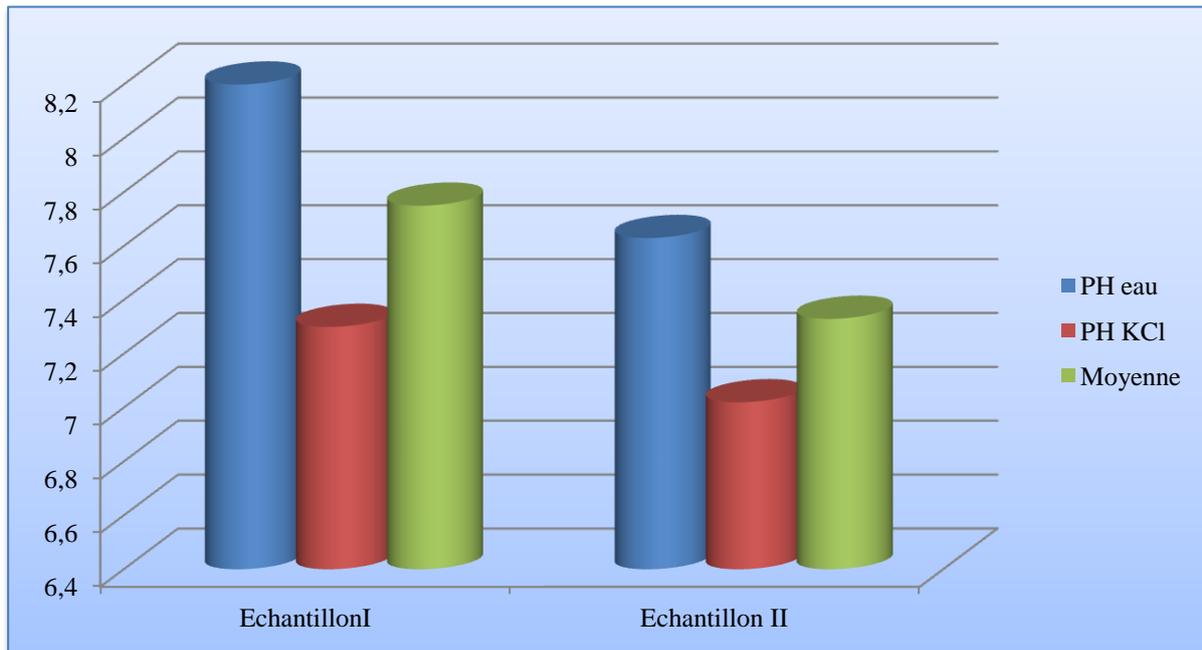


Figure N°16 : Variations du pH eau et du pH KCl dans les échantillons des sols étudiés.

3.1.1.2. La conductivité électrique (CE):

Les valeurs de la conductivité se rapproche les unes par rapport aux autres, on a obtenu : 0.64 μ s/cm pour l'échantillon I et 0.42 μ s/cm pour l'échantillon II, avec une moyenne de 0.53 μ s/cm. Ces valeurs sont présentées dans le diagramme suivant :

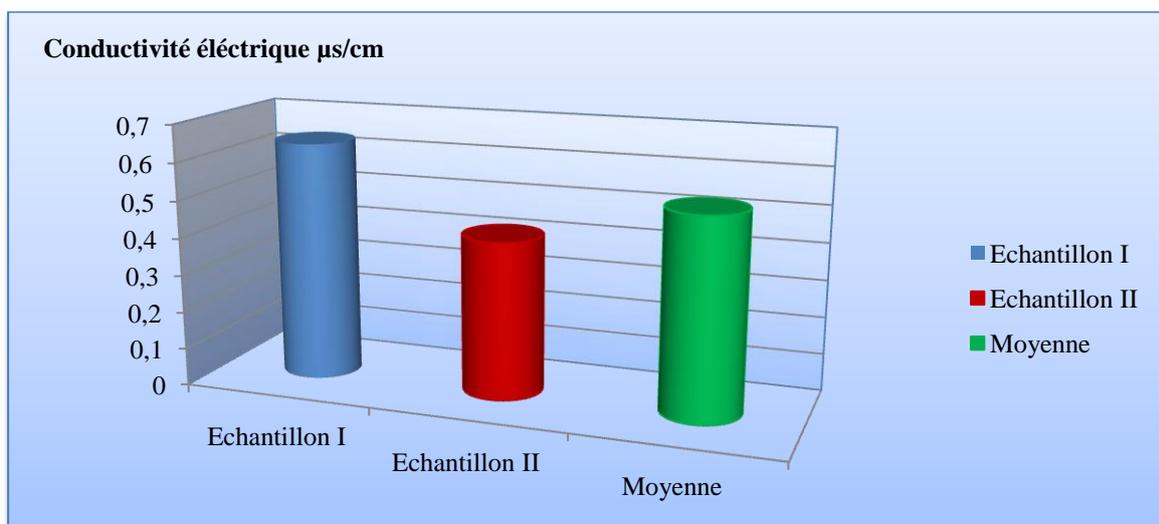


Figure N°17 : Variation de la conductivité électrique des échantillons des sols étudiés.

3.1.1.3. L'Humidité :

L'Humidité du sol varie entre 18% (Echantillon I) et 14% (Echantillon II), avec une moyenne de 16%, ses valeurs sont présentées dans le diagramme suivant :

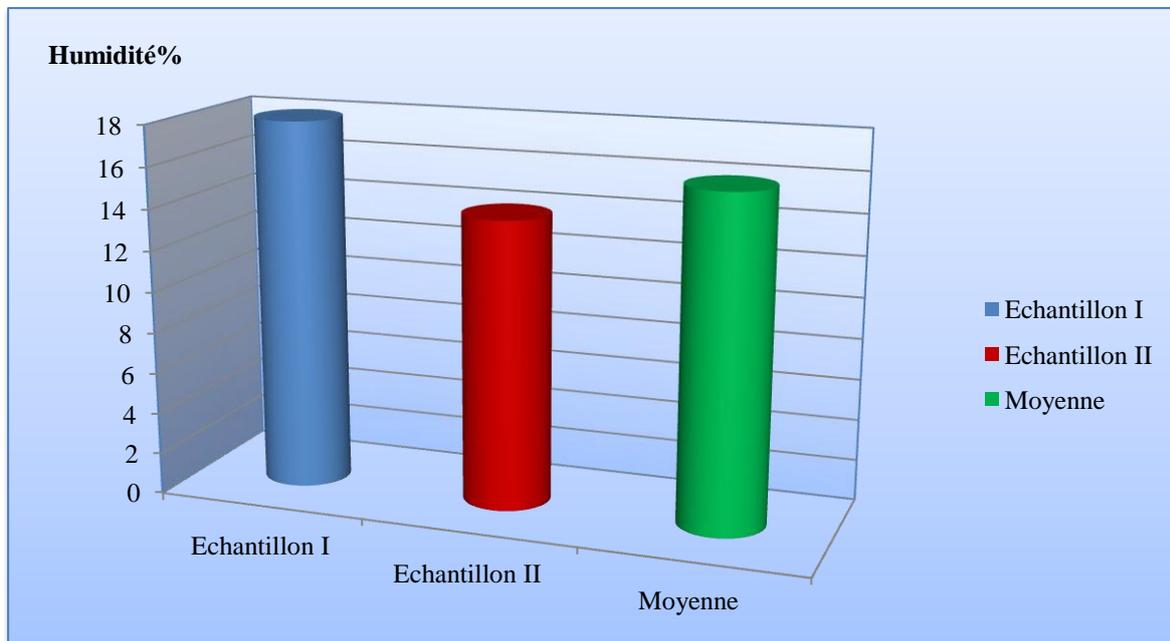


Figure N°18 : Variation de l'Humidité des échantillons des sols étudiés.

3.1.1.4. Extrait sec (ES):

Pour ce qui est de l'extrait sec des sols, on a trouvé les teneurs suivantes : l'échantillon I : 20 g.kg⁻¹, l'échantillon II : 25 g.kg⁻¹, la Moyenne des deux parcelles : 22.5g.kg⁻¹.

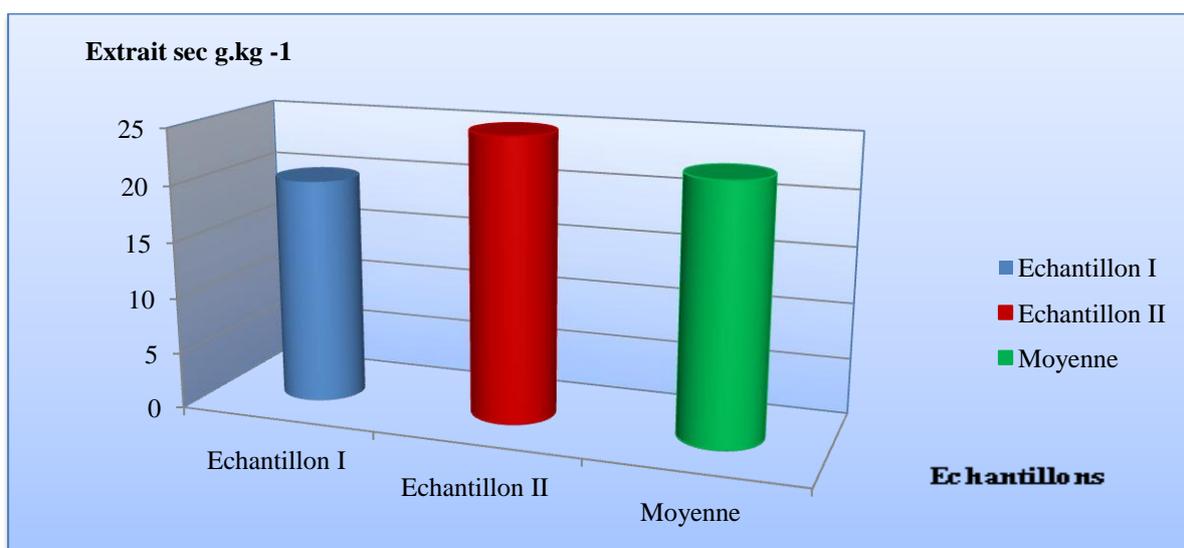


Figure N°19 : Variation de l'extrait sec des sols étudié.

3.1.1.5. Calcaire total (CT):

La moyenne des deux parcelles est de l'ordre de 9,38% tandis que les valeurs des deux échantillons sont comprises entre 12.5% pour échantillon I et 6.25% pour l'échantillon II. Ces résultats montre que nos sols sont modérément calcaires (figure N°17.).

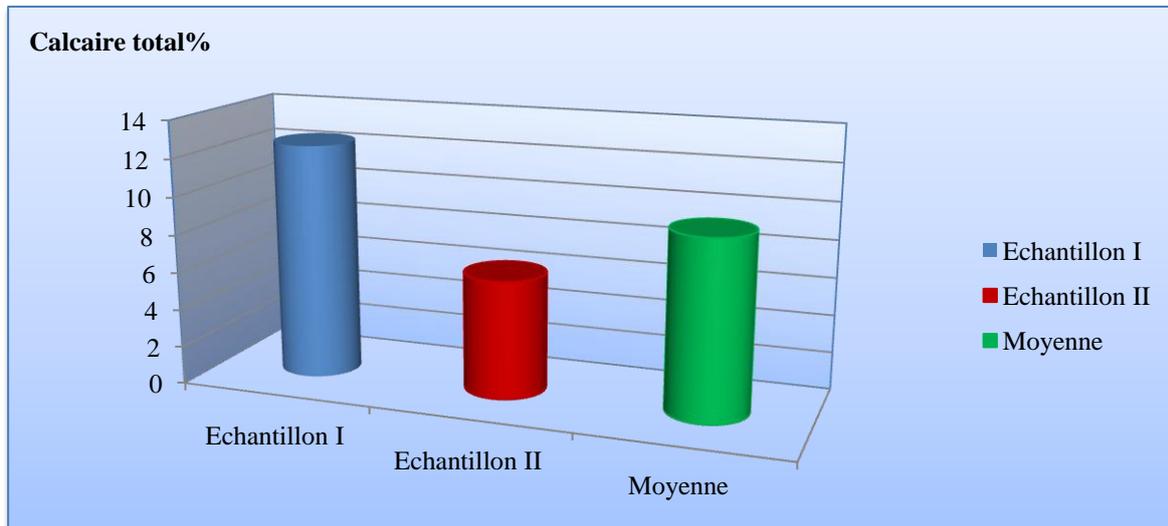


Figure N°20 : Variation de calcaire total des sols étudié.

3.1.1.6. Matière organique (MO) :

La matière organique (MO) a un rôle très important au niveau du sol. Son rôle intervient dans la structure du sol (cimentation des particules et aération) et la réserve des éléments nutritifs (Becharef 1983).

La teneur en matière organique dans l'échantillon I est de 0.40% et de 0.38% pour l'échantillon II, alors que la moyenne est de 0.39%. Ces valeurs sont représentées dans le diagramme suivant :

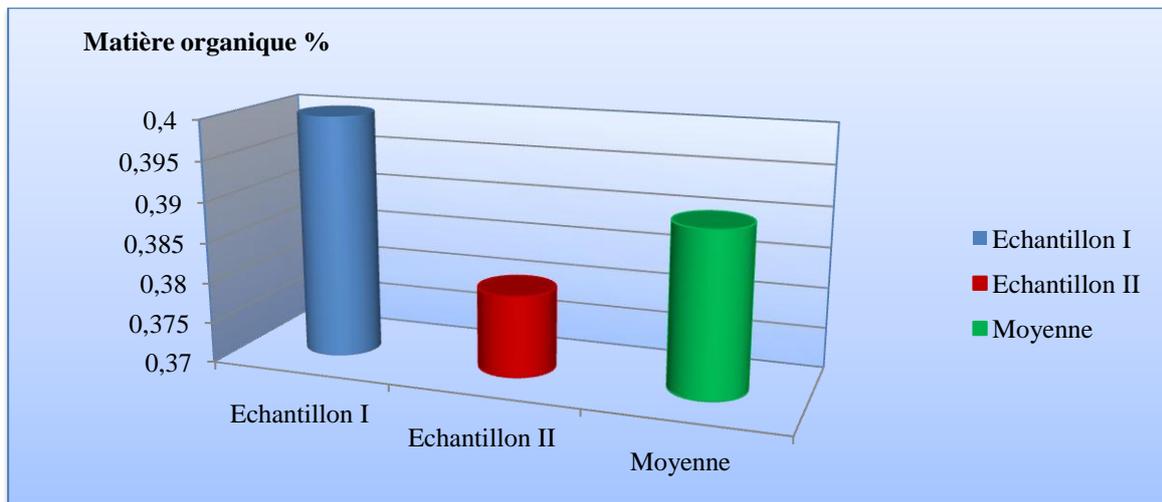


Figure N°21 : Variation de la Matière organique des échantillons des sols étudiés.

3.1.1.7. Analyse granulométrique

Les résultats de la texture sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau N°14 : Résultats de texture du sol.

| Les échantillons | Argile/ Limon % | Sable % | Graviers % | Texture |
|------------------|-----------------|---------|------------|----------------|
| Echantillon I | 0.35 | 47.76 | 51.76 | Sable-limoneux |
| Echantillon II | 0.25 | 59.26 | 40.35 | Sable-limoneux |

X Site des échantillons étudiés dans le Triangle de la texture des sols

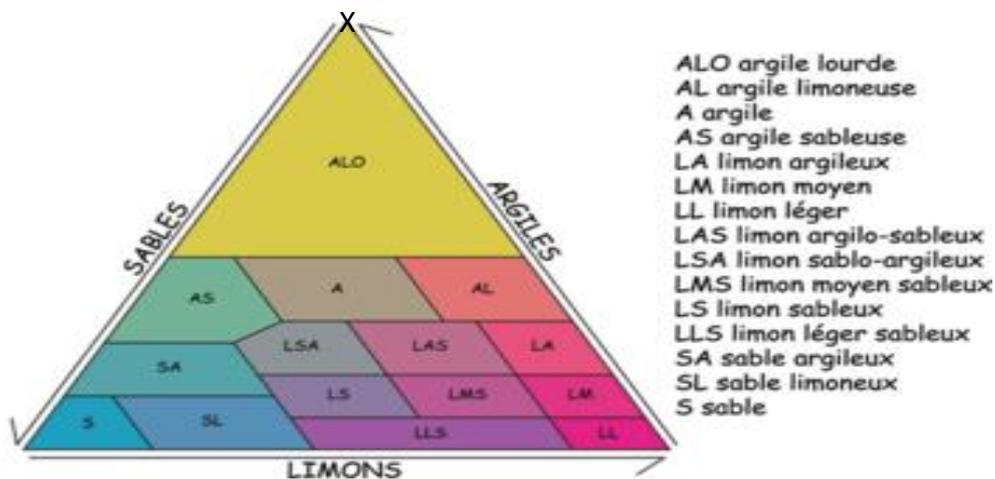


Figure N°22: Triangle de la texture des sols étudiés (Duchaufour, 1997).

D'après ces valeurs, on peut dire que les deux échantillons étudiés ont une texture
Sable-limoneux avec des taux élevés de sable et de graviers.

3.1.2. Discussion

L'analyse de quelques sols de la commune de Tifech nous a permis d'évaluer leurs états
de santé. Les deux échantillons ont été prélevés durant la période humide du mois
d'avril de l'année 2013 au niveau des sols de la ferme pilote Yousfi Tayeb wilaya de
Souk Ahras.

Les paramètres pédologiques étudiés sont : pH eau, pH KCl, conductivité électrique,
Humidité, calcaire total, matière organique et analyse granulométrique.

L'évolution de certains paramètres tels que le pH et la conductivité électrique montre
que nous sommes en présence de sol à complexe peu saturé à légèrement alcalin, mais ne
présente pas de sensibilité aux sels.

L'importante présence des carbonates de calcium explique, en partie, les fortes valeurs
du pH et la conductivité électrique très faible. Donc, à notre avis, le carbonate de
calcium joue le rôle d'un régulateur du sol particulièrement dans les liens entre la
solution du sol et le complexe absorbant.

L'humidité des sols est faible sous l'influence des conditions météorologiques.

La caractérisation chimique du sol notamment l'évolution de la teneur en matière
organique et en calcaire total montrent que ces sols ont une teneur en matière organique
inférieure à 0.40, ce qui veut dire qu'ils sont pauvres en matière organique. Et
modérément calcaires.

Cette matière organique joue un rôle de première importance dans l'enrichissement des
sols en base échangeable.

Les résultats de l'analyse granulométrique de ces sols nous permettent de dire que ces sols ont une texture sable-limoneux.

Enfin, d'après les résultats obtenus, on peut juger que ces sols sont fragiles et perméable.

De ce fait, la prudence et la surveillance de leurs états de santé doivent être maintenue même renforcer par des traitements immédiats (amendements organiques, rotations adéquates, jachères...etc.), et à long terme vu la fragilité et la vulnérabilité de ces terres.

CHAPITRE 04

Effet de quelques nanoparticules à base de ZnO sur le comportement du blé dur (*Triticum durum* Desf.)

4. Effet de quelques nanoparticules à base de ZnO sur le comportement du blé dur.

Les nanotechnologies représentent aujourd'hui un enjeu économique majeur, et tous les grands pays développés y investissent des sommes de plus en plus importantes.

Les nanoparticules constituent un champ de recherche riche en potentialités pour de nouvelles applications dans les domaines les plus divers tels que les matériaux, la santé, l'énergie, l'agroalimentaire, le transport pour n'en citer que quelques-uns.

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 et al., 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 NPs de ZnO sur la germination des graines de radis ainsi (Racuciu et al., 2009) ont réalisés des études sur divers végétaux (maïs, pavot, chélidoine, courgette), et (Khodakovskaya et al., 2009) ont déterminés l'impact des nanotubes de carbone sur les graines 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 étudiés l'effet des 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 intéressé aux effets de nanoparticules de (ZnO) et de dioxyde de titane (TiO₂) sur le riz (*Oryza sativa* L.), de même Larue 2011, qui a étudié l'impact des nanoparticules de (TiO₂) et nanotubes de carbone sur le blé tendre et le colza.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre contribution ,il s'agit de mettre en évidence l'impact des nanoparticules de synthèse (ZnO) sur le blé dur ainsi notre choix s'est porté sur trois(03) variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.).

4.1. Bibliographie sur les nanoparticules.

L'incorporation de nanomatériaux (nanoparticules, nanotubes...) dans les biens de consommation courante (crèmes solaires, pneus, emballages alimentaires...) entraîne, à terme, leur dissémination dans l'environnement soit par l'usure normale des produits soit à cause d'un mauvais recyclage. D'autre part, des nanoparticules entreraient dans la formulation de certains produits phytosanitaires, leur utilisation conduirait donc à une dissémination volontaire de nanoparticules. Ainsi, les différents compartiments de l'environnement, sol, air) ainsi que les différentes espèces y vivant (bactéries, animaux, végétaux...) pourraient être contaminés. Les végétaux représentent un point d'entrée potentiel dans la chaîne alimentaire, puisqu'ils constituent une part essentielle de l'alimentation animale et humaine. Il est donc important d'évaluer leur contamination par les nanoparticules.

Les premières études relatant l'impact des nanoparticules sur les végétaux ont été publiées en 2007. Les résultats présentés sont souvent contradictoires. Certains constatent une activation du métabolisme de l'épinard par des TiO₂ (Su et al., 2009)

quand d'autres observent des inhibitions d'élongation racinaire ou de la photosynthèse (Racuciu et al., 2009).

Une équipe met en évidence l'internalisation racinaire, le transfert aux parties aériennes et la transmission de nanoparticules de carbone d'une génération à l'autre chez le riz (Lin et al., 2009).

4.1.1. Effet des Nanoparticules sur les Végétaux

L'étude de l'impact des nanomatériaux sur les végétaux a mis en évidence à la fois des effets bénéfiques (stimulation) et des effets négatifs (inhibition). Ces deux aspects seront donc détaillés séparément.

4.1.1.1. Effets positifs des nanomatériaux sur les végétaux.

Différentes équipes de chercheurs ont constaté qu'une exposition aux nanomatériaux entraînait une induction de paramètres tels que le taux de germination (Khodakovskaya *et al.*, 2009; Khodakovskaya *et al.*, 2011), l'élongation des différentes parties de la plante (Tripathi *et al.*, 2011; Khodakovskaya *et al.*, 2009), la biomasse (Gao *et al.*, 2006; Gao *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2007; Zheng *et al.*, 2005) ou encore le rendement en graines (Sahandi *et al.*, 2011).

Une étude a montré que la germination de graines de tomates exposées à des MWCNTs était plus rapide et plus efficace, que ces graines donnaient des tiges plus longues et une biomasse 2,5 fois plus importante que les graines non exposées (Khodakovskaya *et al.*, 2009). Les auteurs ont conclu que cette induction pouvait être liée à une meilleure imbibition de la graine.

Le métabolisme de l'épinard a également fait l'objet de nombreuses études de la part d'une équipe de chercheurs mettant ainsi en évidence un meilleur déroulement de la photosynthèse (Su *et al.*, 2009) ainsi qu'un métabolisme azote plus efficace (Yang *et al.*,

2006; Yang *et al.*, 2007) après une exposition à des NPs de TiO₂. De plus, ces NPs protégeraient le végétal lors d'un stress (acide linoléique, radiations ultra violet) en limitant la production de ROS (Hong *et al.*, 2005; Lei *et al.*, 2008).

4.1.1.2. Effets délétères des nanomatériaux sur les végétaux.

Si quelques études montrent un effet positif de nanomatériaux sur des végétaux, le plus grand nombre relate des effets délétères.

Le principal critère étudié a été la photosynthèse. Par exemple, des études menées sur divers végétaux (maïs, pavot, chélidoine, courgette) ont montré une diminution de la teneur en chlorophylle a et b après une exposition à des NPs de fer (Fe₂O₃, Fe₃O₄) (Racuciu and Creanga., 2009)

D'autres études ont mis en évidence une perturbation du réseau de microtubules chez *Arabidopsis thaliana* après exposition à des NPs de TiO₂ (Wang *et al.*, 2011b) ou à des fullerènes (Liu *et al.*, 2010). Ou encore une étude a montré que les grains de pollen exposés à des NPs de Pd perdaient leur viabilité (Speranza *et al.*, 2010).

Une étude montre que les nanoparticules d'argent sont cyto et génotoxiques pour les cellules de méristème apical d'oignon (*Allium cepa*) avec une diminution de l'index mitotique et l'apparition de nombreux dommages à l'ADN lors de la mitose. Les résultats présentés sont préoccupants : si la prolifération cellulaire est bloquée au niveau des méristèmes, la plante ne sera plus approvisionnée en nouvelles cellules et ne pourra plus croître, c'est ainsi l'équilibre des écosystèmes qui serait menacé à terme (Kumari, Mukherjee, Chandrasekaran, 2009).

4.1.2. Les Types des Nanoparticules

Les nanoparticules retrouvées dans l'environnement sont en général classifiées, dans un premier temps, par leur source (Farré *et al.*, 2009) : Anthropogénique, anthropique non

intentionnelle, anthropique intentionnelle (industries de la nanotechnologie) (Boudenne *et al.*, 2009).

4.1.3. Les nanoparticules manufacturées : un enjeu pour l'avenir ?

Au sens strict une nanoparticule est un assemblage d'atome dont au moins une des dimensions est dans le domaine nanométrique ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). La limite admise est inférieure à 100 nm car c'est en général l'ordre de grandeur des longueurs caractéristiques des processus physico-chimiques. En dessous de ces valeurs, les propriétés changent à cause des effets de confinement ou parce que la surface joue un rôle prépondérant (Pitkethly, 2003). On distingue les nano poudres correspondant à des nanoparticules plus ou moins sphériques et les nanotubes qui sont des fibres dont le rapport longueur sur diamètre est supérieur à 3.

4.1.4. Les nanoparticules d'origine naturelle

Sont présentes dans les couches géologiques de la Terre (silice amorphe, certains aluminosilicates, certaines argiles comme l'Halloysite (*Composé minéral de formule $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ présent naturellement dans toutes les formations argileuses*), certains oxydes comme l'Hématite (composé minéral de formule Fe_2O_3), et la magnétite (composé minéral de formule Fe_3O_4), dans l'atmosphère (fullerènes (famille de molécules composées uniquement de carbone, se présentant sous forme de sphère, d'ellipsoïde, de tube ou d'anneau. Le plus petit fullerène connu a pour formule C_{20} , le plus répandu est le C_{60}), aérosols résultant de l'oxydation du dioxyde de soufre (SO_2) et de divers composés organiques) et dans les milieux aquatiques (complexes polynucléaires et nano-clusters (*agglomérat d'atomes constituant une nanoparticule*) d'aluminium (Al_{13} et Al_{30}) et de sulfures (Cu_4S_6). Les phénomènes naturels d'érosion,

de combustion, de lixiviation, mais également divers processus microbiologiques, peuvent amener ces nanoparticules à migrer entre les différents compartiments de l'environnement (Woodrow Wilson Institute 2010)

4.1.5. Les nanoparticules d'Origine Anthropique

A. Non Intentionnelle

Elles sont issues de la combustion des moteurs à explosion (avions, autos, motos, bateaux...etc.) des centrales thermiques produisant de l'énergie électrique, des incinérateurs, des fumées contenant des métaux (sidérurgie, fonderie, ...etc.), des moteurs électriques, des surfaces chauffées, etc. (Oberdörster *et al.*, 2005).

B. Intentionnelle

Ce sont les produits issus des nanosciences et des nanotechnologies comme les nanotubes, les nano-fibres et les nano-objets. Leurs tailles et leurs formes sont contrôlées lors du processus de synthèse.

Le terme « particules ultrafines ou (PUFs) » inclut des nanoparticules naturelles issues de la fumée des volcans, et des nanoparticules d'origine anthropogénique, produites non intentionnellement lors des procédés industriels comme les fumées de soudage ou les émissions diesels. Par conséquent, elles sont donc présentes dans l'environnement depuis toujours. Mais cela ne signifie pas qu'elles sont inoffensives. Bien au contraire, leur toxicité a été démontrée sur des cellules humaines (Xia *et al.*, 2006) ou sur des modèles animaux (Oberdörster *et al.*, 2005).

