# UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH== FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FES



# Projet de fin d'étude

**Licence Sciences & Techniques** 

Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources

# Effet du silicium sur la croissance et le rendement de blé tendre

#### Présenté par :

**♣** SELLAMI Wafae

#### Encadré par :

- **♣** Dr. BENDIDI Abderrazzak (INRA, Meknès)
- **♣** Pr. AMRANI JOUTEI Khalid (FST, Fès)

#### Soutenu le 08/06/2017, devant le jury composé de :

- **♣** Dr. **BENDIDI Abderrazzak**
- **♣** Pr. AMRANI JOUTEI Khalid
- **♣** Pr. **DERRAZ Khalid**
- Dr. HAZZOUMI Zakaria

Année universitaire 2016/2017

### Dédicace



Sincèrement, les mots ne peuvent dire ni refléter la vraie vérité de ce que je sente.

À ma très chère mère, pour tout l'amour qu'elle m'a réservé et les sacrifices qu'elle m'a consenti pour mon éducation et la réussite de ma carrière. Aucune dédicace ne pourrait exprimer, à sa juste valeur, ma reconnaissance et mon amour.

 $\grave{A}$  mon très cher Père, qui m'a inlassablement soutenu et encouragé le long de mes études, qui a assumé une lourde responsabilité et consenti d'énormes sacrifices pour parfaire ma formation. Aucune dédicace ne saurait exprimer, à sa juste valeur, mon profond amour et mon dévouement.

À mes très chères sœurs et mes très chers frères

 $\hat{A}$  ma très chère famille.

Je vous souhaite la bonne santé, le bonheur et la longue vie afin que je puisse à mon tour vous combler, sans jamais vous décevoir.



Au terme de ce travail je tiens à exprimer tout d'abord ma profonde gratitude et mes vifs et sincères remerciements à **Dr. BENDIDI Abderrazzak** chercheur à l'INRA de Meknès pour son encadrement, pour ses conseils, Ses encouragements, ses orientations et son suivi continu.

J'exprime également ma profonde gratitude et mes vifs et sincères remerciements à Mr. AMRANI JOUTEI Khalid professeur à la faculté des sciences et techniques de Fès et responsable de filière, pour l'encadrement de ce travail, pour les conseils qu'elle m'a prodigués.

Mes sincères remerciements à l'équipe d'URAPV CRRA, particulièrement

Mr. L. Bouichou, M. C.D. Khalfi et Mr.M Aghoum. Pour leurs soutiens technique, les conseils, l'encouragement, les orientations qu'ils m'ont prodigués tout au long de la période de stage.

Mes très sincères remerciements sont adressés aux membres de jury qui ont bien voulu accorder une part de leur précieux temps pour examiner ce modeste travail.

Enfin, je tiens à remercier tous les gents, qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

# Liste des figures et des tableaux

Figure 1: Phylogénie de blé tendre.	2
Figure 2 : Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).	3
Figure 3 : Représentation schématique de la silice amorphe (CSST, 2009).	8
Figure 4: Effet de silicium sur la teneur en azote, phosphore et potassium du fruit de	
l'haricot vert à différentes doses de fertilisation en N,P,K de la culture (Bouzoubaâ,1991).	9
Figure 5 : Distributeur et pH-mètre.	12
Figure 6 : Conductimètre.	13
Figure 7: Spectrophotomètre.	14
Figure 8: Etalonnage.	15
Figure 9: Dispositif expérimental.	17
Figure 10 : Dispositif expérimental au niveau de la serre.	17
Figure 11 : Chlorophylle mètre.	18
Figure 12 : Planimètre.	18
Figure 13 : Effet du silicium sur la matière sèche aérienne.	22
Figure 14: Effet du silicium sur la surface foliaire.	23
Figure 15: Effet du silicium sur le volume racinaire.	24
Figure 16 : Effet du silicium sur la longueur racinaire en fonction de nombre de jour.	24
Figure 17 : Effet du silicium sur la matière sèche racinaire.	25
Figure 18 : Effet du silicium sur la chlorophylle en fonction de nombre de jour.	25
Tableau 1 : Caractéristiques des génotypes étudiés.	15
Tableau 2 : Composition du sol utilisé au niveau de la serre.	16
Tableau 3: Résultats des analyses du sol.	20
<b>Tableau 4 :</b> Norme d'interprétation de la matière organique.	20
<b>Tableau 5 :</b> Norme d'interprétation du pH.	20
Tableau 6: Norme d'interpretation de la conductivité.	21
<b>Tableau 7 :</b> Norme d'interprétation du phosphore.	21

## Liste des abréviations

INRA: Institut National de la Recherche Agronomique

ETR: Evapotranspiration Réelle EUE : Efficience d'Utilisation d'Eau

JAS : Jours Après Semis Mm<sup>2</sup> : Millimètre carré

L : Litre
Ml : Millilitre
G : Gramme
Kg : Kilogramme

mS : Millisiemens CCI : Chlorophyll Content Index (indice de la teneur en chlorophylle)

N : Azote P : Phosphate K : Potassium

M0 : Matière organique

# Sommaire

(INRA)	
Introduction	1
Généralités sur le blé :	1
Définition et origine	2
2. Structure et composition du grain de blé	3
3. Description botanique	3
4. Culture	4
4.1 Date de semis :	7
4.2 Dose et mode de semis :	
4.3 Irrigation d'appoint	5
4.4 Fertilisation :	•
4.5 Maladies et ravageurs	6
Généralités sur le silicium :	
1. Silice dans le sol	7
2. Silice dans la plante	8
3. Effet de silicium sur la teneur en NPK	9
Matériel et méthode	,
1. Station d'étude	10
I. Caractéristique chimique du sol	10
1. Echantillonnage	
2. Méthodes d'analyse du sol	11
II. Croissance des plantes	15
1. Semences:	13
2. le sol	16
3. Dispositif expérimental	10
♣ Partie aérienne   ■ Company of the company of	17
1 : Teneur en chlorophylle	
2 : Hauteur de la plante et le nombre des feuilles	18
3 : Surface foliaire	
4 : Matière sèche	
♣ Partie souterraine	19
1 : Volume racinaire	
2 : Longueur racinaire	
3 : Matière sèche racinaire	
Analyses statistiques	
Résultats et discutions	
I. Analyse du sol	20
II. Effet du silicium sur la croissance du blé tendre	22
Conclusion	26

# PRESENTATION DE L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

#### 1. Présentation

Le Centre Régionale de Recherche Agronomique de Meknès est une entité régionale de l'Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc dont la mission est d'entreprendre, étudier et transférer les technologies qui répondent aux besoins de sa zone d'action qui couvre les Directions Provinciales d'Agriculture (DPA) de Boulomane, El Hajeb, Fès, Meknès, Khénifra, Taounate, Taza et Sefrou. Et possède 3 domaines expérimentaux que sont :

- Domaine d'Ain Taoujdate (spécialité ; arboriculture fruitière),
- Domaine de Douyet (spécialité ; grandes cultures),
- Domaine d'Annoceur (vocation montagne).

#### 2. Missions et Objectifs :

Ces activités de recherche s'articulent autour de 5 points stratégiques de développement dont :

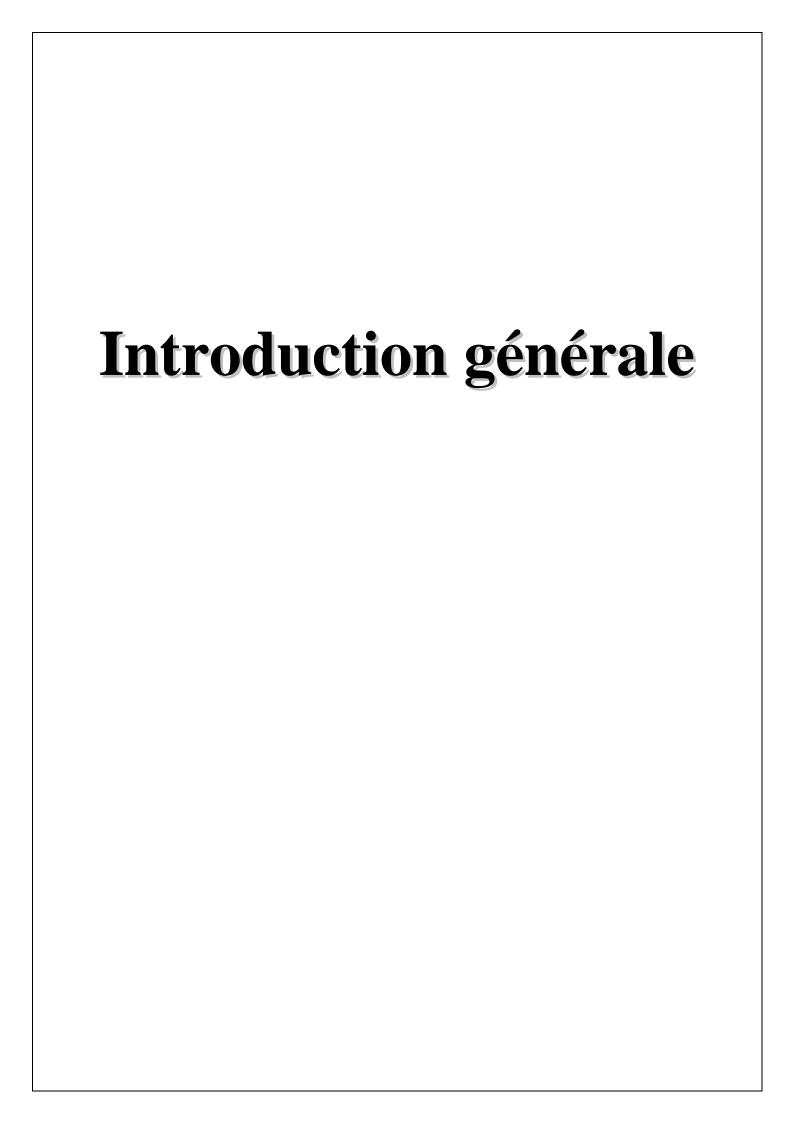
- Intensification durable des grandes cultures et diversification des systèmes de culture.
- Intensification de la culture d'olivier par l'introduction des nouvelles variétés et par l'amélioration de la qualité d'huile d'olive à travers la maitrise de la récolte, des conditions, de transport et de stockage des olives.
- Amélioration de la productivité de la filière des plantes aromatiques et médicinales.
- Amélioration et valorisation de la filière maraichère.
- Intensification de la culture de câprier.

