



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

Projet de Fin d'Etudes

Licence Sciences & Techniques

BIOTECHNOLOGIE ET VALORISATION DES PHYTO-RESSOURCES

**EFFET DU SILICIUM SUR LE DEVELOPPEMENT
ET LA CROISSANCE DU BLE DUR**

Présenté par :

Mohamed EL YAALAOUI

Encadré par :

- Dr. Abderrazzak BENDIDI

INRA, Meknès

- Pr. Khalid AMRANI Joutei

FST, Fès

Soutenu le : 08 Juin 2017

Devant le jury composé de :

➤ Dr. Abderrazzak BENDIDI

INRA, Meknès

➤ Pr. Khalid AMRANI Joutei

FST, Fès

➤ Pr. Khalid DERRAZ

FST, Fès

➤ Dr. Zakaria HAZZOUMI

FST, Fès

Année universitaire

2016/2017

Dédicace

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer le sentiment de gratitude que je vous porte.

Vos sacrifices, votre tendresse et vos conseils m'ont aidé à surmonter tous les obstacles qui se sont dressés sur mon chemin

Que Dieu vous protège et vous procure une longue vie

À mes chers frères et sœurs, à toute la famille, à tous mes ami(e)s,

Veillez trouver ici l'expression de l'amour et de l'intime attachement que je vous porte.

À tous ceux qui me sont chers,

Qu'ils trouvent dans ce travail les sincères témoignages de mon profonde affection et de ma haute considération.

REMERCIEMENTS

Je remercie dans un premier temps toute l'équipe pédagogique de la faculté des sciences et techniques de Fès et les intervenants professionnels responsables de la formation BVPR qui ont contribué à notre formation.

Je tiens à remercier Monsieur BENDIDI Abderrazzak, mon encadrant à l'INRA de Meknès pour sa disponibilité, son suivi, ses conseils avisés, ses remarques pertinentes qui ont contribué à l'amélioration de ce rapport.

Je tiens à remercier Monsieur AMRANI Joutei Khalid, mon professeur et mon encadrant à la faculté des sciences et techniques de Fès pour votre encadrement, vos conseil, vos encouragements, votre humour qui ont aidés à surmonter tout fatigue et découragement.

Je tiens à remercier le Pr K. DERRAZ; professeur à la FST de Fès et Dr Z. HAZZOUMI doctorant à la FST pour leurs participations et pour avoir acceptés de juger ce travail.

Et je profite de cette occasion pour adresser mes vifs remerciements à Mme. EL KHALFI, Mr. BOUICHO et Mr. ALGHOUM; les laborantins de l'INRA Meknès pour leurs conseils, leurs esprits coopératifs, qui m'ont aidé à surpasser les difficultés rencontrées et mieux profiter de mon stage et aussi Mme. Halima la cuisinière du centre.

Ainsi que tout Le personnel de l'institut pour leur collaboration précieuse et de leurs aides très utiles, ainsi de m'avoir répondu favorablement à toutes les questions.

Et finalement, je tiens à porter mes remerciements sincères à tous les membres de ma famille et tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin pour arriver à ce stade.

Résumé

Dans l'objectif d'évaluer l'effet du silicium sur le développement et la croissance du blé dur, une étude a été réalisée au niveau du serre à l'INRA de Meknès.

En effet, le silicium est un élément minéral tout comme l'azote, le phosphore ou le potassium. Il est très présent dans le sol, mais sous forme de SiO_2 , non disponible à la plante. Sa forme soluble est l'acide ortho-silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ très peu présente dans le sol. C'est élément peu ou pas connu par les agriculteurs est très peu utilisé par eux. Cependant, les recherches menées sur l'étude de l'effet de cet élément sur différentes aspects de la vie de différentes sortes de cultures; céréales, cultures maraîchères, agrumes, raisins, et même sur des espèces agroforestières comme l'arganier aussi bien en sol qu'en hors sol ou encore en hydroponie, nous ont permis de montrer combien l'application de cet élément est bénéfique pour le blé dur.

L'analyse des différents résultats obtenus n'a pas montré d'effets significatifs du silicium sur la croissance du blé dur.

D'après les résultats, n'a pas d'effet du silicium sur le développement et la croissance du blé dur, donc, on peut conclure que notre sol peut être riche en silicium.

Mots clés: Silicium; Blé dur; Cultures; Céréales.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des <i>Triticum</i>	03
Tableau 2 : Effet du silicium sur les propriétés physico-chimiques du sol d'un essai de melon avec fertilisation silicaté.....	09
Tableau 3 : Composition du sol utilisé dans la serre.....	11
Tableau 4 : Résultats des analyses du sol mesurés.....	20

Liste des figures

Figure 1 : Dispositif expérimental en split-plot à 3 répétitions.....	11
Figure 2 : Mesure de la teneur en chlorophylle.....	12
Figure 3 : Mesure de la surface foliaire.....	13
Figure 4 : Mesure du pH et de la conductivité.....	19
Figure 5 : Effet de silicium sur la longueur des racines.....	21
Figure 6 : Effet de silicium sur le volume racinaire.....	22
Figure 7 : Effet de silicium sur la matière sèche racinaire.....	22
Figure 8 : Effet de silicium sur la teneur en chlorophylle des feuilles.....	23
Figure 9 : Effet de silicium sur le nombre des feuilles.....	24
Figure 10 : Effet de silicium sur la hauteur de la plante.....	24
Figure 11 : Effet de silicium sur la surface foliaire.....	25
Figure 12 : Effet de silicium sur la matière sèche des plantes.....	25

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	01
I- PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès (CRRRA Meknès).....	03
II- REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	04
A- Blé	04
1- Culture.....	05
2- Description botanique.....	05
3- Date de semis.....	06
B- Silicium.....	07
➤ Formes du Silicium dans le sol.....	07
1- Effet de silicium sur le blé.....	08
2- Effet de silicium sur le sol.....	08
III- MATERIEL ET METHODES.....	10
A- Essai en serre.....	10
1- Dispositif expérimental.....	10
2- Caractéristique du sol.....	11
3- Conduite de l'essai.....	12
4- Différents paramètres mesurés pour l'essai en serre.....	12
4.1- Teneur en chlorophylle.....	12
4.2- Nombre des feuilles.....	12
4.3- Hauteur de la plante.....	12
4.4- Surface foliaire.....	13
4.5- Matière sèche aérienne.....	13
4.6- Volume racinaire.....	13
4.7- Longueur racinaire.....	13
4.8- Matière sèche racinaire.....	13
B- Analyses chimiques du sol.....	14
1- Préparation des échantillons.....	14
➤ Broyage, tamisage et séchage.....	14

2- Dosage du carbone.....	14
➤ Introduction.....	14
➤ Principe général.....	15
2.1- Méthode.....	15
2.1.1- Matériel.....	15
2.1.2- Réactifs et étalons.....	15
2.1.3- Préparation des réactifs.....	15
2.2- Mode opératoire.....	16
3- Analyse du Phosphore.....	16
➤ Introduction.....	16
3.1- Méthode.....	17
3.1.1-Matériel.....	17
3.1.2-Réactifs.....	17
a) Extraction.....	17
b) Détermination colorimétrique.....	17
c) Courbe étalonnage.....	18
3.2- Mode opératoire.....	18
3.2.1- Echantillon de départ.....	18
3.2.2- Blancs.....	18
3.2.3- Procédure.....	18
4- Analyse du pH et de la conductivité électrique.....	18
➤ Introduction.....	18
4.1- Matériel.....	19
4.2- Mode opératoire.....	19
IV- RESULTATS ET DISCUSSION.....	20
A- Analyses du sol.....	20
1- Résultats.....	20
2- Interprétation des résultats.....	20
2.1- Matière organique.....	20
2.2- pH.....	21
2.3- Conductivité électrique.....	21
2.4- Phosphore assimilable.....	21
B- Effet de silicium sur la croissance et le développement du blé dur (<i>Vitron</i>).....	21
1. Effet de silicium sur la partie souterraine de la plante.....	21

1.1- Effet sur la longueur des racines.....	21
1.2- Effet sur le volume racinaire.....	22
1.3- Effet sur la matière sèche racinaire.....	22
✚ Discussion concernant l'appareil d'absorption (racine).....	23
2. Effet de silicium sur la partie aérienne de la plante.....	23
2.1- Effet sur la teneur en chlorophylle des feuilles.....	23
2.2- Effet sur le nombre des feuilles.....	24
2.3- Effet sur la hauteur de la plante.....	24
2.4- Effet sur la surface foliaire.....	25
✚ Discussion concernant la partie aérienne.....	26
CONCLUSION GENERALE.....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	28
ANNEXES.....	30

INTRODUCTION GENERALE

Le blé est l'un des principales ressources alimentaires de l'humanité. Sa production annuelle est 600 millions de tonnes en 1997, soit près de 30% de la production totale de céréales, devant le maïs et le riz. On estime que la demande s'élèvera à 1 milliard de tonnes en 2020. La Chine est devenue le premier producteur mondial, devant l'Union européenne, le pays de l'ex-URSS, les Etats-Unis et l'Inde. Principalement destiné à l'alimentation des hommes (à hauteur de 75% de la production), dont il assure 15% des besoins énergétiques, le blé sert également à l'alimentation des animaux (15% de la production) et à des usages non alimentaires. Le rendement annuel moyen des 270 millions d'hectares cultivés atteint les 22 quintaux, chiffres qui témoignent des progrès remarquables enregistrés dans le monde au cours des trois dernières décennies (Feillet, 2000a).

