

Le Silicium; le levier minéral indispensable pour une agriculture durable au Maroc

Bouzoubaâ, Z; Ait Lhaj, A et Mimouni, A.

INRA- CRRRA- Agadir, UR Agronomie & Qualité

Résumé

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 différents 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 la plante et pour l'environnement.

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 et 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.

Sur le sol, les résultats ont montré qu'il a un effet positif sur l'agencement des éléments minéraux et leur répartition à son niveau et donc sur ses propriétés physico-chimiques. Les résultats obtenus ont également montré un impact positif sur la bourse de l'agriculteur d'une part et la protection de l'environnement par le raisonnement et l'économie de l'eau et des fertilisants.

En conclusion, aussi bien en conditions normales qu'avec les changements climatiques, le Silicium est à notre sens, l'accompagnant minéral le plus approprié pour une Agriculture Durable.

Mots clés: Silicium; Agriculture Durable; Cultures; Systèmes de culture; Economie de l'Eau et des Fertilisants. Environnement.

Introduction

Le silicium, est un élément minéral qui n'est pas considéré comme élément essentiel. Il n'est ni avec les macro, ni avec les micro éléments dans la nutrition minérale des plantes. Son application en tant que fertilisant a largement été utilisée dans le monde particulièrement en Asie. Il est considéré par les scientifiques comme un élément facilitateur. Son absorption, contribue à l'utilisation efficiente de l'eau et des éléments minéraux alors que son accumulation au niveau des épidermes donne une rigidité et soutien aux cultures, ce qui les protège contre les stress aussi bien biotiques qu'abiotiques.

La fertilisation silicatée a rarement été étudiée au Maroc. Elle doit cependant être très intéressante

à explorer si on sait que 1/ la fertilisation silicatée améliore la nutrition hydrominérale des plantes; 2/ augmente la résistance de la plante aux agresseurs externes, 3/ réduit de façon efficiente la consommation en eau tout en gardant une bonne croissance et un bon rendement, et 4/ optimise l'absorption des éléments minéraux par la plante; 5) améliore les propriétés physico-chimiques du sol. Ce sont là les aspects qui définissent la durabilité de l'agriculture tout en préservant l'environnement.

Il faut aussi signaler que l'application de Si peut réduire l'utilisation des fongicides et des nématicides chez plusieurs cultures et réduit le recours à une fertilisation phosphatée accrue. Dans la littérature, il a été reporté l'amélioration de la tolérance de certaines cultures aux maladies, l'augmentation sensible du rendement et la meilleure utilisation des engrais peuvent contribuer énormément à l'amélioration de la qualité du produit et à la réduction du coût de production.

L'étude réalisée dans la région du Souss-Massa par la fondation AGROTECH en 2006 a clairement émit que les agriculteurs de la région ne disposent pas de normes fiables en éléments fertilisants, ni de données chiffrées en matière de consommation en eau des cultures, ni de pratiques de protection saines des plantes. Ceci, a engendré beaucoup de problèmes entre autre, l'épuisement du sol, les maladies, les résidus, la rareté de l'eau,... la salinisation des terres et leur stérilité, en plus du fait que dans le Souss-Massa, comme dans plusieurs régions du Maroc, la salinité sodique (NaCl) ou calcique (CaCl_2) des eaux et des sols, augmentée du problème de rabattement de la nappe et des cycles pluriannuels de sécheresse, constitue l'un des facteurs les plus limitant de la productivité et de la qualité des cultures.

Des actions multiples, diverses et complémentaires doivent être munies pour pallier cette problématique qui, à l'état actuelle reste encore gérable mais qui ne le sera plus d'ici quelques années vue l'évolution observée du phénomène d'aridité. En effet, les études faites dans ce sens prévoient 500.000 hectares qui seront touchés par la salinisation dans les quelques années à venir, on parle même de 37.000 hectares qui sont sérieusement touchés (MDAPM, 2001). Cette dernière situation est due aux pratiques de la fertigation non raisonnées, utilisées en agriculture intensive et moderne.

Lors de la fertigation, et vue qu'il n'y a pas de normes, des problèmes techniques peuvent survenir et peuvent influencer la répartition normale de l'eau et des éléments fertilisants créant ainsi un excès ou un déficit en tel ou tel élément et donc une chute dans le rendement.