#### 3. Potentiel humain qualifié:

- 26 Chercheurs, spécialisés dans différentes disciplines des Sciences Agronomique et Humaine.
- 18 Techniciens de recherche.
- Un Administrateur et 51 Agents de support.

Cette équipe et répartie dans 4 Unités de Recherche (U.R) dont :

- U.R Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-Génétiques,
- U.R Agronomie et Physiologie Végétale,
- U.R Gestion durable des Ressources Naturelles et de Sociologie et d'Economie Rurales,
- U.R Protection des Plantes.

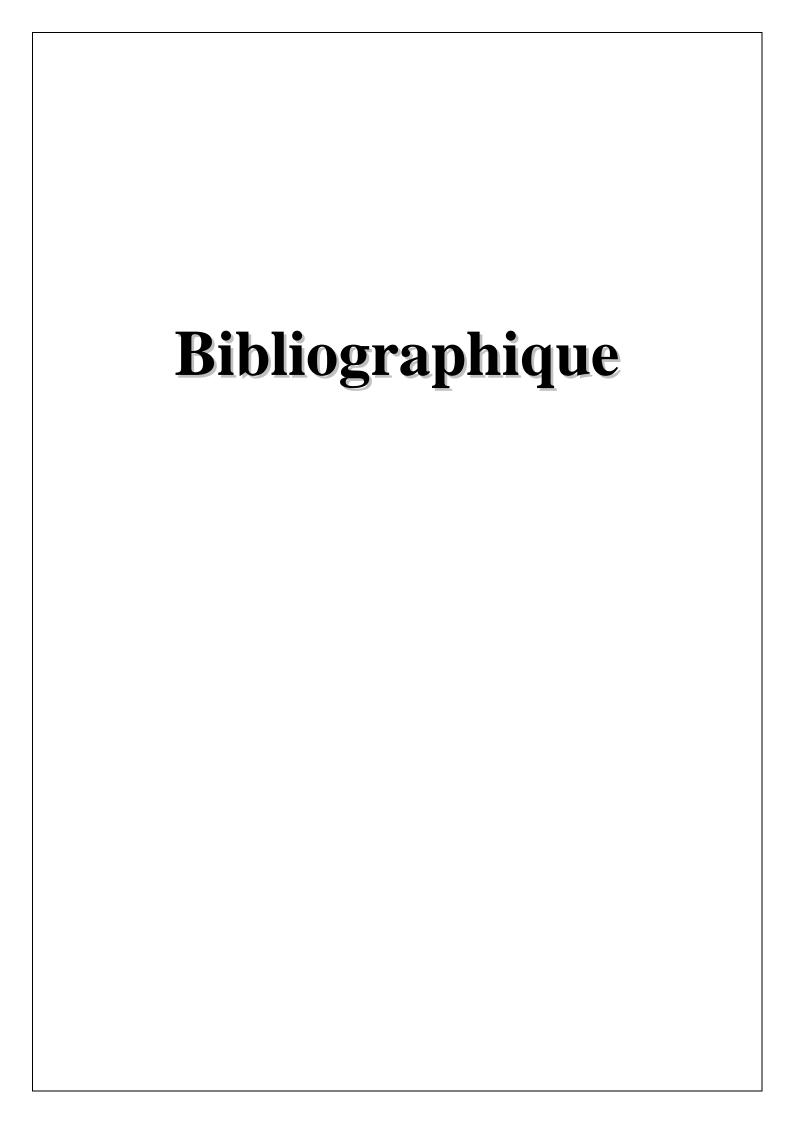


Les céréales jouent un rôle primordial dans l'économie de nombreux pays y compris le Maroc, dont la consommation moyenne annuelle est estimée à plus de 200 Kg par habitant. Elles constituent la principale source de protéines et de calories dans l'alimentation quotidienne de la population. Selon Bushuk (1984), le blé tendre est consommé pour son grain riche en énergie (77 à 87 des hydrates de carbone) et en protéines (12,7 à 13,7% selon les variétés), le grain contient aussi des lipides (2,7%), des minéraux (2%) et très peu de vitamines.

Les céréales couvrent une superficie de 5 millions d'hectares, représentant 60% de la superficie agricole utile (SAU), cette superficie c'est élargie de 23% par rapport aux années 70 (karrou *et al.*, 2001). Mais, les orientations du Plan Maroc Vert visent à réduire cette superficie à 4,2 Millions d'hectares à l'horizon de 2020. En revanche la production va être augmentée de 45% pour atteindre un chiffre de 76 Millions qx par an, en adoptant des techniques adéquats pour améliorer la production des céréales (Hajjaji, 2009).

Malgré son importance, la céréaliculture marocaine rencontre plusieurs contraintes socioéconomiques causées par l'augmentation de la population et l'amélioration du niveau de vie, ce qui nécessite une augmentation de la demande en certaines denrées alimentaires comme le blé. En outre, les insectes ravageurs, les maladies, les contraintes techniques, les changements climatiques peuvent altérer la croissance et la productivité des céréales.

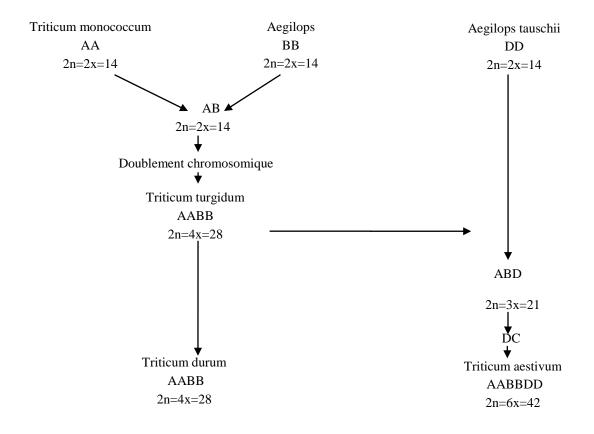
Au cours de leur vie, les plantes cultivées sont soumises à une multitude de stress susceptibles de leur causer préjudice. Tant de nature biotique qu'abiotique, les stress environnementaux affectent la croissance et le développement des cultures causant ainsi des pertes substantielles de rendements pour l'industrie agroalimentaire. Afin de lutter contre les divers ennemis des cultures, l'homme a développé une panoplie de moyens de lutte chimique qui, bien que si efficaces, représentent un risque incontestable pour l'environnement et la santé humaine. Ainsi, il devient essentiel de développer des méthodes de lutte alternatives moins dommageables. A cet effet, le silicium (ou silice) pourrait s'avérer une avenue intéressante. Peu connu des phytologistes, cet élément occupe une place prépondérante dans la nature où il est rencontré en quantité importante tant dans le sol, que chez les animaux et les végétaux. Généralement considérée comme non essentiel au cycle vital des plantes, la silice est reconnue depuis des dizaines d'années pour ses propriétés prophylactiques envers les stress biotiques et abiotiques tels que la verse, la sécheresse, les métaux lourds, les insectes phytophages et les pathogènes fongiques (Epstein, 1994; 1999).



#### Généralités sur le blé :

#### 1. Définition et origine

Le blé est une monocotylédone de la famille des *Poaceae* appartenant au genre *Triticum*. Cette plante annuelle produit un fruit sec indéhiscent, le caryopse. Le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) et le blé dur (*Triticum durum Desf.*) sont les deux espèces les plus cultivées dans le monde. Le blé tendre est constitué de trois génomes possédant chacun 7 paires de chromosomes homologues, soit 42 chromosomes au total. Il possède une structure génomique hexaploïde (AA BB DD) et le blé dur une structure tétraploïde (AA BB). Le blé tendre d'un point de vue phylogénétique est issu de deux hybridations interspécifiques suivi d'un doublement chromosomique (Figure 1). Le croisement entre *Triticum monococcum* (A) et un *Aegilops* (B) a donné un individu de structure génomique (AB) avec 14 chromosomes. Après doublement chromosomique est apparu *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* (AA BB), ancêtre du blé dur (Chapman, 2009; Chen *et al.*, 1984; Gill et Kimber, 1974). Le second croisement interspécifique a eu lieu entre *Triticum turgidum* ssp. Dicoccoides et *Aegilops tauschii* (D) ce qui a donné un individu (ABD) possédant 21 chromosomes. Ce dernier a lui aussi subi un doublement chromosomique (AA BB DD) et c'est l'ancêtre de *Triticum aestivum*.



**Figure 1:** Phylogénie du blé tendre.

#### 2. Structure et composition du grain de blé :

Le grain de blé est constitué de 3 grandes parties : le germe, l'albumen et les enveloppes. (Figure 2). Il est constitué majoritairement d'amidon qui représente environ 70% de la matière sèche du grain et qui est situé dans l'albumen. Les protéines représentent entre 10 et 15% de la matière sèche et se retrouvent dans tous les tissus du grain de blé avec une concentration plus importante dans le germe et la couche à aleurone (Pomeranz, 1988). Les pentosanes (polysaccharides non amylacés) représentent quant à eux entre 2 et 3% de la matière sèche et sont les principaux constituants des parois cellulaires de l'albumen (70 à 80%).

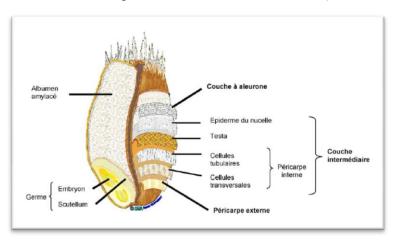


Figure 2 : Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005).

#### 3. Description botanique:

La hauteur moyenne de la plante adulte est de 1 mètre. Sa feuille est simple avec des nervures parallèles. Le limbe est aplati et se termine par une extrémité pointue. La tige est cylindrique, dressée, creuse, subdivisée en entrenœuds.