Au Maroc les céréales sont parmi les principales filières de la production agricole. Elles jouent un rôle multiple en ce qui concerne les emblavements annuels des terres cultivables, la formation du Produit Intérieur Brut agricole, l'emploi dans le milieu rural et l'utilisation des capacités de transformation industrielle. Les céréales sont représentées essentiellement par les cultures du blé tendre, de l'orge, du blé dur et du maïs (Aït El Mekki, 2006).

Dans le cadre du Plans Maroc Vert l'état vise dans l'horizon de 2020 à réduire la superficie céréalière d'1 million d'hectare ; pour passer de 5,3 Millions hectare cultivée actuellement à 4,2 Millions hectare. Cependant, il vise l'augmentation de la production de 53 Millions qx à 76 Million qx. C'est dans cette vision que la céréaliculture devrait être concentrée dans les zones les plus favorables pour une bonne production. Parallèlement, des efforts en matière de conduite technique optimale doivent être développés afin d'améliorer cette production dans ces zones. En effet, le secteur céréalier demeure fortement tributaire des aléas climatiques (90% des superficies en Bour) et continue à impacter significativement l'évolution du PIB agricole et l'économie nationale en général (Hajjaji, 2009).

Par ailleurs, les disponibilités limitées en eau constituent un défi majeur pour l'agriculture marocaine à travers le développement de techniques d'utilisation de l'eau plus efficaces. Ces techniques permettent d'une part d'augmenter les rendements et de produire pour une population de plus en plus croissante et d'autre part d'être plus efficace dans l'utilisation de l'eau étant donné la compétition exercée par les autres secteurs non-agricoles (Dahan, 2008).

L'irrigation constitue une des stratégies à adopter pour l'amélioration et la stabilité de la production des céréales (Bendidi *et al.*, 2013).

La fertilisation azotée des céréales est le deuxième facteur après l'eau, qui détermine le niveau d'intensification de la production des céréales. Elle est une des pratiques les plus délicates en zones bours. En effet, l'apport de quantités élevées d'engrais azotés en années sèches et les carences en cet élément en années pluvieuses entraînent souvent des chutes considérables des rendements des céréales (Karrou, 1996). La fertilisation phosphatée est un facteur de production coûteux au Maroc (Amrani *et al.*, 1999). Pour le potassium les différentes études réalisées ont conclu en la richesse des sols marocains en cet élément (Azzaoui *et al.*, 1993).

I- PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL : Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès (CRRA Meknès)

Le CRRA 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 Boulemane, El Hajeb, Fès, Ifrane, Khénifra, Meknès, Taounate, Taza et Sefrou. Le centre possède 3 domaines expérimentaux (D.E) que sont :

- D.E d'Ain Taoujdate à spécialité arboriculture fruitière,
- D.E de Douyet à spécialité des grandes cultures,
- D.E d'Annoceur à vocation montagne.

Les 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 de l'Olivier par l'introduction de nouvelles variétés et par l'amélioration de la qualité d'huile d'olive à travers la maîtrise de la récolte, des conditions, de transport et de stockage des olives;
- Amélioration de la productivité de la filière des PAM;
- Amélioration et Valorisation de la filière maraîchère ;
- Intensification de la culture du câprier.

Son équipe de recherche est constitué de :

- 27 Chercheurs et Chercheuses, spécialisés dans différentes disciplines des sciences agronomiques et humaines,
- 18 Techniciens de recherche,
- Un Administrateur,
- 51 Agents de support.

Cette équipe est répartie dans 4 unités de recherche (U.R) dont:

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

II-REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

A- Blé

Le blé est une monocotylédone qui appartient au genre *Triticum* de la famille des *Gramineae*. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscant, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments. Les deux espèces les plus cultivées sont le blé tendre (*Triticum aestivum*) et le blé dur (*triticum durum*) mais il existe de nombreuses autres espèces de *Triticum* qui se différencient par leur degré de ploïdie (blés diploïdes : génomes AA ; blés tétraploïdes : génomes AA et BB ; blés hexaploïdes : génomes AA, BB et DD) et par leur nombre de chromosomes (14, 28 ou 42) (tableau n°3).

Tableau 1 : Classification des *Triticum*

Forme sauvage	Forme cultivée	Nom commun	Nombre de chromosomes (2n)	Nature des génomes
<i>T.boeoticum</i> (1)	<i>T. monococcum</i>	engrain	14	AA
<i>T.urartu</i>			14	AA
<i>T.dicoccoides</i>	<i>T.dicoccum</i>	blé poulard	28	AA BB
	<i>T.durum</i>	blé dur	28	AA BB
	<i>T.polonicum</i>	blé de Pologne	28	AA BB
	<i>T.turgidum</i>		28	AA BB
	<i>T.araraticum</i>		28	AA BB
<i>T.mon</i> × <i>T.spe</i> × <i>As</i> (2)(hypothétique)	<i>T.aestivum</i>	blé tendre	42	AA BB DD
	<i>T.spelta</i>	épeautre	42	AA BB DD
	<i>T.sphaerococcum</i>	blé indien nain	42	AA BB DD
	<i>T.compactum</i>	blé club	42	AA BB DD

(1) T = *Triticum*; (2) *T. monococcum* × *T.sphaerococcum* × *Aegilops squarrosa*.

Le blé tendre possède les trois génomes AA, BB et DD constitués chacun de sept paires de chromosomes homéologues numéroté de 1 à 7 (A1...A7, B1...B7, D1...D7), soit au total 42 chromosomes ; le blé dur ne contient que les deux génomes AA et BB et 28 chromosomes.

La filiation génétique des blés est complexe et incomplètement élucidée. Il est acquis que le génome A provient de *Triticum monococcum*, le génome B d'un *Aegilops* (*bicornis*, *speltoïdes*, *longissima* ou *searsii*) et le génome D d'*Aegilops squarrosa* (également dénommé *Triticum tauschii*). Le croisement naturel *T.monococcum* X *Aegilops* (porteur du génome B) a permis l'apparition d'un blé dur sauvage de type AA BB (*triticum turgidums sp.dicoccoides*) qui a ensuite progressivement évolué vers *T.turgidums spdicoccum* puis vers *T.durum* (blé dur

cultivé). Les blés tendres cultivés (AA BB DD) seraient issus d'un croisement, également naturel, entre *T.turgidums sp.dicoccum* (AA BB) et *Aegilops squarrosa* (DD) (Feillet, 2000b).

1- Culture

Les blé cultivés sont apparus il a une dizaine de milliers d'années en Mésopotamie, et il n'est pas impossible que nos ancêtres du Néolithique soient arrivés dès cette époque à sélectionner empiriquement certaines espèces sauvages possédant plus que d'autres les caractéristiques requises pour satisfaire les besoins des nouveaux agriculteurs : maturation des épis et des grains à peu synchrone, ferme attachement des grains à l'épi, germination non étalée dans le temps, grains gros et bien remplis. Cette sélection se poursuivra jusqu'à ce que Mendel, en 1865, jette les bases de la génétique moderne. Depuis les caractéristiques agronomiques (rendement à l'hectare, résistance aux maladies) et technologiques (aptitude à la panification des farines) des nouvelles variétés n'ont cessé de s'améliorer (Feillet, 2000 b).

