

ETUDES ET TRAVAUX

LA FERTILISATION EN SILICE DU RIZ A MADAGASCAR

par J. VELLY *

RESUME. — La médiocrité des rendements et le mauvais aspect sanitaire de certaines rizières de Madagascar ont conduit à l'étude de la fertilisation en silice. L'expérimentation a été menée sur des sols hydromorphes tourbeux et minéraux, pour la côte Est, sur des sols hydromorphes organiques à gley et sur des colluvions, pour les Hauts Plateaux.

La silice était apportée, soit sous forme de **silicate de chaux**, soit sous forme de **balles de paddy**, brûlées ou non.

L'**apport de silice améliore** beaucoup les **rendements**, sur les sols de la zone côtière, où les carences sont les plus fortes. Il y a corrélativement une forte augmentation des teneurs en silice du riz (pailles, feuilles et grains) et une baisse des teneurs en azote et en phosphore, ainsi que des teneurs en manganèse et en fer. L'amélioration de l'état sanitaire du riz est nette. La silice contenue dans les balles est très vite utilisée, tandis que l'effet du silicate de chaux est plus prolongé, pour les sols hydromorphes tourbeux. La silice apportée sous forme de cendres de balles est très peu efficace quand elle a été portée à très haute température (vitrification). La **teneur en silice** de la **paille** de riz à la récolte permet un **diagnostic de carence** fidèle. Des teneurs inférieures à 10% permettent d'espérer un effet favorable des apports de silice.

Sur les sols hydromorphes tourbeux de la côte Est, même avec un apport de 9 t/ha de silice, il n'a pas été possible d'observer un fléchissement net de la courbe de réponse. Cependant, en cas de carence, on peut considérer comme indispensable l'apport de 3 t/ha de silice. Les quantités de silice absorbées par le riz, surtout en double culture annuelle, sont très élevées, de même, semble-t-il, que les pertes par drainage.

L'**enfouissement** systématique des **pailles** de riz, et des **balles** quand c'est possible, constituerait déjà un progrès important en ce qui concerne la fertilisation d'entretien.

INTRODUCTION

L'apport de silice, en fertilisation du riz, a été le sujet d'un assez grand nombre de travaux, dans la quasi-totalité des cas en Extrême-Orient. Les publications qui en rendent compte sont, le plus souvent, japonaises et, à un moindre degré, coréennes et chinoises. Elles sont donc difficiles d'accès et elles nous sont, en général, connues par leurs résumés en anglais, quand elles en ont un.

On peut, à travers elles, avoir une idée assez juste du rôle de la silice dans la nutrition du riz encore que, sur un certain nombre de points, les opinions soient parfois contradictoires.

Il n'a pas été démontré que la silice soit absolument indispensable à la croissance du riz, en particulier parce que, même dans les expérimentations les plus poussées, en culture sur solutions, il n'a pas été possible d'obtenir des milieux rigoureusement privés de silice (Mitsui et Takatoh,

* VELLY J., Directeur de recherches ORSTOM-IRAT, Montpellier.

NOV. 1977

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° B 8844 Agr.

1963). Cependant, l'absence plus ou moins complète de silice dans la nutrition du riz, provoque des troubles qui peuvent être graves. Les symptômes, observés sur solutions nutritives, ont été décrits par plusieurs auteurs (Mitsui et Takatoh, 1963, Yoshida et al., 1959-1962, Okuda et Takahashi, 1964).

En milieu privé de silice, le riz présente peu de symptômes au début de sa croissance, pendant la phase végétative. On observe seulement que les feuilles sont tombantes. Après l'épiaison, les feuilles basses flétrissent plus rapidement. Des taches apparaissent graduellement sur les feuilles supérieures. A maturité, les grains sont fortement tachés, et le rendement est très réduit.

La teneur en silice des plants sans silice peut être extrêmement basse ($\frac{1}{200^e}$ de celle des plants avec silice) sans que le riz montre de symptômes nets pendant sa phase végétative. A ce moment, la teneur en silice de la feuille des plants carencés peut être de l'ordre de 0,1 %.

L'absence de silice entraîne une augmentation importante de la transpiration (plus de 30 %) ; la silice joue donc un rôle important dans l'économie de l'eau. Après l'épiaison, le riz souffre de l'excès de transpiration en l'absence de silice et se flétrit. Il semble, à ce moment, que les racines ne puissent plus absorber toute l'eau perdue par transpiration, celle-ci s'accroissant en raison de la très faible épaisseur de la membrane silice-cellulose, faute d'accumulation de silice dans les parois cellulaires (Yoshida et al., 1959-1962).