C'est pour toutes ces raisons qu'il faut appliquer la silice sous sa forme active à savoir l'acide orthosilicique (SiOH_4), car elle permet de corriger les écarts des différents facteurs aussi bien édaphiques que climatiques en évitant la sortie de l'eau de la plante et en diminuant sa transpiration principalement cuticulaire grâce aux couches silicatées déposées en surface des épidermes, permettant ainsi à la plante de garder un statut hydrique interne favorable à son fonctionnement normal. Elle permet également de corriger les excès et les déficits des minéraux en optimisant la nutrition de la plante en ces mêmes éléments.

Etat de l'art sur les fonctions métabolique et physiologique du silicium:

La silice est une molécule constituée d'un atome de silicium lié à deux atomes d'oxygène (SiO_2): la liaison Silicium-Oxygène est de loin la plus abondante dans le sol après l'oxygène. Elle est présente dans le sol sous différentes formes à savoir; l'état cristallin dont la solubilité est très faible, l'état amorphe; de formule générale $(\text{SiO}_2)_x(\text{H}_2\text{O})_n$, dont la solubilité est d'autant plus grande que l'hydratation est plus faible et l'état soluble où le Silicium est sous forme d'acide monosilicique de formule chimique (SiOH_4) qui est une molécule non chargée jusqu'à pH 9. C'est sous cette forme que la silice se trouve en solution dans le sol.

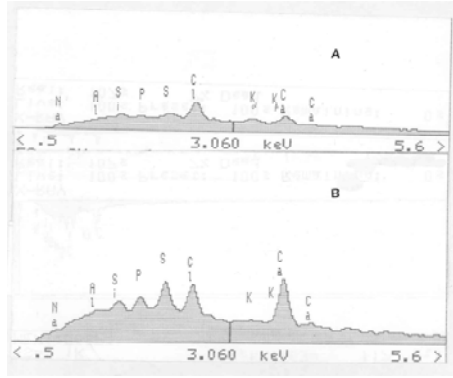
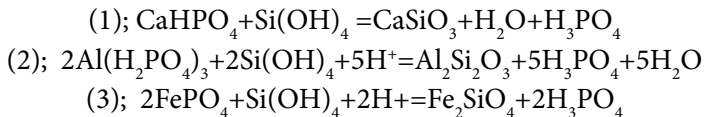


Fig. 1. Amélioration de la nutrition minérale des différents éléments minéraux en présence de l'acide ortho-silicique dans le milieu de culture (b) qu'en son absence (a).

Sondage fait au microscope électronique à balayage au niveau de l'endoderme de plantules de blé (Bouzoubaâ, 1991).

Dans la solution du sol, le silicium se présente principalement sous forme d'acide monosilicique provenant de la silice amorphe (Barber et Shone, 1966). C'est également sous cette forme qu'il est absorbé par la racine (Jones et Handreck, 1967) et sous cette forme qu'on le trouve au niveau de la sève xylémique des plantes (Lefaucheur, 1988. Bouzoubaâ, 1991).

Le silicium accumulé au niveau des parois cellulaires joue le rôle d'une barrière mécanique contre la pénétration des agents pathogènes insectes et champignons (Savant et al, 1999). Les dépôts au niveau de l'endoderme renforcent sa consistance ce qui assure la protection des tissus vasculaires contre l'invasion des parasites (Clarkson et al, 1975). La silification des parois de l'épiderme des plantes aurait ainsi un effet de barrière mécanique à l'égard des champignons parasites et autres agents pathogènes. L'acide ortho-silicique peut former des liaisons avec les groupements hydroxylés des sucres tout comme l'acide phosphorique, le calcium (1), l'aluminium (3), l'acide borique, l'acide sulfurique ou encore le fer (3): cette similitude chimique résulterait de la ressemblance de toute ces molécules (Needham., 1965). La silice peut également jouer un rôle dans la mobilisation de l'ion phosphorique (Matichenkov et Ammosova, 1996; O'Relly & Sims, 1995; Matichenkov et al., 1997; Bouzoubaâ, 1991; Bouzoubaâ et al., 2005).



En 1964, Okuda et Takahashi ont remarqué que le silicium peut réduire l'absorption du phosphore si ce dernier est en excès et qu'il peut l'accroître en cas de carence. En conséquence, le silicium permet donc une meilleure assimilation du phosphore. En d'autres termes, le silicium est un agent fertilisant essentiel. Dans le cas de l'utilisation des silicates comme fertilisants, ils permettent une meilleure assimilation du potassium chez le riz (Velly, 1974).