2- Description botanique

Le problème de la reconnaissance des variétés de blé n'est évidemment pas nouveau et différentes tentatives pour le résoudre ont été rapportées depuis plusieurs dizaines d'années. On sait, par exemple, que la détermination est possible d'après des caractères botaniques tels que le port de la plante, la pilosité de certaines feuilles, l'aspect de l'épi, la couleur des anthères (Jonard, 1951). De même, après étude de la valeur systématique des caractères observables au niveau de la plantule (coloration de la coléoptile, pilosité de la première feuille) et du grain (largeur du grain/longueur du grain, longueur du scutellum/longueur du grain, longueur de la brosse/longueur du grain, position de l'extrémité de la radicule), (Redischung et Karska, 1952) ont établi des clés de détermination permettant de classer jusqu'à 46 variétés. Dans le même but, d'autres auteurs ont enfin utilisé la réponse de la plante à des traitements par l'acide gibbérellique (Dhesi *et al.*, 1971) ou par certains fongicides (Fouchardet Cheskeaux, 1974).

Mais le blé est commercialisé essentiellement sous la forme de grains ou de produits de leur mouture. Une identification variétale rapide doit donc pouvoir être conduite directement à partir de ce matériel, ce qui exclut l'utilisation des caractères observables sur la plante ou sur la plantule. Restent donc, outre les critères de mensuration du grain étudiés par (Redischung et Karska, 1952), les quelques tests suivants :

- Test à l'acide phénique, décrit par (Friedberg, 1933), qui donne selon la variété, un résultat échelonné entre le noir et le très peu coloré, en passant par différentes nuances de brun ;

- Couleur (roux ou blanc), texture (vitreux ou farineux) et dureté du grain ;

- Poids de 1000 grains ;

- Type d'alvéogramme Chopin.

❖ Pourquoi le blé dur n'est pas tendre ?

Le blé dur est cultivé pour faire de la semoule utilisée pour la fabrication de biscuits, de gâteaux, de couscous et de pâtes alimentaires. Mais peut-on faire dans les champs la différence entre blé dur et blé tendre? Oui, lorsque les cultures sont en épis. L'épi de blé dur est plus rigide, plus dressé, et est hérissé d'une barbe colorée. De plus, les grains de blé dur sont différents de ceux du blé tendre. Ils sont plus gros, plus denses, plus vitreux. Sinon, le blé dur se cultive comme le blé tendre, mais pas dans toutes les régions.

3- Date de semis

Le rendement du blé est le résultat de nombreux facteurs, parmi eux la date de semis qui est très importante et ne peut être atteint en semant des cultures de blé en son temps optimal. Le stress thermique, à la fin du cycle de culture en raison de semis tardifs au-delà de certaines limites abaisse le rendement en grain significativement (Bendidi *et al.*, 2015).

Le choix de la date du semis est fonction de l'étage climatique. La meilleure date sera celle qui coïncide le cycle végétatif avec la période des pluies tout en évitant les risques climatiques défavorables au développement de la culture. Pour une même région, ce choix peut être différent selon les variétés (Ouattar et Ameziane, 1989). 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.

Le semis précoce du 15 octobre vers 15 novembre est le plus recommandé pour bénéficier des premières pluies d'automne. 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 (Benani et Bendidi, 2014).

B- Silicium

Après l'oxygène, le silicium est l'élément le plus répandu sur Terre (26,7 %). Mais, dans l'Univers également, la présence du silicium est en moyenne plus fréquente que celle des autres éléments. Une étude approfondie de la silice met en évidence l'élément silicium, qui a joué dans la jeunesse de la Terre un rôle similaire à celui du carbone actuellement, et qui conduisit, en tant que premier élément, à la formation des lois physiques du monde. Avec la solidification de la planète Terre, en lien avec la formation de la lune, le carbone a progressivement pris la place du silicium dans la formation de la vie. Les algues siliceuses (diatomées) sont des vestiges de cette vie basée sur la silice. La matière sèche végétale des diatomées est constituée à 71 % de silice. Elles ont contribué à la constitution d'importants dépôts de farines fossiles. Les diatomées sont encore aujourd'hui les représentants terrestres d'une vie passée basée sur la silice. Leur teneur en silice dépasse de 6 à 7 fois leur teneur en carbone (Remer, 1996).

➤ Formes du Silicium dans le sol

Le silicium est un élément minéral tout comme l'azote, le phosphore ou le potassium. Il est très présent dans le sol, mais sous forme de SiO_2 , non disponible à la plante. Sa forme soluble est l'acide ortho-silicique $\text{Si}(\text{OH})_4$ très peu présente dans le sol (Bouzoubaâ *et al.*, 2009).

Une étude approfondie met en avant les nombreuses propriétés intéressantes de la silice ou du quartz (SiO_2), et donc de l'élément silicium. Le quartz conduit mieux la chaleur que l'argile. Il capte la chaleur plus rapidement. Le rayonnement est tout aussi rapide, et peut avoir lieu subitement en cas de surcapacité. À de hautes altitudes, où le silicium est également fortement représenté parmi les éléments, il peut participer à des déchargements de chaleur et à des orages. Les cristaux de quartz sont dotés d'un pôle positif et d'un pôle négatif. Cela fait

du quartz un élément précieux dans le domaine de la microtechnique et de l'électronique. Les montagnes de quartz diffusent les énergies solaires que les forces terrestres magnétiques attirent sur la Terre pour le règne végétal. Les montagnes de quartz sont donc fondamentalement liées à la répartition géographique des plantes (Steiner, 1922). La relation particulière entre quartz et chaleur est mise en évidence par le fait que l' α -quartz se transforme en β -quartz à une température de 575 °C. Celui-ci se transforme en α - et β -Tridymite à 870 °C et en α - et β -Christobalite à 1470 °C (Remer, 1996).

1- Effet de silicium sur le blé

Les recherches menées sur l'effet de cet élément depuis plusieurs années déjà, nous ont montré que le Silicium optimise la nutrition hydrominérale de la plante tout en préservant l'environnement par application de préférence foliaire. Qu'il limite les pertes d'eau par la plante, jusqu'à 30% d'économie de l'eau. Qu'il augmente la résistance de cette dernière aux agressions biotiques et abiotiques comme la fusariose ou encore le déficit hydrique de la salinité. Qu'il a un effet positif sur le rendement et qu'il améliore la qualité minérale et la qualité commerciale du fruit en préservant son eau en post-récolte. En fait, qu'il agit positivement et de façon efficiente à tous les stades de développement de la plante (Bouzoubaâ *et al.*, 2009).

Les racines sont très appréciées par de nombreuses bactéries, car elles leur sont utiles pour le transport de minéraux contenant de la silice. Ce qui est valable pour les racines l'est aussi pour les feuilles des plantes qui disposent également de bactéries utilisant la silice et fixant l'azote. De nombreux essais ont été menés sur des plantes vertes avec des bactéries fixatrices d'azote, du type azotobacter. Ces études n'ont pas donné de résultats très concluants. Les conclusions de (Voronkov, 1975) sont différentes. Il a travaillé avec les bactéries utilisant la silice et a remarqué une croissance des rendements :

Sur blé d'été : 50 – 100%,

Sur maïs : 34 – 50%.

2- Effet de silicium sur le sol

Il a un effet positif sur l'agencement des éléments minéraux et leur répartition à son niveau et donc sur ses propriétés physico-chimiques. Il a un impact positif sur la marge bénéficiaire

de l'agriculteur d'une part et la protection de l'environnement par le raisonnement et l'économie de l'eau et des fertilisants (Bouzoubaâ *et al.*, 2009).

Tableau 2 : Effet du silicium sur les propriétés physico-chimiques du sol d'un essai de melon avec fertilisation silicaté.

Ref	Ph	Ec 25°C	N%	P ₂ O ₅ %	K ₂ O%	MO %	CaCO ₃ Total%	CaCO ₃ Actif%	MgO%	Na ₂ O%	CaO%	Fe ppm	Cu ppm	Mn ppm	Zn ppm	NO ₃ %
+Si	8.0°	.23	.13	.02	.52	1.29	7.96	4.88	.42	.21	2.68	13.0	2.4	18.0	3.0	44.3
-Si	8.1°	.20	.06	.01	.29	1.25	7.65	3.41	.36	.16	2.25	12.0	2.2	19.2	2.0	25.8
Dce %	1.25	15	116.6	100	79.31	3.2	4.06	43.11	16.67	31.25	19.11	8.33	9.09	6.2	50	76.5

Bouzoubaâ (2004).

Le silicium peut réduire l'absorption du phosphore si ce dernier est en excès et qu'il peut l'accroître en cas de carence (Okuda et Takahashi, 1964).