Tableau N°15 : Principales sources de nanoparticules (d'après Oberdörster et al., 2005b)

| Naturelles | Anthropogéniques | |
|--|---|---|
| | Non intentionnelles | Intentionnelles |
| Conversions gaz/particules Feux de forêt, Lave de volcan Virus Magnetites biogéniques : Bactéries, protozoaires, mollusques, arthropodes, poissons, oiseaux, Cerveau humain Ferritine | Combustion des moteurs Centrales électriques Incinérateurs Avions Fumés de métaux (Soudage, etc.) Fumés de polymères Autres fumées Surfaces chauffées Fritures, grillades Moteur électrique | Nanomatériaux manufacturés Nanoparticules, nanotubes, Nanofilms Métaux, semiconducteurs Oxydes métalliques, carbone |

4.1.6. Principales propriétés des nanomatériaux

4.1.6.1. Propriétés Mécaniques

L'effet de la nanostructure se traduit par un phénomène de superplasticité, avec par exemple, un allongement de l'ordre de 5000 % pour un matériau de cuivre nanocristallin obtenu par laminage à froid. Les nanomatériaux permettent également d'améliorer la résistance des matériaux. Ces propriétés sont appliquées dans les domaines de l'outillage, de l'aéronautique, de la céramique, du plastique, etc. (Virginie 2007).

4.1.6.2. Propriétés électriques

La conductivité électrique de matériaux isolants peut être radicalement modifiée par l'introduction de nanoparticules ou de nanotubes (nanostructures longilignes). Dans l'exemple ci-dessous, l'ajout de nanotubes de carbone de type mono-feuillet dans une

matrice d'alumine (Al₂O₃) mène à une modification de 13 ordres de grandeur de la valeur initiale de la conductivité électrique (tableau 16). (Virginie 2007).

Tableau N°16: La conductivité électrique de matériaux isolants

| Matériaux | Taille du grain (nm) | CONDUCTIV.ÉLECT. |
|--|----------------------|-------------------|
| Al ₂ O ₃ pur | 350 | 10 ⁻¹² |
| 5,7-vol % noir de Carbone / Al ₂ O ₃ | 200 | 15 |
| 5,7-vol SWNTC / Al ₂ O ₃ | 200 | 1050 |
| 10-vol SWNTC / Al ₂ O ₃ | 100 | 1510 |
| 15-vol SWNTC / Al ₂ O ₃ | 100 | 3345 |

CONDUCTIV. ELECTR. = Conductivité électrique

SWNTC = Nanotube de carbone mono feuillet

Source : Zhan G.D. et coll., *Applied Physics Letters* Volume 83(6) 1228-1230.

4.1.6.3. Propriétés optiques

Les propriétés optiques d'un matériau peuvent être améliorées grâce aux nanoparticules dont les dimensions sont inférieures aux longueurs d'onde de la lumière visible (380-780 nm).

L'application de ces propriétés permet la fabrication d'écrans et de verres antireflets, par exemple (Virginie 2007).

4.1.6.4. Propriétés de transfert thermique

La conductivité thermique peut être modifiée par l'ajout de NP pour de faibles fractions volumiques. Par exemple, l'ajout de NP de fer ou de cuivre, de l'ordre du dixième de % en fraction volumique, se manifeste par une augmentation de l'ordre de 10 % de la conductivité thermique des fluides caloporteurs auxquels on a ajouté ces particules (Virginie 2007).

4.1.6.5. Propriétés de barrière

Les propriétés de barrière vis-à-vis de l'eau et des gaz, dans les nano-composites à matrice polymère, par exemple, augmentent avec l'incorporation d'argile, dont les lamelles de silicate sont imperméables à l'eau et aux gaz (Virginie 2007)

4.1.6.6. Propriétés ignifuges

L'introduction de lamelles d'argile de taille nanométrique dans une matrice polymère (nanocomposite silicate-polymère) améliore les propriétés de barrière et de résistance à la combustion en formant une nanostructure multicouche de silicate isolante, retardant ainsi la dégradation de la matrice polymère (Virginie 2007)

4.1.6.7. Propriétés magnétiques

La dimension des domaines cristallins a un effet très marqué sur le comportement magnétique des matériaux via la modification du champ coercitif. Dans le domaine du magnétisme, l'apport des nanomatériaux a permis de développer de nouvelles gammes de matériaux, à champ coercitif variable et de faire évoluer l'imagerie médicale de type RMN, par exemple (Virginie 2007).

4.1.6.8. Propriétés catalytiques

Les NPs d'or illustrent la modification possible des propriétés catalytiques de NPs manufacturées.

Il est bien établi que l'or massif n'a, au départ, aucune propriété catalytique particulière. Par contre, il a été démontré que les NP d'or possèdent des propriétés catalytiques pour l'oxydation du CO. De plus, l'étude de la cinétique de l'oxydation du

CO a mis en évidence une modification de l'activité catalytique en fonction de clusters d'or de tailles différentes. (Virginie ,2007)

4.1.7. Les méthodes de synthèse des nanoparticules manufacturées

Les nanoparticules peuvent être synthétisées selon différentes approches. On distingue l'approche ascendante (bottom-up) par laquelle les nanoparticules sont construites atome par atome ou molécule par molécule, de l'approche descendante (top-down) par laquelle une grande structure est graduellement sous-dimensionnée jusqu'à atteindre des dimensions nanométriques ; A l'heure actuelle, quatre grandes catégories de procédés sont utilisées pour produire des nanoparticules à l'échelle industrielle (Ostiguy et al., 2006):

- Les procédés par condensation en phase gazeuse (approche ascendante) qui sont basés sur une nucléation de vapeur sursaturée suivie d'une croissance de particules par condensation, coagulation et capture. Ils regroupent entre autres : la pyrolyse laser, la pyrolyse de flamme, l'évaporation à haute température et les synthèses dans un plasma (plasma de micro-ondes, plasma thermique).
- Les synthèses par évaporation puis déposition de vapeurs (approche ascendante) regroupant les dépôts chimiques en phase vapeur (CVD) et les dépôts physiques en phase vapeur (PVD).
- La formation de colloïdes par réactions chimiques impliquant des phénomènes de précipitation contrôlée dans des solvants en phase liquide ou colloïdale (approche ascendante).
- Les procédés mécaniques par attrition qui consistent en une réduction mécanique de la taille du matériau à l'aide de frottements et d'impacts à haute énergie (approche descendante) (Simon- Angélique 2008).

4.1.8. Utilisation des nanoparticules manufacturées

Les nanoparticules intéressent de plus en plus d'industriels de part leur marché grandissant et polyvalent (industrie automobile, industrie chimique, industrie électronique, industrie agro-alimentaire, etc....). D'autre part les applications potentielles en médecine, énergie et environnement sont très prometteuses pour la société (Hullmann 2006).

Les principales nanoparticules manufacturées ainsi que des exemples d'applications basées sur l'élaboration de nano-composites avec ces nanoparticules sont présentées dans le tableau 17.

Actuellement, de nombreux produits contenant des nanoparticules sont commercialisés et utilisés dans le monde.

Les nanoparticules d'Ag s'avèrent être les plus citées avec 143 produits en contenant, soit environ 20 % de l'inventaire. Les produits contenant des nanoparticules à base de carbone (nanotubes de carbone et fullerènes) sont les deuxièmes plus référencés.

Les autres nanoparticules retrouvées dans ces produits sont le zinc (incluant l'oxyde de zinc ZnO), le titane (incluant les oxydes de titane TiO₂), la silice (SiO₂) et l'or. (Woodrow Wilson Institute, 2008).

Tableau° 17 : Principales nanoparticules manufacturées ayant un intérêt commercial (d'après Theodore and Kunz, 2005).

| Nanoparticules | Exemples d'applications |
|------------------------------------|---|
| Métaux | |
| Fe | Enregistrement magnétique de données analogiques et digitales, décontamination des nappes phréatiques. |
| Al | Agent antimicrobien, circuits électroniques, Cellules solaire,... |
| Ni | Capaciteur céramique. |
| Ag | Biocide (USA), Encre conductrice transparente. |
| Au | Applications catalytiques (production propylène, oxydation Co,...), applications électriques et optiques (détecteur, appareil optique). |
| Oxydes | |
| Al₂O₃ | Polissage des puces électroniques, composant de céramique, agent retardant les flammes, enduit de papier d'impression,... |
| ZrO₂ | Céramique (capteur oxygène, composant pompe), Spray thermique, prothèses orthopédiques et dentaires, vecteur de médicaments. |
| TiO₂ | Crème solaire, catalyseur, Carrelage et vitre autonettoyante. |
| ZnO | Crème solaire, antifongique, nano-laser, céramique. |
| SiO₂ | Polissage des puces semi-conductrices. |
| Carbones | |
| Fullerène | Cellules solaires, batterie lithium, Membrane proton conductrice, médicaments. Matériaux résistants aux radiations. |
| SWCNT | Peinture automobile, batteries. |
| MWCNT | |

Un inventaire des produits commerciaux dérivés des nanotechnologies (www.nanotechproject.org), montre que la quantité de produits de consommation courante incluant officiellement des nanomatériaux est passée de cinquante quatre en 2005 à mille trois cent dix sept en 2011 soit une augmentation de près de 2500%).

Néanmoins, on peut raisonnablement penser que de nombreux autres produits en contiennent également sans le mentionner. Sur ces 1317 produits, 30 sont recensés en France.

On trouve des raquettes de tennis, des fers à lisser et des cosmétiques. Le premier marché mondial se trouve aux Etats-Unis avec 45% des nano produits enregistrés. Aujourd'hui, une trentaine de pays dans le monde commercialisent des produits contenant des nanomatériaux.

Les principaux secteurs concernés sont celui de la santé et du bien-être, suivi par celui des produits domestiques. Les nanomatériaux les plus couramment utilisés sont, dans l'ordre décroissant : L'argent (Ag), le carbone (essentiellement nanotubes et fullerènes), le titane (dont le dioxyde de titane), le silicium et le zinc (dont l'oxyde de zinc).

Aujourd'hui, plus de 10 millions de tonnes de NPs sont produites dans le monde chaque année (Larue 2011)

4.2. Expérimentation sur les nanoparticules.

Cette contribution a pour objectif de présenter le matériel physique et biologique qui fait l'objet de notre étude basée sur l'effet des nanoparticules manufacturées de type ZnO sur trois types de variétés du Blé dur (*Triticum durum*).

Les différentes techniques employées pour répondre à notre problématique seront détaillées dans ce chapitre et pour caractériser les effets des nanoparticules du ZnO sur les paramètres de développement, les paramètres physiologiques ainsi que les paramètres biochimiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.).

4.2.1. Matériel physique.

Les nanoparticules de ZnO ont été synthétisées par la méthode de Co-précipitation, qui est largement utilisée pour la fabrication de ce type de matériau. Cette méthode est simple, moins coûteuse et ne demande pas de dispositifs compliqués (Boulouedenine 2006).

Les nanoparticules de ZnO pur ont été manufacturées au Laboratoire d'Etude et de Recherche des Etats Condensés (LEREC), Equipe « Synthèse et Caractérisation des Nanostructures à Base de ZnO pour des Applications Technologiques » (SCNAT), Département de Physique, Université BADJI Mokhtar de Annaba-Algérie.

La caractérisation de la poudre nanométrique a été réalisée au sein de l'Université Mohamed Kheider-Biskra, Algérie



Figure N°23 : Poudre du ZnO pure.

4.2.1.1. Elaboration d'Oxyde de Zinc par la Méthode de Co-précipitation.

Le procédé de Co-précipitation est la technique la plus ancienne utilisée pour la préparation d'oxydes mixtes (Rousset A., Actualité Chimique, 4 (2000) 27.).

Cette méthode consiste à mettre en solution liquide homogène des différentes espèces et provoquer leur insolubilisations par effet d'ions communs. Le précipité est séparé de la phase aqueuse par filtration puis il est séché et décomposé thermiquement en oxyde mixte. Le principe de cette méthode est permis d'allier les avantages des réactions à l'état liquide et ceux des réactions à l'état solide.

4.2.1.2. Description de la procédure de synthèse: Mode opératoire

4.2.1.3. Préparation du précurseur de départ

Nous avons utilisé les réactifs de départ suivants :

- L'acétate de zinc [$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$].

➤ L'acide oxalique [$C_2H_2O_4, 2H_2O$].

Nous préparons deux solutions A et B :

► **La solution A:** On fait dissoudre **0,2 mol/L** de [$Zn(CH_3COO)_2, 2H_2O$] dans **100 ml** d'eau distillée.

► **La solution B:** Une concentration de **0,4 mol/L** de [$C_2H_2O_4, 2H_2O$] dissoute dans un volume de **100 ml** d'eau distillée.

Les quantités des réactifs sont calculées à partir de leurs concentrations et leurs masses molaires (**Tableau 18**) pour un volume précis d'eau (100 ml), et sont pesées avec une balance analytique de précision de l'ordre de 10^{-4} g (**Figure 22**).

Tableau 18: Conditions expérimentales de synthèse.

| Réactif | Concentration (mol/l) | Masse molaire (g/mol) | Volume du solvant (mL) |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| [$Zn(CH_3COO)_2, 2H_2O$] | 0,2 | 219.48 | 100 |
| [$C_2H_2O_4, 2H_2O$] | 0,4 | 126.07 | 100 |

Sous agitation vigoureuse, la dissolution complète des deux composés se fait après 15 min.

4.2.1.4. Formation d'oxalate mixte.

Nous versons la solution d'acide oxalique dans la solution formée par le sel métallique, en la laissant précipiter.

Les précipités sont récupérés par filtration. Après avoir été séchés à l'étuve à une température de $100^\circ C/2h$. Le produit est bien broyé en poudre avant caractérisation.

La Figure 24 rapporte les différents outils utilisés au laboratoire pour la bonne synthèse des Nanoparticules.



Figure 24 : Dispositifs expérimentaux utilisés dans synthèse de la poudre du ZnO
 « Laboratoire LEREC, université UBM d'Annaba ».

4.2.1.5. Caractérisation structurale des Nps de ZnO

A. Caractérisation Cristallographique par Diffraction des Rayons X « DRX »

La Figure 25 rapporte le diagramme de diffraction des rayons X du produit élaboré. Nous remarquons que la poudre présente bien les raies de diffraction caractéristiques de la structure hexagonale würtzite correspondant aux plans de diffraction de la structure würtzite de ZnO . Ce diffractogramme révèle une bonne qualité cristalline des NPs élaborées.

Les cristallites constituant la poudre du ZnO ont une taille moyenne égale à **39,13 nm** calculée par la formule de Debye Scherer :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \alpha}$$

Où

D : Est la taille des cristallites.

K : Constante **K = 0.9**.

λ : est la longueur d'onde des rayons X utilisés.

β : est la largeur à mi-hauteur des pics de DRX, exprimée en radian.

α : L'angle de Bragg pour la réflexion (hkl).

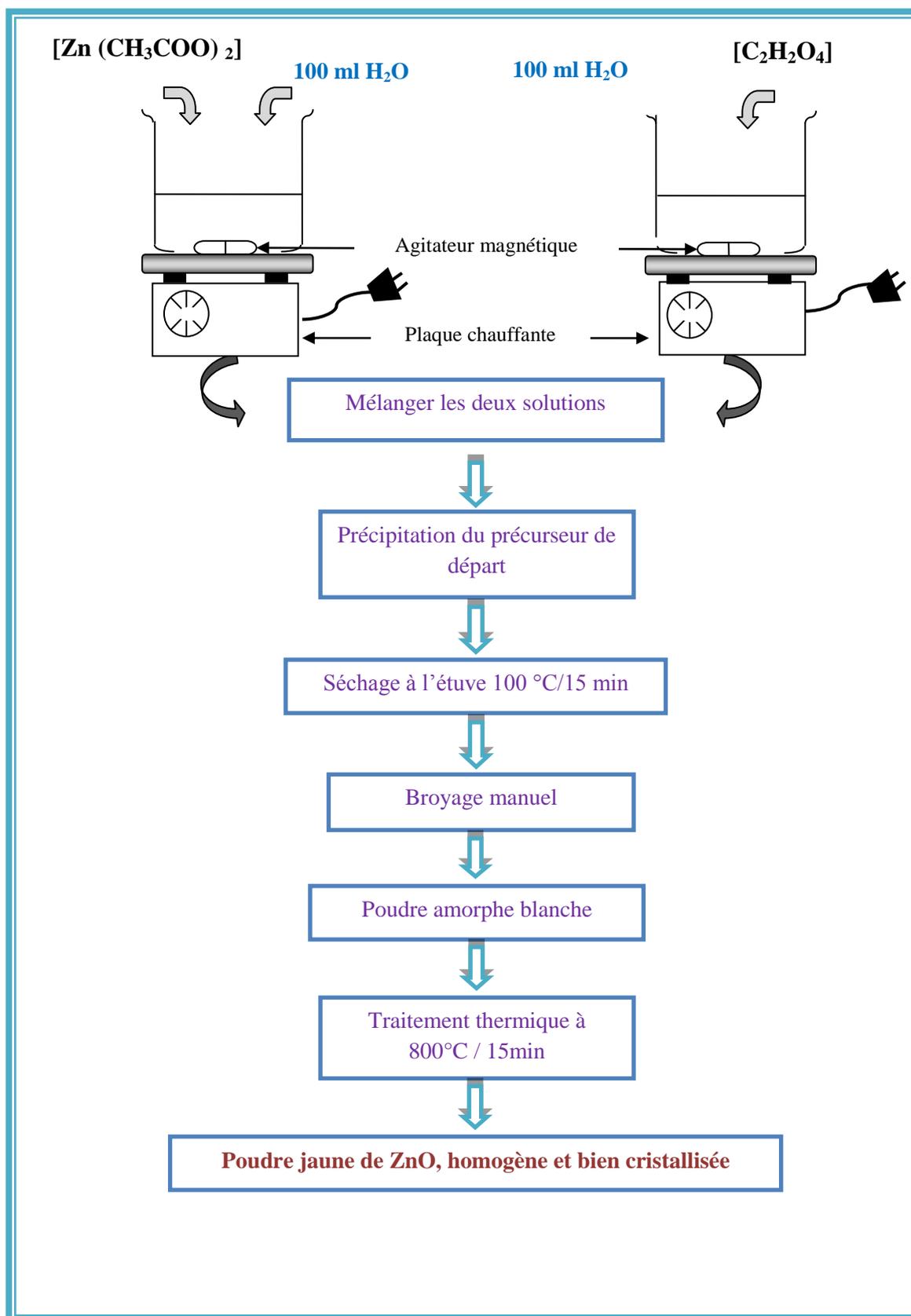


Figure 25: Schéma de la procédure de synthèse par Co-précipitation.

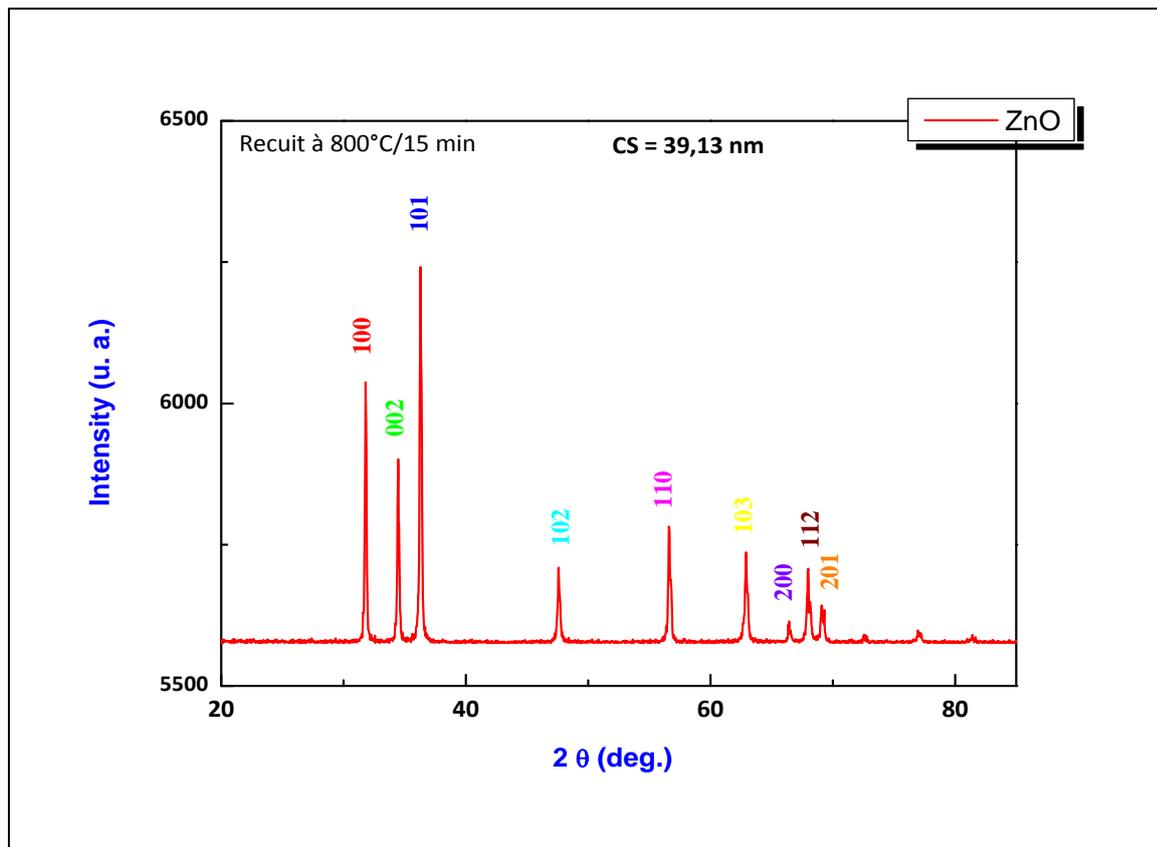


Figure 26 : Diagramme de diffraction des rayons X de la poudre du ZnO pur.

Les résultats essentiels de la diffraction des rayons X de la poudre du ZnO pur sont rapportés sur le (Tableau 19).

Tableau 19:Résultat de diffraction des rayons X de la poudre du ZnO pure.

| ZnO Pure | | | | |
|----------|-------------------|-------------|--------------|-----------------------|
| H kl | 2 θ (deg.) | d(A) | D(nm) | |
| 1 0 0 | 31,814 | 2,811 | 51,959 | |
| 0 0 2 | 34,471 | 2,600 | 49,245 | |
| 1 0 1 | 36,304 | 2,473 | 44,292 | |
| 1 0 2 | 47,596 | 1,909 | 37,270 | |
| 1 1 0 | 56,651 | 1,623 | 35,391 | |
| 1 0 3 | 62,925 | 1,476 | 35,854 | |
| 2 0 0 | 66,440 | 1,406 | 40,400 | |
| 1 1 2 | 68,007 | 1,377 | 30,754 | |
| 2 0 1 | 69,146 | 1,357 | 27,008 | D (nm) = 39,13 |

B. Spectroscopie Electronique à Balayage « MEB »

La **Figure 27** : Représente des photographies MEB de la poudre polycristalline de ZnO.

Nous remarquons que la poudre du ZnO est homogène « aucune apparition de phase

parasite n'est observée » et constituée de petits grains nanométriques et de gros grains micrométriques.

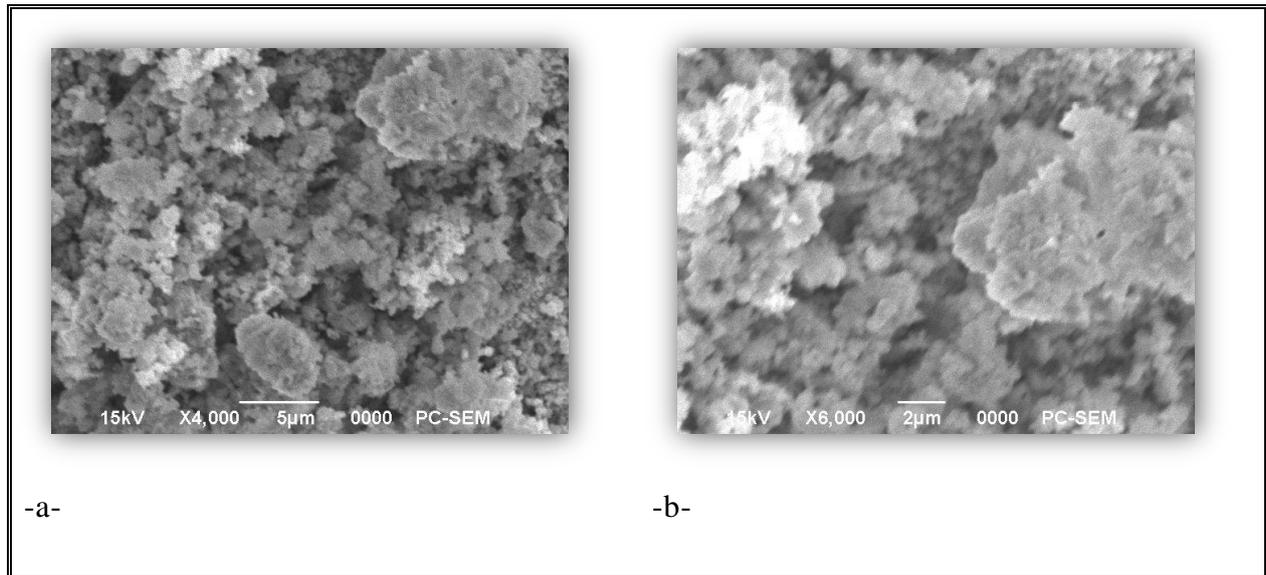


Figure 27: Clichés MEB de la poudre du ZnO pur à différentes résolutions..

4.2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé pour la réalisation de la partie expérimentale est le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Trois variétés différentes ont été choisies : Boussallem V1 Gtadur V2 et Ouarsenis V3 cultivées sous les mêmes conditions de culture à la ferme pilote Yousfi Tayeb (Souk Ahras-Algérie) durant l'année 2012.

Tableau N°20 : Caractéristiques descriptives, agronomiques et technologiques des variétés du Blé dur (*Triticum durum* Desf.) (CNCCSP, 2009).

| Caractères Variétés | Boussallem | GTA Dur | Ouarsenis |
|---------------------------|----------------------|---------------|----------------------|
| Caractères Descriptifs | | | |
| Origine | Algérie | Mexique | Italie |
| Année d'Inscription | 2000 | 2001 | 2001 |
| Epoque d'Epiaison | Précoce | Précoce | Précoce |
| Hauteur de la Plante | Moyenne | Moyenne | Moyenne |
| Paille | Peu Epaisse | Peu Epaisse | Peu Epaisse |
| Longueur de l'Epi | Moyenne | Moyenne | Courte |
| Forme du Grain | Demi-Allongé | Allongé | Demi-Allongé |
| Développement | Hiver | Hiver | Hiver |
| Caractères Agronomiques | | | |
| Rendement | Elevé | / | Elevé |
| Caractères Technologiques | | | |
| PMG (g) | 44,06F/42,98D | 44,25F/43,82D | 44,64F/45,04D |
| Teneur en protéine | 15,01% | / | 15,46% |
| Résistances aux Maladies | | | |
| Oïdium Feuille | Moyennement sensible | / | Moyennement sensible |
| Oïdium Epi | Résistante | / | Résistante |
| Rouille Brune | Sensible | / | Moyennement sensible |
| Septoriose | Moyennement sensible | / | Moyennement sensible |

4.2.2.1. Protocole Expérimental :

A. Mise en Suspension des Nanoparticules de ZnO.

En vue de leur utilisation pour les tests biologiques, les nanoparticules de ZnO sont mises en suspension dans de l'eau ultra pure (PH 5,5). Les suspensions mères sont toujours préparées dans les mêmes conditions. Pour la réalisation de l'essai nous avons

choisi quatre concentrations croissantes de ZnO «C1= 0,01mg/ml, C2= 0,05 mg/ml, C3= 0,1 mg/ml, C4= 0,5 mg/ ml ». La dispersion des nanoparticules dans l'eau est réalisée par un agitateur magnétique, l'utilisation de ce dernier sert à briser les liaisons faibles entre les particules. (Figure 26)

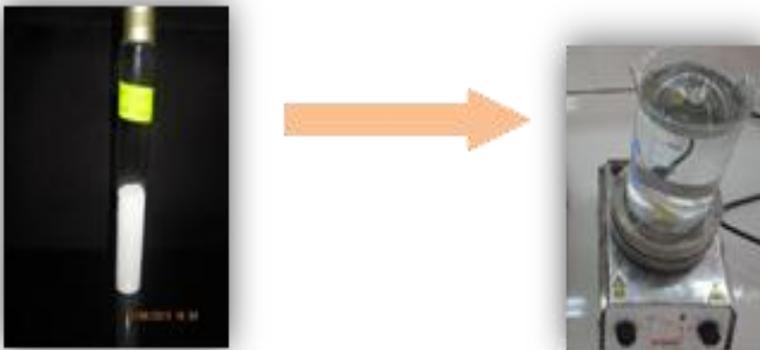


Figure N°28: Mise en suspension des nanoparticules du ZnO

B. Condition de culture

Les graines sont stérilisées à l'aide de l'hypochlorite de sodium à 2,5 % pendant 5 min puis rincées six fois avec de l'eau distillée.

