

Evaluation de méthodes d'extraction chimique du sol pour prévenir les besoins en silicium de la canne à sucre

A. Kanamugire

*South African Sugarcane Research Institute, Private bag X02,
Mount Edgecombe 4300, Afrique du Sud
Andre_Kanamugire@sugar.org.za*

RESUME

Les baisses de rendement de canne à sucre provoquées par l'*Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) se rangent parmi les facteurs qui limitent la productivité de la sole cannière Sud-Africaine. Des travaux effectués récemment au SASRI (Institut Sud-Africain de recherche sur la canne à sucre) ont démontré l'importance du silicium (Si) dans la résistance de la canne aux effets nuisibles de l'*Eldana* pour le rendement. Cette étude a été entreprise pour (i) connaître la méthode d'extraction la plus adéquate du silicium du sol qui est assimilable par la canne, et (ii) déterminer la valeur seuil en Si assimilable permettant une production optimale. A cet effet ont été conduites des études en serre et au laboratoire avec les cinq types de sols les plus répandus dans la sole cannière sud-africaine. L'expérience était du type split-split-plot avec quatre répétitions et trois niveaux d'application (0, 3 et 6 tonnes ha^{-1}) de trois amendements siliciques (*calmasil*, *slagment* et *wollastonite*) ajoutés à chaque sol au début de l'expérience. Le sorgho et la canne à sucre étaient utilisés comme plantes test. La teneur en Si assimilable des sols a été testée selon six méthodes d'extraction différentes sans et avec l'ajout des amendements au début de l'étude. La corrélation entre le Si extrait par le sorgho puis la canne et la quantité de Si extrait des sols par les six méthodes ont donné des coefficients de corrélation allant de 0.55 à 0.72. La méthode à l'acide sulfurique à 0.025M a donné le coefficient de corrélation le plus élevé, indiquant qu'elle était la plus fiable des méthodes d'extraction de Si pour les 5 sols étudiés. Avec cette méthode les résultats obtenus tendent également à montrer que la valeur seuil en Si assimilable serait liée positivement à la teneur en argile du sol.

Mots clés: sols, silicium, *Eldana saccharina*, pH du sol, méthode d'extraction

INTRODUCTION

La silice (Si) est un des constituants majeurs du sol. Dans la phase solide de celui-ci elle est généralement omniprésente dans ses fractions sableuses et limoneuses et elle constitue une partie importante de sa fraction argileuse. La silice est aussi présente dans le sol sous forme d'acides mono- ou poly-siliciques et se présente aussi sous celle de complexes avec des composés organiques ou inorganiques. Cependant c'est sous la forme d'acide mono-silicique (H_4SiO_4) qu'elle est absorbée par les plantes. Les acides poly-siliciques et, probablement, les complexes organiques et inorganiques contenant le Si sont des sources importantes pour réapprovisionner la solution du sol et ainsi servir aux besoins des plantes en cet élément (Savant et al., 1999).

Comme d'autres graminées, la canne à sucre est considérée comme une plante qui assimile le silicium d'une manière active, car il a à la fois un rôle physiologique et morphologique dans sa croissance. Une plantation de canne avec un rendement en tiges usinables de 100 $T.ha^{-1}$ peut avoir accumulé à la récolte près de 380 $kg.ha^{-1}$ de silicium dans sa partie aérienne, à

comparer aux 180 kg ha⁻¹ de potassium, les 140 kg ha⁻¹ d'azote et les 20 kg ha⁻¹ de phosphore (Samuels, 1969).

Une méthode fiable d'extraction chimique pour l'évaluation du statut des sols en silicium assimilable est cruciale pour la détermination des besoins de la culture en amendement silicique. Elle l'est aussi pour connaître la dose optimale en amendement silicique à appliquer dans le but de minimiser le risque de perte en rendement par des attaques d'*Eldana* qui sont favorisées lorsqu'il y a carence en silicium (Meyer et Keeping, 2000). Plusieurs méthodes d'extraction chimique du silicium dans les sols ont été suggérées par différents auteurs dont Fox et al. (1967), Khalid et al. (1978), Korndörfer et al. (1998), Berthelsen et al. (1999), Barbosa-Filho et al. (2001), et Snyder (2001).