En dehors de l'action sur la transpiration, la silice, en maintenant les feuilles de riz bien érigées, permet une augmentation de la photosynthèse (jusqu'à 10 %) et amène ainsi une amélioration du rendement (Cock et Yoshida, 1970).

Les avis divergent sur la façon dont la silice est absorbée par le riz. Pour certains (Yoshida et al., 1959-1961), la silice est absorbée uniquement sous l'effet du courant de transpiration et déposée dans la plante, surtout dans l'épiderme de la feuille. C'est aussi l'avis de Mitsui et Takatoh (1963 - part 2) qui ont travaillé avec l'isotope Si^{31} . Pour d'autres, au contraire (Okuda et Takahashi, 1964), l'absorption de la silice ne se fait pas uniquement sous l'effet de la transpiration, car elle peut être modifiée par certains inhibiteurs de métabolisme, de façon différente d'ailleurs, de celle du phosphore. L'absorption de la silice, selon ces auteurs, demande de l'énergie fournie par la respiration aérobie, et est liée spécifiquement aux racines. Celles-ci peuvent absorber et concentrer la silice métaboliquement. Si l'on coupe l'extré-

mité supérieure du plant de riz, on supprime l'absorption, l'effet de la transpiration est donc indirect.

L'absorption de silice entraîne enfin un certain nombre de modifications dans la composition chimique du plant de riz ; nous les examinerons en discutant les résultats observés dans l'expérimentation.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

L'étude de la fertilisation en silice du riz à Madagascar, qui a fait l'objet d'études dans diverses zones rizicoles entre 1969 et 1973, a eu pour origine les efforts entrepris pour améliorer les rendements dans la région du marais d'Ambila, près de Manakara, sur la côte est de l'île.

Il s'agit d'une zone de sols hydromorphes tourbeux, sur un marais aménagé depuis une quinzaine d'années, au moment où a commencé l'expérimentation. Ces rizières, situées en zone chaude et humide ont un mauvais drainage, du fait de leur situation à proximité immédiate de la mer, et les rendements obtenus en essai ont toujours été médiocres. Malgré des apports, en différents essais, de doses croissantes d'azote, de phosphore, de potassium, de dolomie, les rendements ne dépassaient guère 25 q à l'hectare dans les meilleurs des cas. De plus, l'aspect sanitaire du riz était également très mauvais.

Pendant la campagne 1968-1969, une expérimentation préliminaire en vases de végétation fut mise en place avec du riz comme plante test, pour étudier l'effet sur ce sol d'un certain nombre de correctifs chimiques. La terre fut prélevée dans l'eau puis transportée et mise en vases de végétation avec le minimum de contacts avec l'air.

Dans une première expérimentation, l'influence de l'eau d'irrigation comme raison des mauvais rendements a pu être éliminée. Différents produits ont ensuite été essayés :

- a) Le carbonate de chaux à deux doses (0,4 et 0,8 % du sol sec) a élevé le pH, mais a également fortement abaissé le degré d'oxydo-réduction (de + 22,5 à - 282 mv pour la dose 1 et - 322 mv pour la dose 2) avec un dépérissement rapide et grave des plants de riz.
- b) L'hydroxyde de fer $Fe(OH)_3$ à 0,5 % du poids sec a eu un effet bénéfique mais passager.
- c) Le bioxyde de manganèse, à 1 % du poids de terre sèche, a amélioré l'état d'oxydation du sol et a eu un effet bénéfique en début de végétation. Mais la dose apportée était trop élevée et le riz a ensuite souffert d'une grave toxicité en manganèse.

d) La silice, enfin, a été essayée, et faute d'autre forme disponible à ce moment, nous l'avons apportée sous forme de gel de silice broyé. C'est l'élément qui a donné les meilleurs résultats. L'apport de silice a entraîné une baisse de pH (4,7 à 4,4), mais a augmenté nettement les teneurs en silice de la plante et a fait passer le degré d'oxydo-réduction de + 22,5 mv à + 225 mv.

Ce dernier résultat est conforme aux observations faites par Takijima et al. (1959), qui, travaillant avec des scories, ont obtenu pour leur part, une élévation du pH. Okuda et Takahashi (1964) notent aussi que, dans la plante entière, la silice augmente la fourniture d'oxygène par la plante à ses racines, accroissant ainsi le pouvoir oxydant de la racine et améliorant le degré d'oxydo-réduction du sol.