Les variétés sont cultivées sous les conditions du laboratoire avec une photopériode jour/nuit de 11h/13h (Mars et Avril 2013), et des températures comprises entre 16-22°C.

Les graines sont stérilisées à l'aide de l'hypochlorite de sodium à 2,5 % pendant 5 min puis rincées six fois avec de l'eau distillée.

C. Protocole d'Exposition aux Nanoparticules.

Protocole 1 : Germination des grains de blé en hydroponie.

Pour le taux de germination en hydroponie dix (10) graines par variété sont mises à germer dans une boîte de pétri avec 07ml du milieu de Hoagland modifié et stérilisé cinq(05) boîtes de pétri sont utilisés pour chaque conduite d'exposition.

Après germination ; Cinq plantules sont dans des tubes remplis par 15 ml de Hoagland poursuivant leur développement pendant sept(07) jours nous permettant ainsi la mesure de l'ETP et la biomasse sèche.



Figure 29 : Mise en germination du blé en hydroponie
A : 1^{er} jour de la germination B : 7^{ém} Jour de la germination.



Figure N°30 : Culture du blé en hydroponie. A : Mise en place des plantules dans du milieu nutritif, B : L'aspect des plantules après 07 jours.

Protocole 2 : Germination de grains de blé dans le sable.

Dans des gobelets remplies de sable humide, nous avons mis à germer dix (10) grains de blé par variété. (Figure31). Les semis sont irrigués respectivement trois(03) fois par semaine avec de l'Hoagland (pH=5,5). Lorsque les plantules atteignent le stade trois feuilles, elles sont transférées dans des tubes à essai contenant le milieu nutritif

Hoagland et sont exposées aux différentes concentrations du ZnO durant une période de sept (07) jours supplémentaire.

Ce protocole a pour objectif d'analyser l'effet des NPs & de ZnO sur les paramètres physiologiques (pigments assimilateurs) et les paramètres biochimiques (enzymes antioxydants).



Figure 31 : Germination du blé dans le sable : A : Stade semis / B : Stade feuille.



Figure N° 32 : Exposition des plantules de blé aux NPs du ZnO

Tableau N°21 : Composition chimique du milieu nutritif Hoagland

| Produits Chimiques | Concentrations (mg/ml) |
|--|-------------------------------|
| Ca(NO₃)₂.4H₂O | 240 |
| KNO₃ | 100 |
| KH₂ Po₄ | 140 |
| Mg SO₄.7H₂O | 250 |
| H₃BO₃ | 0,7 |
| MnCl₂.4H₂O | 0,45 |
| CuSO₄.5H₂O Fe Cl₃.6H₂O | 0,025 |
| (NH₄)₆ MoO₂₄.4H₂O Na₂ CO₃ | 6,25.10 ⁻³ |
| Fe-EDTA: | 10 |
| EDTA.2Na.2H₂O | 08 |
| FeSO₄.7H₂O | 56,1 |
| KOH | |
| H₂SO₄ | Quelques gouttes |

4.2.2.2. Paramètres étudiées.

A. Paramètres de développement

Plusieurs paramètres de développement ont été étudiés dans notre contribution: taux de germination, longueur racinaire, biomasse sèche et évapotranspiration (ETP).

A1. Taux de germination (%)

Une graine est considérée comme germée lorsque sa radicule atteint 5 mm de longueur.

Le taux de germination est exprimé en pourcentage en suivant les lignes de conduite de (4S-EPA, 1996) (Larue 2011).

A2. Longueur Racinaire (LR).



Figure 33 : Mise en germination du blé en boîte de pétri.
A : 1^{er} Jour de la germination B : 7^{em} jour de germination

Les photos prises des racines sont transférés vers le logiciel Tps Dig version2, permettant la mesure de la longueur racinaire des plantules de blé germées dans des concentrations différentes de ZnO.

A3. L'Evapotranspiration (ETP) et la Biomasse Sèche (BMS).

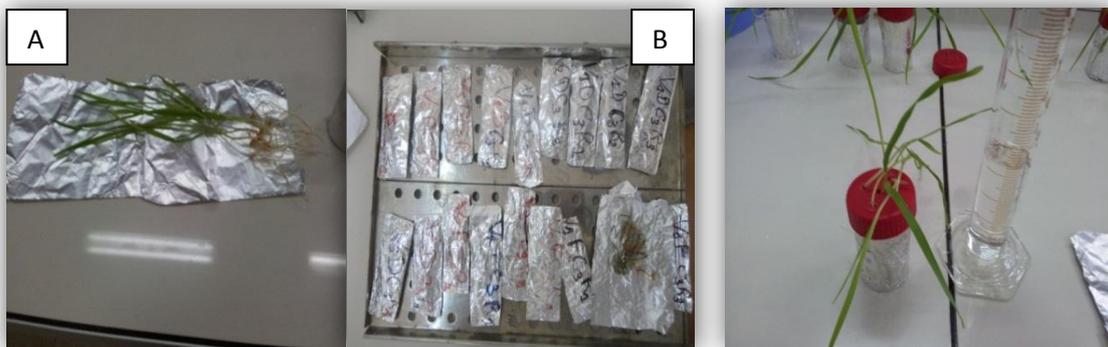


Figure N°34 : Mesure de la biomasse sèche. A: plantules fraîches B : plantules séchées pendant 48h et pesées.

Figure N°35 : Mesure de l'évapotranspiration des plantules du blé.

Après 7 jours de germination des graines dans les boîtes de Pétri, cinq (5) plantules par condition sont prélevées et transférées dans des flacons de 60 ml remplis de Hoagland modifié et stérilisé (Hoagland et al., 1950).

A la fin de l'expérience, les plantules sont séchées pendant 48 h à 60°C permettant la mesure, par pesée, de la biomasse sèche. L'ETP est également évaluée par différence de niveau du milieu nutritif restant dans le flacon en fin d'expérience, et est exprimée en ml/jour. La biomasse sèche est exprimée en mg.

B. Paramètres Physiologiques

B1. Teneur en Pigments assimilateurs.

L'extraction des pigments des feuilles (chlo a, chlo b et caroténoïdes) de plantules exposées aux nanoparticules de ZnO est réalisée par la méthode de (Holden 1975), Les teneurs en pigments sont déduites aux absorbances des longueurs d'onde 470, 645, et 663 nm d'après les formules de Moran (Moran 1982).

C. Paramètres Biochimiques.

C1. Evaluation du stress oxydant.

Les mesures du stress ont été réalisées après exposition de plantules de blé aux concentrations des nanoparticules de ZnO pendant 7 jours.

C2. Détermination de l'Activité des Enzymes Antioxydants.

L'extrait des racines fraîches de blé exposé aux nanoparticules a été utilisé, la méthode adoptée est celle de (Loggini1999).

C3. Dosage des Protéines.

Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de Bradford (Bradford 1976) la lecture s'effectue après réalisation de la gamme d'étalonnage.

Tableau 22 : Gamme d'Étalonnage

| Tube | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------------|-----|----|----|----|----|-----|
| Quantité de solution mère de BSA (µl) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
| Eau distillée (µl) | 100 | 80 | 60 | 40 | 20 | 0 |
| Réactif BBC (ml) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Quantité de BSA (µl) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |

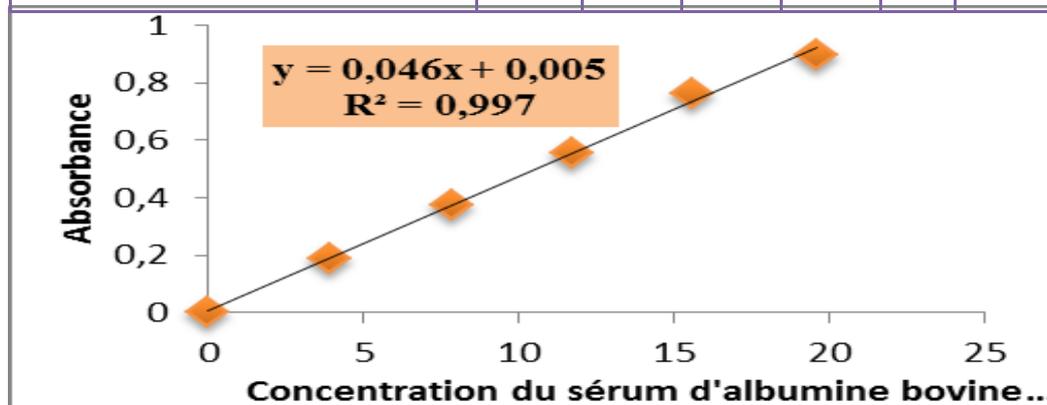


Figure N°36 : Dosage des Protéines : droite de régression exprimant l'absorbance en fonction de la concentration du sérum d'albumine Bovine (R^2 = Coefficient de régression).

C4. Détermination de l'Activité de l'Ascorbate Peroxydase (APX).

L'Ascorbate Peroxydase catalyse la réaction suivante :



Le dosage par spectrophotométrie de l'activité Ascorbate Peroxydase (APX) est réalisé suivant le protocole adopté par (Nakano et Azada, 1987). Le volume réactionnel est formé de 3 ml contenant :

Tableau 23: Protocole utilisé pour le dosage de l'activité de l'Ascorbate Peroxydase (APX).

| | Le volume réactionnel (µl) | Blanc (µl) |
|---|----------------------------|------------|
| Tampon Phosphate NaK-ascorbate (50mM NaK..0.5mM Ascorbate , PH=7.2) | 2850 | 2850 |
| Extrait enzymatique | 100 | / |
| H ₂ O ₂ à 3% (juste avant la lecture) | 50 | 50 |
| Eau Distillé | / | 100 |

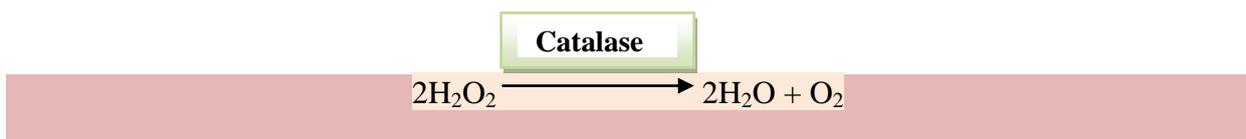
L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique.

L'absorbance a été mesurée par spectrophotomètre (JENWAY 6300), à 290 nm pendant 1min, pour un coefficient d'extinction molaire linéaire $\epsilon = 2800 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. L'activité de l'APX a été exprimée en n mol / min / mg de protéine.

C5. Détermination de l'activité de la Catalase.

La catalase est une enzyme cytosolique inductible dont la fonction est de protéger les systèmes biologique contre les espèces réactives de l'oxygène. Il s'agit d'une hémoprotéine tétramérique qui avec un atome de fer par sous unité, a une masse d'environ 240KDa (Vaughan 1997).

Elle est présente dans toutes les cellules aérobies, elle catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène en eau et oxygène gazeux par dis mutation selon la réaction suivante :



L'absorbance a été mesurée par spectrophotomètre à 240 nm pendant 1min, pour un coefficient d'extinction molaire linéaire ($\epsilon = 39400 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) due à la consommation de

H₂O₂ suivant la méthode (Cakmak, I et al 1991). La décroissance de l'absorbance est enregistrée pendant 02 minutes.

Le volume réactionnel est formé de 3 ml contenant:

| Tableau N°24 : Protocole utilisé pour le dosage de l'activité de la catalase. | Le volume réactionnel (µl) | Blanc (µl) |
|--|-----------------------------------|-------------------|
| Tampon Phosphate (50mM, pH=7.2) | 2850 | 2850 |
| Extrait enzymatique | 100 | / |
| H₂O₂ à 3% (juste avant la lecture) | 50 | 50 |
| Eau Distillé | / | 100 |

La réaction est déclenchée par l'ajout d'eau oxygénée, l'activité catalase est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

C6. Analyse des Lipoperoxydes membranaires : Dosage de Malondialdéhyde (MDA).

La peroxydation des lipides est estimée par l'évaluation de la teneur en Malon dialdéhyde (MDA) déterminée selon la méthode décrite par (Alia et al., 1995)

L'homogénéisation du tissu végétal dans l'acide trichloracétique (TCA) 5% à raison de 3ml pour 300 mg de tissu est suivie d'une centrifugation pendant 15 mn à 12 000 g. Au surnageant est ajouté un volume égal d'acide Thio barbiturique (TBA) 0,5% dans le TCA 20%. Le mélange est chauffé dans un bain marie à 95°C pendant 30 min. Pendant cette incubation, un complexe se forme entre le TBA et les composés aldéhydiques, essentiellement le Malon dialdéhyde (MDA) : TBA-MDA. La réaction est arrêtée par un refroidissement immédiat dans un bain de glace.

Après centrifugation à 10 000 g pendant 10 min, le surnageant est récupéré pour un dosage colorimétrique des Lipoperoxydes.

Le dosage est effectué à l'aide d'un spectrophotomètre (JENWAY 6705). L'absorbance du complexe TBA-MDA est mesurée à 532 nm contre un blanc constitué de tampon d'extraction. La densité optique est corrigée par une lecture à 600 nm. La concentration de MDA est calculée en utilisant son coefficient d'extinction molaire :

$$(\epsilon = 155 \text{ mM}^{-1}\text{cm}^{-1}) : \quad \mathbf{X = \frac{\Delta Do}{155} + \frac{Vt}{Vs} / \text{mg de protéines}}$$

X : micromole de substrat hydrolysé par mg de protéines ($\mu\text{M}/\text{mg}$ de protéines)

ΔDo : Différence de la densité optique obtenue après hydrolyse du substrat.

155 : coefficient d'extinction molaire du TBA ($\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$).

V_s : Volume de surnageant utilisé pour le dosage : 31.5 (ml).

V_t : Volume totale dans la cuve : 3 ml

mg de protéine : Matière végétale fraîche (g).

4.2.2.3. Analyse statistique des résultats.

L'analyse statistique des données réalisées dans la partie expérimentale, a été effectuée à l'aide du logiciel Statistica (version 8; Stat Soft Inc, 2008) avec implication de risque $\alpha = 0,05$.

Pour cela le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer l'effet des différentes concentrations chez les variétés.

4.2.3. RESULTATS ET DISCUSSION.

4.2.3.1. Paramètres de développement.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis relatif à la comparaison des médianes pour les paramètres de développement indiquent clairement qu'il existe des différences non

significatives ($p \geq 0,05$) entre le témoin et les traitées chez les trois (03) variétés vis-à-vis de l'évapotranspiration et la biomasse sèche (tableaux 25,26 et 27).

Les différences significatives ($p \leq 0,05$) sont apparues entre témoins et les plantules exposées aux nanoparticules à l'intérieur des variétés pour le pourcentage de germination et la longueur racinaire, les différences significatives entre le témoin et les traitées, ont été révélées au sein de la variété Ouarsenis par l'amélioration du pourcentage de germination chez les plantules exposés aux NPs (tableau 26). Ainsi que par la stimulation de l'élongation racinaire chez la variété Gtadur (tableau 25).

Tableau N° 25: Comparaison des paramètres de développement avec le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V1

| Paramètres de développement | H _{obs.} | ddl | p |
|-----------------------------|-------------------|-----|---------|
| Taux de Germination (%) | 4,37 | 4 | 0,36 NS |
| Longueur Racinaire (cm) | 6,23 | 4 | 0,18 NS |
| Evapotranspiration (ml) | 0,60 | 4 | 0,96 NS |
| Biomasse Sèche (mg) | 2,76 | 4 | 0,59 NS |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

Tableau N° 26 : Comparaison des paramètres de développement analysé chez le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V2.

| Paramètres de développement | H _{obs.} | ddl | P |
|-----------------------------|-------------------|-----|---------|
| Taux de Germination (%) | 1,29 | 4 | 0,86 NS |
| Longueur Racinaire (cm) | 11,33 | 4 | 0,023 S |
| Evapotranspiration (ml) | 3,76 | 4 | 0,44 NS |
| Biomasse Sèche (mg) | 3,80 | 4 | 0,43 NS |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

Tableau N°27: Comparaison des paramètres de développement analysé chez le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V3.

| Paramètres de développement | H _{obs.} | ddl | P |
|-----------------------------|-------------------|-----|---------------|
| Taux de Germination (%) | 10,22 | 4 | 0,04 S |
| Longueur Racinaire (cm) | 7,83 | 4 | 0,09 NS |
| Evapotranspiration (ml) | 7,96 | 4 | 0,09 NS |
| Biomasse Sèche (mg) | 4,81 | 4 | 0,30 NS |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

4.2.3.2. Paramètres physiologiques et biochimiques.

Concernant les paramètres physiologiques la comparaison des médianes a révélé des différences significatives entre les témoins et les traitées chez les trois variétés pour les teneurs en pigment assimilateurs. Par contre pour les paramètres biochimiques analysés, à part une accumulation du MDA chez l'ensemble des variétés, des différences non significatives entre témoin et traitées vis-à-vis de l'activité de la CAT et l'APx ont été remarquées au sein de certains lots de semences il s'agit surtout des semences de V1 et de V2.

Tableau N° 28 : Comparaison des médianes des paramètres physiologiques et biochimiques Analysés avec les 05 concentrations chez V1.

| Paramètres | H _{obs.} | ddl | P |
|----------------|-------------------|-----|----------------|
| Chlorophylle a | 13,03 | 4 | 0,011 S |
| Chlorophylle b | 12,83 | 4 | 0,012 S |
| Caroténoïdes | 13,50 | 4 | 0,009 S |
| CAT | 7,76 | 4 | 0,101 NS |
| APX | 9,63 | 4 | 0,047 S |
| MDA | 11,73 | 4 | 0,019 S |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

Tableau N° 29 : Comparaison des paramètres physiologiques et biochimiques analysé avec les cinq concentrations chez V2

| Paramètres | H _{obs.} | ddl | p |
|----------------|-------------------|-----|----------------|
| Chlorophylle a | 12,53 | 4 | 0,014 S |
| Chlorophylle b | 12,83 | 4 | 0,012 S |
| Caroténoïde | 13,23 | 4 | 0,010 S |
| CAT | 13,50 | 4 | 0,009 S |
| APX | 8,23 | 4 | 0,08 NS |
| MDA | 11,07 | 4 | 0,02 S |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

Tableau N° 30 : Comparaison des de la quantité des paramètres physiologiques et biochimiques analysé avec les cinq concentrations chez V3.

| Paramètres | H _{obs.} | ddl | p |
|----------------|-------------------|-----|----------------|
| Chlorophylle a | 12,83 | 4 | 0,012 S |
| Chlorophylle b | 12,83 | 4 | 0,012 S |
| Caroténoïde | 12,90 | 4 | 0,012 S |
| CAT | 12,17 | 4 | 0,016 S |
| APX | 12,17 | 4 | 0,016 S |
| MDA | 10,63 | 4 | 0,031 S |

NB : s ($p \leq 0,05$) ; ns ($p \geq 0,05$).

4.2.3.3. Impact des NPs du ZnO sur le blé dur.

4.2.3.3.1. Effet des nanoparticules du ZnO sur les paramètres de développement.

a. Taux de germination.

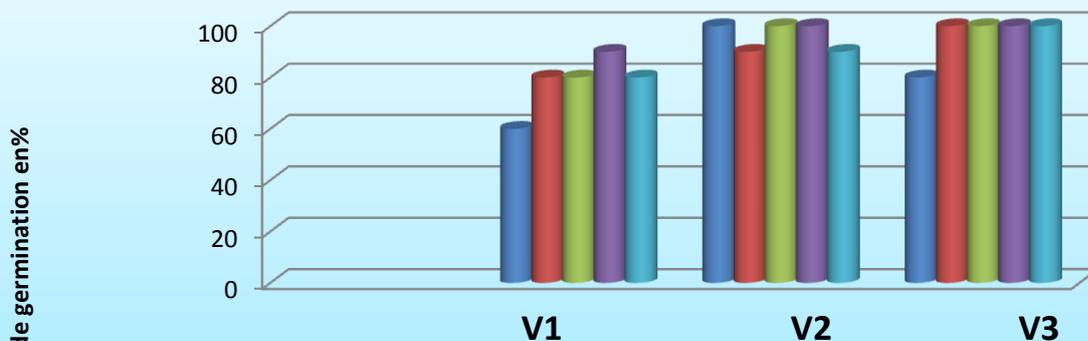
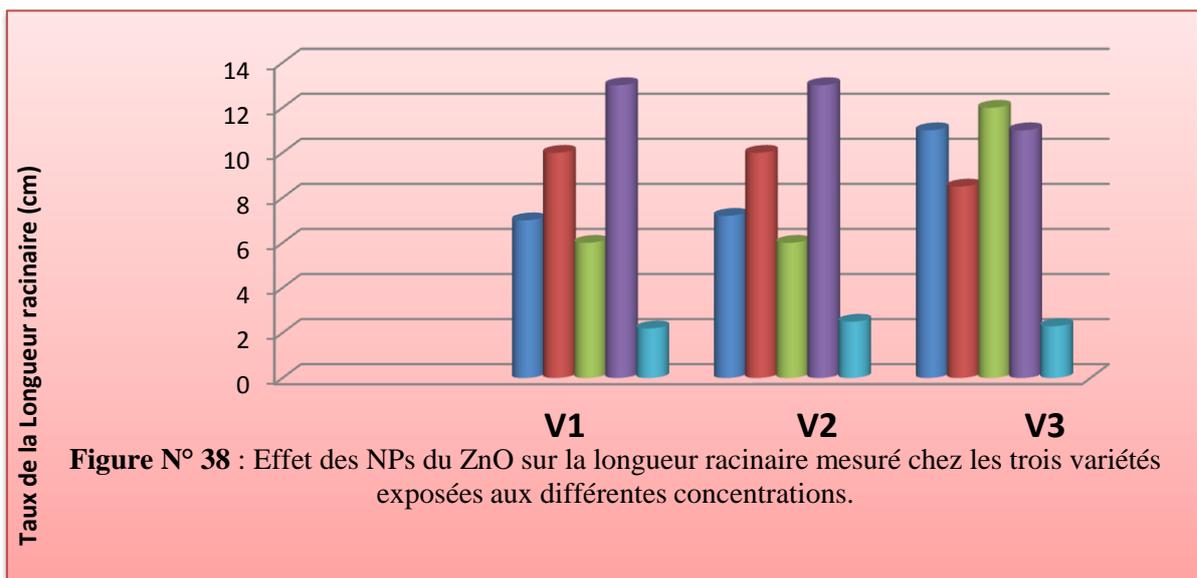


Figure N°37: Effet des NPs du ZnO sur le taux de germination chez trois variétés exposées aux différentes concentrations.

Nous constatons que chez la variété V3 le taux de germination a augmenté chez les graines exposées aux différentes concentrations (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, 0,5mg/ml).

En effet le taux de germination chez la V3 passe de 80% chez le témoin à 100% en présence des nanoparticules ➡ Augmentation considérable du taux de germination

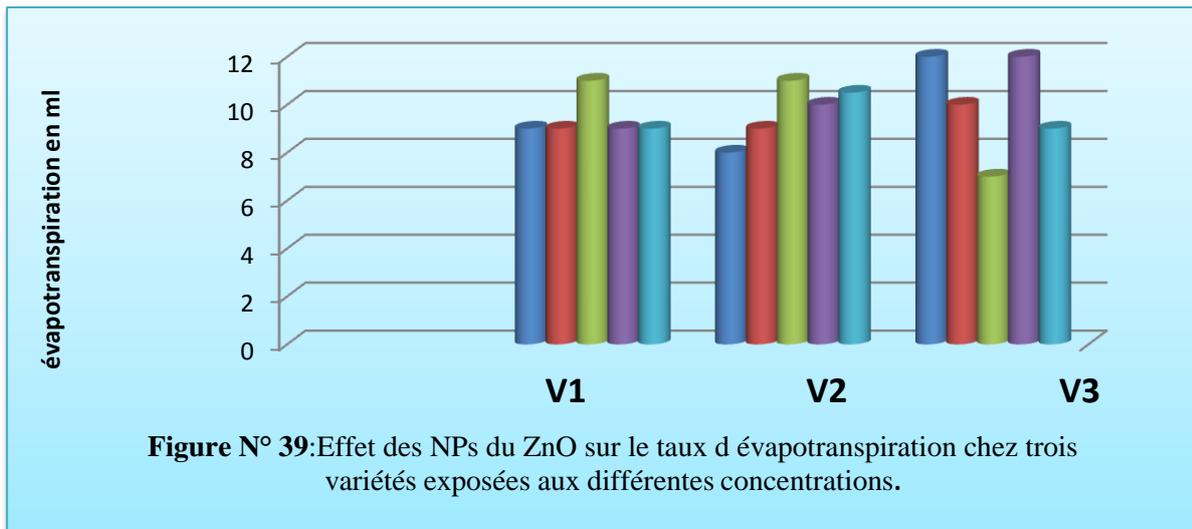
b. Longueur racinaire (LR).



Nous avons enregistré une augmentation de la longueur racinaire des plantules, chez V2 qui varie de 8,75 cm pour les témoins à 11,79 cm pour une concentration de 0,1 mg/ml du ZnO.

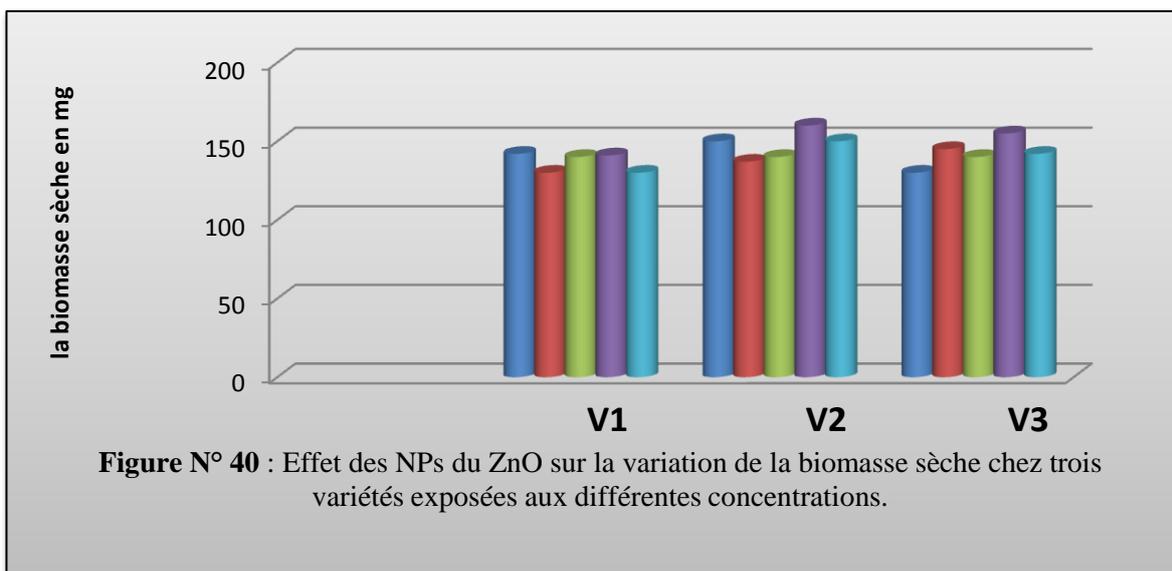
Par contre l'exposition à la forte concentration de (0,5 mg/ml) provoque une diminution de l'élongation racinaire qui peut atteindre jusqu'à 2 cm de longueur chez les trois variétés.

c. Evapotranspiration (ETP)



Les résultats statistiques révèlent des différences non significatives entre les témoins et les traitées de chaque variété, ce qui signifie que les différentes concentrations des nanoparticules utilisées (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, et 0,5mg/ml) du ZnO ne perturbe pas une telle fonction chez le blé dur.

d. Biomasse sèche (BMS)



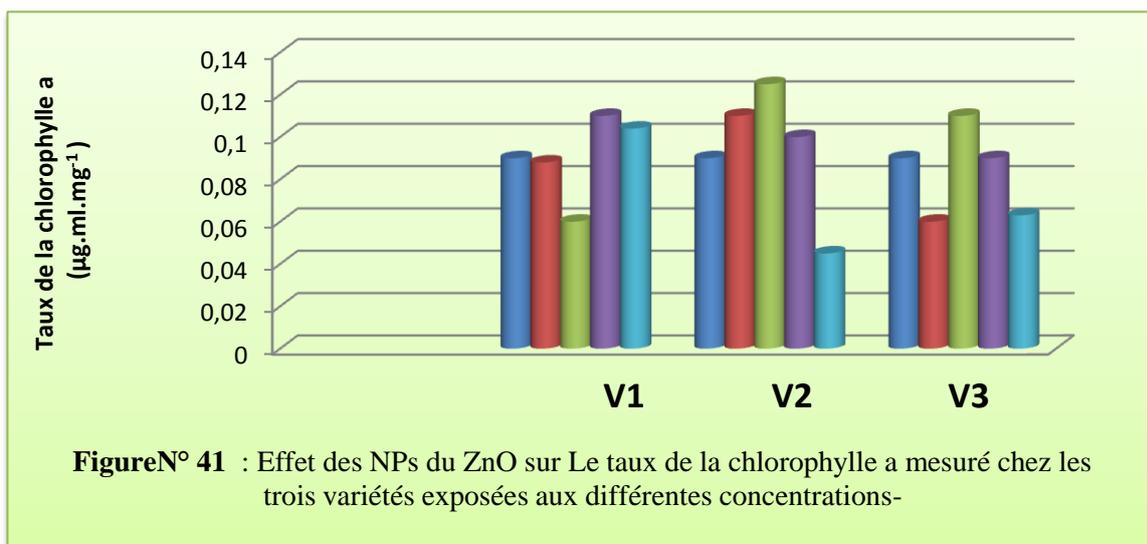
Affiche la variation de la biomasse sèche des plantules de trois variétés de blé dur en absence des nanoparticules (Témoin) et en présence des quatre concentrations croissantes du ZnO (0,01mg/ml, 0,05 mg/ml, 0,1mg/ml et 0,5mg/ml).