Dans la présente étude, six méthodes différentes sont comparées pour estimer la quantité de silicium du sol qui serait assimilable par les plantes, cultivées en serre, sur différents types de sol avec et sans amendement silicique dans le but d'identifier la méthode d'extraction qui donne la meilleure corrélation entre la quantité de Si extrait par voie chimique du sol et celle extraite par la plante. Parallèlement nous chercherons à connaître pour cette méthode d'extraction, la valeur seuil à partir de laquelle un rendement optimal peut être atteint.

METHODES ET MATERIELS

L'étude est conduite à la station de recherche principale du SASRI (Institut Sud-Africain de recherche sur la canne à sucre) de Mount Edgecombe avec de la terre de l'horizon cultural provenant de cinq types de sol, de trois sources de silicium appliquées à la dose équivalente à 0, 3 et 6 tonnes ha⁻¹ avec deux plantes test, d'abord en serre en utilisant un dispositif de type split-plot avec quatre répétitions, puis au laboratoire.

Les échantillons de terre proviennent du niveau 0-15cm de cinq champs de canne à sucre qui étaient en culture continue depuis plusieurs décennies. Le sol *Arcadia* (selon la taxonomie des sols d'Afrique du Sud) provient de la station de Mount Edgecombe (pluviométrie de 1000mm en moyenne pluriannuelle). C'est un sol brun vertique à 44 % d'argile et pH-eau de 5.6 qui s'est développé sur de la dolérite et est classé parmi les Eutriques vertiques Cambisol (FAO et al., WRB, 1999). Le sol *Cartref* provient de la région d'Eshowe (P moyen de 1200mm), contient 19% d'argile, a un pH-eau de 5.2 et s'est développé sur du grès. Le *Glenrosa* provient de la région de Kearsney (P moyen de 1100mm), contient 13% d'argile, a un pH de 4.9 et s'est développé sur du grès arkosique à intercalations de pélite. Le *Nomanci* provient de la région de Paddock (P moyen de 1200mm). C'est un sol plutôt humifère à 6% d'argile avec un pH de 5.6 qui s'est développé sur du grès arkosique quartzitique du groupe Natal. Enfin, le *Longlands* avec ses 4 % d'argile et pH de 4.8 est développé sur du grès très sableux et a été prélevé, comme le sol *Arcadia*, sur la station de Mount Edgecombe.

Trois formes d'amendement silicique sont comparées : le '*Slagment*', le '*Calmasil*' et le '*Wollastonite*'. Le *Slagment* est un ciment de qualité inférieure ayant une teneur en Si de 15.2%; le *Calmasil* est un sous-produit, de type scorie, issu de l'industrie métallurgique, ayant une teneur en Si de 9.85%, et le *Wollastonite* est un minéral (CaSiO₃) à teneur en Si de 5.25%. Ces apports d'amendement à raison de respectivement 3 et 6 t.ha⁻¹ représentent, pour une tranche de sol de 15cm d'épaisseur et en admettant une densité apparente de 1.3, une dose de respectivement 0.45 et 0.9g.kg⁻¹ pour le *Slagment*, de 0.3 et 0.6g.kg⁻¹ pour le *Calmasil* et de 0.15 et 0.3g.kg⁻¹ pour le *Wollastonite*.