Quant à l'inflorescence, c'est un épi portant un rachis d'épillets comptant deux glumes chacune. Ces dernières contiennent à leur tour 2 à 5 fleurs par glume. La fleur est parfaite avec l'appareil reproducteur mâle formé de 3 étamines et l'appareil reproducteur femelle ne comptant qu'un pistil à deux styles et stigmates plumeux.

Du côté de la partie souterraine du blé, le système racinaire est constitué de racines séminales produites par la plantule et des racines adventives offrant au blé le système racinaire persistant.

La graine de blé est un fruit sec indéhiscent appelé caryopse. Elle est de forme ovoïdale avec un sillon le long de la face ventrale. Sa taille (5 à 7 mm de long ; 2,5 à 4 mm de large ; 2,5 à 3,5 mm d'épaisseur) ainsi que son poids (20 à 50 mg) varient en fonction de la position sur l'épi et le climat (Simôes, 2011).

#### 4. Culture:

Le blé est une culture céréalière qui occupe la première place mondiale pour l'homme comme source de nourriture (Moouellef, 2010). Il est cultivable sur toute sorte de sol mais préfère des sols argilo-calcaires assurant une bonne réserve en eau et riche en matière organique (Justes *et al.*, 2009).

#### 4.1 Date de semis:

Au Maroc, la période de semis du blé est très étendue et s'étale d'Octobre à Janvier (Ouattar et Ameziane, 1989). Toutefois, dans les zones arides et semi-arides, les semis précoces sont conditionnés par la quantité et la date d'arrivée des premières pluies. En effet, dans ces zones, la date du semis la plus adéquate est celle de la période de fin Octobre jusqu'au début Novembre. Dans les zones de montagne, le semis précoce est fortement recommandé du fait que la phase végétative du blé est plus étalée à cause des basses températures.

Les semis précoces permettent d'atteindre des niveaux de rendement supérieurs à ceux des semis tardifs. Pour tirer profit du semis précoce, il est nécessaire de recourir au désherbage chimique pour éviter l'envahissement par les mauvaises herbes après les premières pluies. Si le semis est effectué tardivement, il faut utiliser des variétés précoces qui permettent de rattraper le cycle tout en évitant la sécheresse de fin de cycle (Bennani et Bendidi, 2014).

#### 4.2 Dose et mode de semis :

La densité de semis est fonction du rendement objectif réalisable, des intrants apportés (fertilisants, irrigation principalement) et de la variété utilisée (poids de 1000 graines). Le taux de germination et le mode de semis sont également des facteurs importants à considérer. Le taux de germination est lié principalement aux conditions de stockage de la semence et des maladies post maturité et post récolte (Bennani et Bendidi, 2014).

Il est recommandé d'utiliser les semoirs pour obtenir un peuplement homogène, sinon augmenter la dose de semis de 40 à 50% pour compenser les pertes. (Bennani et Bendidi, 2014). En comparant quatre séquences de travail du sol Bendidi (2006) a trouvé que l'indice de récolte est élevé en cas de semis direct où la production en grain est supérieure à celle de pailles.

#### 4.3 Irrigation d'appoint :

Pour permettre leur croissance végétative et leur développement, les céréales ont besoin d'eau appropriée en qualité et en quantité, à portée de leurs racines et au bon moment.

Les besoins en eau sont variables selon le stade de développement. En effet, jusqu'à la fin du tallage, les besoins sont faible ; au cours de la montaison jusqu'à la fin de la floraison, ils sont considérables et après la floraison, le blé devient très résistance à la sécheresse.

Une partie de l'eau absorbée par la plante sert à transporter les nutriments dissous du sol jusqu'aux organes aériens. Ces éléments nutritifs doivent être présents sous une forme assimilable pour que les végétaux puissent les absorber, parmi ces éléments : l'azote qui contribue fortement à l'amélioration du rendement du blé.

Des apports de 60 à 120 mm d'eau au cours du cycle, permet d'augmenter significativement les rendements pendant les années sèches. Les trois stades les plus sensibles du blé à l'eau sont : l'épiaison, le tallage et le semis surtout s'il est réalisé à sec. L'irrigation d'appoint au semis (starter) permet d'assurer une bonne germination et une bonne levée. Celle apportée au stade tallage permet d'augmenter le nombre de talles par pied et par la suite le nombre de grain produit par unité de surface. Alors que, l'irrigation au stade épiaison permet d'améliorer le poids du grain et d'amortir l'effet néfaste des vents chauds (Chergui) qui sévissent dans la région en fin de cycle de la culture (Bennani et Bendidi, 2014).

#### 4.4 Fertilisation:

La culture de blé exige un apport de fertilisants riches en azote. Ainsi, c'est le deuxième facteur limitant de la production et la qualité de cette noble céréale après l'eau. La carence en ce nutriment conduit au mitadinage qui se traduit par une texture non vitreuse en raison de la réduction de la synthèse des protéines, celle des glucides restant normale. C'est d'ailleurs dans cette optique qu'il est recommandé d'introduire les légumineuses comme intermédiaire ou précédent cultural (E.Justes *et al.*, 2009).

L'azote est un facteur majeur limitant les rendements, quand les précipitations sont suffisantes, les pertes d'azote par lessivage en cas de surdosage entrainent des pertes d'argent et la pollution de la nappe phréatique. Donc, la réponse à la fertilisation azotée est meilleure lorsque la plante ne souffre pas de stress hydrique (Bendidi, 2008).

#### 4.5 Maladies et ravageurs :

Le blé, comme les autres céréales est sensible à certaines maladies fongiques comme l'oïdium, la septoriose, la rouille jaune et brune et à certains ravageurs comme la cécidomyie. Afin de faire face à ces maladies, l'utilisation des fongicides est acceptable mais le choix des variétés résistantes reste la meilleure option dans la mesure où la tolérance variétale constitue un des facteurs essentiels et stables qui contrôlent ces maladies (Charles *et al.*, 2011).

#### Généralités sur le silicium :

Le Silicium est le deuxième élément le plus abondant dispersé sur l'écorce de la terre après l'oxygène, représentant 28% de la croûte terrestre. Les êtres vivants assimilent le silicium généralement sous forme de silice organique ou d'acide monosilicique (H4SiO4) mais dans les sols en culture, il se trouve principalement sous forme minérale (polymérique). Il se trouve présent dans les tissus de la plante sous quatre formes : minérale, organique, polymérique et cristalline. Cette dernière forme se trouve sur la superficie des feuilles, ce qui leur apporte plus de brillance et de résistance. Cependant, le silicium ne peut être assimilé sous forme minérale par les plantes mais seulement sous forme d'acide silicique (silicium organique) et peut être absorbé uniquement par la racine de la plante.

Toutefois, bien que les propriétés du silicium soient établies, le mode d'action par lequel la silice protège la plante demeure obscur et deux hypothèses, possiblement compatibles, sont suggérées. Une fois absorbée sous forme d'acide silicique et transportée par le courant d'évapotranspiration, la silice est rapidement polymérisée au niveau des tiges et des feuilles (Fawe *et al.*, 2001 ; Sangster *et al.*, 2001). Initialement, l'effet protecteur de la silice fut donc associé à la formation d'une barrière mécanique nuisant à la pénétration de l'agent pathogène (Carver *et al.*, 1987 ; Kim *et al.*, 2002). Toutefois, cette hypothèse fut mise en doute (Samuels *et al.*, 1991) et les études suggèrent maintenant que la fraction de la silice restant soluble dans la plante (moins de 1%) jouerait également un rôle actif dans la protection des plantes via une activation accrue de ses mécanismes de défense (Bélanger *et al.*, 2003).

En présumant que la forme soluble de la silice est responsable de son activité prophylactique, il serait intéressant d'en augmenter la teneur de la silice dans la plante. Toutefois, les propriétés des molécules d'acide silicique entraînent une polymérisation très rapide à faible

concentration. Le seul moyen d'obtenir davantage de silice soluble, et efficace, à l'intérieur de la plante serait donc d'en prévenir la polymérisation en réduisant la capacité des molécules à se lier entre elles. A cette fin, les composés de dégradation de la silicone (ou polydiméthylsiloxanes, PDMS), pourraient s'avérer une avenue intéressante. Ces molécules présentent une forte solubilité et polymérisent à une concentration beaucoup plus élevée que l'acide silicique (Spivack et Dorn, 1994). Leur utilisation pourrait donc être envisagée dans l'optique d'accroître la teneur en silice soluble chez les plantes. Toutefois, très peu de connaissances existent quant à leur absorption, leur déposition et leur effet prophylactique, de même que sur leur phytotoxicité éventuelle chez les plantes en tant qu'amendement en silice.

#### 1. Silice dans le sol

Les sols de la planète sont issus de la désagrégation de la roche-mère, principalement formée de silicates et d'aluminosilicates, des composés contenant essentiellement de la silice (Si) et de l'oxygène (O) (Epstein, 2001). Dans le sol, la silice peut être liée au fer et à l'aluminium au sein des silicates, adsorbée sur les particules de sols, ou présente sous forme de silice polymérisée (SiO2), appelée également quartz (Jones et Handreck, 1967). Pour être disponible aux plantes, la silice doit être libérée dans la solution du sol sous forme d'acide silicique (H4SiO4), La taille des particules de sol, l'action des racines sur ces dernières ainsi que le pH sont des éléments influençant la mise en solution de l'acide silicique (Epstein, 2001). Les processus de dégradation des sols permettent la solubilisation de la silice à partir du quartz selon l'équation suivante :

#### $nSi0 2 + 2nH 2 0 \rightarrow nSi(OH) 4$

Toutefois, le quartz est très peu soluble et une part importante de la silice retrouvée dans l'eau du sol provient des aluminosilicates tels que les feldspaths et les micas (Epstein, 2001).