Le silicium joue également un rôle important dans la régulation de la distribution du magnésium au niveau des feuilles, il permet ainsi une meilleure utilisation du cation et une atténuation de ses effets toxiques en cas d'excès dans le milieu (Bowen, 1972).

Tandis que, la fertilisation silicatée a rarement été étudiée au Maroc. Malgré son 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 et plus de son rôle protecteur contre les maladies fongiques.

III- MATERIEL ET METHODES

A- Essai en serre

1- Dispositif expérimental

Le travail effectué pendant ce stage au sein de l'INRA Meknès, a pour but de déterminer l'effet de silicium sur la croissance et le développement du blé dur.

Deux facteurs ont été testés :

- La Dose de Silicium : D0 (sans silicium) et D1 (800kg de silicium par hectare).
- L'Espèce : G1 (blé tendre : *Arrehane*) et G2 (blé dur : *Vitron*).

Pour réaliser ceci, un essai expérimental a été installé au niveau de la serre dans 48 pots (parcelles élémentaires) qui ont été placés selon le dispositif en **split-plot**, ce principe est d'utilisation courante, depuis bien longtemps, dans les expériences agronomiques en champ. Dans le cas le plus simple d'une expérience factorielle comportant deux facteurs, il revient à procéder à une première répartition aléatoire pour les différentes modalités d'un des deux facteurs, dans des parcelles d'assez grande dimension, et de procéder ensuite à une deuxième répartition pour les différentes modalités de l'autre facteur, à l'intérieur de chacune des parcelles relatives au premier facteur pris en considération, en définissant ainsi des sous-parcelles, d'où le concept de « parcelle divisée » ou split-plot.

Le tableau ci-dessous illustre ce principe dans le cas d'une expérience en **2** blocs, avec un premier facteur (La dose de silicium) comportant deux modalités (D0 et D1) et un deuxième facteur (Génotypes) à deux modalités aussi (G1 et G2). Les deux modalités du premier facteur, auxquelles correspond chaque fois le premier chiffre des signes des traitements (D0G1, D0G2, D1G1 et D1G2), ont tout d'abord été réparties de manière aléatoire et indépendamment au sein des **2** blocs, en définissant au total **4** « grandes parcelles ». Et les deux modalités du deuxième facteur ont ensuite été réparties au hasard et indépendamment à l'intérieur de chacune de ces « grandes parcelles », en définissant **48** « petites parcelles » ou « sous-parcelles ».

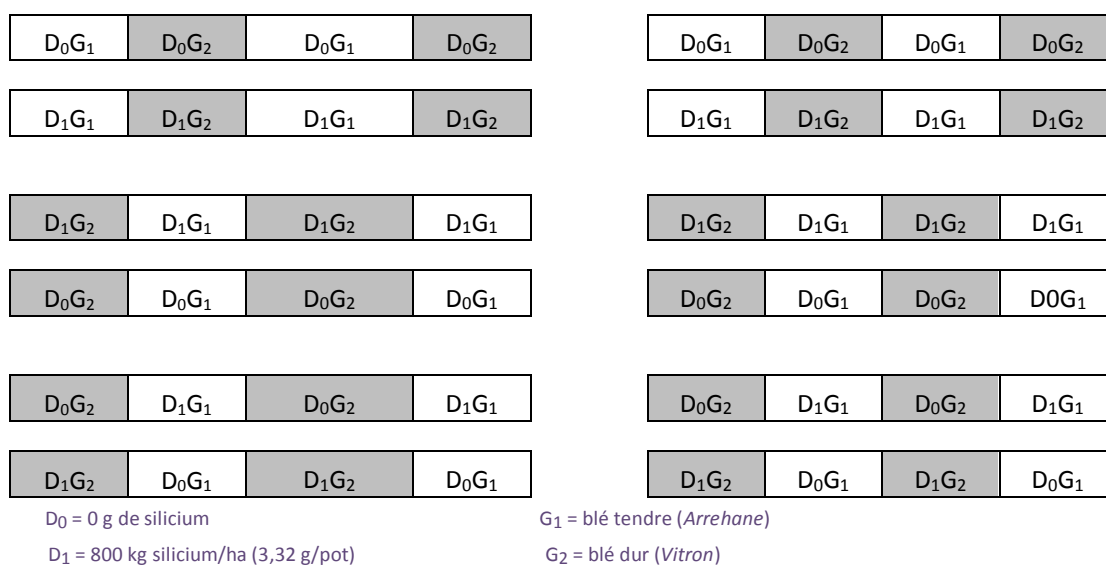


Figure 1 : Dispositif expérimental en split-plot à 3 répétitions

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 dur est étudié.

- ✓ Informations sur la variété de blé dur étudiée (*Vitron*):
 - Obtenteur : SEMILLAS BATLE (Espagne),
 - Année d'inscription au Catalogue Officiel Marocain : 1993,
 - Zone d'adaptation : bour favorable-irrigué.
- Caractéristique de la variété *Vitron* :
 - Taille de la plante : moyenne,
 - Couleur des graines : dorée,
 - Précocité à l'épaisseur : demi-précoce,
 - Productivité : très élevée,
 - Teneur en protéines : élevée (13,00%),
 - Poids de 1000 graines : 38 à 40 grammes,
 - Poids spécifique : bon.
- Réaction aux maladies :
 - Septoriose : tolérante,
 - Cécidomyie : tolérante.

2- Caractéristique du sol

Le sol sur lequel ont été cultivé les semences est caractérisé par :

Tableau 3 : Composition du sol utilisé dans la serre

Composition	% ou ppm
Argile (%)	49.69
Limon (%)	23.62
Sable (%)	26.69
Densité apparente (Da) (g/cm ³)	1.2

3- Conduite de l'essai

Le semis a été réalisé le 28/03/2017 à raison de 5 graines par pot.

Traitements phytosanitaires :

1- Contre l'Oïdium (*Erisiphe graminis*) ; on a utilisé le fongicide « **Impact** », (Matière active : Flutriafol + Carbendazime). La dose utilisée a été 1l/ha.

2- Contre le puceron vert (*Ropalosi phumpadi*) on a utilisé l'insecticide « **Fastac** » (Matière active : alphasécyprine). La dose utilisée a été 50g/l.

3- Irrigation : afin d'éviter toute percolation de l'eau, avant chaque irrigation on irrigué des pots témoins pour contrôler l'excès d'eau et c'est dont le but de calculer l'efficience d'utilisation de l'eau pour le grain après la récolte.

4- Différents paramètres mesurés pour l'essai en serre

4.1- Teneur en chlorophylle

Cette mesure nous informe de la chlorophylle contenue dans une feuille, pour estimer le pouvoir photosynthétique. La mesure de ce paramètre a été effectuée à l'aide d'une chlorophylle-mètre sur les trois répétitions, à la fin de stade de la levée et au début de stade tallage où les feuilles sont déjà évoluées en taille et en teneur en chlorophylle.



Figure 2 : Mesure de la teneur en chlorophylle

4.2- Nombre des feuilles

On dénombre les feuilles de chacun des pieds, puis on coupe à l'aide d'un ciseau la partie aérienne.

4.3- Hauteur de la plante

C'est un paramètre de mesure simple à mesurer par une règle.

4.4- Surface foliaire

On détermine la surface foliaire de chaque pot à l'aide du planimètre (Indicateur de surface de feuilles portable avec capacité d'économie d'image 'AM350').



Figure 3 : Mesure de la surface foliaire

4.5- Matière sèche aérienne

Dès qu'on mesure le nombre de feuille, la hauteur de la plante et la surface foliaire, on retient chaque partie aérienne de chaque pot dans un sachet, pour les sécher à l'étuve sous une température de 80°C pendant 48h ; ceci pour poursuivre l'évolution de la production de la matière sèche aérienne pour chaque niveau des deux facteurs testés.

4.6- Volume racinaire

On utilise un tamis et un jet d'eau à faible pression, ainsi dès qu'on coupe la partie aérienne comme il est précité au paravent, on élimine le sol du pot, afin de retenir la racine (la partie souterraine).

Après on plonge les racines à l'intérieur d'une éprouvette graduée remplie en eau, la différence entre le volume initial et le volume final de l'eau donne le volume racinaire.

4.7- Longueur racinaire

Son principe est même que la longueur de la plante.