Deux plantes test sont successivement utilisées dans les mêmes pots de sol de 2 litres; d'abord le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), une plante génétiquement assez proche de la canne à sucre, semé à raison de 3 grammes par pot, puis le cultivar N35 de la canne à sucre. Le sorgho est récolté par 3 fois après chaque fois environ un mois de croissance. La canne, qui est plantée par la suite à raison d'une mini bouture à un nœud par pot, est récoltée après 10 mois de croissance. Les mesures effectuées lors des récoltes portent sur le contenu en Si des feuilles + tiges et la quantité de matière sèche récoltée pour le sorgho et pour la canne à sucre ainsi que sur la surface totale des feuilles vertes pour la canne. La silice extraite du sol par les plantes et celle contenue dans les trois amendements siliciques est déterminée selon la méthode de Kilmer (1965) i.e. calcination suivie d'extraction au réactif Mehlich 1 suivie de dosage colorimétrique du complexe silico-molybdenique bleu. La méthode graphique de Cate-Nelson (1971) - qui dans notre cas consiste à mettre en abscisse les quantités de Si extraites et en ordonnée les valeurs relatives (= % du "traitement" ayant donné la plus haute valeur) de la quantité de matière sèche récoltée - est utilisée pour estimer la valeur seuil de silice dans le sol à partir de laquelle une production aérienne optimale est atteinte pour les cinq types de sol étudiés.

Les six méthodes d'extraction chimique de la silice 'assimilable' du sol testées sont:

- (1) CH_3COOH à 0,5M (Korndörfer et al., 1998)
- (2) H_2SO_4 à 0,025M (Rayment et Higginson, 1992)
- (3) H_2SO_4 à 0,01M + 3 grammes de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ par litre (Fox et al., 1967)
- (4) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ à 0,01M (Haysom et Chapman, 1975)
- (5) $\text{NH}_4\text{COOCH}_3$ à pH=4,8 (Fox et al., 1967)
- (6) Eau distillée (Fox et al., 1967)

RESULTATS ET DISCUSSION

Toutes les sources de silice ont provoqué une augmentation de la production de matière sèche tant pour le sorgho que la canne sur les sols sableux. (Tableau 1). L'analyse statistique des résultats (non reportée ici) tend à montrer que le Calmacil a un effet supérieur aux autres amendements

Tableau 1. Effet du type et de la dose d'apport d'amendement silicique sur la production en matière sèche, sur le Si assimilé par le sorgho et la canne à sucre et sur la surface totale des feuilles vertes de canne à la récolte, pour cinq types de sols.