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). Il a en effet deux sortes de rôle: un rôle mécanique à travers lequel il donne à la plante une résistance contre

les pathogènes; puis 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 ou encore le magnésium tous à effet indéniable dans une nutrition minérale équilibrée (Fig.1). En effet, le silicium accumulé au niveau cellulaire joue le rôle d'une barrière mécanique contre la pénétration des agents pathogènes, insectes ou champignons. Les dépôts au niveau de l'endoderme (Figure 2 et 3) renforcent sa consistance ce qui assure la protection des tissus vasculaires contre l'invasion des parasites de toute sorte. Il a un effet sur le port érigé des feuilles ce qui leur permet de mieux intercepter les rayons lumineux et donc d'améliorer la photosynthèse. Elle a une action sur l'économie de l'eau jusqu'à 30% de moins, d'eau transpirée par la plante et donc le maintien d'un potentiel hydrique élevé à l'intérieur de la plante. Il a également un effet bénéfique sur l'élongation de la racine: organe stratégique dans l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux des plantes.

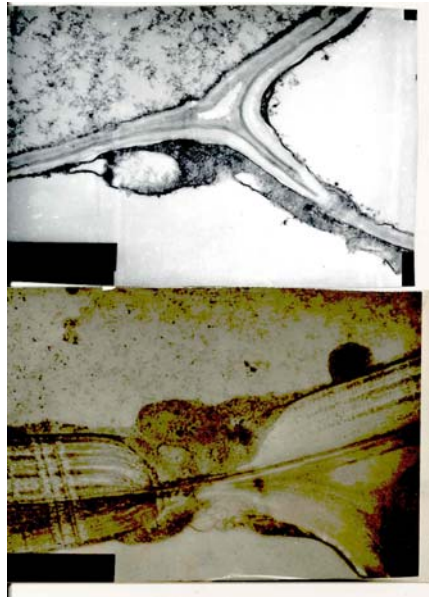


Fig.2. Observation au microscope électronique de l'accumulation silicatée au niveau des parois des cellules de l'endoderme du blé (b) et comparaison avec le témoin non traité au silicium (a)

Les épaissements celluloseux sont indiqués par les flèches, on remarque qu'ils sont plus importants en présence du silicium. Ils constituent un filtre vis-à-vis de l'eau et des éléments minéraux. (Bouzoubaâ ;1991)

Par ailleurs, le développement d'un système de production durable est l'un des meilleurs challenges pour la recherche agronomique. Un facteur important de la durabilité dans l'agriculture est l'utilisation efficiente de l'eau, le raisonnement de l'utilisation des pesticides et des fertilisants ainsi que la gestion des maladies par l'exploitation des systèmes de régulation internes des agrosystèmes. En particulier dans le secteur maraîcher où l'utilisation des pesticides et des fertilisants est intensifiée. Augmenter l'auto défense des cultures, diminuerait l'utilisation des pesticides et éviter les risques environnementaux tout en augmentant la sécurité des producteurs et des consommateurs (De Waard et al, 1993; Jacobson, 1997).