D'après les résultats statistiques, nous avons enregistré des différences non significatives entre les témoins et les quatre concentrations du ZnO au niveau de chaque variété. Nous constatons que les concentrations appliquées n'affectent pas la biomasse sèche.

4.2.3.3.2. Effet des nanoparticules du ZnO sur les paramètres physiologiques du blé dur

4.2.3.3.2.1. Effet des nanoparticules du ZnO sur les teneurs en Pigments assimilateurs.

a. Taux de chlorophylle a

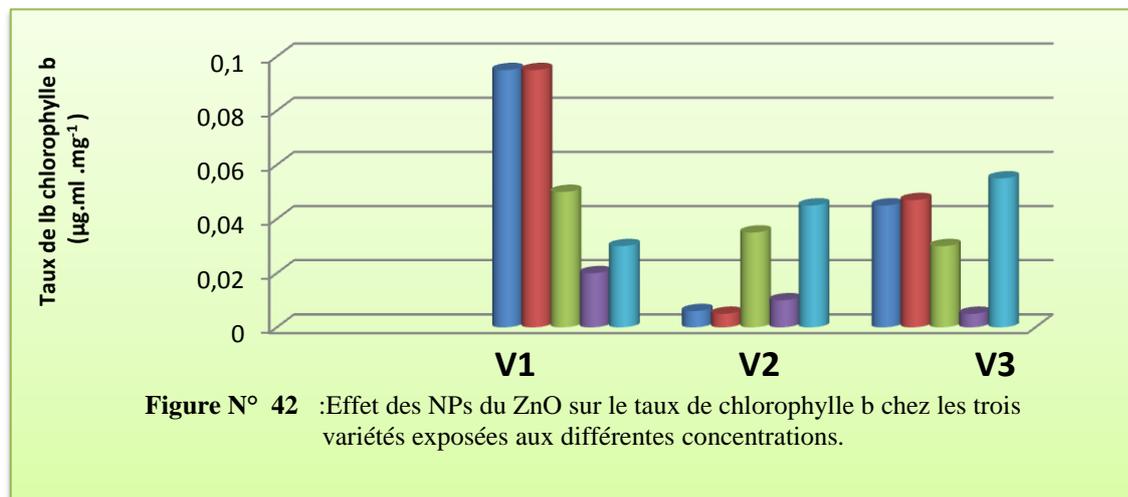


Les résultats statistiques révèlent des différences significatives entre les témoins et les quatre concentrations du ZnO au niveau des trois variétés V1, V2 et V3.

Une augmentation appréciable du taux de chlo a enregistré aux concentrations intermédiaires (0,05mg/ml et 0,1mg/ml) des Nps, et diminution de ce même taux à la forte concentration (0,5 mg/ml.) marquées chez V2 et V3.

En revanche chez V1 l'augmentation du taux de chlo a même aux fortes concentrations des nanoparticules atteignant jusqu'à $0.12 \mu\text{g}.\text{ml}^{-1}.\text{mg}^{-1}$.

b. Taux de chlorophylle b

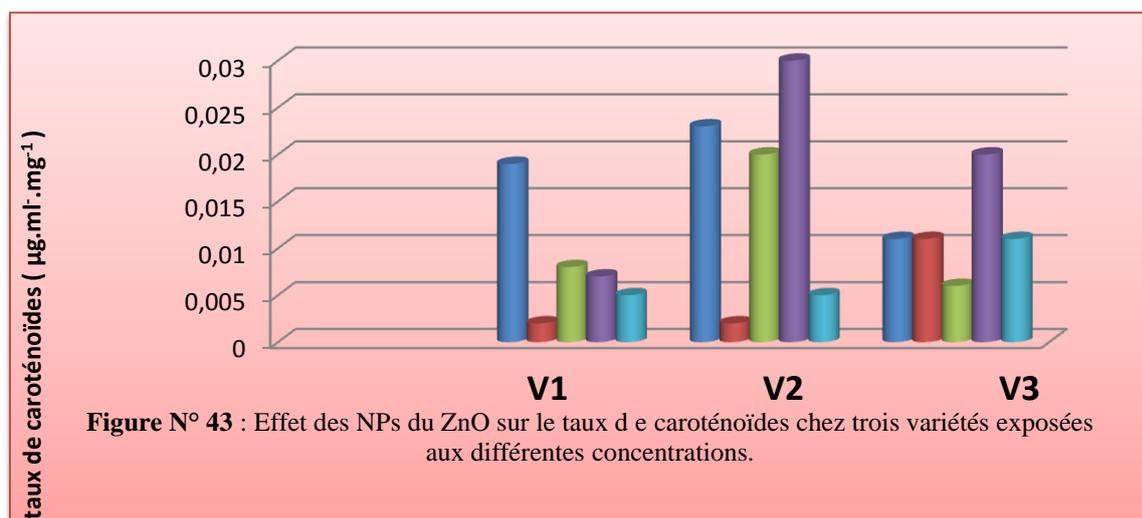


Les résultats statistiques révèlent des différences significatives entre les témoins et les quatre concentrations du ZnO au niveau de trois variétés V1, V2, V3.

Concernant V1 à l'exception de la plus faible concentration n'induisant aucun effet, une chute du taux de chlo b a été enregistrée aux autres concentrations chez les variétés.

Surtout au niveau de la V2 où la concentration chute de $0,06 \mu\text{g}.\text{ml}^{-1}.\text{mg}^{-1}$ vers $0,002 \mu\text{g}.\text{ml}^{-1}.\text{mg}^{-1}$.

c. Taux de caroténoïdes.



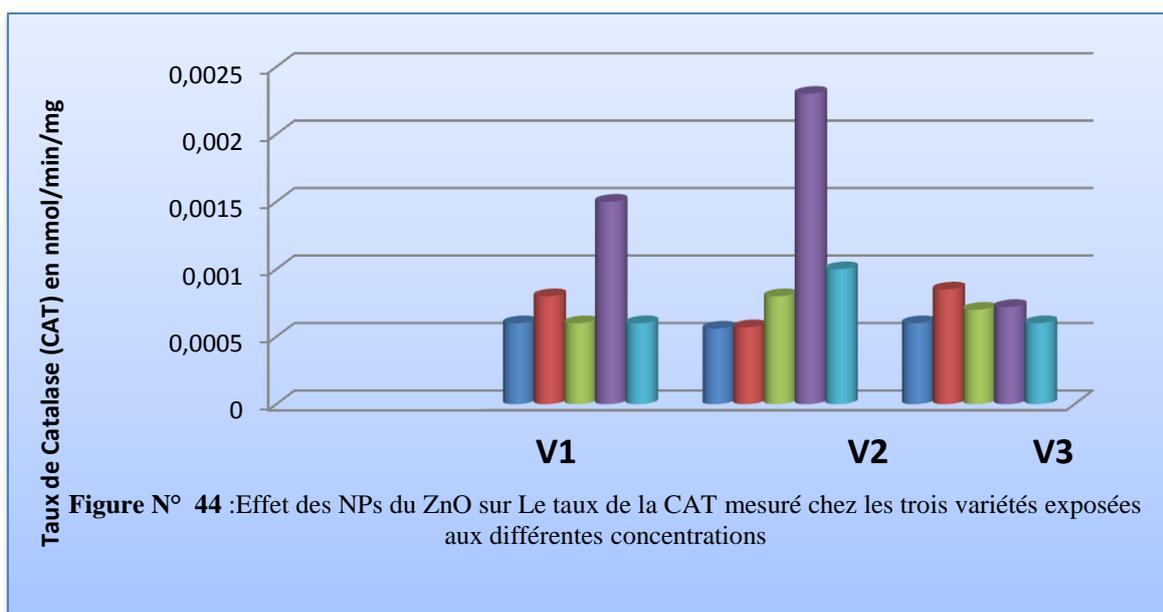
Les résultats statistiques révèlent des différences significatives entre les témoins et les quatre concentrations du ZnO au niveau de trois variétés V1, V2, V3.

En général diminution du taux de caroténoïdes après une exposition aux Nps de ZnO surtout à la faible concentration atteignant un taux de $0,002 \mu\text{g.ml.mg}^{-1}$ par rapport au témoin $0,019 \mu\text{g.ml.mg}^{-1}$ au niveau de la faible concentration ($0,01\text{mg/ml}$ du ZnO) chez V1 et V2, et élévation de ce même taux à la concentration intermédiaire $0,1\text{mg/ml}$ chez V2 et V3.

4.2.3.3.3. Impact des NPs du ZnO sur les paramètres biochimiques du blé dur

4.2.3.3.1. Effet des nanoparticules du ZnO sur les activités enzymatiques.

a. Taux de catalase (CAT).

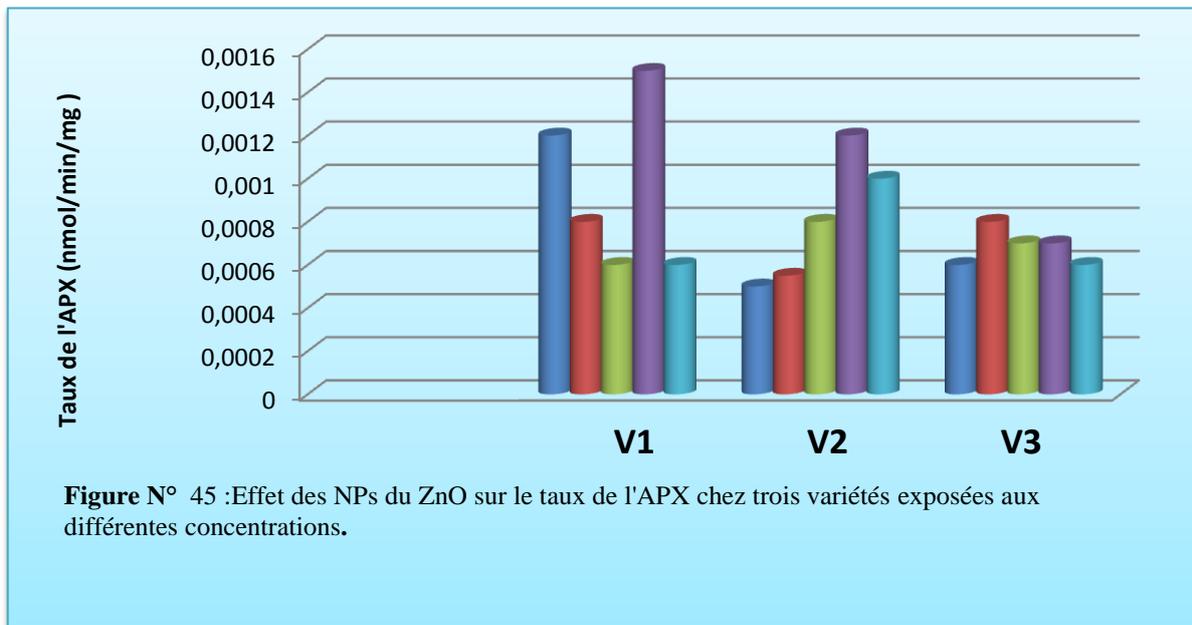


Nous constatons que chez la variété V1 existe des différences non significatives entre le témoin et les traitées, tandis que chez les variétés V2, V3, nous remarquons des différences significatives.

Concernant les résultats significatifs nous avons remarqué une forte augmentation de l'activité de catalase chez V2 et V3, qui passe de $0,00052 \text{ nmol/min/mg}$ au niveau du

témoin à 0,0024 nmol/min/mg avec la concentration de 0,1mg/ml des NPs chez la V2 ;
De même l'activité de catalase de laV3 tend à augmenter légèrement à partir de la faible concentration de 0,01 mg/ml.

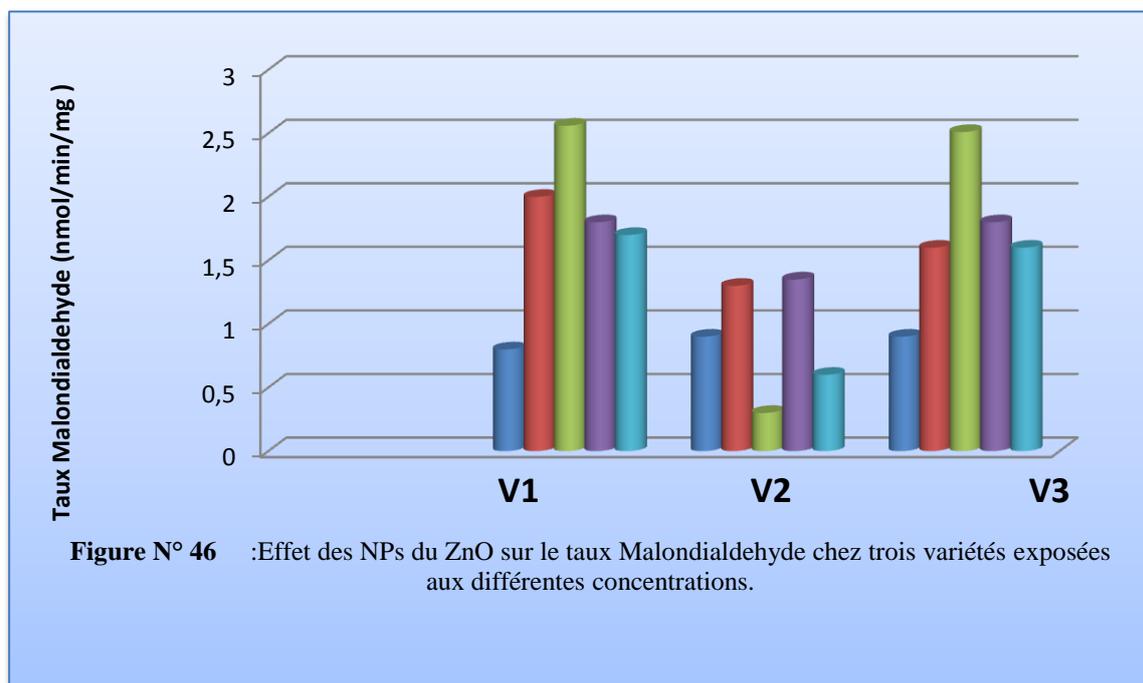
b. Taux Ascorbate Peroxydase (APX).



Les résultats statistiques révèlent des différences significatives entre les témoins et les quatre concentrations du ZnO au niveau de deux variétés V1 et V3 par contre chez V2 nous avons enregistré des différences non significatives entre le témoin et les traités. Chez V3 l'activité de l'APX subit une augmentation surtout à la faible concentration (0,01mg/ml), où l'activité de l'enzyme passe de 0,0006 nmol/min/mg pour les témoins à 0,0083 nmol/min/mg.

En revanche chez V1 nous remarquons une augmentation de l'activité de l'APX uniquement au niveau de la concentration 0,1mg/ml non enzymatique.

c. Taux de Malondialdehyde (MDA)



Les résultats statistiques révèlent des différences significatives entre le témoin et les traitées au niveau de chaque variété. Nous constatons que le taux de MDA est augmenté, chez V1 aux différentes concentrations d'ailleurs nous avons enregistré une élévation passant de 0,85 nm/min/mg pour le témoin à 2,56 nm/min/mg pour une concentration de 0,05mg/ml des NPs.

De la même façon pour V2 le taux de MDA tend à augmenter légèrement, la plus faible concentration enregistré par rapport au témoin.

Chez V3 nous avons enregistré un taux de 0,89 nm/min/mg en absence des nanoparticules et une élévation atteignant 2,51 nm/min/mg lors de l'exposition à une concentration de 0,05mg/ml.

En effet l'exposition du blé dur aux nanoparticules du ZnO avec des concentrations minimales (0,01mg/ml, 0,05mg/ml et 0,1mg/ml) provoque l'augmentation du MDA qui indique l'augmentation du mécanisme de la peroxydation lipidique.

4.2.4. DISCUSSION

Les nanoparticules peuvent se retrouver dans tous les compartiments environnementaux (eau, sol, air). Par conséquent, l'ensemble des espèces de la chaîne alimentaire, peut être exposé aux nanoparticules ((Simon-Deckers 2008).

L'impact des nanoparticules métallique est dû à leurs formes, d'autres études ont révélé que la toxicité des nano-objets était fonction de la taille ou de l'état d'agglomération (Simon-Deckers et al., 2009). Ainsi, les conditions expérimentales différentes peuvent également induire des résultats de toxicité différents ((Simon-Deckers et al., 2009).

D'autres études suggèrent un effet de la dissolution des nanoparticules, notamment pour les travaux de (Zhan et al., 2003), la toxicité proviendrait de la libération des ions Zn^{2+} . Cette toxicité des nanoparticules métalliques à base de ZnO sera comparée à celle des ions Zn^{2+} apportés.

Dans cette thèse, nous avons étudié l'impact des nanoparticules de ZnO sur trois échantillons de variétés de blé dur (Boussallem, Gtadur et Ouarsenis).

Cette étude nous a permis de mettre en évidence les relations entre les concentrations des nanoparticules de ZnO et les effets qu'elles induisent.

4.2.4.1. Impact sur les paramètres de développement

Nous avons en premier lieu enregistré que les nanoparticules de ZnO ne provoquent pas un effet toxique sur la germination chez les trois variétés. Ce résultat est en accord avec les travaux de (Lin et al., 2003), qui ont rapporté que les nanoparticules de ZnO n'ont pas affecté la germination des graines de radis, colza, ray-grass, de la laitue et concombre à l'exception des semences de maïs. Ainsi (Boonyanitipong et al., 2011), montrent que les différentes concentrations des nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO) et

des nanoparticules de dioxyde de titane (TiO_2) ne contribuent pas à la réduction du taux de la germination des graines du riz Oryza sativa L.

D'un autre côté, nous avons enregistré une augmentation du taux de la germination des semences de blé chez la variété Ouarsenis aux différentes concentrations du ZnO (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, 0,5mg/ml), ce résultat va dans le sens de ceux de (Khodakovskaya, et al., 2009), qui ont mis en évidence une augmentation considérable du taux de la germination des graines de tomate exposées aux nanotubes de carbone (NTC).

Concernant l'impact des nanoparticules de ZnO sur l'allongement des racines du blé dur chez les trois variétés. On note une tendance à une augmentation de l'élongation racinaire du blé après exposition aux concentrations minimales surtout au niveau de la concentration de 0,1mg/ml.

Il semble donc qu'une exposition aux nanoparticules en suspension dans du Hoagland entraîne une augmentation de l'absorption par l'assise pilifère se traduisant par l'induction de l'élongation racinaire significative.

Une hypothèse justifiant l'induction racinaire après exposition dans du Hoagland est la suivante :

Les nanoparticules présentes en suspension sont à l'origine de nouveaux micropores dans les racines, (s'agit-il de plasmodesmes ?). Ces micropores permettant une nutrition hydrominérale plus efficace expliquant ainsi une induction de l'élongation racinaire importante (Larue, 2011).

D'autre part nous constatons que la forte concentration de 0,5mg/ml des nanoparticules de ZnO pouvait inhiber l'élongation des racines des grains de blé.

Notre résultat est similaire à ceux de (Shaymurat et al., 2011), qui ont étudié l'effet des nanoparticules de ZnO sur la croissance des racines d'ail (*Allium sativum L.*) où les résultats montrent que l'Oxyde de Zinc provoque une inhibition de la longueur des racines lorsqu'ils sont traités par une concentration de 50 mg /L de ZnO.

D'autre part (Yang et al., 2005) ont constaté que les nanoparticules d'alumine (Al_2O_3) à 2000 mg /l pouvaient inhiber l'allongement des racines de cinq espèces végétales (maïs, concombre, soja, le chou et la carotte).

Cette inhibition de la croissance des racines du blé pourrait être due d'une part à la toxicité de ZnO qui provoque des aberrations chromosomiques, ces aberrations pourraient conduire à un arrêt de la mitose et la mort cellulaire (Zhan et al., 2003) d'autre part l'agglomération des particules de ZnO (forte concentration) dans les racines pourrait perturber l'homéostasie hormonal celui de l'auxine (Larue, 2011).

Pour les deux autres paramètres de développement : la biomasse sèche et l'évapotranspiration des plantules de blé, nous n'avons enregistré aucun effet lors de l'exposition aux différentes concentrations de ZnO. Nos résultats sont semblables à ce de (Larue, 2011), qui a étudiée l'impact des nanoparticules de TiO_2 sur le blé, dont les résultats montrent qu'il n'existe pas d'effet sur la biomasse sèche et l'évapotranspiration mesurés aux différentes concentrations des NPs de TiO_2 .

4.2.4.2. Impact des nanoparticules sur les paramètres physiologiques

Concernant la chlo a; Les nanoparticules de ZnO, en général les fortes concentrations ont induit l'augmentation du taux de chlo a chez les trois variétés au contraire les faibles concentrations ont provoqué la diminution de ce même taux.

Le taux de la chlo b montre une diminution de ce pigment chez les trois variétés suite à une exposition aux nanoparticules de ZnO.

La variation du taux des Carot chez les trois variétés suite à une exposition aux différentes concentration.de la même manière que pour les chlorophylles l'exposition à la plus faible concentration 0,01mg/ml provoque une forte diminution du taux des Carot. Tandis que chez la V2 le taux des Carot tendent à augmenter au niveau de la concentration intermédiaire 0,1mg /ml.

Les caroténoïdes sont parmi les antioxydants non enzymatiques et l'élévation du taux de ces pigments indique que l'organisme (plantule de blé) subit un déséquilibre au niveau de la balance Red-Oxe (surproduction des espèces réactives à l'oxygène). Pour se fait le taux des Caroténoïdes est augmenté pour éliminer les ERO.

4.2.4.3. Impact des nanoparticules sur les paramètres biochimiques

Les résultats concernant les effets des nanoparticules ZnO sur l'activité de la catalase, montre une légère augmentation du taux de cette enzyme antioxydant mesuré chez les semences de deux variétés V2 et V3 suite à une exposition aux concentrations de ZnO, à l'exception d'une seule concentration qui a induit une très forte activité de cette enzyme.

Notre résultat sur la variation de l'activité peroxydase mesurée chez les semences de blé exposées aux nanoparticules de ZnO, est similaire à ceux de (Hernandez-Viezcas et al., 2011), qui ont déterminés une augmentation du taux de l'enzyme de la peroxydase chez *Velvet mesquite* à une concentration de 400mg/ml de ZnO. Par contre dans notre étude l'augmentation du taux de la peroxydase est enregistrée à partir de faible concentrations de 0,01mg/ml chez V3. Et à 0,1mg/ml de ZnO chez les semences de V1. D'autre part aucun effet n'a été enregistré chez la variété V2.

Concernant l'impact des nanoparticules de ZnO sur le taux de MDA, nous avons enregistré une augmentation considérable du taux de MDA surtout chez les semences de

V1 aux différentes concentrations. Mais pour V2 et V3 nous avons constaté que l'augmentation a été provoquée par certaines concentrations (faibles et moyennes concentrations).

4.3. Conclusion générale

L'intérêt de cette thèse réside dans l'amélioration des semences de multiplication du blé dur aussi bien pour l'optimisation des rendements que pour une meilleure qualité germinative et un bon développement et ceci en agissant sur certains facteurs de culture tel que :

- ❖ Les engrais de fonds chimique différents dans leur constitution.
- ❖ Des précédents cultureux différents pour relever l'importance du facteur pédologique. En insistant toujours sur le système de culture.

(Relation : plante \longleftrightarrow Sol \longleftrightarrow Plante.

Ce que nous pouvons avancer d'après l'analyse des traitements statistiques les plus adéquats, les résultats obtenus peuvent être résumé ainsi :

1. L'influence du facteur précédent cultural sur le développement des variétés utilisées et traduit par des rendements très fluctuant avec une certaine supériorité enregistrée chez les variétés semées sur le Sorgho atteignant jusqu'à 10.2 kg (41 qx/ha).
2. De même l'analyse pédologique des types de sol à montrer une légère élévation dans la majorité des paramètres de cette parcelle en comparaison avec l'autre parcelle.

Ceci pourrait être dû à la nature du développement du métabolisme du Sorgho (plante tropicale) cultivé en fin de saison par rapport au blé de même, c'est une plante en C4 (incorporant le carbone au malate) et est de forte activité photosynthétique donc apportant plus de fumure organique après récolte d'où l'explication en partie de rendements très élevés.

L'influence du facteur trophique constitué par l'engrais de fond, avec ou sans potassium, nous avançons que : Dans l'ensemble les blocs ayant reçu le Fosfactyl ont donné les meilleurs rendements aussi bien sur la parcelle jachère que sur l'autre parcelle

Sorgho et ceci pourrait être dû en partie à la présence du potassium et un autre élément il s'agit du soufre.

Quant aux comportements des variétés en réponse aux variations des deux facteurs impliqués dans cette étude, les variétés utilisées peuvent être classées en trois groupes en suivant leurs récoltes :

1^{er} groupe : Formé de variétés à haut rendement qui : Carioca, Boussallem et Sersou.

2^{ém} groupe : Représenté uniquement par Ouarsenis avec des rendements moyens.

3^{ém} groupe : Renferme Gtadur, Waha et MBB avec des rendements faibles surtout chez MBB.

Mais le plus surprenant ce sont les faibles rendements affichés par Waha et Gtadur des variétés très utilisées dans la région et que le MBB variété utilisé beaucoup plus dans l'Ouest du pays

Selon notre avis malgré que Carioca peut être qualifié par la meilleure variété.

Les variétés les plus intéressantes à recommander pour la culture dans cette région sont Boussallem, Sersou et Ouarsenis qui ont montré non seulement des bons rendements mais aussi une régularité de leurs rendements en grains au champ.

En général le développement des nanotechnologies et de leurs utilisations, aura très certainement pour conséquence une augmentation de la concentration en nanoparticules dans l'air, l'eau et le sol. Ils pourront donc atteindre les écosystèmes.

A cet égard, nous nous sommes penchés sur l'étude de l'impact des nanoparticules du ZnO sur les végétaux qui sont un lien entre les trois compartiments air-sol-eau en raison de leur localisation à la base de la chaîne trophique. Il est donc essentiel de s'intéresser aux conséquences d'une contamination aux nanomatériaux sur ce chaînon.

Dans le cadre de cette contribution nous avons réalisé une étude toxicologique des nanoparticules de type ZnO sur les semences de trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.), dont le but est l'évaluation de l'impact d'une série de concentrations des NPs de ZnO (0,01, 0,05, 0,1, 0,5 mg/ml) sur des paramètres de développement, physiologiques (pigments assimilateurs) et des paramètres biochimiques (CAT, APX, et MDA) .