Type de sol	Source de Si	Dose d'amendement	Matière sèche récoltée (g.kg ⁻¹ sol)		Rendement relative en matière sèche (%)	Si assimilé par la partie aérienne de la plante (mmol kg ⁻¹ sol)			Surface totale des feuilles de canne (cm ²)
			Sorgho	Canne		Sorgho	Canne	Total	
Longlands	Control	0t/ha	5.33	14.75	52.31	1.00	0.49	1.49	740
		3t/ha	6.53	28.19	100.00	3.44	1.15	4.59	551
	Calmasil	6t/ha	6.42	27.09	96.10	4.75	1.39	6.14	888
		3t/ha	6.38	25.48	90.39	3.48	1.20	4.68	501
	Slgment	6t/ha	6.51	27.45	97.37	4.00	1.32	5.32	603
		3t/ha	6.32	23.06	81.81	3.98	0.80	4.78	543
	Wollastonite	6t/ha	6.75	25.96	92.07	4.90	1.27	6.17	883
		LSD (≤ 0.05)	0.25	4.35	15.44	0.40	0.19	0.34	155
Nomanci	Control	0t/ha	4.94	9.10	47.00	0.86	0.15	1.01	321
		3t/ha	5.56	19.07	100.00	2.13	0.60	2.73	658
	Calmasil	6t/ha	5.82	16.18	84.83	3.22	0.70	3.92	710
		3t/ha	5.50	11.47	60.15	2.43	0.41	2.84	645
	Slgment	6t/ha	5.08	18.96	99.45	3.09	0.91	4.00	639
		3t/ha	5.17	17.48	91.64	1.84	0.63	2.47	419
	Wollastonite	6t/ha	5.76	17.90	93.88	4.11	0.73	4.84	306
		LSD (≤ 0.05)	0.32	2.55	13.40	0.23	0.10	0.23	110
Glenrosa	Control	0t/ha	3.79	10.95	52.79	0.56	0.27	0.83	436
		3t/ha	6.29	17.66	85.10	1.62	0.70	2.32	580
	Calmasil	6t/ha	7.44	19.24	92.70	3.05	1.10	4.15	739
		3t/ha	5.93	16.10	77.58	2.30	0.78	3.08	529
	Slgment	6t/ha	6.70	20.24	97.56	3.21	1.14	4.35	621
		3t/ha	5.95	20.75	100.00	2.06	0.75	2.81	616
	Wollastonite	6t/ha	6.36	18.67	83.47	3.06	0.80	3.86	781
		LSD (≤ 0.05)	0.38	4.40	21.20	0.37	0.21	0.36	175
Cartref	Control	0t/ha	7.45	33.23	85.77	1.23	1.07	2.30	731
		3t/ha	7.70	36.00	92.91	2.52	1.38	3.90	810
	Calmasil	6t/ha	7.97	33.20	85.69	4.33	1.70	6.03	655
		3t/ha	7.37	33.75	100.00	3.67	1.40	5.07	721
	Slgment	6t/ha	8.36	35.11	90.61	5.46	1.45	6.91	749
		3t/ha	7.46	35.74	92.23	2.44	1.42	3.86	668
	Wollastonite	6t/ha	7.58	30.80	72.01	3.90	1.99	5.89	655
		LSD (≤ 0.05)	0.37	3.33	7.84	0.40	0.16	0.37	151
Arcadia	Control	0t/ha	7.33	35.81	100.00	3.50	2.33	2.33	731
		3t/ha	8.04	29.94	83.60	5.07	2.85	2.85	810
	Calmasil	6t/ha	8.70	30.74	85.85	5.17	3.81	3.81	655
		3t/ha	7.75	33.78	94.33	5.16	3.89	3.89	721
	Slgment	6t/ha	7.80	32.16	89.92	5.15	4.48	4.48	749
		3t/ha	7.79	32.94	91.98	4.57	3.46	3.46	668
	Wollastonite	6t/ha	7.62	30.58	85.39	5.07	3.58	3.58	655
		LSD (≤ 0.05)	0.49	3.82	10.66	0.64	0.39	0.67	NS
	LSD (≤ 0.05)		0.14	2.08	7.83	0.17	0.14	0.18	112

L'absence d'effet positif de l'apport silicique sur la matière sèche produite par le sorgho et la canne sur des sols plus argileux comme le sol *Arcadia* est très vraisemblablement à attribuer au fait que ce dernier est un sol jeune, argileux, à argiles de type 2/1, donc très différent des autres sols étudiés. Pour ces autres sols, la réponse à l'apport des amendements exprimée en pourcentage par rapport au témoin est dans l'ordre décroissant: *Nomanci* - *Longlands* > *Glenrosa* > *Cartref*.

La production en matière sèche de canne obtenue sur les terres sablo-limoneuses tend à montrer que le *Slagment* à 6 t.ha⁻¹ a un effet supérieur au *Calmasil* sur le sol *Cartref* et qu'il en est de même pour la dose de 3 t.ha⁻¹ d'un apport de *Wollastonite* sur le sol *Glenrosa*. En général, les moyennes des deux sources de silicium, à savoir le *Slagment* et le *Wollastonite*, n'ont montré aucune différence significative entre elles; cependant, elles diffèrent significativement de la moyenne du *Calmasil*.

Quand à l'effet des amendements sur la surface formée par des feuilles vertes de la canne à la récolte, indicateur de la croissance, l'analyse statistique (non reportée ici) montre qu'avec le *Calmasil*, bien que moins riche en Si que le *Slagment* (9.85 vs 15.2 %) cette surface est plus grande (Tableau 1).