La solubilité de la silice est peu influencée par le pH à des valeurs variant entre 2 et 9. Audelà de cette valeur, l'acide silicique s'ionise, ce qui a pour effet d'en accroître la solubilité de façon importante. La concentration maximale de silice pouvant être retrouvée en solution à pH physiologique est de 1,7 mM, après quoi il y a formation de silice amorphe (Figure 3) (Epstein, 2001). La silice amorphe est également formée dans les plantes, sous forme de phytolithes (ou opale), lorsque la concentration en acide silicique dans les tissus dépasse ce seuil critique (Sangster *et al.*, 2001). Les concentrations en acide silicique, retrouvées dans la solution du sol, sont toutefois inférieures à la concentration maximale chimiquement possible. En effet, la solution du sol contient généralement entre 0,1 et 0,6 mM de silice. Ces faibles

concentrations s'expliquent par le fait que la silice en solution est captée par les racines des plantes à un taux plus élevé que celui auquel elle est libérée de la phase solide du sol. De plus, une partie de la silice en solution est adsorbée aux molécules de sol et réagit avec l'aluminium pour reformer des aluminosilicates. La teneur en silice dans la solution s'en trouve donc diminuée (Jones *et al.*, 1967).

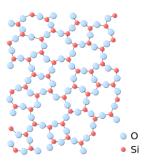


Figure 3 : Représentation schématique de la silice amorphe (CSST, 2009).

Bien que présente en quantités relativement faibles, la silice en solution dans le sol est rencontrée à des concentrations comparables à celles de plusieurs éléments importants tels que le K<sup>+</sup>, le Ca<sup>2+</sup> et le SO4<sup>2-</sup> et dépassent largement les concentrations en phosphore, qui excèdent rarement 1,6 uM (Epstein, 1994). Elle ne peut donc être considérée comme un élément mineur au niveau de l'eau du sol et mérite une attention particulière, au même titre que les autres macroéléments.

#### 2. Silice dans la plante

L'absorption se fait sous forme de l'anion silicate (SiO<sub>4</sub>)<sup>-4</sup> venant de l'acide silicique Si(OH)<sub>4</sub>. La teneur en silicium varie très fortement selon les espèces. Les graminées accumulent le silicium dans les parties aériennes qui peuvent avoir des teneurs dix fois plus élevées que celles des espèces légumineuses et plus largement des dicotylédones. Le riz est l'espèce la plus accumulatrice mais on peut citer aussi la canne à sucre et sous notre climat, les orges et l'avoine. Le silicate tend à se fixer sous forme de silice solide SiO<sub>2</sub> dans les parois cellulaires et dans les cellules épidermiques des feuilles, des tiges et des inflorescences.

Les rôles du silicium ne sont pas tous éclaircis. Chez les graminées, il contribue à :

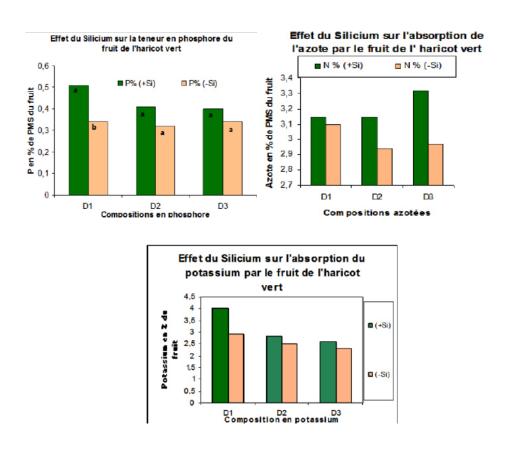
- la rigidité des parties aériennes par l'épaississement des parois pecto-cellulosiques.
- la régulation d'autres éléments limitant leur risque de toxicité (excès de fer ou de manganèse).
- la résistance à la pénétration des hyphes de champignons parasites.
- l'inappétence des tissus végétaux pour les insectes par un effet de barrière physique.

- un rôle physiologique et métabolique qui consiste en la régulation de l'absorption et le transport par les plantes de certains éléments essentiels comme le calcium, le phosphore, le potassium et le magnésium.
- réduction de l'utilisation d'engrais NPK.

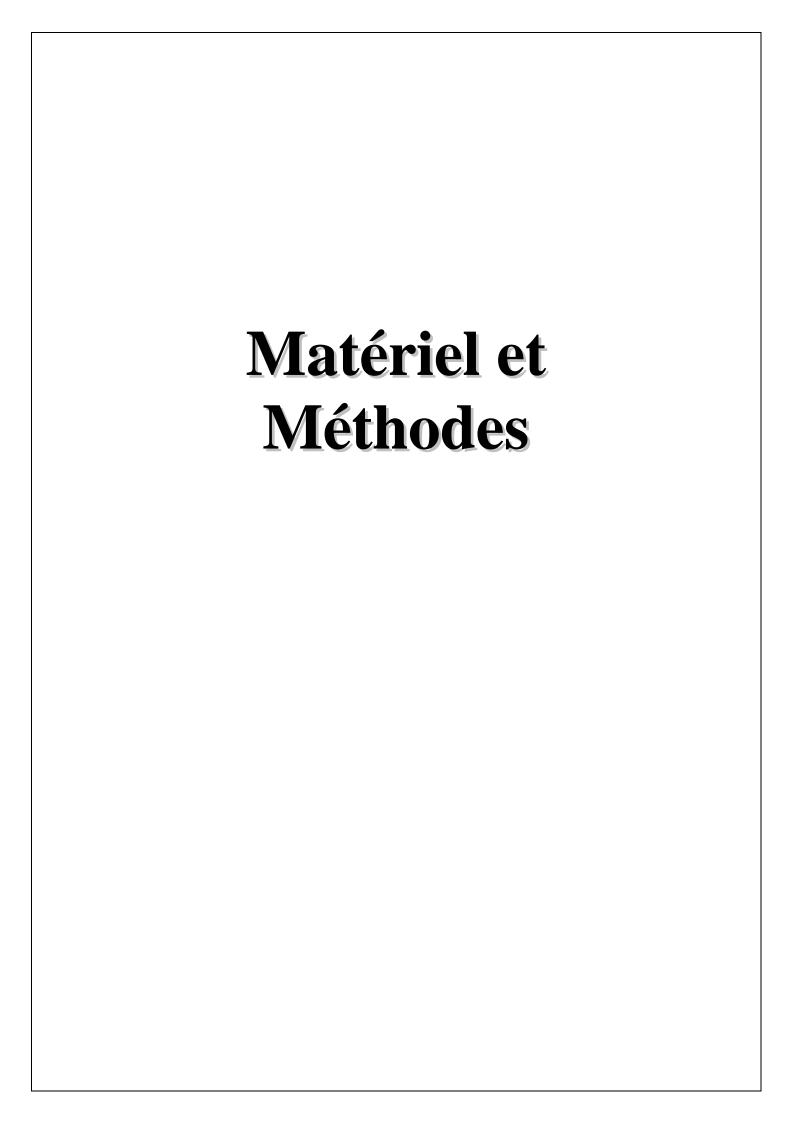
La biodisponibilité du silicate augmente en sols acides mais diminue avec l'abondance des oxydes de fer et de manganèse. Il n'existe pas de seuil connu de carence ou de toxicité pour les espèces cultivées sous nos climats.

#### 3. Effet du silicium sur la teneur en NPK

L'effet sur la teneur en élément minéraux des fruits des différentes cultures a été positif comme le montre la figure 4 chez le haricot vert pour l'azote, le phosphore et le potassium à différentes doses (**D1**: 50 kg/ha N, 80 Kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 Kg/ha K<sub>2</sub>O, **D2**: 100 kg/ha N, 120 Kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 160 Kg/ha K<sub>2</sub>O, **D3**: 120 Kg/ha N,160 Kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 Kg/ha K<sub>2</sub>O) de fertigation (Bouzoubaâ, 1991).



**Figure 4 :** Effet du silicium sur la teneur en azote, phosphore et potassium du fruit du haricot vert à différentes doses de fertilisation en N, P, K de la culture (Bouzoubaâ, 1991).



Notre travail est divisé en deux parties ; la première au niveau de laboratoire d'analyse de sol pour réaliser les analyses chimiques de notre sol (matière organique, Phosphate, conductivité électrique et pH), la deuxième partie au niveau de la serre à l'INRA Meknès. Il concerne d'étudier l'effet de silicium sur la croissance et le développement du blé tendre.

#### 1. Station d'étude :

L'essai a été installé au niveau de la serre à l'INRA Meknès, nous avons testés l'effet du silicium sur la croissance du blé tendre (Arrehane); le niveau de silicium (deux doses de silicium D0 = 0 kg/ha, D1= 800 kg/ha). Les analyses du sol ont été réalisées au niveau du laboratoire d'Agronomie du CCRA Meknès.

#### I. Caractéristique chimique du sol

L'intérêt des analyses du sol permet d'évaluer les réserves organiques et minérales du sol lorsqu'elle est réalisée dans les bonnes conditions.

#### 1. Echantillonnage:

La préparation des échantillons au laboratoire comprend :

Séchage d'1kg de sol dans l'étuve à 70°C pendant 24 h, puis broyage par un mortier à ce que la taille des grains ne soit pas abimée, tamisage avec un tamis 2 mm.

#### 2. Méthodes d'analyse du sol

### Matières organique :

La méthode utilisée pour mesurer la teneur en MO est celle proposée par: Walkey et Black (1934)

#### Principe de mesure de la matière organique du sol :

La matière organique joue un rôle important dans les fonctionnements physique, chimique et biologiques du sol. Elle améliore la cohérence des éléments structuraux, favorise la rétention en eau utile, participe au stockage réversible des éléments nutritionnels, limite le développement de certains parasites, augmente l'aération du sol. Un sol bien pourvu en matière organique offrira un milieu bien plus favorable au développement des cultures et moins sensible aux aléas climatiques.

La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée indirectement, à partir du dosage de la teneur en carbone organique.

#### a) Réactifs

- ➤ Acide sulfurique concentré (H2SO4) 98% (d=1,83).
- ➤ Bichromate de potassium K2Cr2O7. 1N
- Sécher le bichromate de potassium à 105°C et refroidir dans un dessiccateur.
- Peser 49,04 g de K2Cr2O7 p.a. et dissoudre dans environ 800ml d'eau distillée, jaugé à un litre.
- ➤ Sulfate de fer (FeSO4.7H2O) 1N.
- Dissoudre 69,5 g (278g devisé sur 4)
- Ajouter 1,25 ml d'acide sulfurique
- Laisser refroidir et puis jauger à 250 ml
- ➤ Indicateur : diphénylamine.

Dissoudre 0,5 g de diphénylamine dans un mélange de 20 ml de H2O et 100ml de H2SO4 concentré.