4.8- Matière sèche racinaire

Après qu'on mesure le volume et la longueur racinaire, on retient chaque partie souterraine de chaque pot dans un sachet, pour les sécher à l'étuve sous une température de 80°C pendant

48h ; ceci pour poursuivre l'évolution de la production de la matière sèche racinaire pour chaque niveau des deux facteurs testés.

B- Analyses chimiques du sol

1- Préparation des échantillons

➤ Broyage, tamisage et séchage

La fraction des échantillons qui ne doit pas servir aux mesures physiques de perméabilité et stabilité structurale est passée au broyeur qui simultanément écrase les mottes et tamise le sol à 2 mm.

Le temps nécessaire au broyage et tamisage d'un échantillon de 1 kg n'excède pas 1 à 2 minutes.

Pour notre travail on a préparé 15 échantillons emballés dans des sacs de carton, puis on va les ramener à l'étuve pour en sécher dans une température de 70 °C pendant 24h.

2- Dosage du carbone

➤ Introduction

La matière organique amplifie grandement la capacité d'échange cationique du sol et retient les nutriments assimilables par les plantes.

Ainsi, la matière organique constitue un réservoir de nutriments lentement assimilables.

La teneur en matière organique du sol n'est pas une donnée utilisée pour effectuer des recommandations de fertilisation, mais elle joue néanmoins un rôle important dans la fertilité du sol.

Ainsi, en général, le carbone organique présent dans le sol est mesuré, puis le résultat obtenu est transformé pour obtenir la matière organique présente.

Généralement il existe deux voies pour le dosage du Carbone organique :

Le dosage du carbone peut s'opérer par **voie sèche** ou combustion en déterminant le gaz carbonique CO₂ provenant de la matière organique, mais également par **voie humide**, en faisant agir sur le sol dans des conditions bien définies une quantité connue d'un corps oxydant.

Sur notre manipe on s'est basé sur des méthodes par voie humide puisque leur précision est très grande, et suffisante, compte tenu des larges limites dans lesquelles varient les taux de carbone des sols, et des différences que l'on veut mettre en évidence.

La technique utilisée est inspirées directement des travaux de WALKLEY et BLACK (1934).

➤ Principe général

La méthode Walkley-Black repose sur le principe que le bichromate de potassium oxyde le carbone contenu dans le sol.

Le bichromate de potassium change de couleur selon la quantité de produits réduits et ce changement de couleur peut être comparé à la quantité de carbone organique présent dans le sol.

Cette méthode permet de mesurer le carbone organique. Elle ne peut être utilisée si les sols contiennent plus de 20 % de matière organique.

2.1- Méthode

2.1.1- Matériel

- Fioles jaugés de contenance adaptée,
- Balance analytique, précision 0.0001 g,
- Pipettes jaugées de 25 ml et système d'aspiration,
- Burette manuelle de 25 ml ou 50 ml,
- Agitateur magnétique et barreau aimanté,
- Pipettes automatiques de 5 ml,
- Divers béchers de petite taille.

2.1.2- Réactifs et étalons

- Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$),
- Sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$),
- Acide sulfurique (H_2SO_4),
- Acide orthophosphorique (H_3PO_4),
- Indicateur acide dipénylaminosulfonate de Baryum.

2.1.3- Préparation des réactifs

- Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) :

Dissoudre 49.04g de $K_2Cr_2O_7$ dans 800ml d'eau distillée.

Agiter pendant 30 min.

- Sulfate ferreux ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) :

Dissoudre 69.5g de sulfate ferreux dans 250ml d'eau distillée.

Agiter avec l'agitateur pendant 5min.

- Indicateur acide diphénylaminosulfonate de Baryum :

Dissoudre 0.5g de diphenylamine dans 100ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

2.2- Mode opératoire

- 1- Peser 0.5g de sol dans un erlenmeyer de 250ml,
- 2- Faire un blanc dans les mêmes conditions,
- 3- Ajouter 5ml de bichromate de potassium,
- 4- Agiter à la main doucement jusqu'à dispersion du sol,
- 5- Ajouter 10ml d'acide sulfurique concentré en agitant doucement pendant une minute,
- 6- Laisser reposer 30 min sur un isolant thermique,
- 7- Ajouter 75ml de l'eau distillée,
- 8- Ajouter 5ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4) concentré,
- 9- Laisser au repos pendant 30 min,
- 10- Ajouter 0.5ml (2 à 3 gouttes) de l'indicateur acide diphénylaminosulfonate de Baryum et homogénéiser.
- 11- Titrer l'excès de $K_2Cr_2O_7$ avec le $FeSO_4$ 1N jusqu'au vert brillant,
- 12- Noter le volume de $FeSO_4$ pour titrer le blanc de l'échantillon.

3- Analyse du Phosphore

➤ Introduction

Le sol est un support extrêmement complexe où se déroule simultanément une grande variété d'interactions physiques, chimiques et biologiques. Ces interactions à l'interface sol-racine sont très complexes et peu connues, mais c'est à ce niveau que les minéraux et les oligo-éléments sont assimilables par les plantes.

Les minéraux et les oligo-éléments sont les éléments essentiels à la croissance des plantes. Il est complexe d'effectuer des analyses de sol pour préciser les besoins d'engrais, car on essaie d'évaluer la quantité de nutriments assimilables dans un sol spécifique pour une grande variété d'espèces culturales pendant la saison de croissance.

Les trois méthodes utilisées en générale pour le phosphore sont :

- **Dyer**, méthode d'extraction assez agressive plutôt réservée aux sols acides et qui peut amener à surestimer le phosphore biodisponible,

- **Joret-Hébert**, méthode française spécifique, adaptée aux sols neutres ou calcaires,
- **Olsen**, méthode d'extraction douce également adaptée aux sols neutres ou calcaires.

Elle extrait une quantité de phosphore plus faible que les deux méthodes précédentes. La valeur obtenue est probablement plus représentative du phosphore biodisponible.

Dans notre cas en utilise la méthode d'Olsen.

3.1- Méthode

3.1.1-Matériel

- Balance analytique, précision 0.0001 g.
- Flacons PE de 200 ml avec bouchons.
- Spatule en inox.
- Éprouvette de 100ml.
- Agitateur rotatif.
- Entonnoirs et filtres 512 ½ ou équivalent.
- Erlenmeyers de 200 ml.
- Tubes à essais de 20 ml.
- Spectrophotomètre et cuvettes.
- Bêchers de 100 ml et 250 ml.

3.1.2-Réactif

a)Extraction

- Bicarbonate de sodium (NaHCO_3) 0.5 N : 42g/900ml d'eau distillée.

Mettre 233g de NaHCO_3 et ajuster à 5000 ml.

b) Détermination colorimétrique

- Réactif d'Ecosse :
 - Acide sulfurique (5.3 N) :

Ajouter 148 ml d' H_2SO_4 à 500 ml d'eau distillée, lentement, dans un évier avec un flux d'eau froide coulant sur le ballon jaugé pour refroidir la solution. Compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

- Potassium antimonyl tartrate :

Mettre 0.2908 g de Potassium antimonyl tartrate dans un bécher de 100ml et ajuster à 100 ml.

o Acide molybdique :

Mettre 12 g d'acide molybdique dans un bécher et ajuster à 250 ml avec de l'eau distillée.

o Combiner ensuite les réactifs dans un ballon jaugé à 2000 ml:

D'abord l'acide sulfurique, puis le potassium antimoine et l'acide molybdique. Ajuster avec de l'eau distillée.

▪ Solution d'acide ascorbique (pour la lecture au spectrophotomètre) :

o Dissoudre 1.689 g d'acide ascorbique $C_6H_8O_6$ dans 320 ml de réactif d'Ecosse. On obtient **une solution d'acide ascorbique à 4%** qui sera utilisée pour doser le phosphore en solution. (Attention: préparer cette solution juste avant le dosage, elle ne tolère pas une trop longue exposition à la lumière).

c) Courbe étalonnage

▪ Utiliser une solution de phosphore à 10 mg P/l:

1.3.2- Mode opératoire :

1.3.2.1- Echantillon de départ

Le dosage se fait sur les sols qu'on a préparés précédemment (15 échantillons).

1.3.2.2- Blancs

Remplacer la prise d'essai par de l'eau distillée et suivre la procédure.

1.3.2.3- Procédure

Elle se déroule en deux étapes: une extraction suivie d'un dosage colorimétrique.

1. Peser environ 2,5 g de sol broyé.
2. Noter la masse m , en g.
3. Mettre la prise d'essai dans un flacon de 100 ml et y ajouter 50 ml de $NaHCO_3$ (pH 8.5).
4. Mettre à agiter à la branleuse pendant 30 minutes.
5. Filtrer les échantillons sur des erlenmeyers de 200 ml.