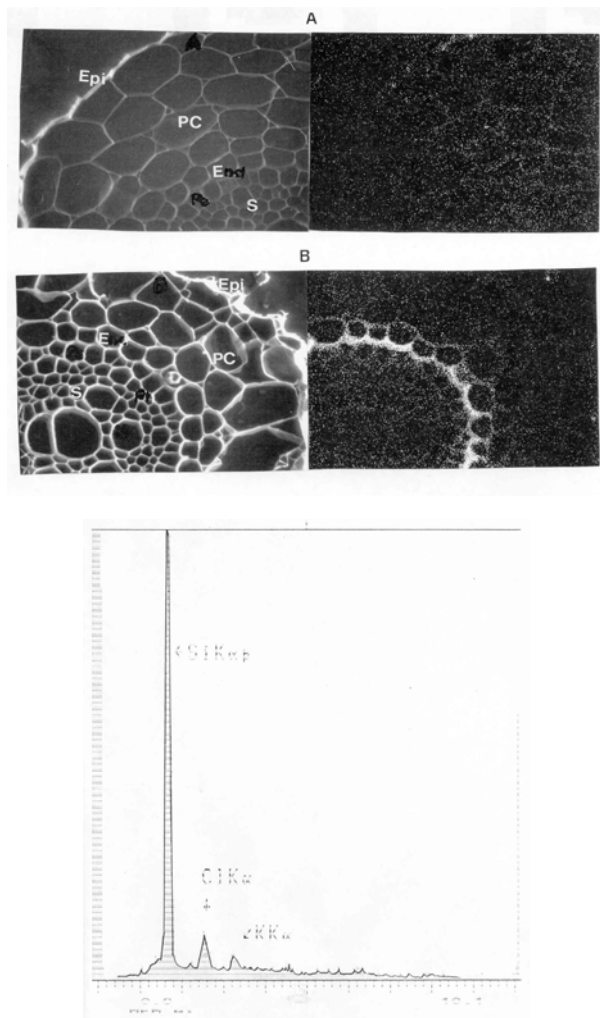


Fig.3. Localisation du silicium au niveau de l'endoderme du blé au moyen de la microsonde électronique en sélection d'énergie à gauche en bas par rapport au témoins non traité en haut, et en microscope électronique en dispersion de longueur d'ondes à droite. (Bouzoubaâ, 1991)

Etat des recherches sur le silicium à l'INRA Maroc, Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir (2004-2008)

Les essais réalisés sur l'effet de la fertilisation silicatée de 2004 à 2008 au Centre Régional de la Recherche Agronomique d'Agadir en rapport avec l'économie de l'eau (Bouzoubaâ et Alaoui, (2004)); en rapport avec l'économie de l'eau et des fertilisants en plein sol (Bouzoubaâ et al, (2005)); en rapport avec la croissance, le rendement et la qualité de l'haricot vert en hors sol sur la laine de verre (Bouzoubaâ et Taoufik 2006; 2007 et 2008), toujours en hors sol sur fibre de noix de coco (Bouzoubaâ et Taoufik 2007 et 2008) ont montré une meilleure croissance et un meilleur rendement chez les cultures traitées par rapport aux témoins de l'haricot vert, du

melon et du concombre ce qui est probablement dû à une meilleure nutrition en présence de cet élément; ceci aussi bien en sol qu'en hors sol pour l'haricot vert. Les essais menés en plein sol en conditions sous serre ont montré que la nutrition minérale des plants est meilleure en présence du silicium qu'en son absence et que le silicium a un effet régulateur sur cette absorption. Qu'il y a une augmentation du rendement en fruits exportable en présence du silicium du melon de 12.52% en moyenne toutes doses confondues, alors que pour l'haricot vert ce rendement variait entre de 24.03 % à 46.42 % selon les doses. Qu'il n'y a pas d'effet significatif dans les rendements entre les doses appliquées (D1: 50U/ha N; 80 U/ha P_2O_5 ; 120U/ha K_2O ; D2: 100U/ha N; 120 U/ha P_2O_5 ; 160U/ha K_2O) et D3: 120U/ha N; 160 U/ha P_2O_5 ; 200U/ha K_2O) alors que l'effet silicium était hautement significatif. Ceci pourrait avoir un grand impact aussi bien sur le prix de revient de la culture que sur l'environnement dans le raisonnement de la fertiligation. Ces essais ont également montré une meilleure qualité de fruits aussi bien du melon que de l'haricot vert ou encore du concombre, exprimée par un accroissement de la composante exportable des fruits chez les trois espèces et une augmentation de la teneur en sucre du melon en présence du Silicium (Bouzoubaâ et al 2004).

La comparaison sur l'haricot vert des différentes modalités d'apport du silicium à la plante foliaire, racinaire puis racinaire et foliaire a montré que les paramètres de croissance ainsi que les rendements en présence du silicium sont plus importants qu'en son absence et que le traitement foliaire est meilleure que les autres traitements. Ceci a été expliqué par le développement de la racine aussi bien en longueur qu'en épaisseur en présence du Silicium, ce qui permet probablement une meilleure absorption de l'eau et des éléments fertilisants et donc une meilleure croissance (Photo 1).



Photo 1. Effet de différentes modalités d'apport de silicium en conditions d'hors sol (HS) ou plein sol (PS) sur le développement en volume et en longueur des racines de l'haricot vert

D'autre part, les travaux sur les modalités d'accumulation du silicium réalisés principalement sur les céréales qui ont été pris comme modèles (Bouzoubaâ, 1991), ont montré que le silicium s'accumule préférentiellement sous forme de gel de silice; $n(SiO_2)$ au niveau des parois des cellules épidermiques des feuilles leur donnant ainsi un soutien mécanique et leur permettant un meilleur port érigé, d'où une meilleure interception de lumière et donc une meilleure photosynthèse qui se traduit par une meilleure production de photosynthétats entraînant ainsi une meilleure croissance.