A travers l'étude préliminaire de l'impact des nanoparticules de synthèse sur les paramètres de développement, physiologiques et biochimiques du blé dur en culture hydroponique, et sur sable, nous avons abouti aux résultats suivants :

- ✓ L'amélioration du taux de germination chez le lot de semences Ouarsenis V3, aux nanoparticules de ZnO, tandis que chez les autres lots de semences aucun effet positif ou délétère n'a été enregistré.
- ✓ Le lot de semences Gtadur V2 s'est caractérisé par une élongation racinaire considérable des graines dans un intervalle de [0,05-0,1 mg/ml] de ZnO.
- ✓ Une forte concentration de 0,5 mg/ml en nanoparticules a provoqué une inhibition de l'allongement racinaire pour les graines des trois variétés.
- ✓ Les nanoparticules de ZnO n'exercent pas d'effet néfaste sur l'évapotranspiration et la biomasse sèche des plantules des trois lots de semences traitées.

Les résultats préliminaires de cette étude suggèrent que les nanoparticules de ZnO ont des effets bénéfiques à de faibles concentrations sur les paramètres de développement du blé dur (amélioration de la germination et induction de l'élongation racinaire), et des effets négatifs à de fortes concentrations qui se manifestent par la réduction et l'inhibition de l'élongation racinaire.

Ces derniers résultats signifient que les nanoparticules de synthèse du ZnO améliore les paramètres de développement aux faibles concentrations au contraire les fortes concentrations altèrent beaucoup ces mêmes paramètres.

Les teneurs en Chlorophylles a , b et Caroténoïdes ont subi des variations d'une variété à l'autre et en fonction des concentrations par la diminution du contenu en chlorophylle b un effet bénéfique a été remarqué par l'augmentation du contenu de chlorophylle a surtout à la forte concentration et en caroténoïdes aux concentrations intermédiaires.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

A

Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.2010: Evaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement. Maisons-Alfort Mars 2010.

Aich Hamid 2010 : Rapport Septembre 2010 sur l'évolution des activités de la CCLS de Souk Ahras période 1980/1981 à 2009/2010.

Alabouvette C., D. Backhouse, C. Steinberg, N.J. Donovan, V. Edel-Hermann and L.W. Burgess, 2004. Microbial diversity in soil-effect on crop health. In: Managing Soil Quality: Challenges in Modern Agriculture (P. Schjon-ning, S. Elmholt, B.T. Christensen, ed.), CAB International, Wallingford, UK, 121–138.

Alia, Prasad, K.V.S.K., Pardha Saradhi, P.1995: Zinc induced changes in the levels of free radicals and proline in brassica juncea and Cajanus cajan. Phytochemistry 39: 45-47.

André Musy et Mark Soutter.,1991 : Physique du sol ; 1^{er} Edition ;293p.

Angélique, Simon-Deckers. 2008. Effets biologiques de nanoparticules manufacturées : Influence de leurs caractéristiques ». Thèse de doctorat en Toxicologie humaine et environnementale. L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro Paris Tech). France. 281p.

Angélique, Simon-Deckers., Loo, S., Mayne-L'HermSaite, M., Herlin-Boime, N., Menguy, N., Reynaud, C., Gouget, B. et Carriere, M. (2009). Size- Composition- and Shape-Dependent Toxicological Impact of Metal Oxide Nanoparticles and Carbon Nanotubes toward Bacteria. Environmental Science & Technology 43(21): 8423-8429.

Angers, D.A. et M. Giroux. 1996. Recently deposited organic matter in soil water stable aggregates. Soil Sci. Soc. Am. J.60:1547-1551.

Arnon I., 1972, "Crop Production in Dry Regions. I. Background and Principles," Leonard Hill, London. Asana, R. D., and Mani, V. WATER STRESS 443.

Auger P.L., (2000) : Intolérance multiple aux produits chimiques (ou polytoxico-sensibilité), Bulletin d'information en santé environnementale (BISE) , Vol 11, N° 1, Janvier-Février 2000, pp 1-4

B

Bailey K.L., Lazarovits G., 2003. Suppressing soil-borne diseases with residues management and organic amendments. *Soil & Tillage Research* 72: 169-180.

Baschet J-F., 2009 : Le soutien à l'agroenvironnement en France sur la période 2000-2006. *NSE n° 33*, Novembre 2009, pp.41-66.

Baschet J.P., 2009. Fiche variable : gestion de l'azote. . *Agriculture Energie* 2030[Paris]: 9 p.

Belahcene N., Mouaïssia W., Zenati N and Djebbar M R 2015 . Etude de l'effet d'un stress oxydatif causé par un herbicide systémique Cossack sur le blé dur (*Triticum durum* Desf.) *International Journal of Innovation and Scientific Research* .ISSN 2351-8014 Vol. 14 No. 1 Mar. 2015, pp. 104-111.

Belaid D.,1987. Etude de la fertilisation azotée et phosphatée d'une variété de blé dur (Hedba 3) en condition de déficit hydrique. Mémoire de magister. INA El -Harrach, Alger.108p.

Bendjedid H.,2010 : Caractérisation des sols de la haute vallée de Medjerda. Mémoire de DES. Université Mohamed Chérif MSSAADIA Souk Ahras .55p.

Boiffin J. et Sebillotte M ,1982 . "Fertilité Potentialité, Aptitudes culturales. Signification actuelle pour l'agrom".In no spécial BTI "Fertilité du Milieu et Agriculture" no 370-372 Ministère de l'Agriculture, PARIS.

Bolinder, M. 2003. Contribution aux connaissances de la dynamique du C dans les systèmes sol-plante de l'Est du Canada. Thèse Ph.D. Univ. Laval, Québec. 124 p.

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.

Bord J-P (1981). Cartographie de l'utilisation du sol dans l'Est algérien : essai de zonage agricole. Thèse de doctorat 3^{ème} cycle Université Paul Valéry - Montpellier III, p326.

Boudenne J-L ., Bruno C 2009: La nanométrie pour l'évaluation des risques liés aux nanoparticules. ANES. Bulletin de veille scientifique N°12. Santé /Environnement / Travail. Février 2011.

Boulouedenine M., (2006). Thèse de doctorat en physique des semi-conducteurs. Université. BADJI Mokhtar Annaba.- Algérie- P.134.

Bradford MM., 1976: A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-Dye Binding . ANALYTICAL BIOCHEMISTRY 72, 248-254 (1976)

Brinis L., 2012 : 3^{èmes} Rencontres des Podiums de FERTIAL : Fertilisation des céréales & sécurité alimentaire : FERTIAL News : Magazine édité par FERTIAL N°25 Février 2012.

Brisson N., Gervois ZR., Benoit M., (2007) : Changements climatiques et pratiques agricoles Regards vers le passé et le futur, In Seminary STICS, 20-22 mars 2007, Reims, France.

Brisson N., Launay M., Mary B. and Beaudoin N., (2009): Conceptual basis, formalizations and parameterization of the STICS crop model, Quae (Eds), Versailles, 297 p.

Bulletin fourrages MARS 2010 : Note d'informations techniques de la chambre d'agriculture pour la gestion de vos fourrages.(chambre d'agriculture haute- Garonne).

Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. La synthèse du rapport d'étude Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides. Inra Editeur (France) 90 p.

C

C E A 2005. Le nanomonde, de la science aux applications. *Clefs du CEA, été 2005, numéro 52.*

Calvet, R. (2003). *Le sol : propriétés et fonctions. Tome 1: Constitution et structure, phénomènes aux interfaces..* Paris, FRA : Editions France Agricole, Dunod, 456 p.

Cakmak, I. and Horst, W.J. (1991). Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxidase dismutase, catalase and peroxidase activities in roottips of soybean (Glycine max). *Physiol. Plant*, 83: 463-468

Chamayou H. et Legros J.P, 2003 : Les bases physiques, chimiques et minéralogiques des sciences du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France .Paris. Pp212-213.

Chiahi N., 2010 : Programme national de recherche PNR **Code de projet :** 1/u41/4487 du 02/11/2011 **INRAA El harrach – Alger.**

Chiahi N., Brinis L et Tahar A., 2009 : Etude variétale de la vigueur et de la viabilité sur trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) stockés pendant différentes périodes à une zone semi-aride. Séminaire international sur "La protection et préservation des écosystèmes sahariens" les 13, 14 et 15 Décembre 2009 à l'université KASDI Merbah-Ouargla,-Algerie.

Chiahi N., Brinis L et Tahar A. 2009 : Influence des herbicides systémique sur le comportement de blé dur (*Triticum durum* Desf.) en région semi-aride. Séminaire international sur "La protection et préservation des écosystèmes sahariens" les 13, 14 et 15 Décembre 2009 à l'université KASDI Merbah-Ouargla.-Algerie-

Chiahi N., 1995 : Influence de quelques herbicides sur les paramètres morphologiques et biochimiques de trois variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse magister : Université BADJI Mokhtar. Annaba, P86.

Clément M et Françoise P., 2003. *Analyse chimique des sols : méthodes choisies* Paris: Tec et Doc, 2003, 388p.

Crabbe V., 2007 : Quels enseignements pour la toxicologie des nanoparticules manufacturées ? Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du grade académique de diplômé d'études Spécialisées en gestion de l'environnement. Université Libre de Bruxelles . P69.

D

Dalal R.C et R.J. Mayer. 1987. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. Aust.J. Soil Res. 25:83-93.

Dalmastri C, Chiarini L, Cantale C, Bevivino A, Tabacchioni S (1999) Soil type and maize cultivar affect the genetic diversity of maize root-associated Burkholderia cepacia populations. Microb Ecol 38:273–284.

Daniel H (1988) : L'eau et le sol « principes et processus physiques ». Collection PEDASUP 5 Louvain-la -Neuve. 288 p

Daniel J., Fiorino M., 2010: Voluntary Initiatives, Regulation, and Nanotechnology Oversight . Woodrow Wilson International Center for Scholars. P56.

Davet P., 1996 : Vie microbienne du sol et production végétale .INRA Paris. p383.

Davies K et Sadler B.,(1997) : Evaluation environnementale et santé humaine : perspectives, approches et orientations, document d'information pour l'étude internationale sur l'efficacité de l'évaluation environnementale. 44 pages.

Derouiche G.,2007 : B N E D E R (Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural) : Les risques climatiques et agriculture algérienne. Séminaire Alger -Hôtel El-Aurassi 10 Juin 2007.

Destain J.-P., François E. and Guiot J., 1990. Fertilizer nitrogen budgets of Nitrogen-15-labelled sugar beet beta-vulgaris tops and nitrogen-15-labeled sodium nitrate dressings split-applied to winter wheat *Triticum-Aestivum* in microplots on a loam soil. *Plant Soil*, **124**(2), 257-260.

Diome F., 1996 : Rôle de la structure du sol dans son fonctionnement hydrique sa quantification par la courbe de retrait, doctorat de 3ème cycle université Cheikh Anta Diop de Dakar, p120.

Duchaufour Ph., 1977 : Pédologie. Pédogénèse et classification. Edition Masson. Paris tome I. 477p.

Duchaufour Ph. ; 2001 : Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. 6 éditions. Dunod, 331 p

Duhamel du Monceau H.L., 1758. Explication de plusieurs termes de botanique et d'agriculture, in : *La physique des arbres*, t. 2 : 359-432. Paris.

Duthil J., 1973 : Eléments d'écologie et d'agronomie, T3, Ed. J.B. Baillièrè. 654p.

E

Elmi A. A., Madramootoo C., Egeh H., Liu A. G et Hamel C. 2002. Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management. *J. Environ. Qual.*31: 1858-1867.

Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., Wardle, D. A.2011. Trophic downgrading of planet Earth. *Science* 333 (6040), 301-306.

Evers G.W., 2002. Ryegrass–Bermuda grass Production and Nutrient Uptake when Combining Nitrogen Fertilizer with Broiler Litter.*Agron. J.* 94:905–910 905-910.

F

FAO. 2012: Report of 2012 the Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farré M, Gajda-Schranz K, Kantiani L .Barcelo D. (2009):Ecotoxicity and analysis of nanomaterials in the aquatic environment. *Anal. Bioanal. Chem.* ; 393(1):81-95.

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. Université Paul Verlaine – Metz. 245p.

G

Gagnon B et Ziadi N. 2010. Grain corn and soil nitrogen responses to side dress nitrogen sources and applications. *Agron. J.*102: 1014- 1022.

Gao F. Q., Liu C., Qu C. X., Zheng L., Yang F., Su M. G. et Hong F. H. (2008). Was improvement of spinach growth by nano-TiO₂ treatment related to the changes of Rubisco activase? *Biometals* 21(2): 211-217.

Garbeva P.; Elsas J.D. van; Veen J.A. van. 2008. Rhizosphere microbial community and its response to plant species and soil history. *Plant Soil* (302): 19-32.

Gaucher G.,1968: Traité de pédologie agricole. Le Sol et ses caractéristiques agronomiques. Paris Dunod, 578p.

Gervy R ., 1970: Les phosphates et l'agriculture. Edition DUNOD, Paris. 298p.

Gobat J.M., Aragno M., Matthey W, (2003) : Le sol vivant : Bases de pédologie, Biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (Ed), 528p.

Griffon, M., 2006. Nourrir la planète In: Buresh, R.J., Sanchez, P.A., Calhoun, F. (Eds.), Replenishing soil fertility in Africa. SSSA Spec. Publ., Madison, WI, pp. 146.

Guelleti K ., Benradia M ., 2010 : Etude , évolution et fonction des sols. Mémoire de master. Université Mohamed Cherif MESSAADIA Souk Ahras.65p.

H

Harlan, J. R. et D. Zohary (1966): Distribution of wild wheat and barley. *Science* 153 : 388-397.

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-velutina* (velvet mesquite) grown with ZnO nanoparticles. *Chemical Engineering Journal* 170, 346–352.

Hinsinger P., 2001 : Bioavailability of trace elements as related to root-induced chemical changes in the Rhizosphere. In *Trace elements in the rhizosphere*. Eds G R Gobran, W W Wenzel and E Lombi. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *California Agric. Exp. Stat. Univ. Calif., Berkeley Circ.* 347.

Hong F. H., Yang F., Liu C., Gao Q., Wan Z. G., Gu F. G., Wu C., Ma Z. N., Zhou J. ., Yang, P. (2005). Influences of nano-TiO₂ on the chloroplast aging of spinach under light. *Biological Trace Element Research* 104(3): 249-260.

Hullmann A., (2006). The economic development of nanotechnology - an indicators based analysis. Technical report, European Commission, Unit of Nano S&T - Convergent Science and Technologies.

Hyland E.M., Cosgrove M.S. Molina H., Wang D., Pandey A., R.J. Cottee R.J and Boeke J.D., 2005. Insights into the role of histone H3 and histone H4 core modifiable residues in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Cell Biol* .25:100. 60-70.

J

John P., 2010. Agronomy as the science of primary food production. In: Wery, J. (Ed.), *AGRO 2010, the XIth ESA Congress, Montpellier, France*, pp. 43-44.

Jules J, Schery RW, Woods FW, Ruttan VW (1981) : *Plant science, an introduction to world crops*, 3rd edn. W. H. Freeman and Company, San Francisco.

K

Kellou R.; 2008 : Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d'exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée. Le cas des coopératives sud céréales, groupe coopératif Occitan et Audecoop - Montpellier : CIHEAM-IAMM, 2008 – 168p. (Master of Science, IAMM, 2008, Series Thèses & Masters n°93).

Khemgani M A.; 2010 : Les caractérisations des sols des alluviaux de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Thèse de magister. Université Kasdi Merbah Ouargla. P123.

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. V., de Silva K., Nedosekin, D. A., Dervishi, E., Biris, A. S., Shashkov, E. V., Galanzha, E. I. & Zharov, V. P. (2011). Complex genetic, photothermal, and photoacoustic analysis of nanoparticle-plant interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(3): 1028-1033.

Koull N., 2007 : Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla Thèse de magister. Université KASDI Merbah Ouargla. P107

Kribaa M., 2003. Effet de la jachère sur les sols en céréaliculture pluviale dans les zones semi-arides méditerranéennes. Cas des hautes plaines Sétifiennes en Algérie. Thèse de doctorat d'état en Sciences Agronomiques. INA El -Harrach, Alger, 121p.

Kumari M., Mukherjee A., Chandrasekaran N. Genotoxicity of silver nanoparticles in *Allium cepa*. *Sci. Total Environ.* 2009 ; 407(19):5243-6.

L

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.

Lin. D, Xing. B, (2007). Phytotoxicity of nanoparticles: Inhibition of seed germination and root growth”, *Environ Pollut.* 150, 243 – 250.

Liu AR., Chen SC., Lin XM., Wu SY., Xu T., Cai FM., Raesh J (2010). Endophytic *Pestalotiopsis* species spp. associated with plants of *Palmae*, *Rhizophoraceae*, *Planchonellae* and *Podocarpa ceae* in Hainan, China. *Afr. J. Microbiol. Res.* 4:2661-2669.

Loggini F., (1999). Effets de deux fongicides Artea et Punch nouvellement introduits en Algérie sur la physiologie et le métabolisme respiratoire du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de magister de l'université Badji Mokhtar de Annaba.p134

Lueb R.E., LAAG AE. 1967 - "Nitrogen effect on leaf area, yield, and nitrogen uptake of barley under moisture stress" *Agron. Journ.* 59,219-222.

M

Ma, B. L., Subedi, K. D. et Costa, C. 2005. Comparison of crop-based indicators with soil nitrate test for corn nitrogen requirement. *Agron. J.*97: 462-471.

Mallarino A P, Bordoli J M and Borges R, 1999: Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no –till vorn and relationships with grain yield. *Agro J* 91, 37 -45.

Marcel L., Francelyne M., et Philippe H. (2010). Les nanosciences : Tome 4- Nano toxicologie et nano éthique-. Édition Belin, ISSN 1635-8414. 608P.

Masle-Meynard, J. (1980). L'élaboration du nombre d'épis chez le blé d'hiver. Influence de différentes caractéristiques de la structure du peuplement sur l'utilisation de l'azote et de la lumière .Thèse de doctorat, Institut National Agronomique Paris Grignon, FRA. 201p.

Mc CALLA TM et ARMY TJ., 1961 : "Stubble mulch farming". *Advances in Agronomy* - pp. 125-196.

Meynard J.M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.B., Savini I., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières.* Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.

Moll L., 1838. Almanach du cultivateur. Travaux du mois de septembre. *Journal d'agriculture pratique, de jardinage et d'économie domestique*, N°2, août 1838 : 67-80.

Moran R., 1982. Formulae for determination of chlorophyllous pigments extracted with N,N-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 69, 1376–1381.

Mougel C., Offre P., Ranjard, L., Corberand T., Gamalero E., Robin C. & Lemanceau P.(2006). Dynamic of the genetic structure of bacterial and fungal communities at different developmental stages of *Medicago truncatula* Gaertn. cv. Jemalong line J5. *New Phytologist*, 170, 165-175.

Mustin M., 1987 : Le composte ; gestion de la matière organique : Ed François Dubusc. Paris 954p.

N

Nakano Y., Azada K. (1987). Purification of ascorbate peroxidase in spinach chloroplasts: its inactivation in ascorbate depleted medium and reactivation by mono dehydro ascorbate radical. *Plant Cell Physiol*, n° 28, p. 131-140.

O

Obare S.O., Meyer G.J. (2004). «Nanostructured Materials for Environmental Remediation of Organic Contaminants in Water» *J. Environ. Science Health, Part A Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. Vol. A39: 49-82.

Oberdörster, G., Oberdörster, E., Oberdörster, J., 2005a: Nanotoxicology: An Emerging Discipline Evolving from Studies of Ultrafine Particles. *Environmental Health Perspectives* 113(7) 823-839.

Omernik J.M.,1995. Ecoregions : a spatial framework for environmental management. In: Davis, W., Simon, T.P. (Eds.), *Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making*. Lewis Publishing, Boca Raton, FL.

ONM(2013) : Rapport de synthèse de l'office national de météorologie année 2013.

Ostiguy C., Lapointe G., Ménard L., Cloutier Y., Trottier M, Boutin M., Antoun M., Normand C., 2006. Les nanoparticules : État des connaissances sur les risques en santé et sécurité du travail, rapport IRSST soumis, IRSST, Montréal.

P

Pellerin A., Parent L. E ., Tremblay C., Tremblay G., Landry C. P., Khiari, L. et Fortin J. 2006. Agri-environmental soil phosphorus saturation index for corn in corn-soybean systems in Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 86 : 897-910.

Pitkethly MJ.,2003: Nanoparticles as building blocks?, *Nano-today, Materials Today Supplement*, Dec. 2003, pp. 36-42, Elsevier Ltd., Kidlington, UK.

Prévost Ph., 1999 : Les bases de l'agriculture Édition 3. Éditeur .Éd. Tec & doc, 290 p

Ponchet J., Coppenet M. (1962) : Influence de divers facteurs culturaux sur le développement du piétin échaudage *Linocarpon carieti* B. et BR., *Ann. Epiphyties*, 13, 285-291.

Q

Quénum, M., M. Giroux et R. Royer. 2004. Étude sur le bilan humique des sols dans les systèmes culturaux sous prairies et sous cultures commerciales selon les modes de fertilisation. *Agrosol* 15(2) :57-72.

R

Racuciu M., Creanga D. et Olteanu Z. (2009). Water Based Magnetic Fluid Impact on Young Plants Growing. *Romanian Reports in Physics* 61(2): 259-268.

Rémy J. C., Viaux P., 1980. Evolution des engrais azotés dans le sol. *Perspectives .9 agricoles*, 43, 5-9.

Rivest R ., 2006. Parcelles de confirmation des besoins d'azote du maïs réalisées avec les équipements de fermes sous divers précédents. Programme d'atténuation des gaz à effet de serre. Rapport d'analyse des résultats du réseau d'essais sur l'azote. 39 p.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Ed. DUNOD. Paris, 1383 pp.

Rousset A. Chimie douce et science des matériaux. *Actualité chimique*, v. 4, p. 27-34, 2000.

S

Sahandi S., Sorooshzadeh, A., RezazadehS, H. et Naghdibadi, H. A. (2011). Effect of nano silver and silver nitrate on seed yield of borage. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(2): 171-175.

Sanchez PA, Shepherd KD, Soule MJ, Place FM, Buresh RJ, Izac AM, Mokuwunye AU, Kwesiga FR, Ndiritu CN, Woomer PL (1997). Soil fertility replenishment in Africa: an investment in natural resource capital. In: Buresh et al. (Eds). *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication No 51. Madison, Wisconsin, USA.

Sebillotte M.(1990a)- Système de culture : un concept opératoire pour les agronomes. In *Fertilité et système de production*, dir. M.SEBILLOTTE; INRA Paris, PP13-57.

Shaymurat T., Jianxiu GU., Changdhan XU., Zhikun Y., Qing Z, 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, Early Online, Nanotoxicology: 1-8.

Sigaut F. 1975 : La Jachère en Ecosse au XVI^e siècle : phase ultime de l'expansion d'une technique", *Etudes Rurales*, 1975, 57 : 89-105.

Sigaut F., Morlon P. 2008. La jachère, d'une signification à l'autre. *Pour la Science*, 374 : 94-99.

Sleutel S., De Neve S. & Hofmann G., (2003). Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. *Soil Use Manage.*, Vol.19 : 166-171.

Slope D.B. (1973) : Grain yield and the incidence of take ail and eyes spot in winter wheat grown in different crop sequences at Saxmundharn., *Rothamsted Exp. Stat.Report for 1972*, part 2.

Smika D.E. et Wcks GA. 1968 - "Soil water storage during fallow in the central great plains as influenced by tillage and herbicide treatments". *Soil Sc. Soc. Amer.hoc.* vol. 32,581-594.

Soltner D., 2003 : Les basses des productions végétales. Ed 23^{ème} T1 : le sol et son amélioration 464p.

Soltner D., 2005a. Les grandes productions végétales. Ed. Collection sciences et techniques agricoles, Paris (20^{ème} édition), 472 p.

Speranza T., Blangenstein, K., Zhou, H., Seibel, M. (2010). The Role of Osteocalcin in Glucocorticoid-Induced Metabolic Dysfunction. *Concord Hospital Clinical Week Research Symposium*.

Su, M. Y., Liu, H. T., Liu, C., Qu, C. X., Zheng, L. and Hong, F. S. (2009). Promotion of nano-anatase TiO₂ on the spectral responses and photochemical activities of D1/D2/Cyt b559 complex of spinach. *Spectrochimica Acta Part a-Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 72(5): 1112- 1116.

T

Theodore L., Kunz R. G. (2005). Nanotechnology: Environmental Implications and Solutions, chapter 2 Nanotechnology: Turning Basic Science into Reality, pages 61–105. John Wiley & sons.

Tran T. S and Tremblay G., 2000. Recovery of 15 N-labeled fertilizer by spring bread wheat at different N rates and application times. *Can. J. Soil Sci.* 80: 533-539.

Tran T. S., Giroux, M et Cescas M. P., 1997. Utilisation de l'engrais azoté marqué au N¹⁵ par le maïs selon les modes d'application et les doses d'azote. *Can. J. Soil Sci.* 77:9-19.

Tremblay G et Beausoleil, J. M. 2000. Réponse du soja la fertilisation minérale en éléments majeurs NPK sur des sols classés de riches à excessivement riches en phosphore ou en potassium des Basses Terres du Saint-Laurent. *Can. J. Plant Sci.* 80: 261-270.

Tremblay N., Fallon, E., Bélec, C., Tremblay, G. et Thibault, E. 2007. Growing season and soil factors related to predicting corn nitrogen fertilization in Quebec. Proceedings of the symposium «Integrating weather variability into nitrogen recommendations ». Chapter 8 to Managing crop nitrogen for weather. SSSA. Indianapolis, Indiana, USA. 15 November 2006.

Tripathi, S.T.S., Sonkar, S.K. & Sarkar, S. 2011. Growth stimulation of gram (*Cicer arietinum*) plant by water soluble carbon nanotubes. *Nanoscale* , 3(3): 1176-1181.

V

Vance CP (2001): Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiol* 127:390-397.

Van Itterson M.K., N., K., 2010. Will the world have enough to eat? In: Wery, J. (Ed.), AGRO 2010, the XIth ESA Congress, Montpellier, France, pp. 33 - 34.

Vaughan M., 1997. Oxidative modification of macromolecules mini reviews series. *J. Biol Chem*, pp. 272 - 1853.

Viaux P. 2011. Les systèmes de production aujourd'hui, comment s'y retrouver? Académie d'Agriculture de France, Séance du 2 février 2011.

W

Wambeke, A. Van. 1974. Management properties of feral soils. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Wang, Y.Z., R.B. Mao, Y. Liu, J.M. Li, Y. Dong, Z.Y. Li, and J.F. Smith. 2011b. Phylogenetic reconstruction of Chirita and allies (Gesneriaceae) with taxonomic treatments. *J. Syst. Evol.* 49:50-64.

Wet, J. M. J. and J. R. Harlan. 1971. The origin and domestication of Sorghum bicolor *Econ. Bot.* 25: 128-135.

Wolters V and Ekschmitt K 1997. Gastropods, isopods, diplopods and chilopods: Neglected groups of the decomposer food web. In *Fauna in soil ecosystems: recycling processes; nutrient and agricultural production*. G Benckiser (ed.) pp.265-306 Marcel Dekker Inc. New York.

X

Xia T., Kovochich M., Brant J., Hotze M., Sempf J., Oberley T., Sioutas C., Yeh J. I., Wiesner M. R and Nel A. E., 2006. Comparison of the abilities of ambient and manufactured nanoparticles to induce cellular toxicity according to an oxidative stress paradigm. *Nano Letters* 6(8) 1794-1807.

Y

Yang L., Watts D.J. (2005). Particle surface characteristics may play an important role in phytotoxicity of alumina nanoparticles, *Toxicology Letters*. 158, 122-132.

Yang F., Hong, F. S., You, W. J., Liu, C., Gao, F. Q., Wu, C. & Yang, P. (2006). Influences of nanoanatase TiO₂ on the nitrogen metabolism of growing spinach. *Biological Trace Element Research* 110(2): 179-190.

Yang F., Liu, C., Gao F. Q., Su M. Y., Wu X., Zheng L., Hong F. S. & Yang P. (2007). The improvement of spinach growth by nano-anatase TiO₂ treatment is related to nitrogen photoreduction. *Biological Trace Element Research* 119(1): 77-88.

Z

Zhan G. D.; Kuntz J. D.; Garay J. E.; Mukherjee A. K. 2003: Electrical properties of nanoceramics reinforced with ropes of single-walled carbon nanotubes. *Applied Physics Letters* 2003, 83, (6), 1228-1230.

Zheng L., Hong F. S., Lu S. P and Liu C. (2005). Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally and growth aged seeds of spinach. *Biological Trace Element Research* 104(1):83-91.