Témoin : 5ml de bichromate de potassium + 10ml d'acide sulfurique

#### b) Protocole expérimental

- Peser 0,5g de sol dans erlenmeyer de 250 ml.
- ➤ Ajouter 5ml de bichromate de potassium 1N.
- Agiter à la main doucement jusqu'à dispersion du sol.
- ➤ Ajouter 10 ml de H2SO4 concentré en agitant doucement environ 1 min.
- Laisser reposer 30 min sur un isolant thermique.
- > Ajouter 75 ml d'eau distillée.
- ➤ Ajouter 5ml d'acide orthophosphorique concentré.
- Laisser au repos pendant 30 min.
- ➤ Ajouter 0,5 ml (4gouttes) de l'indicateur phenylamine et homogénéiser.
- ➤ Titrer l'excès de K2CR2O7 avec le sulfate de fer (FeSO4) 1N jusqu'au vert brillant.
- Noter le volume de FeSO4 pour titrer le blanc et l'échantillon.

Calcul: MO = 2,3\*[(V(T)-V titré)\*0,3]\*0,5/poids du sol(g)

#### **♣** pH du sol

#### Principe de mesure du pH du sol:

La valeur du pH détermine les comportements physiques (stabilité de la structure, résistance à la battance...), chimiques (fonctionnement de la CEC, assimilabilité du phosphore, biodisponibilité des oligos-éléments et micro éléments...) et biologiques (humification et minéralisation des matières organiques) du sol. Le meilleur compromis est obtenu, suivant les cultures, pour des sols neutres, peu acides ou peu basiques.

Le pH permet également d'estimer la quantité d'ions H<sup>+</sup> présents dans le sol et le taux de saturation de la capacité d'échange cationique (C.E.C.).

Le taux de saturation de la CEC est l'indicateur le plus fiable pour la gestion des chaulages. En sols acides, l'objectif visé est un taux de saturation de 70 à 90%, pour un fonctionnement physique, chimique et biologique optimum du sol.

#### c) Réactifs

1. Solution Tampons de pH = 4.0, pH = 7.0 et pH = 9.0

#### d) Mode opératoire

PH dans l'eau (pHe)

- 1. Peser 10 g du sol dans des béchers de 50 ml
- 2. Ajouter 30 ml d'eau distillée
- 3. Agiter 3 fois avec une baguette pendant 30 secondes
- 4. Lire le pH après 30 minutes

Le pH régule la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, c'est probablement le facteur le plus important à considérer lors de l'analyse du sol, Le pH est mesuré par un pH-mètre après calibration de l'appareil.



Figure 5 : Distributeur et pH-mètre.

### **♣** Conductivité électrique :

#### **Principe:**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol, elle exprime approximativement de la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. Cette propriété électro-chimique est basé sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroit au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs des charges électriques, augmentent. Sa mesure s'effectue par l'utilisation d'une cellule de conductivité couplée à un conductivimètre et la conductivité s'exprime en  $\mu S/cm$ .

- Même protocole de pH mais en mesure par conductimètre



Figure 6 : Conductimètre.

#### Phosphore de sol :

Le Phosphore disponible est déterminé par la méthode Olsen (1954) qui consiste une extraction par une solution bicarbonate de sodium NaHCO<sub>3</sub> 0,5N tamponnée à pH = 8,5.

#### Principe de mesure de la teneur en phosphore assimilable :

Connaître la teneur du sol en phosphore assimilable est indispensable pour optimiser au plan agronomique et économique la fertilisation complémentaire en fonction des besoins du sol et des cultures et maintenir durablement sa fertilité phosphatée.

#### Pourquoi mesurer le phosphore assimilable suivant la méthode Olsen?

La technique d'extraction mise en œuvre dans cette méthode est reconnue internationalement comme la plus représentative des échanges sols-racines et la plus universelle, c'est-à-dire fiable et interprétable dans la très grande majorité des situations pédologiques. Les autres méthodes peuvent surestimer l'offre alimentaire du sol en phosphore biodisponible dans

certaines situations (sols calcaires, apports d'engrais peu solubles, apports de boues ayant subi de nombreux traitements physico-chimiques...).

#### e) Réactifs:

- ➤ Bicarbonate de sodium (NaHCO3) 0,5 N à pH = 8,5. (Solution d'extraction)
- Dissoudre 42 g de NaHCO3 dans 900 ml de H2O donc 233g dans 5 L de H2O
- Solution de préparation de la coloration = (SPC)
  Le rôle de SPC permettre de préparer la coloration pour faciliter le passage des échantillons de spectrophotomètre.
- a. Acide sulfurique (H2SO4) : ajouter 148ml de H2SO4 concentré. Compléter à 11 avec H2O.
- b. Dissoudre 12 g de molybdate d'ammonium dans environ 250 ml de H2O.
- c. Dissoudre 0,2908 g du potassium antimoine tartrate dans environ 100ml d'eau distillée. Ajouter les trois solutions a, b et c et ajuster à 2L avec l'eau distillé.
- Dissoudre 1,056 g d'acide ascorbique dans 200 ml de SPC.
- Préparer des standards de 0, 1, 2, 3, 4 et 5ppm en diluant 0, 5, 10, 15, 20 et 25 ml.

#### f) Mode opératoire:

- 1. Peser 2,5 g de sol dans un flacon.
- 2. Ajouter 50 ml de la solution d'extraction
- 3. Agiter pendant 30 min.
- 4. Filtrer la solution à travers Wattman
- 5. Prélever 10 ml de l'extrait dans une fiole de 50 ml
- 6. Acidifier avec 10 ml de H2SO4.
- 7. Ajouter 8 ml de solution d'acide ascorbique.
- 8. Compléter à 30 ml avec l'eau distillée.
- 9. Lire l'intensité de la couleur bleu à 820 nm après 10 à 15 min.



Figure 7 : Spectrophotomètre.

#### g) Etalonnage:

- ✓ Prélever 10 ml de chaque standard dans des béchers de 50 ml.
- ✓ Ajouter 8 ml de la solution d'extraction plus acide ascorbique.
- ✓ Acidifier avec 10 ml de H2SO4.
- ✓ Compléter à 50 ml avec H2O.
- ✓ Lire l'intensité de la couleur bleu à 820 nm après 10 à 15 min.



Figure 8 : étalonnage.

#### II. Croissance des plantes

#### 1- Semences:

Le semis a été réalisé le 28/03/2017 à un nombre de 5 grains par 48 pots. La variété du blé tendre Arrehane étudiée et du blé dur (Vitron).

**Tableau 1 :** Caractéristiques de la variété du blé tendre Arrehane.

	Source : SONAC
Cécidomyie	Résistante
Rouille jaune	Résistante
Rouille brune	Résistante
- Résistance à :	
- Zone d'adaptation	Bour-irrigué
- Taille	Haute
- Précocité à l'épiaison	Précoce
- Année d'inscription	1996
- Origine	Maroc

Source : SONACOS.

NB: - Nous avons traité contre l'Oïdium (*Erisiphe graminis*); la maladie qui a affecté l'essai par le fongicide Impact; Matière active: 117,5 g/l Flutriafol et 250 g/l Carbendazime avec une dose de 1l/ha (bouille 300 l d'eau/ha).

- Contre le puceron vert (*Ropalosiphum padi*), nous avons utilisé l'insecticide Fastac ; Matière active : l alphaméthrine 0,8 l/ha avec une dose de 50g/l.

#### 2. le sol :

Le sol sur lequel l'essai a été installé est de type: Fersialitique (altération des minéraux primaires, argile exclusive) à les propriétés suivantes :

**Tableau 2 :** Composition du sol utilisé au niveau de la serre.

Composition	% ou ppm
Argile (%)	49.69
Limon (%)	23.62
Sable (%)	26.69
Densité apparente (Da) (g/cm3)	1.2

Ferti-council: Laboratoire d''analyse des sols et de l'eau d'irrigation (DSSMA ENA. Meknès, Maroc)

#### 3- Dispositif expérimental

C'est un ensemble des parcelles ou unités expérimentales (nombres de traitements x nombre de répétitions). Une répartition particulière et caractéristique, permet d'étudier et contrôler un ou plusieurs gradients d'hétérogénéité. Le choix d'un dispositif expérimental sera en fonction : du nombre de facteurs étudiés, du nombre de gradients d'hétérogénéité et des contraintes liées à l'expérimentation.

#### • Le dispositif en split-plot :

Le dispositif expérimental utilisé avec une division selon les niveaux de silicium (D0, D1) répété 3 fois. Au sein de chaque division les pots installés ont été aléatoirement répartis entre les 2 génotypes avec trois répartitions pour chaque génotype. Ces pots en plastique d'un volume de sept litres (la superficie égale à 314 cm²).

Ce dispositif comporte 48 pots ou parcelles élémentaires. Il est répété trois fois où chaque répétition. Les pots utilisés sont en plastique de volume de sept litres. Chaque pot est percé par-dessous afin de laisser drainer l'eau en excès. L'essai a été répété 4 fois (soit 48 pots), dont le but d'avoir 4 répétitions de l'essai, les trois premières ont été réservées aux mesures

destructibles (41, 48 et 53<sup>ème</sup> Jour après semis). Alors que la 4<sup>ème</sup> répétition est réservée au rendement en grain et ses composants.

Dans notre secteur d'étude, puisque l'essai est imbriqué sur une étude qui traite l'effet du silicium sur le blé tendre et sur le blé dur, seul le blé tendre est étudié.

Rep 1	D0G1	D0G2	D0G1	D0G2	D0G1	D0G2	D0G1	D0G2
	D1G1	D1G2	D1G1	D1G2	D1G1	D1G2	D1G1	D1G2
Rep 2	D1G2	D1G1	D1G2	D1G1	D1G2	D1G1	D1G2	D1G1
	D0G2	D0G1	D0G2	D0G1	D0G2	D0G1	D0G2	D0G1
Rep3	D0G2	D1G1	D0G2	D1G1	D0G2	D1G1	D0G2	D1G1
	D1G2	D0G1	D1G2	D0G1	D1G2	D0G1	D1G2	D0G1

Figure 9 : Dispositif expérimental.