Globalement, les deux méthodes d'extraction avec les réactifs les plus acides, soit l'acide sulfurique 0.025M ou l'acide acétique 0.5M, ont extrait la plus grande quantité de silicium des cinq sols de l'étude (Table 2). Le sol *Arcadia* (Ar), qui a la plus forte teneur en argile (44%), a donné avec toutes les méthodes d'extraction chimique le plus fort taux en Si. En général, la teneur en argile est fortement corrélée à la quantité de Si extraite avec la méthode Truog ($R^2=0.98$, résultats non montrés ici).

Tableau 2. Quantité de Si extrait de cinq sols par six méthodes avant (A) et après (B) amendement silicique.

Types de sols	Extraction de la silice du sol par des méthodes chimiques (mmol kg ⁻¹)													
	0.025M H ₂ SO ₄		0.5M CH ₃ COOH		0.01M H ₂ SO ₄ + (NH ₄) ₂ SO ₄		0.01M CaCl ₂ .2H ₂ O		0.5M NH ₄ CO ₂ CH ₃		Eau distillée		Moyenne	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Arcadia	3.25	9.30	3.32	9.58	1.79	6.92	1.89	3.18	1.68	1.64	0.86	0.21	2.13	5.45
Cartref	0.77	6.78	0.59	5.34	0.68	5.65	0.61	2.46	0.39	0.98	0.23	0.62	0.39	3.64
Glenrosa	0.36	5.65	0.41	4.73	0.61	4.59	0.29	2.11	0.18	0.94	0.11	0.57	0.38	3.10
Longlands	0.23	4.47	0.30	5.19	0.59	6.13	0.29	1.46	0.11	0.99	0.11	0.45	0.28	3.12
Nomanci	0.16	4.24	0.27	4.51	0.13	3.55	0.20	1.35	0.09	0.79	0.11	0.37	0.26	2.47
Moyenne	0.95	6.09	0.98	5.87	0.76	5.37	0.65	2.11	0.49	1.07	0.28	0.82	0.68	3.56
Lsd (≤ 0.05)													NS	NS

Dans la figure 1 sont reportées, en abscisse la somme des quantités de Si mesurées dans la partie aérienne lors des récoltes successives de sorgho et de canne à sucre après l'apport des amendements à silice, et en ordonnée, la quantité de Si extraite par les 6 méthodes de détermination de Si assimilable mises en comparaison. Pour toutes les méthodes d'extraction du Si assimilable, la relation linéaire avec la quantité de Si extraite par les 4 récoltes successives est significative voire hautement significative ($P\leq 0.05$ à $P\leq 0.001$), la meilleure corrélation ($R^2=0.7188^{***}$) étant obtenue pour l'extraction avec l'acide sulfurique à 0.025M, qui est la méthode proposée par Rayment et Higginson (1992).