L'effet sur la teneur en éléments minéraux des fruits des différentes cultures a été positif comme le montre la figure 5 chez l'haricot vert pour l'azote, le phosphore et le potassium à différentes doses (D1,D2, 3) de fertiligation (F).

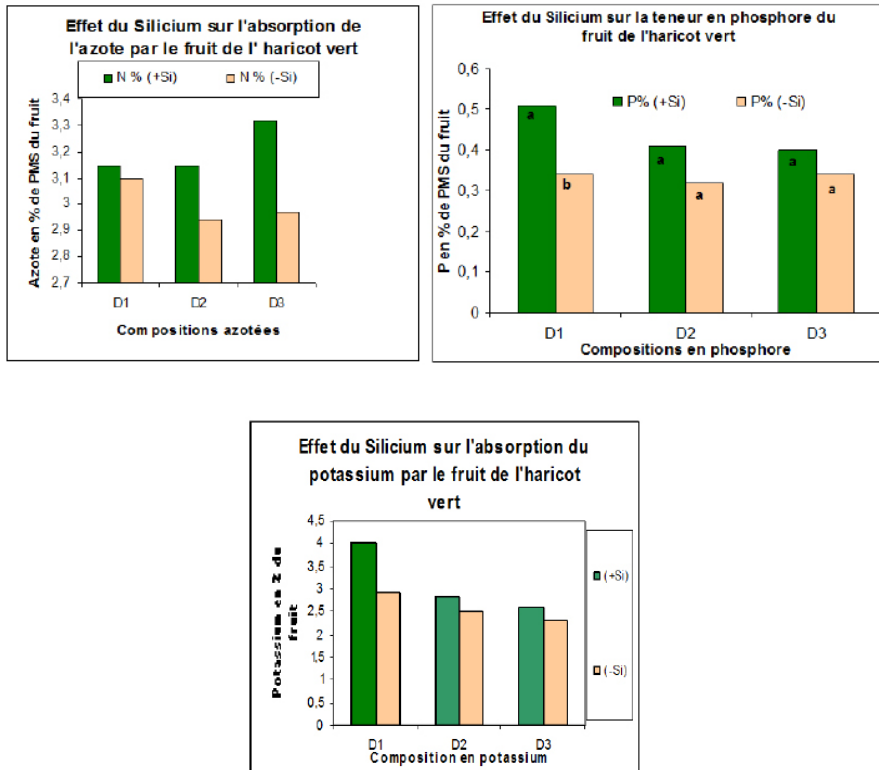


Fig. 5. Effet du silicium sur la teneur en azote, phosphore et potassium du fruit de l'haricot vert à différentes doses de fertilisation en N,P, K de la culture

Bouzoubaà & Taoufik en (2008) ont mis en évidence une meilleure translocation des éléments minéraux des feuilles vers les fruits chez l'haricot plat en hors sol, ce qui explique l'amélioration de la composition des fruits et légumes observés chez le melon, concombre ou haricot vert les années passées (Fig 6 et 7). Matichenkov (1990), avait noté une augmentation de la chlorophylle chez le maïs, L'augmentation de la teneur en sucre chez la betterave à sucre en présence du silicium a été signalée par Liebig (1964). Une augmentation de la teneur en sucre chez la canne à sucre a été signalée par Fox et al, (1967).

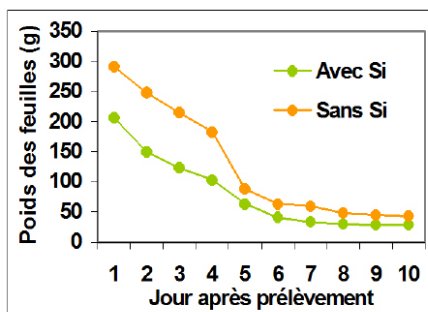


Fig.6 Effet du Silicium au régime de 100%F sur l'évolution de la perte en poids des feuilles à température ambiante