**D0 :** Sans silicium **G1 :** Blé tendre (Arrehane)

**D1:** Avec silicium 800 kg/ha (3,32g/pot) **G2:** Blé dur (Vitron)



Figure 10 : Dispositif expérimental en serre.

#### Partie aérienne :

#### 1: Teneur en chlorophylle

La teneur en chlorophylle est un indicateur direct de l'état physiologique de la plante et la détection des stress environnementaux. Les mesures ont été réalisées par un chlorophylle mètre.

Vu l'hétérogénéité de la chlorophylle dans la feuille, nous avons pris le centre de la feuille drapeau pour ces mesures (3 plantes/ pot).



Figure 11 : Chlorophylle mètre.

#### 2 : Hauteur de la plante et le nombre des feuilles

Ce paramètre est mesuré au stade tallage à l'aide d'une règle, et on a compté le nombre des feuilles par plante.

#### 3: Surface foliaire

Le planimètre est utilisé pour mesurer la surface foliaire. Cet instrument a la possibilité d'enregistrer les paramètres mesurés, mais aussi d'enregistrer une image numérique de la feuille numérisée.



Figure 12: planimètre.

#### 4 : Matière sèche

Afin, de suivre l'évolution de la production de la matière sèche pour chaque niveau des deux facteurs testés. Les plantes ont été étuvées à 80°C pendant 48 heures et pesées.

#### Partie souterraine:

#### 1: Volume racinaire

Les racines sont arrachées des pots en utilisant un tamisage et un jet d'eau à faible pression, puis les racines sont été plongées dans une éprouvette graduée remplie d'eau. La différence entre le volume initial et le volume final de l'eau donne le volume racinaire.

#### 2: Longueur racinaire

Afin de dégager les racines des pots on mesure la longueur des racines à l'aide d'une règle.

#### 3 : Matière sèche racinaire

Les racines sont étuvées à 80°C pendant 48 heures et pesés.

#### **Analyses statistiques**

La gestion de la base de données organisation et dépouillement ont été réalisés moyennant le tableur EXCEL. L'analyse de variance a été analysée à l'aide du logiciel SPSS 19.0. Le niveau de risque considéré a été de 5%.



#### I- Analyses du sol

Tableau 3: Résultats des analyses du sol.

échantillons	MO%	pН	Conductivité (mS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> EN PPM
Annoceur	1,656	7,18	0,53	21,54
Douyet	0,828	7,19	0,488	12,47
El Hajeb	1,437	7,19	0,52	13,5
Serre	1,173	7,19	0,64	16,16

Tableau résume la moyenne de tous les mesures de sols étudiées.

#### 1- Matière Organique :

Hormis le sol de l'Annoceur (jachère de longue durée), les teneurs en MO sont considérées comme moyenne. Or, les sols d'El Hajeb et de Douyet ainsi que notre sol d'étude (Meknès) sont considéré respectivement faibles à très faibles, selon les normes établies par Delaunois *et al.*, (2008)

**Tableau 4 :** Norme d'interprétation de la matière organique.

Analyse	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Matière organique (%)	< 1	1 – 1.5	1.6 - 2.5	2.6 - 3.5	> 3.5
(Delaunois et al., 2008)					

#### 2- pH:

Le ph de notre sol est égal à 7,19. Cette valeur est optimale pour la croissance végétale. Les valeurs du pH restent relativement neutres pour tous les sols étudiés.

**Tableau 5 :** Norme d'interprétation du pH.



Source: document interne d'INRA

## 3- Conductivité électrique :

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au niveau des quatre sols étudiées varient de 0,48 mS à 0,64 mS. Selon les normes, notre sol non salé donc son effet sur les rendements est négligeable.

**Tableau 6:** Norme d'interpretation de la conductivité.

Classe	CE en µs/cm à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Source: document interne d'INRA

#### 4- Phosphore:

En ce qui concerne le phosphore, le sol de serre montre la teneur la plus élevée 16,16 ppm par rapport à Douyet, El Hajeb et l'Annoceur. Mais, selon les normes établies par Delaunois *et al.*, (2008), tous les sols étudiées ont des teneurs en phosphore faibles à très faibles.

**Tableau 7 :** Norme d'interprétation du phosphore.

Analyse	Très faible	Faible	moyenne	Elevée	Très élevée
Phosphore Olsen (mg.Kg <sup>-1</sup> ) (Delaunois <i>et al.</i> , 2008)	< 15	16 – 30	31 – 45	46 – 100	> 100

#### II- Effet du silicium sur la Croissance du blé tendre

#### 1- Effet du silicium sur la matière sèche aérienne

L'analyse de la variance n'a pas révélé d'effet significatif de silicium sur la matière sèche pendant les trois stades de mesure (41, 48 et 53ème jour après semis), mais on observe d'après la figure 13 qui représente la matière sèche en gramme en fonction de nombre des jours, que l'augmentation de la matière sèche en présence de silice pendant les trois stades de mesure. En effet, au 41ème jour après le semis le silicium a permis de passer de 0,9 g (produite pour les traitements qui n'ont pas été fertilisée par le silicium) à 1,9 g. Les mêmes résultats ont été observés au 48ème JAS en passant de 1,1 g à 2,2 g et dans le 53ème JAS en passant de 2,1 g à 4,1 g. Pour l'évolution de la matière sèche totale, on remarque que pour les deux traitements qu'il y a une augmentation de la matière produite suivant le stade de mesure. La production maximale a été obtenue au 53ème JAS (stade début épiaison).

Une matière sèche importante va donner par conséquence un rendement en grain plus élevé parce qu'une partie des assimilats de la plante sera reconvertit et remobilisée du puits (feuilles et tiges) vers les organes des réserves (grains), si toutefois la plante possède un indice de récolte élevé (Bendidi, 2016). Mosseddaq et Moughli (1999) ont trouvé que le rendement grains est fortement corrélé à la production de la matière sèche. Malgré que les analyses statistiques n'ont pas montré d'effets significatifs de silicium sur la matière sèche totale produite et vue que la tendance a montré qu'il y a une production plus importante de cette matière sèche pour les traitements avec silicium, nous a conduit à conclure que le rendement en grain sera plus important pour ces traitements.

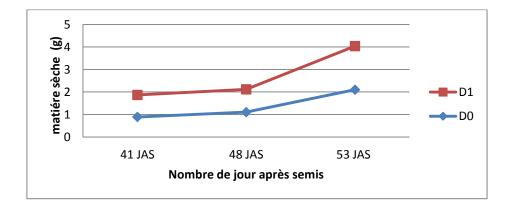
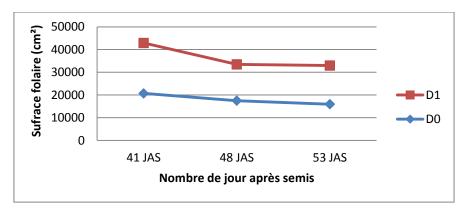


Figure 13 : Effet du silicium sur la matière sèche aérienne.

#### 2- Effet du silicium sur la surface foliaire

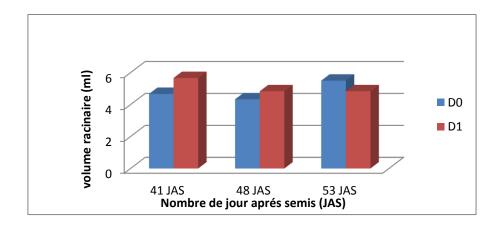
L'analyse statistique n'a pas révélé des effets significatifs de silicium sur la surface foliaire pendant les trois stades de mesure, mais on observe d'après la figure 14, que le silicium a toujours eu un effet positif sur la surface foliaire après 41 JAS, et une diminution progressive et plus remarquable pour les traitements avec silice après 48 JAS, après on a une stabilisation de la surface foliaire au 53 JAS. Le développement de la surface foliaire permet une couverture précoce du sol. Cette couverture précoce du sol réduit l'évapotranspiration et augmente l'EUE (Cooper *et al.*, 1987).



**Figure 14:** Effet du silicium sur la surface foliaire.

#### 3- Effet du silicium sur le volume racinaire

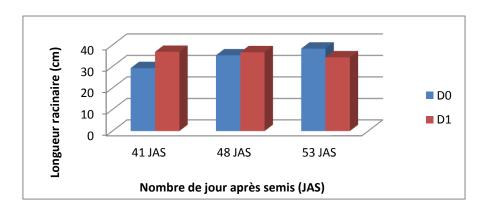
L'analyse de la variance n'a pas révélé des effets significatifs de silicium sur le volume racinaire au cours des trois stades de mesure. Mais, on observe d'après la figure 15 que le volume racinaire des traitements qui ont reçu une fertilisation de la silice sont plus élevé que ceux sans silice après 41 JAS, et après 48 JAS on note une diminution surtout les traitements avec silicium. D'après Bendidi (2016) il y a une forte corrélation entre le volume racinaire et le rendement grain. Le volume du système racinaire reflète une extension et/ou une ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume de sol, rendant plus accessibles à la plante les réserves en eau du sol (Benlaribi *et al.*, 1990).



**Figure 15 :** Effet du silicium sur le volume racinaire.

#### 4- Effet du silicium sur la longueur racinaire

L'analyse statistique n'a pas révélé d'effet significatif de silicium sur la longueur racinaire pendant les trois stades de mesure. Mais, on observe d'après la figure 16 qu'au 41<sup>ème</sup> JAS, la longueur racinaire des plantes qui ont reçu une dose de silice (800 kg/ha), est supérieur à celle des plantes sans silicium à raison de 34%, ce taux diminue à 20% au 48<sup>éme</sup> JAS. Or, au 53<sup>ème</sup> JAS, la longueur racinaire des traitements sans silice dépasses celle des traitements avec silice.



**Figure 16 :** Effet du silicium sur la longueur racinaire.

#### 5- Effet du silicium sur la matière sèche racinaire

L'analyse de la variance n'a pas révélé des effets significatifs de silicium sur la matière sèche racinaire produite au cours des trois stades de mesure, mais on observe d'après la figure 17 que l'augmentation de la matière sèche racinaire en présence de silice après 41<sup>ème</sup> jour après le semis à raison de 48 %. Le même résultat a été observé au 48<sup>ème</sup> JAS par 1,3% et au 53<sup>ème</sup> JAS. Le système racinaire est considéré comme organe de fixation de la plante au sol et d'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Un système racinaire bien développé permet

d'absorber plus des éléments minéraux et d'eau ce qui favorise la production des rendements grain plus élevé.