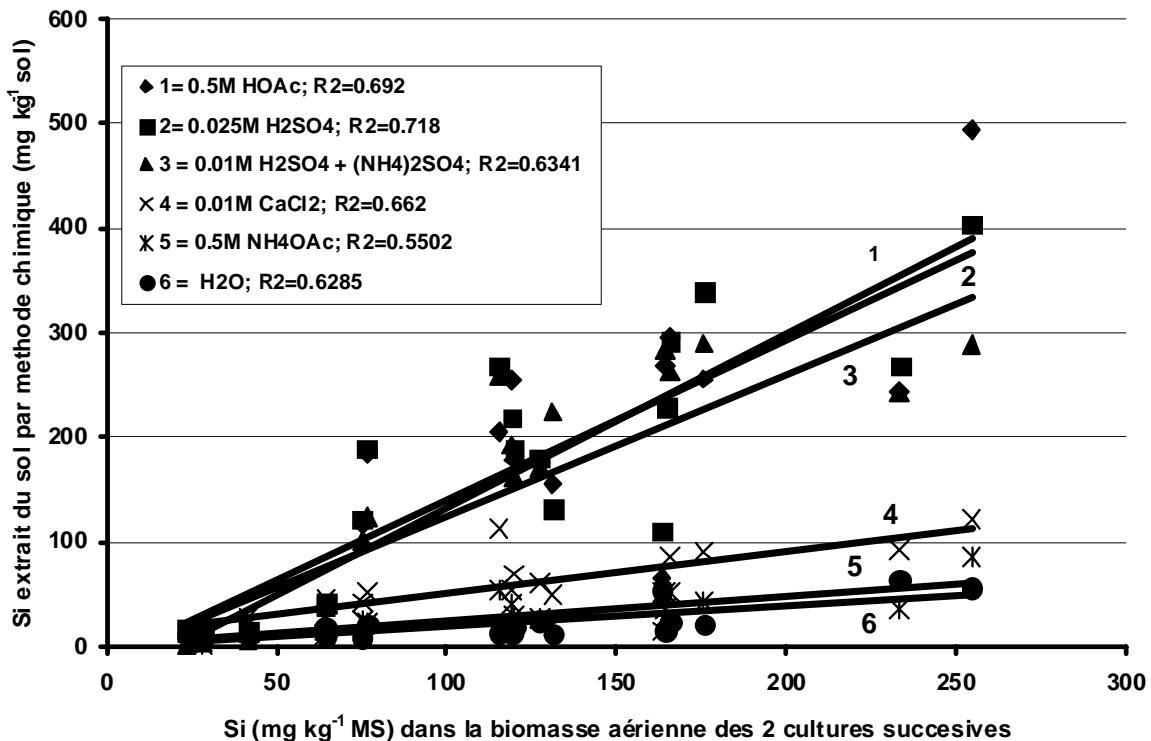


Figure 1. Silicium "assimilable" du sol ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) selon les six méthodes d'extraction en fonction de la quantité cumulée de Si ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ MS) retrouvée dans la partie aérienne du sorgho (trois coupes) et de la canne à sucre (une culture).

Pour évaluer les méthodes d'extraction chimique de la silice du sol mises en comparaison, les droites mettant en relation les valeurs cumulatives de la silice extraite des sols après l'ajout d'amendement silicique avec les valeurs de la silice retrouvées dans la partie aérienne des coupes de sorgho suivies de celle de la canne à sucre ont été tracées (Figure 1). La corrélation entre la quantité cumulée de silicium extrait par le sorgho puis la canne à sucre et celle du silicium extrait du sol par les différentes méthodes chimiques sont toutes statistiquement significatives ($P \leq 0.05$ to $P \leq 0.001$). Cependant avec de l'acide sulfurique à 0.025M (Figure 1, droite n° 2) la corrélation est la meilleure ($R^2=0.7188^{***}$).

Une comparaison des pentes des droites représentant les différentes méthodes d'extraction montre que pour les méthodes à l'acide sulfurique à 0.025M, le Truog modifié, ou encore à l'acide acétique à 0.5M, les pentes sont supérieures à celles de la droite représentant la silice extraite par le sorgho et la canne. Ceci peut signifier que ces trois méthodes d'extraction surestiment le silicium disponible pour les deux cultures. A l'opposé, les pentes des droites représentant les trois méthodes d'extraction à l'acide dit "faible" étaient loin en dessous de la droite représentant le silicium extrait par le sorgho puis la canne, ce qui peut signifier une sous estimation de la silice assimilable par la plante par ces trois autres méthodes.