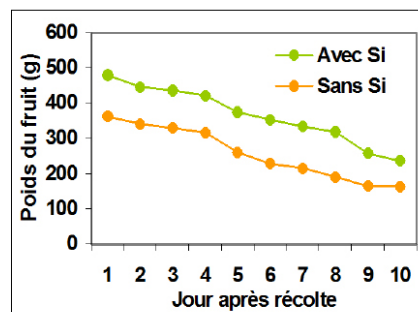


Fig.7 Effet du Silicium au régime de 100%F sur l'évolution de la perte en poids des fruits à température ambiante

Le sol des échantillons traités d'un essai mené en plein sol sur l'effet de la fertilisation silicatée sur la croissance et le rendement du melon a montré une bonne réserve minérale pour un grand nombre d'éléments minéraux ce qui laisse supposer une meilleure disponibilité des éléments minéraux aux racines et donc une meilleure nutrition minérale des plants (tableau 1).

Tableau 1. Effet du silicium sur les propriétés physico-chimiques du sol d'un essai de melon avec fertilisation silicatée

Réf	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 ^a	.23 ^b	.13 ^b	.02 ^b	.52 ^b	1.29 ^a	7.96 ^b	4.88 ^b	.42 ^b	.21 ^b	2.68 ^b	13.0 ^b	2.4 ^b	18.0 ^a	3.0 ^b	44.3 ^b
- Si	8.1 ^a	.20 ^a	.06 ^a	.01 ^a	.29 ^a	1.25 ^a	7.65 ^a	3.41 ^a	.36 ^a	.16 ^a	2.25 ^a	12.0 ^a	2.2 ^a	19.2 ^a	2.0 ^a	25.1 ^a
Dce%	1.25	15.0	116.6	100	79.31	3.20	4.05	43.11	16.67	31.25	19.11	8.33	9.09	-6.2	50.0	76.5

Les valeurs de la même colonne suivies de la même lettre ne sont significatives au seuil de 0.05. Dce % correspond à la différence en % par rapport au sol des plants témoin.

L'effet sur l'économie de l'eau: les essais entrepris dans ce sens chez l'haricot vert et le melon en plein sol ont montré que les besoins en eau de ces deux espèces en présence du silicium sont de 435 et 450 ml/an contre 500 et 520 ml/an en son absence pour l'haricot vert et le melon respectivement (Bouzoubaâ et Alaoui 2004).

Les essais réalisés en conditions de déficit hydrique et de salinité sur la germination de deux variétés de blé tendre et dur (Bouzoubaâ; 2004), ainsi qu'en conditions de salinité sur la germination de six descendances d'arganier (Bouzoubaâ; 2006) ont montré que les échantillons traités avec le silicium supportent mieux les conditions de stress et que les pourcentages de germination de ces espèces peuvent varier du simple à 4 fois plus en présence du silicium selon les concentrations utilisées et l'intensité des stress appliquées. Les réponses ont également été différentes selon les espèces.

Conclusion

Pour conclure, notre recommandation est d'intégrer cet élément dans tout agro-système. Ceci se justifie par le fait que la gestion de l'utilisation de l'eau et le raisonnement de la fertigation au Maroc et particulièrement dans les régions fragiles comme Errachidia ou encore le Souss-Massa, une région très fragile de point de vue agro-écologique et à grands aléas climatiques, ainsi que le renforcement de la protection des plantes, sont des mesures incontournables et urgentes. En effet, vue la rareté de l'eau, l'abattement de la nappe, l'aridité du climat, la demande évaporative du climat très élevée, et tenant compte des résultats obtenus soit par nous même ou par d'autres auteurs dont quelques uns sont:

- l'économie de l'eau par la plante (Bouzoubaâ, 1991; Bouzoubaâ et Taoufik (2007 et 2008)
- l'économie des fertilisants (Bouzoubaâ et al, 2005)
- l'accroissement racinaire aussi bien en longueur qu'en épaisseur (Bouzoubaâ 1991; Bouzoubaâ & Taoufik 2006)
- la protection phytosanitaire des plantes (Datnoff; 1992)
- la qualité des fruits et légumes (Datnoff et al. 1997., Bouzoubaâ et al 2005)
- l'amélioration des rendements des cultures (Savant et al, 1979; Bouzoubaâ et al 2005)
- l'amélioration du statut hydro-minérale du sol (Wutscher, 1989. Bouzoubaâ et al; 2004)
- Réduction du lessivage des nitrates et des phosphates au niveau du sol (Matichenkov et al, 1996, Bouzoubaâ et al, 2005); il est primordial de proposer des alternatives agronomiques qui permettent d'utiliser efficacement l'eau, de réduire la dépendance vis à vis des produits

de l'agronomie et de rendre l'agriculture plus biodynamique. Dans ce projet, on s'intéresse particulièrement à l'utilisation des fertilisants silicatés pour une production de qualité de la tomate sous serre, efficiente et respectueuse de l'environnement.