Ziadi N., Bélanger G., Cambouris A. N., Tremblay N., Nolin M. C. and Claessens A. 2008. Relationship between phosphorus and nitrogen concentrations in spring wheat. *Agron. J.*100:80-86.

Liste des figures.

| | |
|-----------|--|
| Figure 01 | Système de culture : Monoculture |
| Figure 02 | Système de culture : Succession triennale |
| Figure 03 | Quelques photos des jachères |
| Figure 04 | Photos des espèces de Sorgho |
| Figure 05 | Sorghum bicolor (L.) Moench. |
| Figure 06 | Schéma d'évolution probable des différentes espèces et races de sorghos cultivés |
| Figure 07 | Principe de fabrication les engrais azotés (source : MADREF/DERD 2000) |
| Figure 08 | Principe de fabrication des engrais phosphaté (Source MADREF/DERD 2000). |
| Figure 09 | Principe de fabrication des engrais potassique (Source MADREF/DERD 2000) |
| Figure 10 | Image par satellite du site de la ferme pilote Yousfi Tayeb |
| Figure 11 | Dispositif de l'essai expérimental du précédent cultural Jachère. |
| Figure 12 | Dispositif de l'essai expérimental du précédent cultural Sorgho |
| Figure 13 | Vue des différentes parcelles (Photos Chiahi, 2012) |
| Figure 14 | Photos de traitement des parcelles par l'engrais de couverture (Photos Chiahi 2012). |
| Figure 15 | Photos de quelques variétés de blé dur (Photo Chiahi , 2012) |
| Figure 16 | Variations du pH eau et du pH KCl dans les échantillons des sols étudiés. |
| Figure 17 | Variation de la conductivité électrique des échantillons des sols étudiés. |
| Figure 18 | Variation de l'Humidité des échantillons des sols étudiés. |
| Figure 19 | Variation de l'extrait sec des sols étudié |
| Figure 20 | Variation de calcaire total des sols étudié. |
| Figure 21 | Variation de la Matière organique des échantillons des sols étudiés. |
| Figure 22 | Triangle de la texture des sols étudiés (Duchaufour, 1997). |
| Figure 23 | Poudre du ZnO pure |

| | |
|-----------|---|
| Figure 24 | Dispositifs expérimentaux utilisés dans synthèse de la poudre du ZnO « Laboratoire LEREC, université UBM d'Annaba ». |
| Figure 25 | Schéma de la procédure de synthèse par Co-précipitation. |
| Figure 26 | Diagramme de diffraction des rayons X de la poudre du ZnO pur. |
| Figure 27 | Clichés MEB de la poudre du ZnO pur à différentes résolutions |
| Figure 28 | Mise en suspension des nanoparticules du ZnO |
| Figure 29 | Mise en germination du blé en hydroponie A : 1 ^{er} jour de la germination B : 7 ^{ém} Jour de la germination. |
| Figure 30 | Culture du blé en hydroponie. A : Mise en place des plantules dans du milieu nutritif, B : L'aspect des plantules après 07 jours. |
| Figure 31 | Germination du blé dans le sable : A : Stade semis / B : Stade feuille. |
| Figure 32 | Exposition des plantules de blé aux NPs du ZnO |
| Figure 33 | Mise en germination du blé en boîte de pétri. A : 1 ^{er} Jour de la germination B : 7 ^{ém} jour de germination |
| Figure 34 | Mesure de la biomasse sèche. A: plantules fraîches B : plantules séchées pendant 48h et pesées. |
| Figure 35 | Mesure de l'évapotranspiration des plantules du blé |
| Figure 36 | Dosage des Protéines : droite de régression exprimant L'absorbance en fonction de la concentration du sérum D'albumine Bovine (R^2 = Coefficient de régression). |
| Figure 37 | Effet des NPs du ZnO sur le taux de germination chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 38 | Effet des NPs du ZnO sur la longueur racinaire mesuré chez les trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 39 | Effet des NPs du ZnO sur le taux d évapotranspiration chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 40 | Effet des NPs du ZnO sur la variation de la biomasse sèche chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 41 | Effet des NPs du ZnO sur Le taux de la chlorophylle a mesuré chez les |

| | |
|-----------|---|
| | trois variétés exposées aux différentes concentrations |
| Figure 42 | Effet des NPs du ZnO sur le taux de chlorophylle b chez les trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 43 | Effet des NPs du ZnO sur le taux de caroténoïdes chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 44 | Effet des NPs du ZnO sur Le taux de la CAT mesuré chez les trois variétés exposées aux différentes concentrations |
| Figure 45 | Effet des NPs du ZnO sur le taux de l'APX chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |
| Figure 46 | Effet des NPs du ZnO sur le taux Malondialdehyde chez trois variétés exposées aux différentes concentrations. |

Liste des tableaux

| | |
|-------------------|--|
| Tableau 01 | Exportation de Blé en (N, P₂O₅ et K₂O) (selon PREVOST, 1999) |
| Tableau 02 | Les besoins de potasse dans des différentes cultures (Source tableau COMIFER 1995) |
| Tableau 03 | Composition chimique des engrais de DAP (Source AGRIFET Annaba) |
| Tableau 04 | Composition chimique des engrais de Fosfactyl. (Source |
| Tableau 05 | Rendement de la parcelle précédent cultural : Jachère pâturage |
| Tableau 06 | Rendement parcelle précédent cultural : Sorgho |
| Tableau 07 | La différence entre récoltes sur précédents culturaux |
| Tableau 08 | Différence des récoltes avec les engrais de fonds. |
| Tableau 09 | La différence entre les sept (07) variétés |
| Tableau 10 | La différence des récoltes dans le précédent cultural : jachère |
| Tableau 11 | La différence de récoltes avec les engrais sur : Jachère pâturage |
| Tableau 12 | La différence des récoltes dans le précédent cultural : Sorgho |
| Tableau 13 | La différence de récoltes avec les engrais sur sorgho |
| Tableau 14 | Résultats de texture du sol |
| Tableau 15 | Principales sources de nanoparticules (d'après Oberdörster et al., 2005b) |
| Tableau 16 | La conductivité électrique de matériaux isolants. |
| Tableau 17 | Principaux nanoparticules manufacturées ayant un intérêt commercial (d'après Theodore and Kunz, 2005). |
| Tableau 18 | Conditions expérimentales de synthèse |
| Tableau 19 | Résultats de DRX de la poudre du ZnO pure |
| | |

| | |
|-------------------|---|
| Tableau 20 | Caractéristiques descriptives, agronomiques et technologiques des variétés du Blé dur (<i>Triticum durum</i> Desf) (CNCCSP, 2009). |
| Tableau 21 | Composition chimique du milieu nutritif Hoagland |
| Tableau 22 | Gamme d'Étalonnage |
| Tableau 23 | Protocole utilisé pour le dosage de l'activité de l'Ascorbate Peroxydase(APX). |
| Tableau 24 | Protocole utilisé pour le dosage de l'activité de la Catalase. |
| Tableau 25 | Comparaison des paramètres de développement avec le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V1 |
| Tableau 26 | Comparaison des paramètres de développement analysé chez le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V2. |
| Tableau 27 | Comparaison des paramètres de développement analysé chez le témoin et les quatre concentrations de ZnO chez V3. |
| Tableau 28 | Comparaison des médianes des paramètres physiologiques et biochimiques Analysés avec les 05 concentrations chez V1. |
| Tableau 29 | Comparaison des paramètres physiologiques et biochimiques analysé avec les cinq concentrations chez V2. |
| Tableau 30 | Comparaison des de la quantité des paramètres physiologiques et biochimiques analysé avec les cinq concentrations chez V3. |

Liste des abréviations.

A

APx : Activité de l'Ascorbate Peroxydase.

ASP : Ammonium Sulfate phosphaté

AT : Applications Technologiques.

B

BMS : Biomasse Sèche.

C

CAROT : Caroténoïdes

CAT : Catalase

CCLS : Centre des céréales et de légumes sec.

CE : Conductivité électrique

Chlo a : Chlorophylle a

Chlo b : Chlorophylle b

CNCCSP : Centre national de certification et de contrôle des semences et plants.

CT : Calcaire totale

D

DAP : Di ammonium de phosphate

DSA : Direction des services agricoles.

E

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène .

ES : Extrait sec

ETP : Evapotranspiration

F

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

F

HRC : Historique des rotations de culture

K

K : Potassium

KCl : Chlorure de potassium

L

LEREC : Laboratoire d'Etude et de Recherche des Etats Condensés

LR : Longueur Racinaire.

M

MBB : Mohamed Ben Bachir

MDA : Malon dialdéhyde

MEB : Spectroscopie Electronique à Balayage

MO : Matière organique

N

N: Azote.

NaCl : Chlorure de sodium

NPx : Nanoparticules.

O

ONM : Office national de la météorologie.

P

P: Phosphore.

Q

Qx : Quintaux.

S

SAS : Statistical Analysis System.

SCNAT : Synthèse et Caractérisation des Nanostructures à Base de ZnO pour des

SSP : Superphosphate simple

T

TBA : Acide Thio barbiturique

TCA : Acide trichloracétique.

TiO₂ : Dioxyde de titane

TSP : Superphosphate triple.

U

UBM : Université Badji Mokhtar

Z

ZnO : Oxyde de zinc.

Annexe 01

Productions scientifiques



Scholars Research Library

Der Pharmacia Lettre, 2016, 8 (6):154-159
(<http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>)



Scholars Research
Library
ISSN 0975-5071
USA CODEN: DPLEB4

The effect of nanoparticles on development parameters in a plant species: durum wheat (*Triticum durum* Desf)

Nadia Chiahi¹, Manel Boulouedenine² and Louhichi Brinis²

¹Laboratory of plant breeding- Faculty Natural Sciences and Life University BADJI Mokhtar-UBM-Annaba-Algeria

²Faculty of Engineering Sciences, University Mohamed Cherif MESSAADIA-Department of Physics-SoukAhras-Algeria

ABSTRACT

In this study we were interested in assessing the impact of ZnO nanoparticles and their effects on durum wheat (*Triticum durum* Desf). The effect of ZnO is evaluated in three varieties of wheat (Boussalle, Gtadur and Ouarsenis), the three varieties are represented by V1, V2 V3 and through a range of development settings, made in the laboratory. The selected varieties were exposed to increasing concentrations of NPs ZnO (0.01mg / ml, 0.05mg / ml, 0.1mg / ml, and 0.5mg / ml). The results show that the presence of ZnO based NPs can exert a stimulating effect according to the effect inhibitor concentration and the parameter under study, it is concluded that, except for a decrease in root elongation: strong effect concentration. We can advance the development of wheat seedlings was not much affected by the presence of ZnO NPs in their experimental medium sometimes it provoked a stimulating effect (increasing the percentage of germination).

Keywords: Nanoparticles, ZnO, germination; vegetable species, concentrations.

INTRODUCTION

The particles are a search field rich in potential for new applications in the most diverse fields such as materials, health, energy, food, transportation to name a few.

The nanoparticles can be found in all environmental compartments (water, soil, air). Therefore, all of the food chain species may be exposed to nanoparticles.[1]

More current knowledge of the effects on manufactured NPs on plants is relatively limited. These recent studies include those of us [2], studied the impact of NPs ZnO on the germination of radish seeds. a study on garlic (*Allium sativum*) has been carried out by [3] and[4].Who determined the effects of (ZnO) on mesquite velvet (*Prosopis juliflora-velutina*) [5] that investigated the effects of ZnO nanoparticles of titanium dioxide (TiO₂) on rice (*Oryza sativa* L.), more [6];who has studied the impact of TiO₂ nanoparticles and carbon nanotubes on soft wheat and rapeseed? It is within this framework that our contribution fits is to highlight the impact of engineered nanoparticles (ZnO) on durum wheat (*Triticum durum*Desf).

L'impact des nanoparticules ZnO sur les paramètres physiologiques et biochimiques chez le blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*)

N. CHIAHI^{1*}, M. BOULOUENINE², N.H. DAIRA³, N. GUERFI³, L. BRINIS³

¹ Laboratoire d'amélioration génétique des plantes – Faculté Sciences de la Nature et de la Vie Université BADJI Mokhtar – UBM – Annaba -Algérie.

² Faculté de Sciences de l'ingénieur. Université Mohamed Cherif MESSAADIA – Département de physique -Souk Ahras- -Algérie.

³ Faculté des sciences de la nature et de vie- Université Mohamed Cherif Messaadia Souk Ahras- Algérie.

⁴ Laboratoire amélioration génétique des plantes -Faculté Sciences de la Nature et de la Vie UBM Annaba- Algérie-

*Corresponding author: nchiahidz@gmail.com

Abstract - In this study we were interested in assessing the impact of nanoparticles based on ZnO and their effects on the physiological and biochemical parameters of durum wheat (*Triticum turgidum ssp. Durum*). The impact of ZnO is evaluated in three wheat varieties (Boussalle, Gtadur and Ouarsenis), varieties are represented by V1, V2 and V3 through a range of physiological and biochemical parameters achieved in the laboratory. The selected varieties were exposed to increasing concentrations of ZnO nanoparticles (0.01mg / ml, 0.05mg / ml, 0.1mg / ml, 0.5mg / ml). Preliminary results show that the presence of ZnO-based NPs can have a stimulating effect inhibitor according to the concentration and the effect parameter studied; Thus exposure to low concentrations induced the reduction of levels of chlorophyll (chlo has chlo b), unlike the high concentrations caused the elevation of these levels mainly in the (chlor a). The presence of nanoparticles caused oxidative stress resulting in the accumulation of Lipoperoxydes (MDA) recorded in all studied varieties, following exposure to different concentrations. On the other hand a varietal effect has contributed greatly in the variation of the remaining parameters related to ROS (carotenoids, APX and CAT).

Keywords: Nanoparticles, ZnO, oxidative stress, durum, concentrations, plant species

Résumé - Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'impact des nanoparticules à base de ZnO et leurs effets sur les paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum turgidum ssp. durum*). L'impact du ZnO est évalué chez trois variétés de blé (Boussalle, Gtadur et Ouarsenis), les variétés sont représentées par V1, V2 et V3 grâce à une gamme de paramètres physiologiques et biochimiques réalisés au laboratoire. Les variétés choisies ont été exposés à des concentrations croissantes des nanoparticules de ZnO (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, 0,5mg/ml). Les résultats préliminaires montrent que la présence des NPs à base de ZnO peuvent exercer un effet stimulant qu'inhibiteur selon l'effet concentration et le paramètre étudié ; Ainsi l'exposition aux faibles concentrations a induit la réduction des teneurs en chlorophylles (chlo a, chlo b), au contraire les fortes concentrations ont provoqué l'élévation de ces mêmes teneurs principalement chez la (chlo a). La présence des nanoparticules a provoqué un stress oxydant se traduisant par l'accumulation d'une Lipoperoxydes (MDA) enregistrée chez toutes les variétés étudiées, suite à l'exposition aux différentes concentrations. D'autre part un effet variétal a beaucoup contribué dans la variation des paramètres restants liés aux ROS (caroténoïdes, APx et CAT).

Mots clés: Nanoparticles, ZnO, oxidative stress, durum, concentrations, plant species

L'effet des nanoparticules ZnO sur les paramètres physiologiques et biochimiques chez le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*)

[The effect of ZnO nanoparticles on the physiological and biochemical parameters in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*)]

Nadia CHIAHI¹, Manel BOULOUDENINE², Nour el houda DAIRA³, Nesrine GUERFI³, and Louhichi BRINIS⁴

¹Laboratoire d'amélioration génétique des plantes, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie Université BADJI Mokhtar, UBM, Annaba, Algeria

²Faculté de Sciences de l'ingénieur, Université Mohamed Cherif MESSAADIA, Département de physique, Souk Ahras, Algeria

³Faculté des sciences de la nature et de vie, Université Mohamed Cherif Messaadia, Souk Ahras, Algeria

⁴Laboratoire amélioration génétique des plantes, Faculté Sciences de la Nature et de la Vie, UBM, Annaba, Algeria

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this study we were interested in assessing the impact of ZnO nanoparticles and their effects on physiological and biochemical parameters of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*).

The impact of ZnO is evaluated in three wheat varieties (Boussallem, Gtadur and Ouarsenis) varieties are represented by V1, V3 V2et through a range of physiological and biochemical parameters made in the laboratory.

The selected varieties were exposed to increasing concentrations of ZnO nanoparticles (0.01 mg / ml, 0.05mg / ml, 0.1mg / ml, and 0.5mg / ml).

Preliminary results show that the presence of ZnO-based NPs can have a stimulating effect as inhibitor concentration and the effect studied parameter:

1. Effect concentration and a reduction of the levels of chlorophyll (chlo a, chlo b) induced by exposure to low concentrations.
2. The presence of the nanoparticles resulted in oxidative stress resulting in the accumulation of Lipoperoxydes (MDA) recorded in all varieties studied after exposure to different concentrations.
3. Furthermore varietal effect contributed much of the remaining variation in parameters related to ROS (carotenoids, APx and CAT).

KEYWORDS: Nanoparticles, ZnO, oxidative stress, durum concentrations, plant species.

RESUME: Dans cette étude nous nous sommes intéressés à l'évaluation de l'effet des nanoparticules à base de ZnO sur les paramètres physiologiques et biochimiques du blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*).

L'impact du ZnO est évalué chez trois variétés de blé (Boussallem, Gtadur et Ouarsenis), les variétés sont représentées par V1, V2et V3 grâce à une gamme de paramètres physiologiques et biochimiques réalisés au laboratoire.

Les variétés choisies ont été exposés à des concentrations croissantes des nanoparticules de ZnO (0,01mg/ml, 0,05mg/ml, 0,1mg/ml, 0,5mg/ml).

Les résultats préliminaires montrent que la présence des nanoparticules à base de ZnO peuvent exercer un effet stimulant qu'inhibiteur selon l'effet concentration et le paramètre étudié :



ABC²⁰¹⁵
International
TUNISIA



Certificat de Participation

Nous certifions que :

GHLIS-CHIAHI Nadia

a participé avec la communication orale intitulée :

L'effet des nanoparticules sur le comportement du blé dur (Triticum durum Desf)

aux travaux de la Conférence Internationale sur l'Agriculture et la Biotechnologie Tunisie 2015, organisée du 2 au 3 novembre 2015, à Bizerte, Tunisie.

Directeur du Journal of New Sciences

Mr. Houssein Fantar



Directeur de la conférence

Pr. Hedi Abdouli



Directeur de l'Ecole Supérieure d'Agriculture de Mateur

Pr. Boulbaba Rekkik





Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITÉ MOHAMED CHERIF MESSAADIA - SOUK-AHRAS
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

1^{ER} SÉMINAIRE INTERNATIONAL SUR LA
**BIODIVERSITÉ ET GESTION
DES RESSOURCES NATURELLES**
Passé - Présent - Futur DU 19 AU 21 AVRIL 2016



ATTESTATION DE PARTICIPATION

Mme Nadia CHIAHI

A présenté une communication
Orale
Intitulée

**L'impact des nanoparticules ZnO sur une espèce
végétale**

Laboratoire des Ecosystèmes Aquatiques et Terrestres –
Université Mohamed Cherif MESSAADIA -Souk Ahras-

Cette attestation est délivrée pour valoir ce que de droit

Présidente du séminaire
Dr. Hana SOUALAHALILA



Annexe N°02

**Caractérisation des Paramètres de Développement, Physiologiques et
Biochimiques des Variétés.**

Caractérisation des Paramètres de Développement, Physiologiques et Biochimiques des Variétés.

Pour évaluer et caractériser les paramètres de développement (**%Ger**, **LR**, **ETP** et **BMS**), les paramètres physiologiques (Teneurs de **Chlo. a**, **b** et les **Carot.**) et les paramètres biochimiques (**CAT**, **APx**, et **MDA**) de chaque variété analysée Boussallem , Gtadur et Ouarsenis , on a calculé les paramètres statistiques suivants : **La valeur minimale (min)**, **la valeur maximale (max)**, et **la médiane (méd)**. Les résultats relatifs à cette caractérisation sont signalés dans les tableaux ci-dessous.

1. Paramètres de Développement

Tableau 1 : Le taux de germination (%) chez les trois variétés.

| variétés | n | méd. | min | max |
|-----------|----|--------|--------|--------|
| V1 | 15 | 80,00 | 40,00 | 100,00 |
| V2 | 15 | 90,00 | 80,00 | 100,00 |
| V3 | 15 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

L'examen du **Tableau 1** montre que les médianes de **%Ger** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **80-100%**. En ce qui concerne la variété **V1**, le pourcentage de **Ger** est le plus bas (**80%**). Quant à la variété **V3**, elle présente le pourcentage de **Ger** le plus élevé (**100%**).

Tableau 2 : La longueur racinaire (cm) chez les trois variétés.

| Variétés | n | méd. | min | max |
|-----------|----|-------|------|-------|
| V1 | 15 | 6,17 | 2,84 | 15,41 |
| V2 | 15 | 7,45 | 2,22 | 12,38 |
| V3 | 15 | 10,94 | 2,39 | 13,82 |

Le **Tableau 2** montre que les médianes de **LR** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **6,17-10,94 cm**. En ce qui concerne la variété **V1**,

elle enregistre la **LR** la plus basse (**6,17cm**), quant à la variété **V3**, elle présente la **LR** la plus élevée (**10,94cm**).

L'étendu enregistré pour la **LR** est de l'ordre de (**13,28cm**).

Tableau 3 : L'évapotranspiration (ml/jour) chez les trois variétés.

| Variétés | n | méd. | min | max |
|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| V1 | 15 | 9,00 | 7,00 | 11,00 |
| V2 | 15 | 9,50 | 7,50 | 24,00 |
| V3 | 15 | 9,50 | 7,50 | 20,00 |

Le **Tableau 3** montre que les médianes d'ETP enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **9-10,50 ml/jour**. En ce qui concerne la variété **V1** elle présente la plus basse quantité d'ETP (**9ml/jour**). En revanche, la quantité la plus élevée est enregistrée dans la variété **V6 (9,50ml/jour)**.

L'étendu enregistré pour l'**ETP** est de l'ordre de (**30,5ml/jour**).

Tableau 4 : La biomasse sèche (mg) chez les trois (03) variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|-----------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| V1 | 15 | 140,00 | 102,00 | 180,00 |
| V2 | 15 | 144,0 | 111,00 | 173,00 |
| V3 | 15 | 144,00 | 115,00 | 166,00 |

Le **Tableau 4** montre que les médianes de **BMS** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **140-153 mg**. La valeur la plus diminuée de **BMS** est enregistrée dans **V1 (140mg)** et la valeur la plus élevée apparaît dans la variété **V2 et V3 (144 mg)**.

L'étendu enregistré pour la **BMS** est de l'ordre de (**80mg**).

2. Paramètres Physiologiques et Biochimiques

Tableau 5 : La Chlorophylle a ($\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| V1 | 15 | 0,09 | 0,06 | 0,12 |
| V2 | 15 | 0,10 | 0,05 | 0,13 |
| V3 | 15 | 0,09 | 0,06 | 0,11 |

Le **Tableau.5** montre que les médianes de la **Chlo. A** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **0,07-0,10 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$** . Les variétés **V1** et **V3** présente une teneur en **Chlo. a** les plus basse (**0,09 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**). La variété **V2** enregistre la teneur en **Chlo. a** la plus élevée (**0,10 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**).

L'étendu enregistré pour la teneur en **Chlo. A** est de l'ordre de (**0,12 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**).

Tableau 6 : La Chlorophylle b ($\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| V1 | 15 | 0,05 | 0,02 | 0,11 |
| V2 | 15 | 0,03 | 0,005 | 0,06 |
| V3 | 15 | 0,04 | 0,01 | 0,05 |

Le **tableau 6** montre que les médianes de la **Chlo b** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **0,03-0,05 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$** . La valeur la plus basse est remarquée dans les variétés **V2** qui enregistrent la même teneur en **Chlo. b** (**0,03 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**), et la plus élevée, est enregistrée dans **V1** qui présente une teneur en **Chlo. B** de l'ordre de (**0,05 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**).

L'étendu enregistré pour la teneur en **Chlo b** est de l'ordre de (**0,31 $\mu\text{g.ml}^{-1}.\text{g}^{-1}$**).

Tableau 7 : Les Caroténoïdes ($\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|-----------|-------------|--------------|-------------|
| V1 | 15 | 0,01 | 0,0003 | 0,02 |
| V2 | 15 | 0,02 | 0,002 | 0,03 |
| V3 | 15 | 0,01 | 0,005 | 0,02 |

Le tableau 7 montre que les médianes des **Carot.** Enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **0,01-0,02 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$** . La valeur la plus faible de la teneur en **Carot** est enregistrée dans les variétés **V1 et V3 (0,01 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)**. La teneur la plus élevée en **Carot** est enregistrée dans la variété **V2 (0,02 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)**. L'étendu enregistré pour la teneur en **Carot.** Est (**0,03 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$**).

Tableau 8 : La Catalase (nmol/min/mg) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| V1 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| V2 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,04 |
| V3 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |

Le **Tableau 8** montre que les médianes de l'activité **CAT** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent à **0,001 nmol/min/mg** pour toutes les variétés. L'étendu enregistré pour la teneur en **CAT** est (**0,04nmol/min/mg**).

Tableau 9 : L'Ascorbate Peroxydase (nmol/min/mg) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|----|-------|-------|-------|
| V1 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |
| V2 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| V3 | 15 | 0,001 | 0,001 | 0,002 |

Le **Tableau 9** montre que les médianes de l'activité **APx** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent à **0,001nmol/min/mg** pour toutes les variétés.

L'étendus enregistré pour l'**APx** est de l'ordre de (**0,001nmol/min/mg**).

Tableau 10 : Malondialdéhyde ($\mu\text{M}/\text{mg}$) chez les trois variétés

| Variétés | n | méd. | min | max |
|----------|----|------|------|------|
| V1 | 15 | 1,79 | 0,81 | 3,17 |
| V2 | 15 | 0,75 | 0,07 | 1,35 |
| V3 | 15 | 1,53 | 0,88 | 2,49 |

Le **Tableau 10** montre que les médianes de le **MDA** enregistrées chez les trois (03) variétés de blé dur se situent entre **0,75-1,79 $\mu\text{M}/\text{mg}$** . La variété **V2** enregistre la quantité la plus faible de le **MDA** (**0,75 $\mu\text{M}/\text{mg}$**). La quantité la plus élevée est enregistrée dans la variété **V1** (**1,79 $\mu\text{M}/\text{mg}$**).

L'étendus enregistré pour le **MDA** est (**3,1 $\mu\text{M}/\text{mg}$**).

3. Classement Intravariétés

Pour compléter les résultats du **test de Kruskal-Wallis** on a appliqué le **test Z** de **Post-Hoc** qui sert à classer les groupes en réalisant une comparaison deux à deux en fonction des variétés, et des paramètres mesurés : Paramètres de développement (**%Ger, LR, ETP, et BMS**), paramètres physiologiques (**Chlo. a, Chlo. b, et Carot.**) et paramètres biochimiques (**CAT, APx et MDA**).

Nous avons pris en compte uniquement les résultats significatifs de la comparaison Intravariétés ($p \leq 0,05$).

Les résultats de ce test montrent qu'il existe une **variabilité complexe** dans le classement du **témoin** et les **quatre concentrations** des **Nps** de **ZnO** vis-à-vis les trois (03) variétés du blé dur d'une part, et les paramètres mesurés d'autre part.

En effet chaque variété est caractérisée par une spécificité pour un paramètre bien déterminé.

3.1. Paramètres de Développement

Tableau 11 : Classements du témoin et des quatre concentrations vis-à-vis trois variétés de blé dur.

| Paramètres | V1 | V2 | V3 |
|---------------------|----|--|--|
| Taux de Germination | / | / | TC ₁ C ₂ C ₃ C ₄ |
| Longueur Racinaire | / | <u>C₄TC₁C₂C₃</u> | / |
| Évapotranspiration | / | / | / |
| Biomasse sèche | / | / | / |

NB : / signifie des résultats non significatifs.