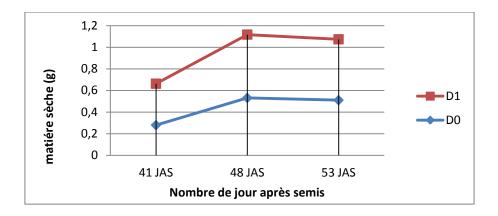


Figure 17 : Effet du silicium sur la matière sèche racinaire.

#### 6- Effet du silicium sur la chlorophylle

L'analyse statistique n'a pas révélé d'effet significatif de silicium sur la chlorophylle pendant les trois stades de mesure. Mais, on observe d'après la figure 18 qu'au 41<sup>ème</sup> JAS, la chlorophylle des plantes qui ont reçu une dose de silice est supérieur à celle des plantes sans silicium à raison de 100 %, ce taux augmente à 292% au 48<sup>éme</sup> JAS. Or, au 53<sup>ème</sup> JAS, la chlorophylle des traitements sans silice a augmenté par 0,5 CCI et les traitements avec silice reste stable. L'apport de silicium est bénéfique puisqu'il améliore la teneur en chlorophylle de la plante, ce qui aura un effet positif sur la photosynthèse et par la suite sur les réserves en photoassimilats et sur le rendement en grain.

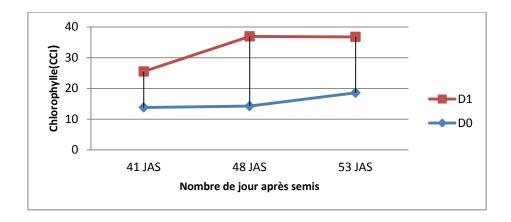
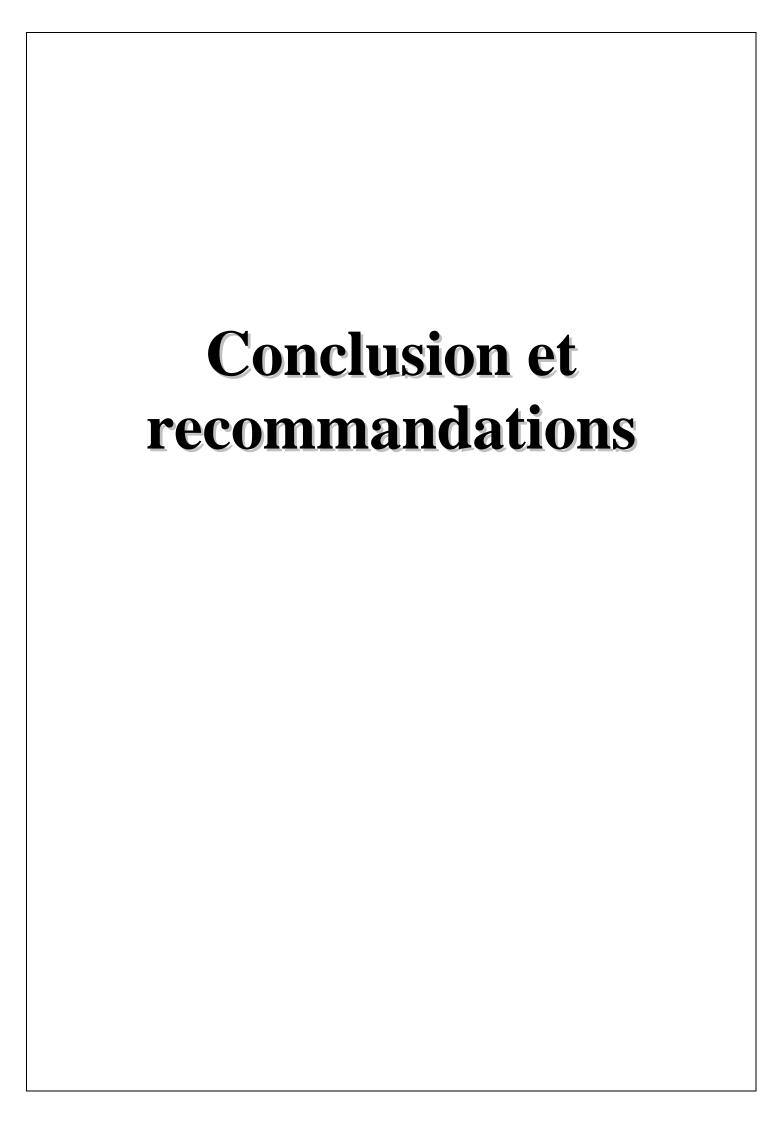


Figure 18: Effet du silicium sur la chlorophylle.

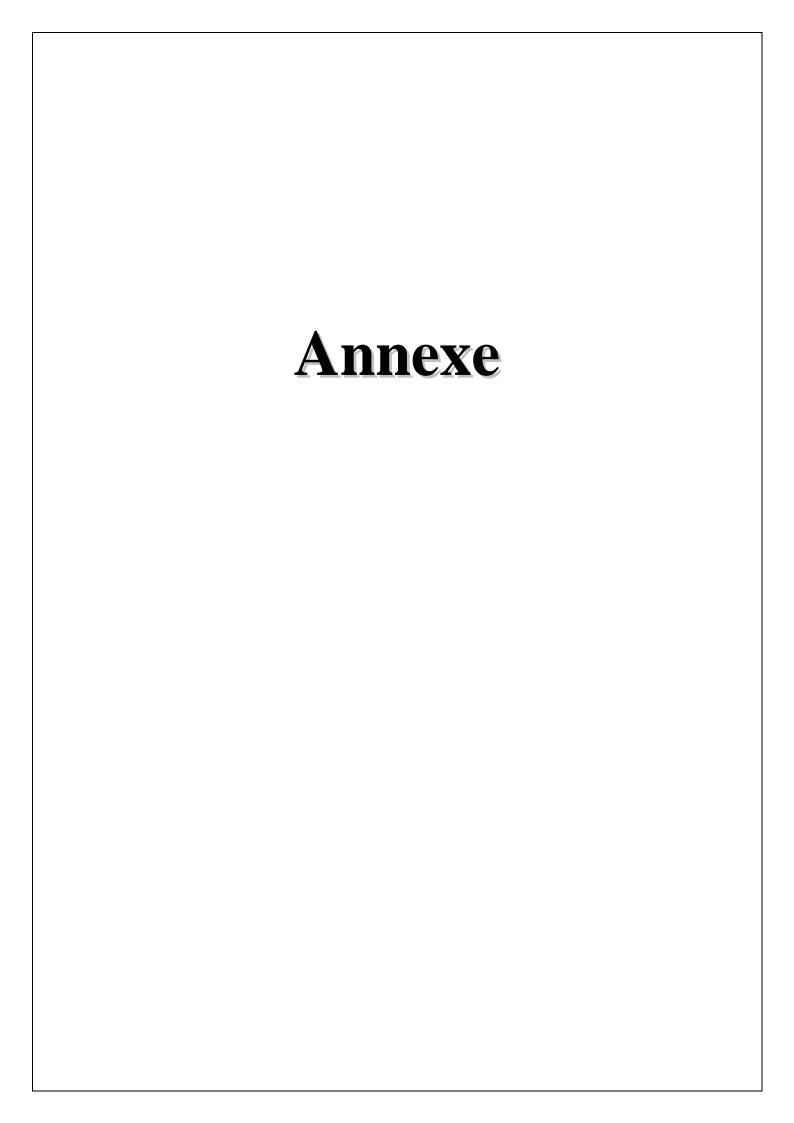


travers cette étude, nous avons tenté de quantifier les effets du silicium sur le comportement du blé tendre. L'apport de silicium a augmenté la teneur en chlorophylle, La production de matière sèche, le développement de la surface foliaire. En effet, l'apport de silicium a permis de développer un couvert végétal assez important, d'augmenter leur activité photosynthétique et par conséquent d'accroitre leur production de matière sèche et réduire l'évapotranspiration. puis l'effet de silicium sur le développement de système racinaire permet d'absorber plus les éléments minéraux et réaliser un bon rendement.

Cette étude a été réalisée au Centre Régional de la Recherche Agronomique à Meknès. Dans le but de caractériser l'effet de silicium sur la croissance et le rendement du blé tendre, ce stage a permis de maitriser les différentes analyses chimiques du sol; pH, phosphore assimilable, conductivité électrique et la matière organique. Puis une deuxième partie concernent l'essai conduit sous serre nous a permis de connaître les différents types des dispositifs (DCA, DBAC, Carré latin et split-plot), l'utilisation du matériel (chlorophylle mètre, planimètre ...) en plus SPSS (analyse variance, comparaison...)

Cependant à titre de recommandations, il est nécessaire de reconduire l'essai pour une longue durée afin d'avoir la confirmation de ces résultats quelque soit le type de sol.

Suite à cette étude, nous pouvons conclure que l'effet de silicium sur le blé tendre est bénéfique toutefois il faut reconduire le test plusieurs fois.



#### Annexe 1:

## Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante:MST AR 1

		Somme des carrés de		Mayanna das		
Source		type III	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Source	-	type III	Dui	carres	ט	oig.
Ordonnée à	Hypothèse	5,230	1	5,230	146,169	,000
l'origine	Erreur	,143	4	,036 <sup>a</sup>		
D	Hypothèse	,011	1	,011	,310	,607
	Erreur	,143	4	,036 <sup>a</sup>		
D * Rep	Hypothèse	,143	4	,036		
	Erreur	,000	0	b .		

- a. MS(D \* Rep)
- b. MS(Erreur)

## Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante:MST AR 2

		Somme des carrés de		Moyenne des		
Source		type III	Ddl	carrés	D	Sig.
Ordonnée à	Hypothèse	6,723	1	6,723	39,806	,003
l'origine	Erreur	,676	4	,169 <sup>a</sup>		
D	Hypothèse	,012	1	,012	,074	,800
	Erreur	,676	4	,169 <sup>a</sup>		
D * Rep	Hypothèse	,676	4	,169		•
	Erreur	,000	0	b .		