Et pour finir, à signaler que pour cet élément comme pour toute autre élément minéral, il est nécessaire de faire attention à la concentration à utiliser, au pH, à la fréquence d'utilisation au moment d'application dans le cycle de la culture, à la température ambiante au moment de l'application car tous ces facteurs influent sur l'efficience de l'utilisation de cet élément.

Références bibliographiques

- Barber.D. et Shone,M. (1966). The absorption of silica from aqueous solutions by plants. J. Exp. Bot. 17:569-578.
- Bouzoubaâ. 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.
- Bouzoubaâ Z. et Alaoui,T. (2004). Effet de la silice sur la croissance, le rendement Et la qualité de l'haricot vert et le melon. Rapport annuel du CRRA Agadir.INRA.
- Bouzoubaâ Z, Alaoui, T.; Ait Lhaj A, et Mimouni A. (2005). Effet de la silice sur la croissance, le rendement et la qualité de l'Haricot vert. Congrès Internationale sur productions végétales. Settat. Maroc.
- Bouzoubaâ & Taoufiq, (2008). Effet de la fertilisation silicatée sous trois régimes de fertigation 60 – 80 et 100% sur la croissance et le rendement de l'haricot plat en hors sol sous serre. Rapport annuel INRA/CRRA/Agadir pp39-41.
- Bowen. J.E.(1972). Manganese and its effect on growth of Sudan grass. Plant. Soil. 37: 577-588.
- Clarkson. D. T. Drew M.. C, Fergusson I. B. et Sanderson J. (1975). The effect of the «take all» fungus, on the transport of ions by wheat plants. *Physiol. Plant Pathol.*6: 5.- 84.
- Fox . r.I.J.A. Silva; O. R. Younge. D. I. P lucknett and G.D Sherman. (1967). Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 775-779.
- Jones, L. H. P., and Handreck, K. A. (1967). Silica in soils, plants and animals. *Ad. Agron.* 19:107-149.
- Lefaucheur. L. (1988). Formes chimiques et mécanismes d'absorption du silicium par les plantes . these. Doct. Phys. Biol. Org. Pop. Montpellier . 113p. Liebig,J. (1964). *Chemistry in applied to agriculture.* Economical Free Society.St. Petersburg. Russia.
- Matichenkov . V. V. (1990). Amorphous oxyde of silicon in soddy podzolic soil and its influence on plants. *Author. Can. Diss., Moscow State. Univ . Moscow. USSR.*
- Matichenkov. V. V., Y. M. Ammosova (1996). Effect of amorphous silica on soil properties of a sod-podzolic-soil. *Eurasian Soil. Sci.*28.(10):87-99.
- Matichenkov. V. V., Y. M. Ammosova., (1997). The method of determination of Plant available Silica in soil. *Agrochem.* 1: 76-84.
- Needham A. E. (1965). *The uniqueness of biological materials* cite par Iler (Pergamon press, Oxford, 593p).
- Okuda. A., et Takahashi. E. (1964). Studies of the physiological role of silicon in crop plant *Soil. Sci. Plant. Nutr.*9, 453-458.
- O'Reilly.S.E.and J.T.Sims, (1995). Phosphorus adsorption and desorption in a sandy soil amended with high rates of coal fly ash . *commun. Soil. Sci. And plant anal.* 26.(17-18):2983-2993.
- Savant, N.K.Korondorfer, G.H., Datnoff, L. E. and Snyder, G.H. (1999). Silicon nutrition and sugarcane production: a review.*J.Plant. Nutr.* 22(12)18-53-1903.
- Velly, (1974). La silice dans la fertilisation du riz à Madagascar. *Agro. Tropic.*, 30: 305-323.
- Vlams . J. et Williams. E. (1967). Manganese and silicon interactions in the gramineae. *Plant and Soil.* 27: 131-140.
- Werner. D. and R. Roth. (1983). Silica metabolism p:582-694. In: Lauch A., Bielsky R.L. (Ed). *Inorganic Plant Nutrition, New series.* Spring Verlog, New York, N. Y.