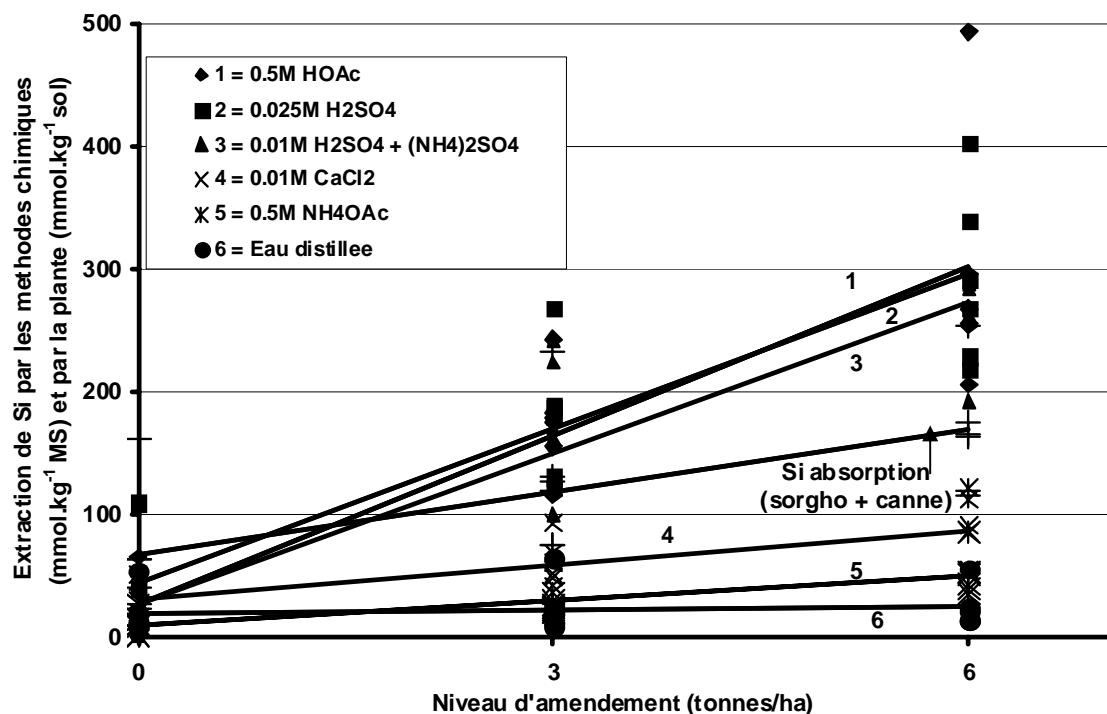


Figure 2. Moyenne cumulée de Si extrait par les méthodes chimiques (mmol kg⁻¹ sol) en fonction des niveaux d'application des amendements siliciques (tonne ha⁻¹).

On peut penser que si la quantité totale de Si absorbée par les racines du sorgho et de la canne à sucre avait pu être ajoutée à la quantité que nous avons mesurée dans leurs parties aériennes, la droite représentant le Si extrait par le sorgho puis la canne serait plus proche (vers le haut donc) des trois courbes des réactifs d'extraction les plus forts (Figure 2).

La méthode graphique de Cate-Nelson (1971), avec en abscisse les quantités de Si extraites par la méthode à l'acide sulfurique à 0.025M et en ordonnée les valeurs relatives (= en %) de la quantité de matière sèche de canne récoltée, a donné les valeurs seuils pour chacun des 5 sols étudiés comme indiqué au Tableau 3.

Tableau 3. Valeurs seuil de Si extrait par l'acide sulfurique à 0.025M pour les cinq sols étudiés d'après la méthode graphique de Cate-Nelson.

Sols étudiés		Valeur seuil de Si	
Localisation	Type	en mmol kg ⁻¹	en mg kg ⁻¹
MOUNT EDGECOMBE	<i>Arcadia</i>	6.00	168
ESHOWE	<i>Cartref</i>	2.30	64
KEARSNEY	<i>Glenrosa</i>	2.30	64
MOUNT EDGECOMBE	<i>Longlands</i>	1.60	45
PADDOCK	<i>Nomanci</i>	2.40	67

Il ressort du Tableau 3 que la valeur seuil du silicium assimilable par la plante est fonction des caractéristiques des sols, notamment de sa teneur en argile car, comme indiqué sous "méthodes", le sol *Arcadia* est bien plus argileux que les quatre autres types de sol pris en compte ici.

CONCLUSION

Parmi les six méthodes d'extraction du silicium testées sur 5 sols de la sole cannière Sud Africaine pour connaître l'abondance en Si dit assimilable dans les sols, nos résultats confirment que la méthode à l'acide sulfurique (H_2SO_4) dilué à 0.025M, proposée par Rayment et Higginson (1992), donne la meilleure corrélation entre le Si ainsi extrait et la silice retrouvée dans la biomasse aérienne.