4- Analyse du pH et de la conductivité électrique

➤ Introduction

La mesure du pH s'effectue à l'électrode de verre :

- Soit sur pâte de sol,
- Soit avec un rapport sol-solution défini.

La solution peut être constituée par de l'eau ou par du KCl N ou encore par du CaCl_2 . La mesure du pH du sol en suspension dans une solution de sel neutre donne généralement des résultats inférieurs à ceux du pH (H_2O) du fait que des ions H^+ sont déplacés. En outre, les résultats sont plus indépendants de la saison, du rapport sol/solution. Au laboratoire les mesures sont effectuées sur sol saturé d'eau. La mesure elle-même est fort simple, rapide, et la reproductibilité est excellente, tant que l'on se sert d'un même appareil. Sur une seule série de mesures, le coefficient de variation est rarement supérieur à 1 % et un résultat isolé est entaché d'une erreur de ± 0.1 unité.

4.1- Matériel

- Balance analytique.
- Flacons PE de 100 ml avec bouchons.
- Spatule en inox.
- Éprouvette de 100ml.
- Agitateur rotatif.
- pH-mètre.
- Conductivité-mètre.

4.2- Mode opératoire

1. Peser environ 10 g de sol broyé.
2. Mettre la prise d'essai dans un flacon de 100 ml et y ajouter 30 ml de l'eau distillée.
3. Mettre à agiter à la branleuse pendant 5 minutes.



Figure 4 : Mesure du pH et de la conductivité électrique

IV- RESULTATS ET DISCUSSION

A- Analyses du sol

1- Résultats

Tableau 4 : Résultats des analyses du sol mesuré

Echantillons	MO (%)	pH	Conductivité (mS)	Absorbance (nm)	P ₂ O ₅ (PPM)
1	0,966	7,2	0,54	0,079	9,84
2	1,656	7,18	0,53	0,227	21,54
3	1,173	7,19	0,64	0,159	16,16
4	1,311	7,2	0,54	0,113	12,52
5	0,69	7,21	0,48	0,139	14,58
6	0,966	7,2	0,52	0,117	12,84
7	0,414	7,18	0,44	0,108	12,13
8	1,035	7,18	0,5	0,061	8,41
9	0,759	7,2	0,48	0,129	13,79
10	0,828	7,19	0,47	0,139	14,58
11	1,897	7,19	0,53	0,131	13,95
12	0,828	7,19	0,5	0,151	15,53
13	1,104	7,2	0,49	0,132	14,03
14	0,966	7,18	0,47	0,128	13,71
15	0,828	7,18	0,48	0,072	9,28

3 : le sol de la serre. 1,5,6,7,8,9,10,12,14 : le sol de Douiyat. 2,4,11,13,15 : sol d'Annasser

2- Interprétation des résultats

2.1- Matière organique

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO%), la teneur en carbone du sol (C%) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72. Cette valeur correspond à la proportion moyenne de carbone dans la matière organique du sol (cette proportion doit être 58%).

Nous avons constaté que les pourcentages de matière organique obtenus (tableau 4), après application de cette formule sont inférieurs à 2% pour les échantillons qui ont fait l'objet d'analyses.

En conclusion, bien que l'évolution de la matière organique dans ces sols soit jugée satisfaisante, il faut cependant signaler que sa teneur reste insuffisante, selon les normes (annexe 1).

2.2- pH

La mesure du pH (potentiel hydrogène) d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité (ou statut acido-basique). Pour la plupart des sols on note des valeurs comprises entre 4 et 8,5 (annexe2).

On remarque que le pH du sol de la serre est neutre selon les normes (l'annexe 2).

2.3- Conductivité électrique

La conductivité électrique des sols détermine leur degré de salinité. Cette salinité se traduit par un comportement différent des cultures vis-à-vis des classes de salinité. L'échelle de Durand J.H. (annexe 3) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité des sols sur extrait 1/5 et l'effet sur le rendement des cultures.

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrée chez différents échantillons varient entre 0.44 mS à 0.64 mS. Selon les normes, notre sol non salé, donc son effet sur le rendement est négligeable (annexe 3).

2.4- Phosphore assimilable

Le sol est pauvre en phosphore, comme les autres sols d'Annasser et Douiyat selon les normes (annexe 4).

B- Effet de silicium sur la croissance et le développement du blé dur (Vitron)

1- Effet de silicium sur la partie souterraine de la plante

1.1- Effet sur la longueur des racines

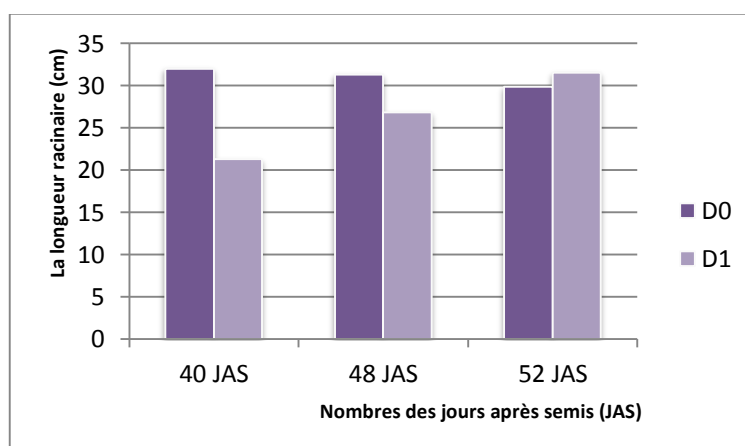


Figure 5 : Effet de silicium sur la longueur des racines

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur la longueur des racines. Comme nous pouvons le constater à la figure 5, il y a une différence de la longueur des racines en fonction du nombre des jours après semis, presque les mêmes résultats sont obtenus pour la longueur racinaire des plantes sans silicium (entre 29.8-32 cm) dans les trois répétitions (40 JAS, 48 JAS et 52 JAS). Dans les deux premières répétitions le silicium a un effet reverse sur la longueur racinaire des plantes (par rapport au témoin). Mais, dans la troisième répétition cet effet devient positif ce qui est traduit par l'augmentation de la longueur racinaire des plantes. On peut dire que le silicium a un effet positif dans des temps longs de culture.

1.2- Effet sur le volume racinaire

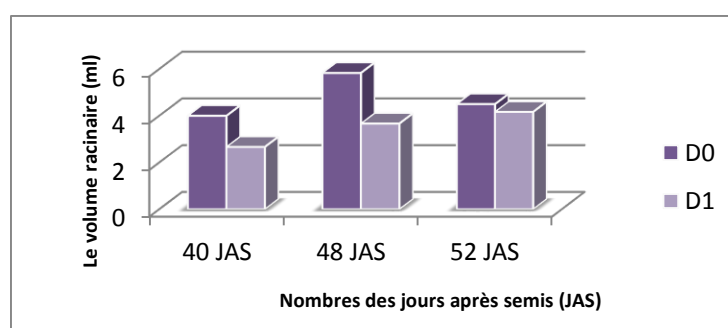


Figure 6 : Effet de silicium sur le volume racinaire

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur le volume racinaire. Mais, on remarque une augmentation du volume racinaire en fonction de nombre des jours après semis dans les deux stades (40 JAS et 48 JAS) pour les plantes avec silicium D1 et sans silicium D0 dont le volume racinaire est supérieur à celui des plantes avec silicium D1. 52 jours après semis le volume racinaire pour D0 diminue à 4.5 ml par opposition pour D1 le volume racinaire augmente jusqu'à 4 ml.

1.3- Effet sur la matière sèche racinaire

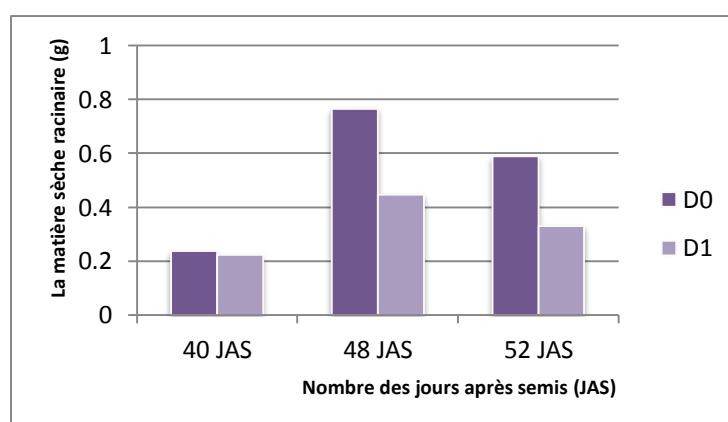


Figure 7 : Effet de silicium sur la matière sèche racinaire

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur la matière sèche racinaire. Mais, on remarque une tendance à l'augmentation de la matière sèche racinaire en fonction de nombre des jours après semis en deuxième stade par 69.15% et une tendance à diminution de 29.66% au troisième stade (52JAS) pour les plantes sans silicium. Et pour les plantes avec silicium ont augmenté de 40 JAS à 48 JAS par 50% et pour 52 JAS diminué par 35%. En constate que la matière sèche racinaire pour les traitements sans silicium D0 est supérieur à celui avec silicium D1.