- a. MS(D \* Rep)
- b. MS(Erreur)

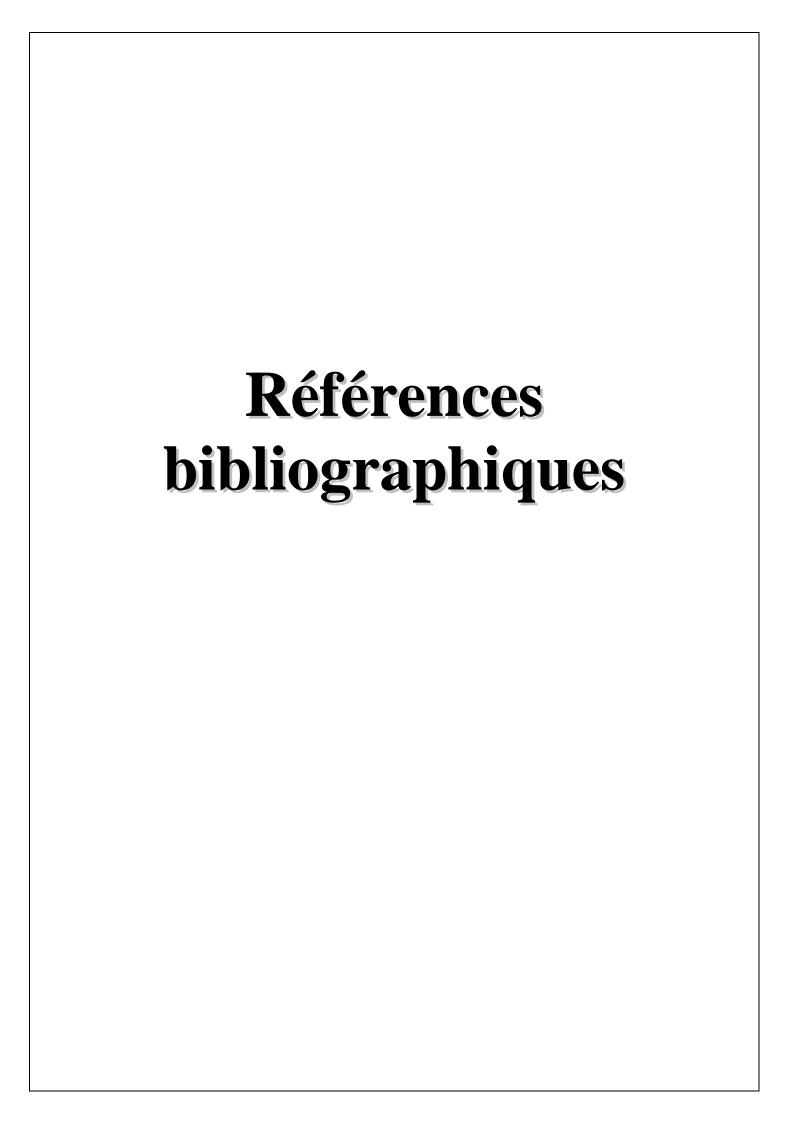
## Tests des effets inter-sujets

Variable dépendante:MST AR 3

Source		Somme des carrés de type III	Ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Ordonnée à	Hypothèse	24,442	1	24,442	155,023	,000
l'origine	Erreur	,631	4	,158 <sup>a</sup>		
D	Hypothèse	,040	1	,040	,254	,641
	Erreur	,631	4	,158 <sup>a</sup>		
D * Rep	Hypothèse	,631	4	,158		
	Erreur	,000	0	b .		

a. MS(D \* Rep)

b. MS(Erreur)



Bélanger R.R., Benhamou N., et Menzies J.G. (2003) Cytological évidence of an active rôle of silicon in wheat résistance to powdery mildew (Blumeria graminis f. sp tritici). Phytopathology 93, 402-412.

Bendidi A. 2008. Effet de l'irrigation d'appoint, de la dose d'azote et du génotype sur la production et l'efficience d'utilisation de l'eau chez le blé tendre dans la région de sais. Rapport de fin de stage de titularisation cadre de grade ingénieure d'état. INRA de Meknès. 84p.

Bendidi A. 2016. Optimisation de la conduite du blé tendre (date de semis, irrigation supplémentaire, dose d'azote et génotype) au niveau des deux régions du saïs et du moyen atlas. Thèse doctorat université ibn tofail Kenitra. 182p.

Bendidi A.2006. Contribution à l'étude de l'influence des systèmes de travail du sol sur le rendement et le comportement de blé dans la région de sais. Mémoire de 3<sup>ème</sup> cycle. ENA de Meknès. 90p.

Benlaribi M., Monneveux P. et P. Grignac 1990. Étude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (Triticum durum Desf). Agronomie 10, 305-322.

Bennani S et Bendidi A.2014. Bonnes pratiques pour la culture du blé dans la région du sais. Guide technique. Centre régionale de la recherche agronomique de Meknès.

Bouzoubâa, Z. (1991). Etude des rôles de la silice dans les mécanismes de tolérance à la sécheresse chez quelques espèces de grandes cultures. Mémoire, thèse, Doctorat Univ. USTL, Montpellier. France. 141p.

Bushuk, W. 1984. Les protéines de blé leurs propriétés et leurs rôles dans la valeur boulangère des farines dans céréales et légumineuse, manutention, commercialisation, transformation, 3<sup>ème</sup> éd. Institut international du canada pour Winnipeg, Manitoba, Canada.

Carver T.L.W., Zeyen R.J., et Ahlstrand G.G. (1987) The Relationship Between Insoluble Silicon and Success Or Failure of Attempted Primary Pénétration by Powdery Mildew (Erysiphe-Graminis) Germlings on Barley. Physiological and Molecular Plant Pathology 31, 133-148.

Chapman, G.P., 2009. Grass evolution and domestication. Grass evolution and domestication, xviii + 390 pp.

Charles R., Cholley E., Frei P. et Mascher F., 2011. Maladies et rendement du blé d'automne: Influence du système de culture. Recherche agronomique Suisse 2(6) 264 : 271.

Chen, P.D., Gill, B.S., 1984. The origin of chromosome 4A and the B and G genomes of tetraploid wheat. Acta Agronomica Sinica 10, 146-153.

Cooper P.J.M., Gregory P.J., Keatinge J.D.G. and S.C. Brown 1987. Effects of fertilizer, variety and location on barley production under rainfed conditions in Northen Syria. II: Soil Water dynamics and crop water use. Field Crop Res .16:67-76.

Epstein E. (1994) The anomaly of Silicon in plant biology. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 91, 11-17.

Epstein E. (1999) Silicon. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 750,641-664.

Epstein E. (2001) Silicon in plants: Facts vs. concepts. Dans: Silicon in agriculture (eds L.E.Datnoff, G.H.Snyder, & G.H.Korndôrfer), pp. 1-15. Elsevier, Amsterdam.

Fawe A. et al (2001) Silicon and disease résistance in dicotyledons. Dans: Silicon in Agriculture (eds L.E.Datnoff, G.H.Snyder, & G.H.Korndôrfer), pp. 159-169. Elsevier, Amsterdam.

Hajjaji A.2009. Plan Maroc Vert. La vie eco, N°4507.

Jones L.H.P. et Handreck H.A. (1967) Silica in soils, plants, and animais. Advances in Agronomy 19, 107-149.

Justes E., L. Bedoussac, L. Prieur, 2009. Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en agriculture biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de culture associé. Innovations agronomiques 4, 165-176.

Karrou et al., 2001. Ecophysiologie des céréales en zone semi arides. INRA. Maroc, 111p.

Kim S.G., Kim K.W., Park E.W., et Choi D. (2002) Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: A possible cellular mechanism of enhanced host résistance to blast. Phytopathology 7 92, 1095-1103.

Mosseddaq F. et L. Moughli 1999. Fertilisation azotée des céréales : Cas des blés en bour et en irrigué, Bulletin de transfert technologique en agriculture, N° 62.

Mouellef A., 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (triticum durum Desf) au stress hydrique. Mémoire. Université Mentouri, Constantine.p93

Olsen, S.R. and al., 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. U.S. Dep. Agr., n° 939, 1-19.

Pomeranz, Y., 1988. Chemical composition of kernel structures. Wheat: chemistry and technology. Volume I., 97-158.

Quattar S., et Ameziane T.E.1989. Les céréales au Maroc. De la recherche à l'amélioration des techniques de production. Edt Toubkal-Maroc.

Samuels A.L., Glass A.D.M., Ehret D.L., et Menzies J.G. (1991) Mobility and Déposition of Silicon in Cucumber Plants. Plant Cell and Environment 14, 485-492.

Sangster A.G., Hodson M.J., & Tubb H.J. (2001) Silicon déposition in higher plants. Dans: Silicon in agriculture (eds L.E.Datnoff, G.H.Snyder, & G.H.Korndôrfer), pp. 85-113. Elsevier, Amsterdam.

Sangster A.G., Hodson M.J., & Tubb H.J. (2001) Silicon déposition in higher plants. Dans: Silicon in agriculture (eds L.E.Datnoff, G.H.Snyder, & G.H.Korndôrfer), pp. 85-113. Elsevier, Amsterdam.

Silice amorphe [archive] » dans la base de données de produits chimiques Reptox de la CSST (organisme québécois responsable de la sécurité et de la santé au travail), consulté le 25 avril 2009

Simões Larraz Ferreira M., 2011. Dynamique d'assemblage des protéines de réserve et du remplissage de grain de blé dur. Thèse doctorale. Sup agro, Montpellier.

Spivack J. et Dorn S.B. (1994) Hydrolysis of 01igodimethylsiloxane-Alpha, Omega-Diols and the Position of Hydrolytic Equilibrium. Environmental Science & Technology 28, 2345-2352.

Surget, A., et Barron, C., 2005. Histologie du grain de blé, Industrie des céréales 145, 4-7.

WALKLEY A. and C. A. BLACK, An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method, Soil Science, Volume 37, 1934, p. 29-38.