3.2. Paramètres physiologiques et biochimiques

Tableau 12 : Classements du témoin et des quatre concentrations vis-à-vis les trois variétés de blé dur.

| Paramètres | V1 | V2 | V3 |
|------------|--|--|--|
| Chlo a | <u>C₂TC₁C₄ C₃</u> | <u>C₂TC₁C₃ C₄</u> | <u>C₁TC₃ C₄ C₂</u> |
| Chlo b | <u>TC₁C₂C₄C₃</u> | <u>TC₂ C₃C₄ C₁</u> | <u>C₄TC₁C₂C₃</u> |
| Carot. | <u>TC₂C₃ C₄ C₁</u> | <u>C₁TC₂C₄ C₃</u> | <u>TC₁C₂C₄ C₃</u> |
| CAT. | / | <u>TC₁C₂C₄C₃</u> | <u>C₄TC₂C₃C₁</u> |
| APx. | <u>C₃TC₁C₂C₄</u> | / | <u>C₄TC₂C₃ C₁</u> |
| MDA. | <u>TC₁C₃ C₄ C₂</u> | <u>TC₁C₂C₃ C₄</u> | <u>TC₁C₃ C₄ C₂</u> |

NB : / signifie résultats non significatifs donc on ne réalise pas un classement.

Les résultats fondamentaux rapportés par le **test Mann-Whitney** sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau 13: L'effet des Concentrations des Nps de ZnO sur les paramètres de développement.

| Paramètres de Développement | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|------------|----|-----|-----|-------------|-----|----|----|-----|----|----|
| | % Ger | | | LR | | | ETP | | | BMS | | |
| | EN | EB | AE | EN | EB | AE | EN | EB | AE | EN | EB | AE |
| V1 | NS | | | NS | | | NS | | | NS | | |
| V3 | NS | | | 0,5 | 0,1 | [0,01-0,05] | NS | | | NS | | |
| V5 | / | [0,01-0,5] | / | NS | | | NS | | | NS | | |

Tableau 14: Effet des Concentrations des Nps de ZnO sur les paramètres Physiologiques.

| Paramètres Physiologiques | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------|-------------|-----|------------|-----|----------|--------------|------------|-----|
| | Chlo a | | | Chlo b | | | Carot. | | |
| | EN | EB | AE | EN | EB | AE | EN | EB | AE |
| V1 | NS | | | 0,05/0,5 | / | 0,01/0,1 | [0,01-0,5] | / | / |
| V2 | 0,5 | [0,01-0,05] | 0,1 | [0,01-0,5] | / | / | [0,01-0,05]/ | / | 0,1 |
| V3 | 0,01/0,5 | 0,05 | 0,1 | [0,05-0,1] | 0,5 | 0,01 | / | [0,01-0,5] | / |

Tableau 15: Effet des Concentrations des Nps de ZnO sur les paramètres biochimiques.

EN : Effet Négatif.

| Les paramètres Biochimiques | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|------------|----------|----------|------------|------|-----|------------|----------|
| | CAT | | | APx | | | MDA | | |
| | EN | EB | AE | EN | EB | AE | EN | EB | AE |
| V1 | / | 0,01/0,1 | 0,05/0,5 | 0,05/0,5 | 0,1 | 0,01 | / | [0,01-0,5] | / |
| V2 | / | [0,01-0,5] | / | NS | | | / | 0,01/0,1 | 0,05/0,5 |
| V3 | / | [0,01-0,1] | 0,5 | / | [0,01-0,1] | / | / | [0,01-0,5] | / |

EB : Effet Bénéfique.

AE : Aucun Effet.

NS : Non Significatif.

0,01 : Concentration 1 (mg/ml.)

0,05 : Concentration 2 (mg/ml.)

0,1 : Concentration 3 (mg/ml.)

0,5 : Concentration 4 (mg/ml.).

Annexe N°03

A.2. Méthode de Manipulation du Logiciel Tps Dig Version2

Les Grains germés sont disposés sur un papier noir muni d'une échelle et photographiés. Les photos sont transférées vers le logiciel **TpsDig version 2** pour une mesure précise des racines. La longueur racinaire est exprimée en cm.



Figure 1 : Racines d'une plantule de blé au 7^{ème} jour de germination

- 1- Arrachement des racines de chaque plantule.
- 2- Les racines sont collées strictement sur un plan noir muni d'une échelle et photographiées.



Figure 2 : Collage et photographie des racines sur un plan muni d'échelle

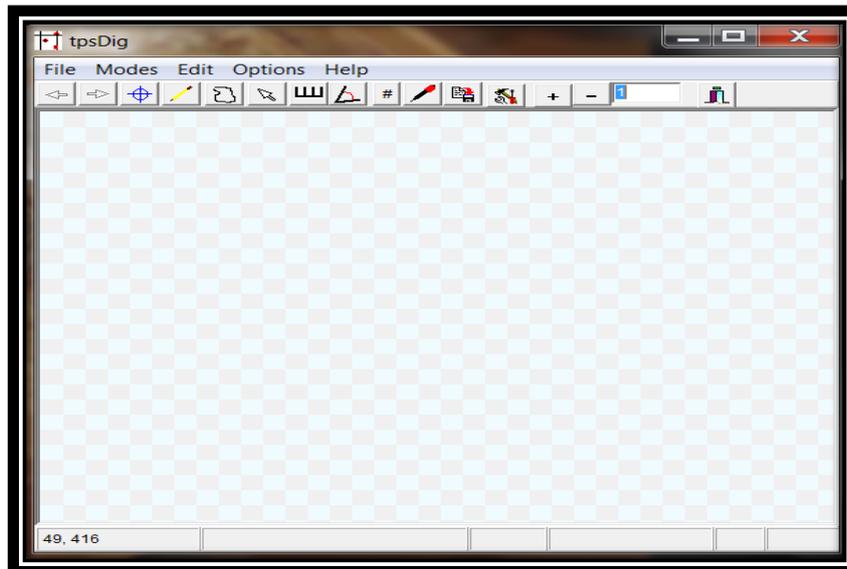


Figure 3 : Barre de menu du logiciel Tps Dig Version 2

3- Dans la barre de menu du Tps Dig on sélectionne la photo de la racine que nous désirons mesurer sa longueur.

4- A l'aide du programme « **Make linear measurmants** » dans la barre de menu on prend **1cm** de l'échelle et on le convertit en **pixel**. On mesure ensuite la longueur racinaire correspondante en pixel.

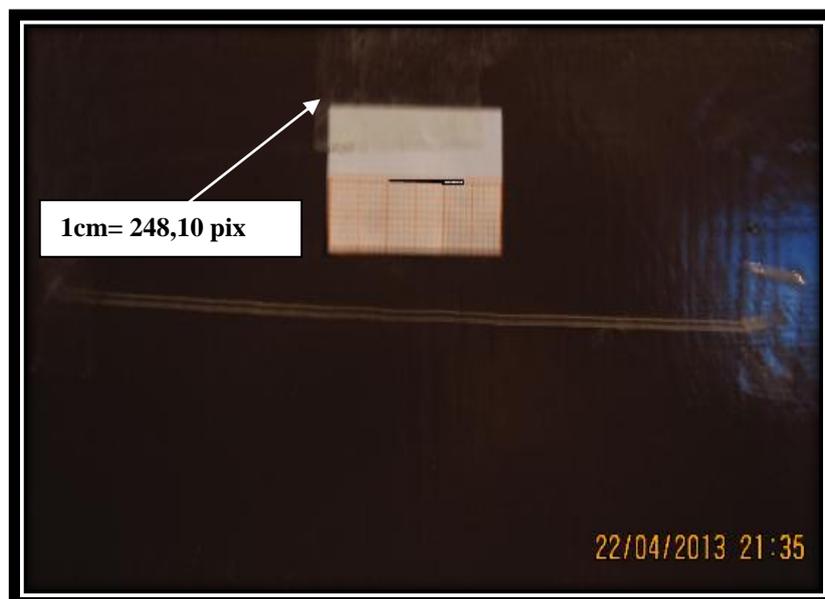


Figure 4 : Reformulation de l'échelle du cm en pixel.

A.3. Les Chlorophylles

Ce sont des pigments verts, facilement extraits par les solvants organiques, éther ou éthanol.

Chlorophylle a : C'est la forme universelle puisqu'elle est rencontrée chez tous les organismes photosynthétisants libérant du dioxygène {<les procaryotes qui ne produisent pas l'oxygène contiennent une bactériochlorophylle légèrement différente>}, qu'ils soient eucaryotes ou procaryotes (Cyanobactéries). Dans cette molécule, les deux chaînes latérales acides du tétrapyrrole sont estérifiées, l'une par un méthanol, l'autre par un alcool à longue chaîne carbonée (20 C), le *phytol*. Elle possède un groupe méthyle en position 3 sur le cycle II. Cette molécule est *amphiphile*, puisque certaines parties du noyau tétrapyrrolique sont hydrophiles alors que la chaîne phytol est très fortement hydrophobe.

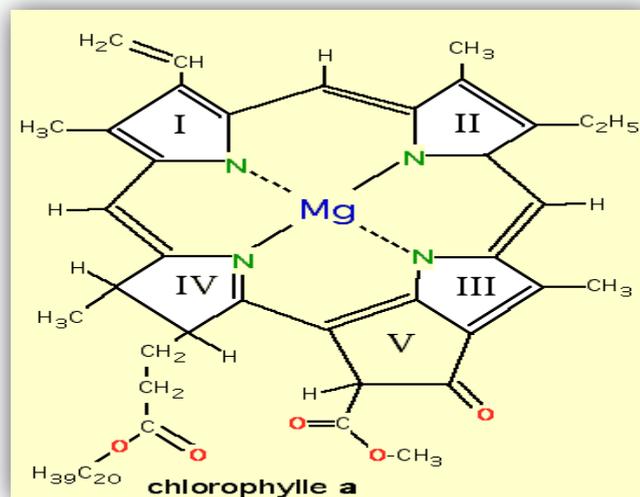


Figure 5 : Structure chimique du Chlorophylle a
(D. Robert., J.-C. Roland, 1998)

Chlorophylle b : Cette molécule est très proche, au point de vue de sa structure chimique, de la chlorophylle a. Elle en diffère par la présence d'un groupe formyle en position 3 sur le cycle II (au lieu de méthyle de la chlorophylle a). Elle est donc également *amphiphile*.

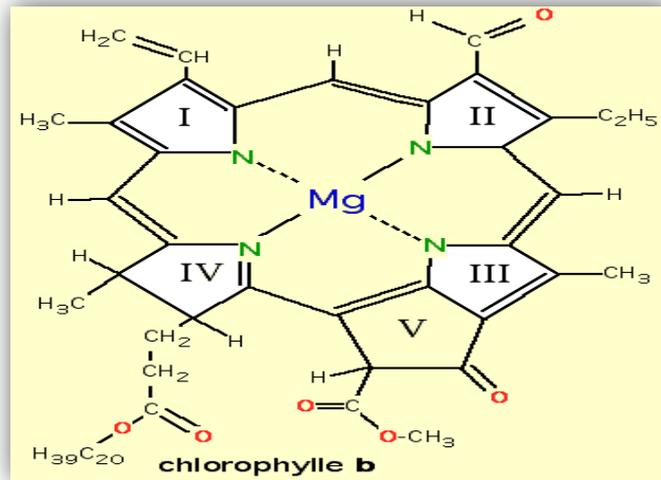


Figure N° 6 : Structure chimique de Chlorophylle b
(D. Robert., J.-C. Roland, 1998)

Les caroténoïdes: Ces pigments, *liposolubles*, de couleur jaune ou orangée, sont également extraits des tissus végétaux par les solvants organiques. Ils peuvent être aisément séparés des chlorophylles par chromatographie. Ces molécules comportent 40 C et sont formées par 8 unités isoprène ; leurs extrémités sont cyclisées (**Fig. N 07**)

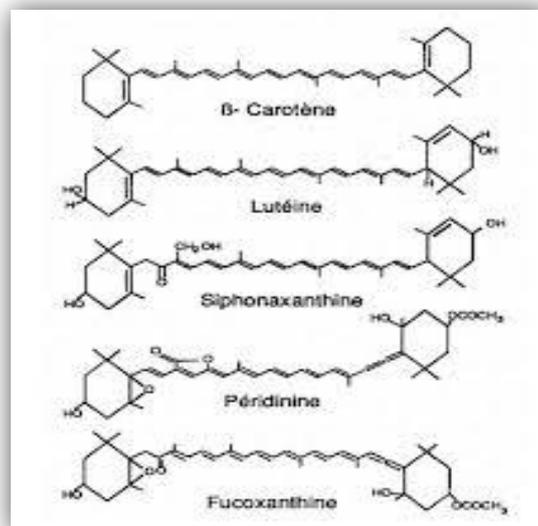


Figure N°7 : Structure chimique de quelques Caroténoïdes entrant dans la constitution des chloroplastes des Algues et des végétaux supérieurs. (D. Robert., J.-C. Roland, 1998)

A.4. Stress Oxydant

A.4.1. Définitions

Le stress oxydatif résulte d'un déséquilibre entre production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et le système antioxydant d'un organisme. Il est susceptible d'entraîner une immunodépression (Miller 1993, Aurousseau 2002, Favier 2003). Il est induit par des défaillances nutritionnelles, des carences ou des excès en antioxydants (Favier 2003).

Le stress oxydatif se traduit par une stimulation des enzymes intervenant dans sa régulation (glutathion peroxydase, super-oxyde dismutase, catalase), une oxydation des antioxydants de l'organisme (glutathion, protéines thiol, vitamine E, C, A), et l'accumulation de produits d'oxydation. Parmi ces espèces chimiques issues de l'oxydation des tissus par les radicaux libres, le Malondialdéhyde (MDA), les substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique (TBARS) et les métabolites des espèces réactives de l'oxygène (MRO) peuvent être doses (Miller, 1993 ; Favier, 2003).

A.4.2. Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO)

Par ROS, on entend un composé dérivé de l'oxygène comportant un ou plusieurs électrons non appariés sur sa couche externe de valence. Parmi les ERO, on compte l'anion super-oxyde O_2^- , le radical hydroxyle $HO\cdot$, le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 , l'acide hypochlorique $HOCl$, ainsi que les radicaux peroxydes de type $ROO\cdot$ (Valko *et al.*, 2006).

L'ion O_2^- est produit au niveau des mitochondries des cellules, du fait d'une «fuite» d'électrons dans la chaîne respiratoire (Cadenas *et Sies*, 1998).

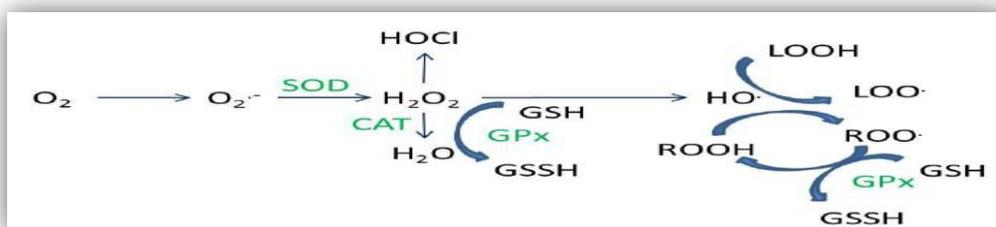


Figure N°8 : Mécanismes de formation des principales ERO ainsi que les réactions catalysées par les enzymes antioxydantes. Les enzymes antioxydantes sont indiquées en vert. O_2^- : anion superoxyde, $HO\cdot$: Radical hydroxyle, H_2O_2 : Peroxyde d'hydrogène, SOD : Superoxyde Dismutase, CAT : Catalase, GPx : Glutathion Peroxydase, GSH : glutathion, GSSH : glutathion réduit. (Armand.L , 2011)

Les ERO à haute concentration, peuvent causer des lésions sur les structures cellulaires, les acides nucléiques, les protéines et les lipides. L'anion O_2^- est connu pour réagir avec de nombreux composants de la molécule d'ADN. La lésion à l'ADN la plus étudiée est la formation de 8-Hydroxyguanosine (8-OH-G) (Halliwell et Gutteridge, 1989).

Les ROS peuvent aussi modifier les composants cellulaires, comme par exemple les acides gras polyinsaturés (Siems *et al.*, 1995). De plus, la cystéine et la méthionine sont des acides aminés sensibles à l'oxydation via les ROS (Stadtman et Levine, 2003).

A.4.3. Systèmes Antioxydants //

L'organisme se dispose de systèmes de défense contre les ERO, et ce à différents niveaux. Tout d'abord, il existe des systèmes visant à limiter la formation d'ERO : par exemple, certaines enzymes comme la ribonucléotide réductase ont une structure tridimensionnelle qui leur permet d'empêcher les ERO qu'elles produisent de se propager dans le milieu (Reichard et Ehrenberg, 1983).

Ensuite, il existe des systèmes permettant de transformer les ERO en métabolites non toxiques. Il existe deux types de ces systèmes dits antioxydants : des enzymes antioxydants et des composés antioxydants non enzymatiques.

Enzymes Antioxydants

Les enzymes antioxydants sont le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), et la glutathion peroxydase (GPX). La SOD catalyse la dismutation de l'anion O_2^- en H_2O_2 , moins réactif, la CAT catalyse la conversion du H_2O_2 en eau, et la GPX réduit le H_2O_2 ou les peroxydes ROO^- en H_2O ou en ROH, tout en oxydant le glutathion (GSH sous sa forme oxydée, GSSH sous sa forme réduite) (Valko *et al.*, 2006). On peut également compter d'autres enzymes qui, bien que n'étant pas directement antioxydants, participent à l'élimination des ERO, comme l'Hème-Oxygénase⁻¹ (HO^{-1}). Cette dernière catalyse une des étapes de la dégradation de l'hème pour donner du fer, du monoxyde de carbone et de la biliverdine. Cette dernière est convertie en bilirubine, un puissant antioxydant (Stocker *et al.*, 1987).

Antioxydants Non Enzymatiques

Les antioxydants non enzymatiques comprennent l'acide ascorbique (Vitamine C), l' α -tocophérol (Vitamine E), le GSH, les caroténoïdes, et les flavonoïdes. Ces molécules ont la capacité de piéger les ERO dans leur structure, et donc protègent les autres composants cellulaires des effets des ERO (Valko *et al.*, 2006).

A.4.4. Dommages Oxydants

Les radicaux libres peuvent diffuser dans le cytoplasme et à travers les membranes, pour aller altérer des composants cellulaires éloignés de leur site de production ou encore pour atteindre d'autres cellules (Boveris et coll., 1972). De plus, l'attaque des composants organiques des cellules (lipides, protéines ou glucides) engendre la transmission d'une cascade radicalaire, soit à l'intérieur d'une même molécule, soit à l'intérieur d'un même tissu en agissant d'une molécule à une autre. En absence d'équipement antioxydant tissulaire efficace pour stopper cet enchaînement radicalaire, le phénomène de dégradation connaît une progression rapide, qui, après interaction avec les autres systèmes tissulaires, devient très vite exponentielle. Cette transmission extrêmement rapide peut alors conduire au transfert de l'agression radicalaire sur plusieurs centimètres au sein d'un tissu en une fraction de seconde (Neuzil et coll., 1993).

Peroxydation Lipidique

Lorsque les membranes phospholipidiques des membranes cellulaires et subcellulaires sont attaquées par les radicaux libres, une chaîne de réactions peroxydantes s'installe et perturbe la fluidité membranaire. Les membranes cellulaires doivent comporter une fluidité élevée pour maintenir l'homéostasie et l'activité métabolique de l'organisme.

Une chute de la fluidité membranaire est observée dans certaines pathologies métaboliques comme le diabète (Hong et coll., 2004). Les dégradations oxydatives des lipides conduisent à la formation éventuelle d'hydrocarbures exhalés comme le pentane (Dillard et coll., 1978), d'aldéhydes comme le Malondialdéhyde ou MDA Avec l'acide thiobarbiturique (TBARS) et le 4-hydroxynonanal (4-HNE), ces sous-produits de la peroxydation lipidique sont les marqueurs les plus couramment utilisés dans l'étude des dommages radicalaires induits. (Ghosh et coll., 1996).

Oxydation des Protéines

En plus de la peroxydation lipidique, les ERO sont reconnus pour causer des modifications oxydatives au niveau des acides aminés et des protéines des milieux extra et intracellulaire (Stadtman, 1993). Lors de ces oxydations, il se forme des composés carbonylés qui peuvent être dosés et constituent ainsi un des marqueurs les plus communs des oxydations protéiques.

Ces changements sont tels qu'ils conduisent à une modification structurale des protéines dont les conséquences sont majeures (perte de fonction catalytique, augmentation de la sensibilité aux protéases...) (Stadtman et Levine, 2000).

Oxydations de l'ADN

Les réactions d'oxydation de l'ADN sont ubiquitaires dans le monde vivant (Cadet et coll., 1999). Les catégories principales de dommages oxydants de l'ADN sont les modifications des bases puriques (Adénine, Guanine) et pyrimidiques (Cytosine, Thymine, Uracile), les cassures simples et double-brin, et l'oxydation des sites abasiques. Il a été reporté que des adduits (addition d'un produit à la molécule d'ADN) pourraient se former entre les bases aminées de l'ADN et des aldéhydes (MDA ou le 4-HNE) et favoriser des mutations de l'ADN. L'ADN mitochondrial (ADNmt) présente une susceptibilité au stress oxydant 10 fois supérieur à l'ADN nucléaire. En effet, son génome constitué en structure circulaire spécifique, sans introns, sans histones protectrices et avec des mécanismes de réparations limités le prédispose à l'attaque radicalaire (Marnett, 1999).

Tableau N°1: Différentes espèces actives dérivées de l'oxygène moléculaire, in vivo. (Halliwell, 1999).

| Symbole | Désignation | Effets | Demi-vie | [in vivo] |
|------------|----------------------|--|---|--------------|
| O_2 | oxygène moléculaire | Bi-radical, stable, faible pouvoir Oxydant | - | - |
| O_2^- | anion superoxyde | Radical peu réactif, mais toxique, oxyde les catécholamines, peut former OH^- | Ne peut être calculé sans connaissance des concentrations locales en SOD ($\sim 10^{-6}$ sec.) | 10^{-10} M |
| 1O_2 | oxygène singulet | Non radical, très réactif | 10^{-6} à 10^{-5} sec. | - |
| H_2O_2 | peroxyde d'hydrogène | Non radical, stable, faiblement toxique, diffusible, antiseptique, peut former OH^- | 10^{-3} sec | 10^{-7} M |
| OH^\cdot | radical hydroxyle | Très réactif, peu diffusible, initiateur de la lipoperoxydation. Altère protéines, ADN | 10-9sec | 10-15M |

A.4.5. La peroxydation lipidique

La peroxydation lipidique est une dégradation des lipides qui constituent la membrane de la cellule. Cette dégradation conduit notamment à la formation du Malondialdéhyde (MDA) (Figure A.9.A). Le MDA fait partie des espèces qui réagissent avec l'acide thiobarbiturique (TBA) regroupées sous l'appellation TBARS (pour ThioBarbituric Acid Reactive Species) (Figure A.9.B).

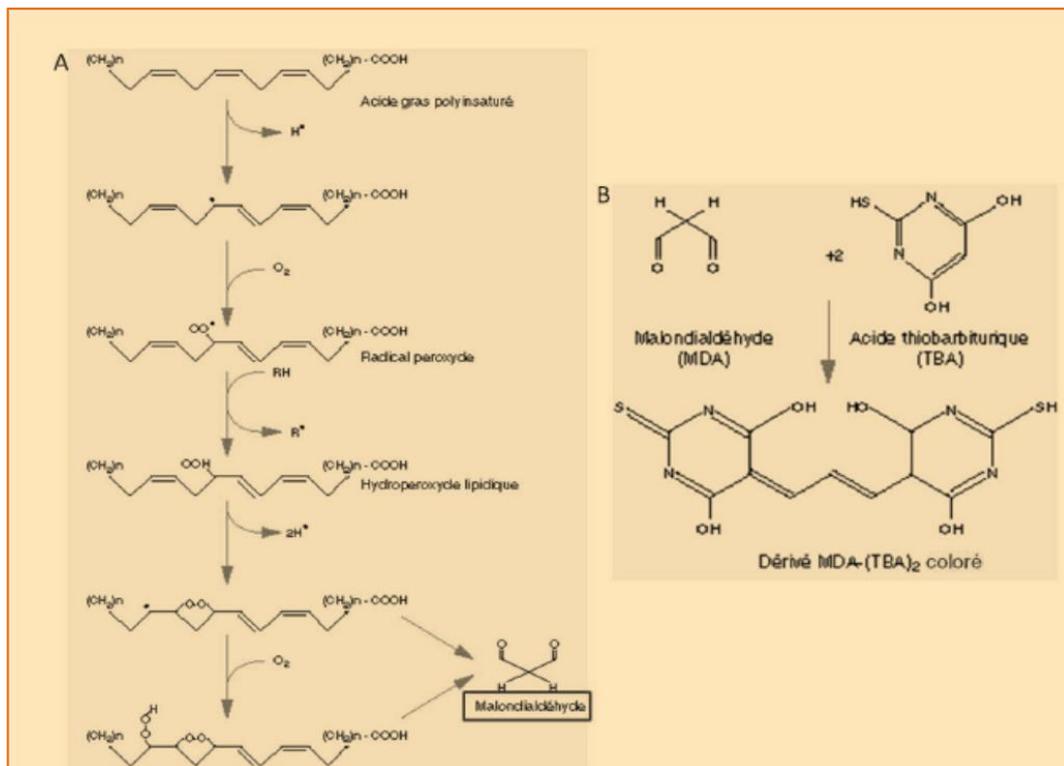


Figure N°9 : Peroxydation lipidique. **A** : Voie de synthèse du malondialdéhyde à partir des acides gras polyinsaturés des membranes plasmiques. **B** : Réaction du Malondialdéhyde avec l'acide thiobarbiturique (www.jle.com)

Références Bibliographiques : Annexe 03

- [1] **Armand.L, (2011).** Effet des nanoparticules de dioxyde de titane sur les métalloprotéases, influence des paramètres physicochimiques. T H È S E Doctorat ParisTech, toxicologie : 37-38.
- [2] **Aurousseau .B, (2002).** Les radicaux libres dans l'organisme des animaux d'élevage : conséquences sur la reproduction la physiologie et la qualité de leurs produits. INRA Prod. Anim., 15 (1), 67-82.
- [3] **Boveris A, Oshino N, and Chance B. (1972).** The cellular production of hydrogen peroxide. *Biochem J* 128: 617- 630.
- [4] **Cadet J, Delatour T, Douki T, Gasparutto D, Pouget JP, Ravanat JL, and Sauvaigo S. (1999)** Hydroxyl radicals and DNA base damage. *Mutat Res* 424: 9-21.
- [5] **Cadenas E et Sies H. (1998).** The lag phase. *Free Radic Res.* 28:601-609.
- [6] **D. Robert., J.-C.Roland. (1998).** Biologie Végétale-CARACTÉRISTIQUES ET STRATÉGIE ÉVOLUTIVE DES PLANTES- ; Volume 1 : Organisation Cellulaire. DOIN-INITIATIVES SANTÉ-EUROPE MEDIA DUPLICATION S.A. ISBN : 2-7040-1006-4.
- [7] **Dillard CJ, Litov RE, Savin WM, Dumelin EE, and Tappel AL. (1978).** Effects of exercise, vitamin E, and ozone on pulmonary function and lipid peroxidation. *J Appl Physiol* 45: 927-932.
- [8] **Ghosh SK, Roychoudhury S, Kar S, Ghosh JJ, Chakraborti T, and Chakraborti S. (1996).** Protective role of anion channel blocker in lipid peroxidation caused by H₂O₂ in microsomes of bovine pulmonary arterial smooth muscle tissue. *Indian J Biochem Biophys* 33: 57-61.
- [9] **Favier. A,(2003).** Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité chimique* – Novembre Decembre, 108-115.
- [10] **Halliwell B, Gutteridge J.(1989).** Free Radicals in Biology and Medicine. *Oxford: Clarendon Press*
- [11] **Halliwell BaG, JMC. (1999).** Free Radicals in Biology and Medicine: Oxford University Press.