Discussion concernant l'appareil d'absorption (racine)

La géométrie du système racinaire d'une plante est un déterminant important de la performance des cultures. Elle affecte sa tolérance à la sécheresse, l'efficacité d'utilisation des nutriments et l'absorption d'eau, la résistance à la verse, et la tolérance à la toxicité minérale (Manske *et al.*, 2002). 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).

Après nos études sur la partie souterraine du blé par différentes paramètres (longueur racinaire, le volume racinaire et la matière sèche totale), on peut conclure que l'analyse de la variance n'a pas révélé d'effet significatif de l'apport du silicium sur ces paramètres.

Donc le silicium n'apport aucune effet sur la partie souterraine du blé dur.

2- Effet de silicium sur la partie aérienne de la plante

2.1- Effet sur la teneur en chlorophylle des feuilles

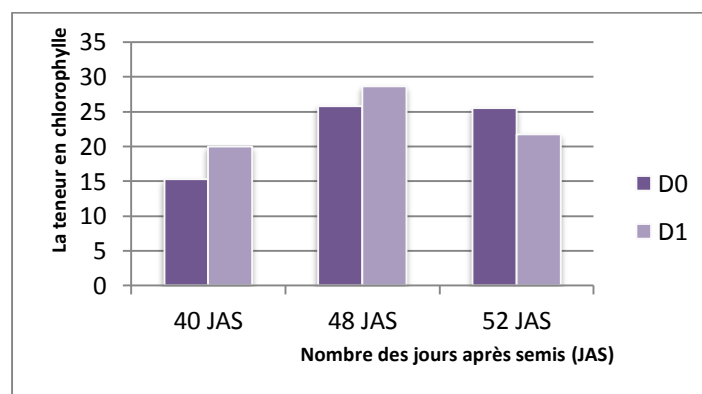


Figure 8 : Effet de silicium sur la teneur en chlorophylle des feuilles

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur la teneur en chlorophylle. Mais, d'après la figure 8 on remarque que la teneur en chlorophylle

chez les plantes traitées par D₁ dépasse celle sans traitement D₀ dans les deux stades (40 et 48 JAS), à l'inverse des stades précédents, au troisième stade (52 JAS) la teneur en chlorophylle pour les plantes sans silicium est supérieure.

2.2- Effet sur le nombre des feuilles

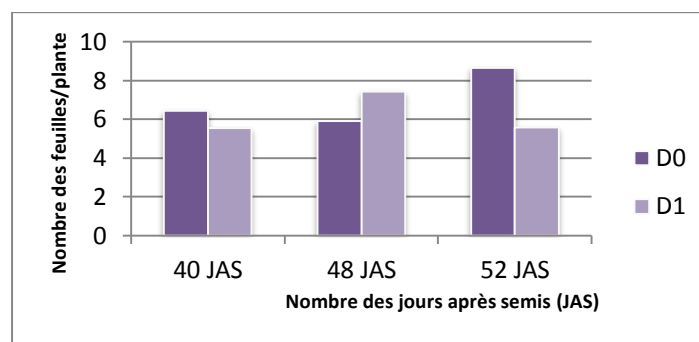


Figure 9 : Effet de silicium sur le nombre des feuilles

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur le nombre des feuilles par plante. Mais, on observe d'après la figure 9 qu'en générale il y a une priorité pour les plantes sans silicium D₀, dont le nombre des feuilles est supérieur à celle des plantes avec silicium D₁ pour les deux stades (40 JAS et 52 JAS). Au niveau du deuxième stade (48 JAS) le nombre des feuilles pour les plantes avec traitement de silicium est supérieur à celle des plantes sans traitement D₀.

2.3- Effet sur la hauteur de la plante

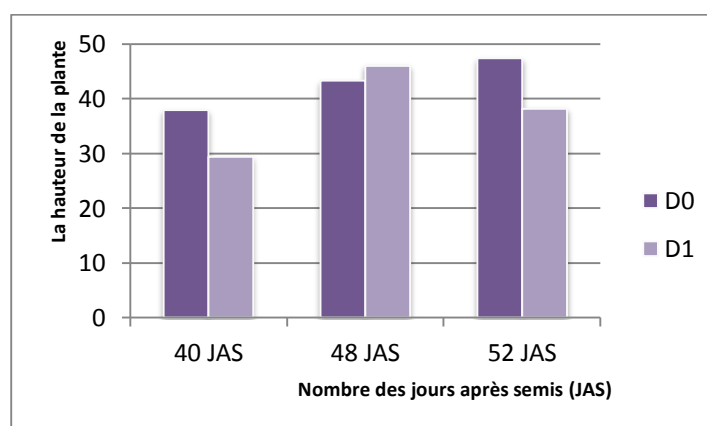


Figure 10 : Effet de silicium sur la hauteur de la plante

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur la hauteur de la plante. Mais, on remarque une tendance à l'augmentation de la hauteur de la plante en fonction de nombre des jours après semis. La hauteur de la plante sans silicium D₀ a augmenté entre le 40^{ème}JAS et le 48^{ème}JAS par 12.38% et entre le deuxième stade et le troisième a augmenté de 8.61%. Tandis que pour les plantes avec silicium D₁ a enregistré une augmentation de 36.24% entre le premier stade et le deuxième stade. En revanche, la hauteur

des plantes pour les traitements sans silicium D₀ est supérieur à celui avec silicium pour 40 JAS et 52 JAS, par opposition, en 48 JAS la hauteur des plantes avec silicium plus que de sans silicium.

2.4- Effet sur la surface foliaire

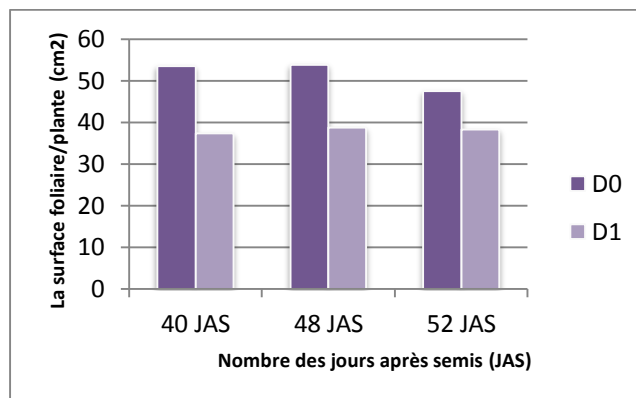


Figure 11 : Effet de silicium sur la surface foliaire

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif de l'apport du silicium sur la surface foliaire. Toutefois, on remarque d'après la figure 11 qu'il y a une augmentation de la surface foliaire en fonction de nombre des jours après semis, pour les plantes sans silicium D₀ par rapport à celles avec silicium D₁.

2.5- Effet sur la matière sèche des plantes

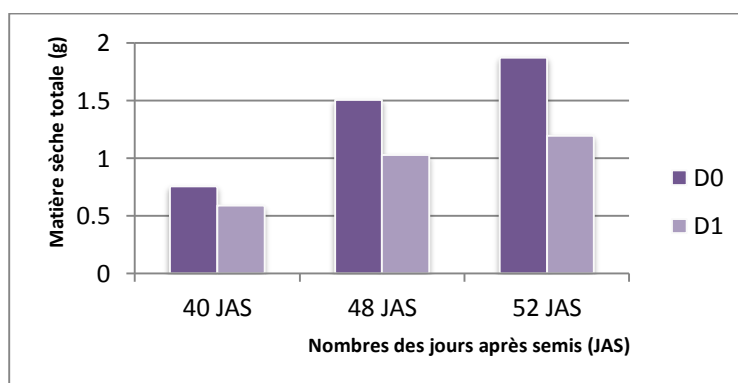


Figure 12 : Effet de silicium sur la matière sèche des plantes

L'analyse statistique n'a pas montré d'effet significatif de l'apport du silicium sur la matière sèche des plantes. Mais on remarque une augmentation de la matière sèche des plantes en fonction de nombre des jours après semis, pour les plantes sans silicium D₀ ont augmenté de 40 JAS à 48 JAS par 49.46% et pour 52 JAS augmenté par 19.78%. Pour les plantes avec silicium D₁ ont augmenté à partir de premier stade jusqu'à le deuxième par 43%.