La méthode graphique de Cate-Nelson (1971) nous a permis d'estimer la valeur seuil du silicium assimilable pour chacun des 5 sols étudiés et qui occupent une fraction importante de la sole cannière de l'Afrique du Sud. D'après nos résultats, une réponse à un amendement contenant du silicium peut être obtenue si la quantité de Si extrait avec de l'acide sulfurique dilué est inférieure à 45 mg kg^{-1} pour les sols acides à moins de 15% d'argile, en dessous de 65 mg kg^{-1} pour ceux ayant une teneur en argile comprise entre 15 et 30%, et en dessous de 100 mg kg^{-1} pour les sols à plus de 30% d'argile.

Cependant, des études confirmant nos résultats nous paraissent nécessaires avant de généraliser les conséquences qu'ils impliquent en matière de gestion des besoins en amendement siliceux en culture de canne à sucre.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement Jan Meyer, responsable du département 'Crop Nutrition and Soils' du SASRI, sous la direction duquel j'ai fait l'étude objet de ce document, ainsi que Marinus Brouwers, agro-pédologue du CIRAD et actuellement 'visiting scientist' au SASRI, pour ses réflexions et contributions lors de la rédaction du présent document.

BIBLIOGRAPHIE

Barbosa-Filho, M.P., Snyder, G.H., Elliott, C.L., and Datnoff, L.E. (2001). Evaluation of Soil Test Procedures for Determining Rice-Available Silicon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(11&12):1779-1792.

Berthelsen, S., Noble, A.D., and Garside, A.L. (1999). An Assessment of Soil and Plant Silicon levels in North Queensland. *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, 21: 92-100.

Cate, R.B.Jr., and Nelson, L.A. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into classes. *Soil Science Society of America Proc.* 35: 658-660.

FAO, ISRIC et AISS (1999). Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Rapport sur les ressources en sols du monde 84, 96 p. ISBN 92-5-304141-9

Fox, R.L., Silva, J.A., Younge, O.R., Plucknett, D.L., and Sherman, G.D. (1967). Soil and Plant Silicon and Silicate Response by Sugarcane. *Soil Sci. Soc. Amer.* 31:775-779.

Haysom, M.B.C., and Chapman, L.S. (1975). Some aspects of the Calcium silicate trials at Mackay. *Proc. Qld Soc. Sugar Cane Technol.* 42nd Conf., 1975-1978.

Khalid, R.A., Silva, J.A., and Fox, R.L. (1978). Residual effects of calcium silicate in Tropical soils. I. Fate of applied silicon during five years cropping. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 42:89-94.

Korndörfer, G.H., Colombo, C.A., and Rodriguez, L.L. (1998). Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. *Inter-American Sugar Cane Seminar*. 9-11 Sept., Miami. Florida.

Kilmer, V.J. (1965). Silicon. *In* C.A. Black (ed.). *Methods of soil analysis*. *Agronomy* 9: 959-962.

Meyer, J.H., and Keeping, M.G. (2000). Review of Research into the Role of Silicon for Sugarcane Production. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*. 74:29-40.

Rayment, G.E., and Higginson, F.R. (1992). *Australian laboratory handbook of Soil and Water Chemical methods*. Inkhatra Press. Melbourne. 330p.

Samuels, G. (1969). Silicon and sugar. *Sugar y Azucar*. 65:25-29.

Savant, N.K., Korndörfer, G.H., Datnoff, L.E., & Snyder, G.H. (1999). Silicon Nutrition and Sugarcane Production; A Review. *Adv. Agron.* 58:1853-1903.

Snyder, G.H. (2001). Methods for silicon analysis in plants, soils, and fertilizers. *In* *Silicon in Agriculture*, Datnoff, L.E., Snyder, G.H., & Korndörfer, G.H. (eds.), Elsevier Science, The Netherlands, p. 185-196.