- [12] **Hong JH, Kim MJ, Park MR, Kwag OG, Lee IS, Byun BH, Lee SC, Lee KB, and Rhee SJ. (2004).** Effects of vitamin E on oxidative stress and membrane fluidity in brain of streptozotocin-induced diabetic rats. *Clin Chim Acta* 340: 107-115.
- [13] **Marnett,LJ. (1999).** Chemistry and biology of DNA damage by malondialdehyde. *IARC Sci Publ*: 17-27.
- [14] **Miller J. K., Brzezinska-Slebodzinska E., and Madsen F. C. (1993).** Oxidative Stress, Antioxidants, and Animal Function. *Journal of Dairy Science*. 76 (9), 2812-2823.
- [15] **Neuzil J, Gebicki JM, and Stocker R (1993).** Radical-induced chain oxidation of proteins and its inhibition by chain-breaking antioxidants. *Biochem J* 293 (Pt 3): 601-606.
- [16] **Reichard P, Ehrenberg A. (1983).** Ribonucleotide reductase a radical enzyme. *Science*, 221:514-519.
- [17] **Siems WG, Grune T, Esterbauer H. (1995).**4-Hydroxynonenal formation during ischemia and reperfusion of rat small intestine. *Life Sci*, 57:785-789.
- [18] **Stadtman, ER. (1993).** Oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins by radiolysis and by metal-catalyzed reactions. *Annu Rev Biochem* 62: 797-821,.
- [19] **Stadtman ER and Levine RL. (2000)** Protein oxidation. *Ann N Y Acad Sci* 899: 191-208.
- [20] **Stadtman ER, Levine RL. (2003).** Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins. *Amino Acids*, 25:207-218.
- [21] **Stocker R, Yamamoto Y, McDonagh AF, Glazer AN, Ames BN. (1987).** Bilirubin is an antioxidant of possible physiological importance. *Science*, 235:1043-1046.
- [22] **Valko M, Rhodes CJ, Moncol J, Izakovic M, Mazur M. (2006).**Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem Biol Interact* 160:1- 40.

Annexe N°04

Climatologie des années 2011, 2012 et 2013 à Souk Ahras.

Temps réel Prévision Climatologie Pédagogie Communauté Association



Orly - Athis-Mon.
15h00, 11.3°C
76%, 1004.7hPa
9 km/h (ref. 28)

Changer de station... ou Changer d'année...

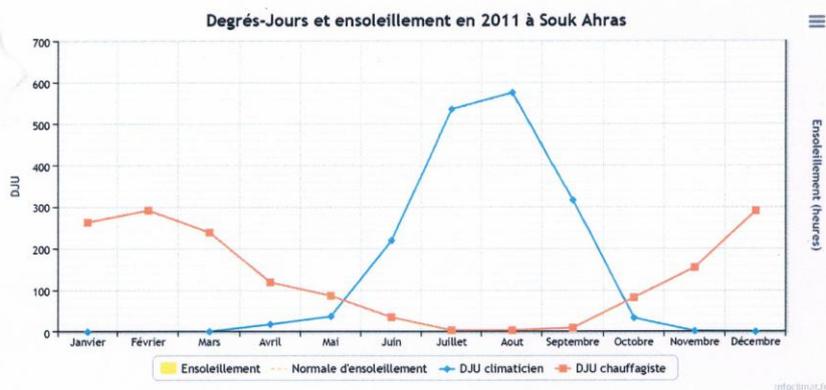
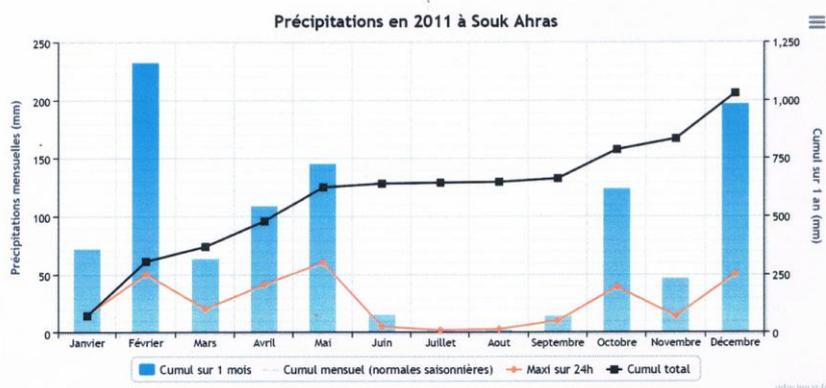
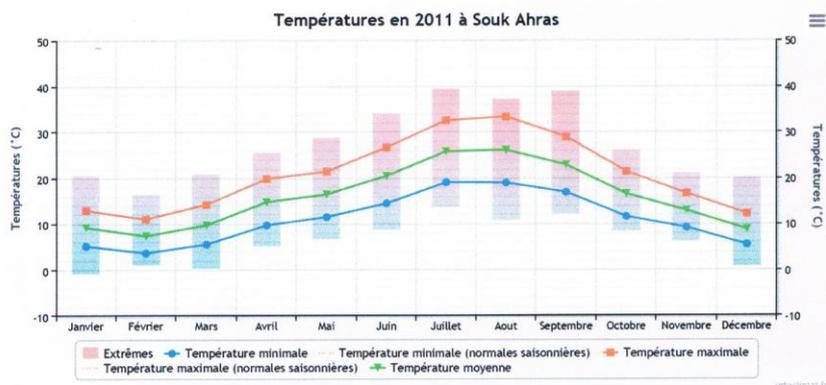


Forum Tochat Recherche...

Climatologie de l'année 2011 à Souk Ahras

| Changer de station... | | ou | | Changer d'année... | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--|
| « Climatologie globale | | « Année 2010 | | Valeurs climatologiques | | | | Occurences de phénomènes | | | | Jour par jour | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | Année 2012 » | | | | |
| | janv. 2011 | fev. 2011 | mars 2011 | avr. 2011 | mai 2011 | juin 2011 | juil. 2011 | août 2011 | sept. 2011 | oct. 2011 | nov. 2011 | dec. 2011 | Année complète | | | | |
| Tempé. maxi extrême | 20,6 <small>le 16</small> | 16,5 <small>le 11</small> | 21,0 <small>le 15</small> | 25,6 <small>le 4</small> | 28,8 <small>le 30</small> | 34,0 <small>le 28</small> | 39,5 <small>le 22</small> | 37,3 <small>le 26</small> | 39,0 <small>le 2</small> | 26,1 <small>le 2</small> | 21,2 <small>le 3</small> | 20,2 <small>le 9</small> | 39,5 <small>le 22 juil.</small> | | | | |
| Tempé. maxi moyennes | 12,8 | 10,9 | 14,1 | 19,8 | 21,4 | 26,6 | 32,5 | 33,3 | 28,9 | 21,4 | 16,6 | 12,1 | 20,9 | | | | |
| Tempé. mo y moyennes | 9,1 | 7,3 | 9,6 | 14,7 | 16,4 | 20,5 | 25,8 | 26,1 | 22,9 | 16,5 | 12,8 | 8,7 | 15,9 | | | | |
| Tempé. mini moyennes | 5,1 | 3,6 | 5,5 | 9,6 | 11,4 | 14,4 | 19,1 | 19,0 | 16,9 | 11,5 | 9,1 | 5,4 | 10,9 | | | | |
| Tempé. mini extrême | -1,0 <small>le 23</small> | 0,9 <small>le 10</small> | 0,2 <small>le 3</small> | 5,0 <small>le 16</small> | 6,5 <small>le 11</small> | 8,5 <small>le 2</small> | 13,4 <small>le 26</small> | 10,5 <small>le 11</small> | 11,9 <small>le 21</small> | 8,2 <small>le 18</small> | 6,0 <small>le 8</small> | 0,6 <small>le 19</small> | -1,0 <small>le 23 janv.</small> | | | | |
| Tempé. maxi minimale | 5,2 <small>le 22</small> | 5,9 <small>le 2</small> | 6,0 <small>le 4</small> | 12,0 <small>le 26</small> | 13,0 <small>le 21</small> | 15,6 <small>le 1</small> | 23,8 <small>le 23</small> | 25,0 <small>le 10</small> | 20,5 <small>le 19</small> | 15,8 <small>le 9</small> | 12,0 <small>le 29</small> | 5,0 <small>le 19</small> | 5,0 <small>le 19 dec.</small> | | | | |
| Tempé. mini maximale | 9,5 <small>le 8</small> | 7,3 <small>le 10</small> | 10,5 <small>le 15</small> | 13,2 <small>le 29</small> | 16,0 <small>le 31</small> | 20,6 <small>le 29</small> | 24,5 <small>le 13</small> | 23,0 <small>le 8</small> | 27,0 <small>le 2</small> | 14,6 <small>le 13</small> | 12,6 <small>le 1</small> | 9,0 <small>le 7</small> | 27,0 <small>le 2 sept.</small> | | | | |
| DJU (chauffagiste) | 260.8 | 289.6 | 236.3 | 117.6 | 85.6 | 34.7 | 3.7 | 3.6 | 9.6 | 81.4 | 153.1 | 288.1 | 1564.1 Moy: 130 | | | | |
| DJU (climaticien) | 0.7 | | 1.2 | 18.5 | 37.2 | 217.8 | 535.6 | 575.5 | 314.8 | 33.6 | 2.7 | 0.4 | 1738 Moy: 145 | | | | |
| Cumul Précips | 72,0 | 233,0 | 64,0 | 109,0 | 145,0 | 16,0 | 4,0 | 3,0 | 15,0 | 124,0 | 47,0 | 197,0 | 1029,0 | | | | |
| Max en 24h de précips | 15,0 <small>le 12</small> | 50,0 <small>le 2</small> | 20,0 <small>le 3</small> | 41,0 <small>le 22</small> | 60,0 <small>le 31</small> | 5,0 <small>le 13</small> | 2,0 <small>le 4</small> | 3,0 <small>le 30</small> | 10,0 <small>le 24</small> | 39,0 <small>le 29</small> | 14,0 <small>le 1</small> | 50,0 <small>le 22</small> | 60,0 <small>le 31 mai</small> | | | | |
| Max en 5j de précips | 24,0 | 92,0 | 24,0 | 92,0 | 61,0 | 9,0 | 2,0 | 3,0 | 12,0 | 51,0 | 22,0 | 151,0 | 151,0 dec. | | | | |
| Moyenne ≥ 1 de précips [?] | 5,5 | 15,5 | 5,8 | 12,1 | 13,2 | 2,7 | 1,3 | 3,0 | 5,0 | 10,3 | 4,7 | 14,1 | 7,8 | | | | |
| Neige au sol maximale | 1,0 <small>le 22</small> | | | | | | | | | | | 1,0 <small>le 19</small> | 1,0 <small>le 22 janv.</small> | | | | |
| Pression minimale | 1057,4 <small>le 17</small> | 1047,3 <small>le 26</small> | | 1011,8 <small>le 14</small> | | | | | | | | | 0,0 <small>le mars</small> | | | | |
| Pression maximale | 1057,4 <small>le 17</small> | 1047,3 <small>le 26</small> | | 1011,8 <small>le 14</small> | | | | | | | | | 1057,4 <small>le 17 janv.</small> | | | | |

Depuis 2001, ce site est gratuit, dénué de publicité et disponible en permanence. Cela a un coût. Soutenez Infoclimat, adhérez à l'Association pour 2017 - Cliquez ici pour lire notre message



Depuis 2001, ce site est gratuit, dénué de publicité et disponible en permanence. Cela a un coût. Soutenez Infoclimat, [adhérez à l'Association pour 2017](#) - Cliquez ici pour lire notre message

Temps réel Préviation Climatologie Pédagogie Communauté Association



Orly - Athis-Mon.
15h00, 14.3°C
76%, 1004.7hPa
9 km/h (raf. 28)

Four empty rectangular boxes for navigation or search.



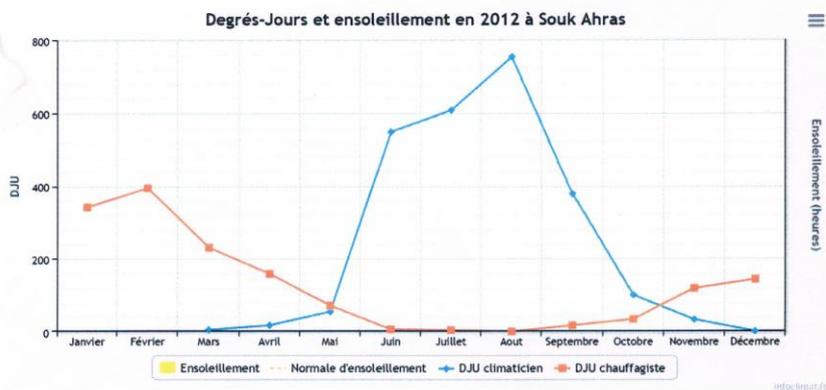
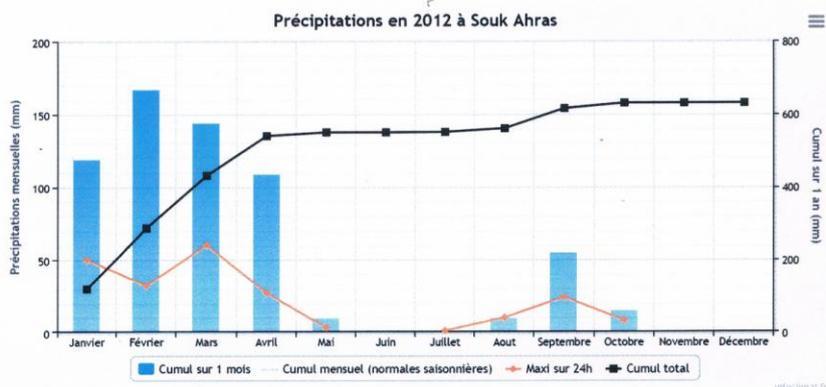
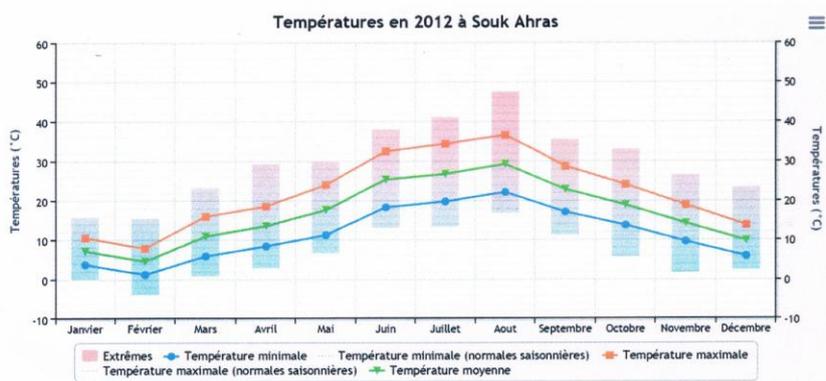
Forum Tchat

Recherche...

Climatologie de l'année 2012 à Souk Ahras

| Changer de station... | | ou | | Changer d'année... | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|--|--|--|
| « Climatologie globale | | « Année 2011 | | Valeurs climatologiques | | | | Occurences de phénomènes | | | | Jour par jour | | Année 2013 » | | | |
| | janv. 2012 | fev. 2012 | mars 2012 | avr. 2012 | mai 2012 | juin 2012 | juil. 2012 | août 2012 | sept. 2012 | oct. 2012 | nov. 2012 | dec. 2012 | Année complète | | | | |
| Tempé. maxi extrême | 15,8 <small>le 2</small> | 15,5 <small>le 28</small> | 23,3 <small>le 18</small> | 29,3 <small>le 28</small> | 30,0 <small>le 18</small> | 38,0 <small>le 19</small> | 41,1 <small>le 14</small> | 47,5 <small>le 9</small> | 35,5 <small>le 23</small> | 33,0 <small>le 5</small> | 26,6 <small>le 4</small> | 23,5 <small>le 24</small> | 47,5 <small>le 9 août</small> | | | | |
| Tempé. maxi moyennes | 10,4 | 7,7 | 15,8 | 18,4 | 23,9 | 32,3 | 34,2 | 36,4 | 28,6 | 24,0 | 18,8 | 13,6 | 22,0 | | | | |
| Tempé. moy moyennes | 7,0 | 4,5 | 10,8 | 13,4 | 17,5 | 25,3 | 26,7 | 29,2 | 22,8 | 18,8 | 14,1 | 9,7 | 16,6 | | | | |
| Tempé. mini moyennes | 3,7 | 1,2 | 5,8 | 8,3 | 11,1 | 18,2 | 19,7 | 22,1 | 17,0 | 13,6 | 9,5 | 5,8 | 11,3 | | | | |
| Tempé. mini extrême | -0,2 <small>le 19</small> | -4,0 <small>le 13</small> | 0,7 <small>le 7</small> | 2,7 <small>le 18</small> | 6,4 <small>le 8</small> | 12,8 <small>le 1</small> | 13,1 <small>le 24</small> | 16,6 <small>le 27</small> | 11,0 <small>le 2</small> | 5,5 <small>le 26</small> | 1,5 <small>le 30</small> | 2,2 <small>le 2</small> | -4,0 <small>le 13 fev.</small> | | | | |
| Tempé. maxi minimale | 3,8 <small>le 30</small> | 0,0 <small>le 5</small> | 7,3 <small>le 10</small> | 7,0 <small>le 17</small> | 17,0 <small>le 20</small> | 25,0 <small>le 5</small> | 23,6 <small>le 23</small> | 26,2 <small>le 31</small> | 17,3 <small>le 2</small> | 12,0 <small>le 28</small> | 9,6 <small>le 28</small> | 6,4 <small>le 2</small> | 0,0 <small>le 5 fev.</small> | | | | |
| Tempé. mini maximale | 7,3 <small>le 6</small> | 7,5 <small>le 17</small> | 9,0 <small>le 18</small> | 13,1 <small>le 26</small> | 15,9 <small>le 28</small> | 23,4 <small>le 30</small> | 26,5 <small>le 9</small> | 27,2 <small>le 6</small> | 23,5 <small>le 24</small> | 19,0 <small>le 6</small> | 18,0 <small>le 5</small> | 8,8 <small>le 22</small> | 27,2 <small>le 8 août</small> | | | | |
| DJU (chauffagiste) | 340.2 | 393.4 | 229.2 | 157.9 | 71 | 5.9 | 4.2 | 0.3 | 16.9 | 33.9 | 118.6 | 143.2 | 1514.7 Moy: 126 | | | | |
| DJU (climaticien) | | | 6.1 | 18.3 | 55.7 | 548.1 | 607.7 | 753.6 | 378 | 100.5 | 33.8 | 1.9 | 2503.7 Moy: 209 | | | | |
| Cumul Précips | 119,0 | 167,0 | 144,0 | 109,0 | 10,0 | | 1,0 | 10,0 | 55,0 | 15,0 | | | 630,0 | | | | |
| Max en 24h de précips | 50,0 <small>le 30</small> | 32,0 <small>le 7</small> | 60,0 <small>le 10</small> | 27,0 <small>le 6</small> | 3,0 <small>le 3</small> | | 1,0 <small>le 8</small> | 10,0 <small>le 31</small> | 24,0 <small>le 1</small> | 8,0 <small>le 28</small> | | | 60,0 <small>le 10 mars</small> | | | | |
| Max en 5j de précips | 57,0 | 87,0 | 116,0 | 50,0 | 5,0 | | 1,0 | 10,0 | 37,0 | 13,0 | | | 116,0 mars | | | | |
| Moyenne 21 de précips [?] | 9,2 | 11,1 | 14,4 | 9,1 | 2,0 | | 1,0 | 10,0 | 13,8 | 3,8 | | | 6,2 | | | | |
| Neige au sol maximale | | 24,0 <small>le 8</small> | | | | | | | | | | | 24,0 <small>le 8 fev.</small> | | | | |
| Pression minimale | | | | | | | | | | | | 1044,8 <small>le 15</small> | 0,0 <small>le janv.</small> | | | | |
| Pression maximale | | | | | | | | | | | | 1044,8 <small>le 15</small> | 1044,8 <small>le 15 nov.</small> | | | | |

La majorité des sites web météo ont une vocation commerciale. Infoclimat est une association de bénévoles.
Soutenez Infoclimat, adhérez à l'Association pour 2017 - Cliquez ici pour lire notre message



La majorité des sites web météo ont une vocation commerciale. Infoclimat est une association de bénévoles. Soutenez infoclimat, [adhérez à l'Association pour 2017](#) - Cliquez ici pour lire notre message

Temps réel Préviation Climatologie Pédagogie Communauté Association



Orly - Athis-Mon.
15h00, 11.3°C
76%, 1004.7hPa
9 km/h (raf. 28)

Changer de station... ou Changer d'année...

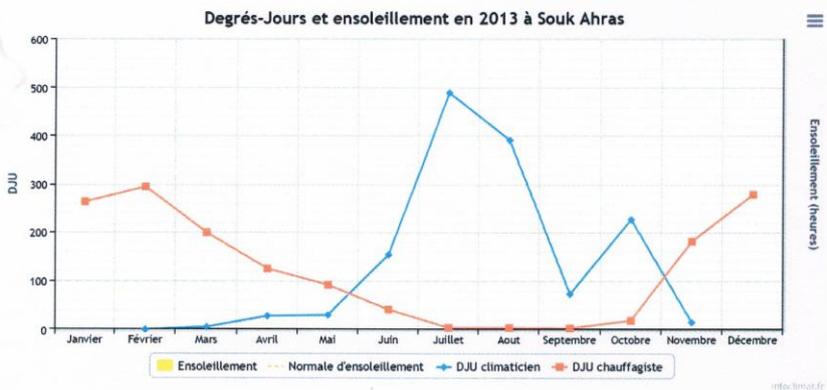
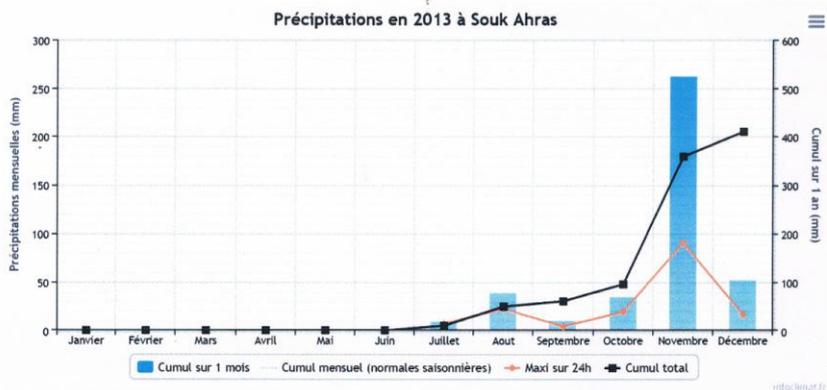
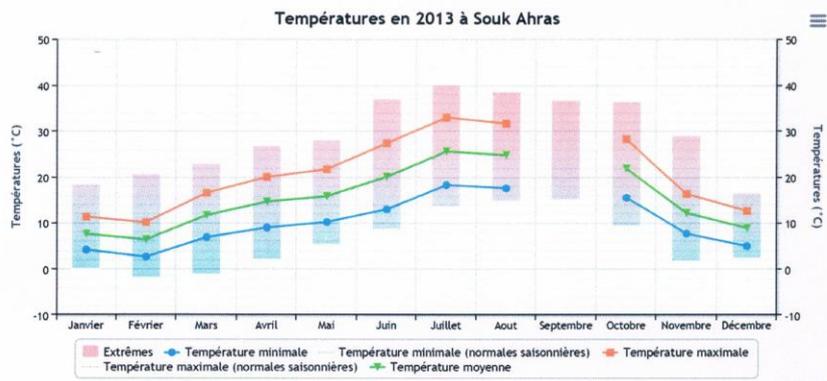


Forum Tchat Recherche...

Climatologie de l'année 2013 à Souk Ahras

| Changer de station... | | ou | | Changer d'année... | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------|--|--|--|
| « Climatologie globale | | « Année 2012 | | Valeurs climatologiques | | | | Occurences de phénomènes | | | | Jour par jour | | Année 2014 » | | | |
| | janv. 2013 | fev. 2013 | mars 2013 | avr. 2013 | mai 2013 | juin 2013 | juil. 2013 | août 2013 | sept. 2013 | oct. 2013 | nov. 2013 | dec. 2013 | Année complète | | | | |
| Tempé. maxi extrême | 18,5 <small>le 9</small> | 20,8 <small>le 1</small> | 23,0 <small>le 22</small> | 26,8 <small>le 26</small> | 28,0 <small>le 27</small> | 37,0 <small>le 17</small> | 40,0 <small>le 27</small> | 38,5 <small>le 6</small> | 36,7 <small>le 6</small> | 36,4 <small>le 3</small> | 29,0 <small>le 1</small> | 16,6 <small>le 13</small> | 40,0 <small>le 27 juil.</small> | | | | |
| Tempé. maxi moyennes | 11,2 | 10,0 | 16,5 | 20,0 | 21,7 | 27,3 | 32,9 | 31,6 | | 28,2 | 16,3 | 12,5 | 19,0 | | | | |
| Tempé. moy moyennes | 7,5 | 6,3 | 11,6 | 14,6 | 15,8 | 20,1 | 25,6 | 24,8 | | 21,9 | 12,1 | 8,8 | 14,1 | | | | |
| Tempé. mini moyennes | 4,1 | 2,6 | 6,8 | 8,9 | 10,1 | 12,9 | 18,3 | 17,6 | | 15,5 | 7,6 | 4,9 | 9,1 | | | | |
| Tempé. mini extrême | 0,0 <small>le 25</small> | -1,9 <small>le 27</small> | -1,2 <small>le 15</small> | 2,0 <small>le 7</small> | 5,2 <small>le 6</small> | 8,5 <small>le 2</small> | 13,5 <small>le 6</small> | 14,6 <small>le 12</small> | 15,0 <small>le 3</small> | 9,2 <small>le 31</small> | 1,7 <small>le 23</small> | 2,3 <small>le 17</small> | -1,9 <small>le 27 fev.</small> | | | | |
| Tempé. maxi minimale | 3,0 <small>le 25</small> | 2,8 <small>le 7</small> | 5,1 <small>le 15</small> | 7,3 <small>le 7</small> | 13,0 <small>le 22</small> | 22,0 <small>le 2</small> | 24,6 <small>le 5</small> | 23,9 <small>le 31</small> | 21,0 <small>le 1</small> | 19,0 <small>le 31</small> | 7,5 <small>le 29</small> | 7,0 <small>le 30</small> | 2,8 <small>le 7 fev.</small> | | | | |
| Tempé. mini maximale | 9,5 <small>le 31</small> | 8,9 <small>le 2</small> | 11,4 <small>le 20</small> | 16,2 <small>le 25</small> | 14,3 <small>le 10</small> | 20,1 <small>le 18</small> | 24,0 <small>le 26</small> | 20,9 <small>le 7</small> | 19,5 <small>le 6</small> | 20,5 <small>le 5</small> | 13,1 <small>le 6</small> | 8,6 <small>le 22</small> | 24,0 <small>le 28 juil.</small> | | | | |
| DJU (chauffagiste) | 262 | 293.4 | 198 | 123.8 | 90.6 | 40.2 | 3.7 | 3.7 | 2.8 | 18.3 | 180.4 | 277.9 | 1494.8 Moy: 125 | | | | |
| DJU (climaticien) | | 0.5 | 5.7 | 28.1 | 29.8 | 153.4 | 489.2 | 391.2 | 72.9 | 225.9 | 15.6 | | 1412.3 Moy: 118 | | | | |
| Cumul Précips | | | | | | | 10,0 | 39,0 | 11,0 | 35,0 | 263,0 | 52,0 | 410,0 | | | | |
| Max en 24h de précips | | | | | | | 7,0 <small>le 21</small> | 22,0 <small>le 18</small> | 4,0 <small>le 3</small> | 19,0 <small>le 30</small> | 90,0 <small>le 12</small> | 16,0 <small>le 26</small> | 90,0 <small>le 12 nov.</small> | | | | |
| Max en 5j de précips | | | | | | | 7,0 | 23,0 | 11,0 | 19,0 | 161,0 | 32,0 | 161,0 nov. | | | | |
| Moyenne ≥ 1 de précips [?] | | | | | | | 5,0 | 6,5 | 2,8 | 8,8 | 18,8 | 6,5 | 4,0 | | | | |
| Neige au sol maximale | | 10,0 <small>le 10</small> | 7,0 <small>le 15</small> | | | 0,0 | | | | | | | 10,0 <small>le 10 fev.</small> | | | | |
| Pression minimale | | | 939,5 <small>le 15</small> | 1010,2 <small>le 25</small> | 948,3 <small>le 25</small> | | | | 952,9 <small>le 4</small> | | | | 0,0 <small>le janv.</small> | | | | |
| Pression maximale | | | 939,5 <small>le 15</small> | 1010,2 <small>le 25</small> | 948,3 <small>le 25</small> | | | | 1011,9 <small>le 5</small> | | | | 1011,9 <small>le 5 sept.</small> | | | | |

Depuis 2001, nous avons toujours été de l'avant pour vous proposer le meilleur. Votre aide est primordiale pour que cela continue.
Soutenez infoclimat, [adhérez à l'Association pour 2017](#) - Cliquez ici pour lire notre message



Depuis 2001, nous avons toujours été de l'avant pour vous proposer le meilleur. Votre aide est primordiale pour que cela continue. **Soutenez Infoclimat, adhérez à l'Association pour 2017 - Cliquez ici pour lire notre message**