Ensuite, la matière sèche des plantes est augmentée par 13.87%. En constate que la matière sèche des plantes pour les traitements sans silicium D0 est supérieur à celle avec silicium.

Discussion concernant la partie aérienne

Les résultats qu'on a trouvé par l'étude des paramètres précédentes (le nombre de feuille par plante, la hauteur de la plante, la surface foliaire et la matière sèche totale) n'ont pas montré d'effets significatifs du silicium sur ces paramètres mesurés. Donc on peut conclure que l'apport de silicium sur les sols similaires à notre sol d'étude (sol de Meknès ; Vertisol qui est peut être riche en silicium, donc il faut faire une analyse de la richesse du sol en silicium) n'offre pas nécessairement les rendements les plus élevé. Toutefois à titre de recommandations, il est nécessaire de reconduire l'essai pour une longue durée afin d'avoir la conformation de ces résultats quelque soit le type de sol.

CONCLUSION GENERALE

Notre étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'effet du silicium sur le développement et la croissance du blé dur. L'analyse des différents résultats obtenus n'a pas montré d'effets significatifs du Si sur la croissance du blé dur. D'après les résultats, n'a pas d'effet du Si sur le développement et la croissance du blé dur. Donc, on peut conclure que notre sol peut être riche en Si.

Ce stage a été pour nous une occasion d'avoir et d'enrichir nos connaissances notamment ; les analyses chimiques du sol (la matière organique, le phosphore assimilable, le pH et la conductivité électrique), la conduite d'un essaie sous serre et la manipulation des nouvelles appareils de mesures (chlorophylle-mètre, planimètre, conductivitémètre...) c'était aussi l'occasion d'assister à plusieurs cours concernant les différents dispositifs expérimentaux (DCA, DBAC, Carrée latin et le Split blot), l'historique génétique des blés (blé tendre, blé dur et triticale), ainsi que la conduite, la fertilisation et la lutte chimique des céréales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aït El Mekki, A., 2006.** Les politiques céréalières au Maroc, p.1.
- Amrani, M., Westfall, D.G. and Moughli, L. 1999.** Evaluation of residual and cumulative phosphorus effects in contrasted Moroccan calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 55: 231-238.
- Azzaoui, A. , El Mourid, M. , Loudyi, B. et Ryan, J. 1993.** Fertilité et fertilisation potassique au Maroc : Acquis et perspectives d'avenir. *Al Awamia* 83: 241-263.
- Bendidi A, A. Kajji, K. Daoui, L. Bouichou, M. Benbela, M. Ibriz and R. Dahan 2016.** Response of Bread Wheat to Sowing Dates and the Genotypes in Morocco. *American Journal of Experimental Agriculture*. 14(6): 1-8.
- 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. INRA, Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès. 8p.
- Bouzoubaà, Z ; Ait Lhaj, A et Mimouni, A., 2009.** Le Silicium ; le levier minéral indispensable pour une agriculture durable au Maroc, p.257.
- Bowen, J.E., 1972.** Manganese and its effect on growth of Sudan grass. *Plant. Soil.* 37 : 577-588.
- Dahan, R. 1988.** Fixation symbiotique de l'azote et fertilisation minérale des légumineuses alimentaires. Cours de formation sur les légumineuses alimentaires : expérimentation et vulgarisation. Edt. ICARDA pp :22-24.
- Dhesi, N.S., Desormeaux, R.W., Pauksens, J., 1971.** Laboratory techniques for distinguishing winter wheat cultivars. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.*, 61, 91-98.
- Feillet, P., 2000 (a).** INRA, Paris .le grain de blé : composition et utilisation, p.8.
- Feillet, P., 2000 (b).** INRA, Paris .le grain de blé : composition et utilisation, p.17-18.
- Fouchard M., Cheskeaux M. T., 1974.** Identification des variétés de Blé au stade plantule à l'aide du fongicide Tridemorphe. *C. R. Acad. Agric.*, 60, 437-442.
- Friedberg L., 1933.** Essai de classification des blés d'après leur réaction à l'acide phénique. *Annales agron.*, 5 ,697-736.
- Hajjaji, A. 2009.** Plan Maroc Vert. La révolution agricole commence. L'agriculture marocaine aujourd'hui : ce qui est produit dans chaque filière. *La Vie éco* ; le 17 avril 2009.
- Jonard, P., 1951.** Les blés tendres cultivés en France. I. N. R. A., Paris, 459 p.

Karrou, M., 1996. Variation génotypique de l'efficacité d'utilisation de l'azote chez le blé tendre. *Al Awamia* 95 : 39-51.

Manske GGB. and PLG. Vlek., 2002. Root Architecture-Wheat as a Model Plant. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, editors. *Plant Roots: The Hidden Half*. New York: Marcel Dekkar Inc.; 2002: 249-259.

Okuda, A., Takahashi, E., 1964.In 'The Mineral Nutrition of the Rice Plant,' Symp.Intern. Rice Res. Inst., pp. 126-146. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland.

Ouattar, S., Améziane, T., 1989. Les céréales au Maroc, de la recherche à l'amélioration des techniques de production. Ed. Toubkal. Casablanca.

Redischung., Karska K., 1952. Étude de la valeur systématique de quelques caractères observables sur le grain et les plantules de Blé tendre. *Ann. Amélior. Plantes*, 1, 1-30.

Remer, N., 1996. Substanzen im Lebenszusammenhang der Landwirtschaft: Kiesel - das vergessene Element, p.222.

Steiner, R., 1922. *Le visage de la Terre*, Dornach, pp.2-7.

Voronkov, A., 1975. *Le Silicium et la Vie*, Editions académiques, Berlin, p.80.

ANNEXES

Annexe 1 : Quelques éléments d'interprétation de la teneur en MO de vos sols.

TENEUR EN MO	INTERPRETATION	
MO < 14 ‰	Sol très pauvre en matière organique	
14 ‰ ≤ MO < 20 ‰	Sol pauvre en matière organique	
20 ‰ ≤ MO < 30 ‰	Argile < 22%	Sol bien pourvu en matière organique
	22% < ARG. < 30% (Ou teneur en argile inconnue)	Sol moyennement pourvu en matière organique
	Argile > 30%	Sol pauvre en matière organique
30 ‰ ≤ MO < 40 ‰	Sol bien pourvu en matière organique	
MO ≥ 40 ‰	Teneur élevée en matière organique	

(Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie.)

Annexe 2 : Le statut acido-basique des sols selon le projet PNUD/FAO.

Echelle	0	2	3	4	5	6	
pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7 7,5 8 8,5
Degré	Très acide	Acide		Peu acide		Neutre	Peu alcalin Alcalin

Annexe 3 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. 1983.

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ 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

Annexe 4 : Quelques éléments d'interprétation de la teneur en P₂O₅ OLSEN de nos sols.

VALEUR DU TAUX DE SATURATION S/T	TENEUR SEUIL T1 EN ‰ DE P ₂ O ₅	TENEUR SEUIL T2 EN ‰ DE P ₂ O ₅	TENEUR SEUIL T3 EN ‰ DE P ₂ O ₅
S/T ≤ 150% (sols non calciques)	0,04‰	0,08‰	0,16‰
S/T > 150% (sols calciques ou calcaires)	0,05‰	0,09‰	0,18‰

(Source : programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie.)

Annexe 5 : L'analyse de variance de la matière sèche racinaire (40 JAS) par SPSS.**Tests des effets inter-sujets**

Variable dépendante: MST R1

Source		Somme des carrés de type III	ddl	Moyenne des carrés	D	Sig.
Ordonnée à l'origine	Hypothèse	,318	1	,318	22,735	,009
	Erreur	,056	4	,014 ^a		
D	Hypothèse	,000	1	,000	,018	,899
	Erreur	,056	4	,014 ^a		
D * Rep	Hypothèse	,056	4	,014	.	.
	Erreur	,000	0	. ^b		

a. MS(D * Rep)

b. MS(Erreur)