On pouvait donc estimer que la mauvaise croissance du riz au marais d'Ambila était due à un milieu trop réducteur et à une carence en silice, l'apport de silice agissant sur ces deux facteurs.

Une expérimentation au champ a donc été décidée au marais d'Ambila. Par la suite, elle a été étendue à d'autres zones de Madagascar.

Ce sont les résultats de cette expérimentation, suivie en arrière-action jusqu'en 1973, à raison de deux cultures par an pour la côte est, qui sont exposés ci-après.

Elle a porté sur l'étude de différentes formes d'apport de la silice, sur des courbes de réponse à des doses croissantes de cet élément, et sur quelques effets annexes de l'apport de silice. A une exception près, tous les essais concernent le riz irrigué et repiqué.

A) FORMES D'APPORT DE LA SILICE

Les essais ont été menés sur la côte Est et sur les Hauts Plateaux et ont eu un protocole commun. On comparait les traitements suivants :

- 1) témoin absolu, sans fertilisation ;
- 2) NPK ;
- 3) NPK + 1,5 t/ha de SiO₂ sous forme de balle de paddy ;
- 4) NPK + 3 t/ha de SiO₂ sous forme de balle de paddy ;
- 5) NPK + 1,5 t/ha de SiO₂ sous forme de silicate de chaux ;
- 6) NPK + 3 t/ha de SiO₂ sous forme de silicate de chaux.

L'essai du marais d'Ambila comportait deux traitements supplémentaires : les mêmes doses de silice sous forme de cendres de balles de paddy provenant d'une chaudière de rizerie.

Les essais ont reçu au départ une fertilisation de redressement phosphatée (300 kg P₂O₅/ha) et une fertilisation d'entretien appropriée à la région et à la saison. La variété utilisée a été, en général, le Chianan 8, originaire de Formose.

1) Point d'essai du marais d'Ambila.

Il est situé, nous l'avons dit, sur la côte Est de Madagascar et, comme c'est le cas général pour cette zone, les essais y sont conduits à raison de deux cycles par an.

L'expérimentation a débuté pendant la saison fraîche 1969. La silice, sous ses diverses formes, a été apportée à ce moment et son effet a été suivi en arrière-action pour les campagnes suivantes. Les rendements obtenus ont été groupés dans le tableau I, en kilos de paddy à l'hectare.

Tableau I
ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (AMBILA)
Rendements (kg/ha paddy)

Traitements	Saison fraîche 1969	Saison chaude 1969-1970	Saison fraîche 1970	Saison chaude 1970-1971	Saison fraîche 1971	Saison chaude 1971-1972	Saison fraîche 1972
1. Témoin	996	605	1.485	668	1.452	727	1.129
2. NPK	3.423	2.901	3.703	2.823	3.709	2.234	3.266
3. Balles dose 1	3.875	3.440	3.835	3.016	3.684	2.354	3.465
4. Balles dose 2	4.712	3.481	3.979	3.140	3.828	2.307	3.506
5. Cendres dose 1	3.618	2.879	3.569	2.895	3.866	2.417	3.446
6. Cendres dose 2	3.371	2.917	3.686	2.888	3.654	2.209	3.325
7. Silicate dose 1	3.629	3.341	4.003	3.050	3.930	2.230	3.285
8. Silicate dose 2	4.572	3.440	4.447	2.921	4.240	2.329	3.672
ppds 5 %	536	247	386	292	366	286	630
CV	12,9	7,3	9,1	9,3	8,7	11,6	17,1

D'une façon générale, les rendements sont toujours plus élevés en saison fraîche qu'en saison chaude. On observe, à chaque campagne, des différences significatives entre traitements, mais dues essentiellement à la présence du témoin absolu. Par rapport au traitement NPK, apporté sur tous les autres traitements, seule la dose de 3 t/ha de silice, apportée sous forme de balle ou de silicate est, à la première campagne, significativement supérieure. La balle, brûlée à haute température, n'a pas d'action. La balle de paddy cesse d'avoir une action significative à partir de la troisième campagne, alors que celle de silicate, au moins à la dose forte, dure jusqu'à la cinquième campagne.

Analyse du matériel végétal.

A la récolte, des analyses de pailles et de grains ont été faites régulièrement, et occasionnellement, des analyses de feuilles :

— dans les pailles, on voit, à la première campagne, que l'apport de silice fait baisser les teneurs en azote. La silice fait baisser également les teneurs en phosphore. L'apport de silice augmente par contre les teneurs de la paille en silice. La dose 2 est significativement supérieure à la dose 1, et la balle enrichit la paille plus que le silicate. Les meilleures teneurs en silice atteignent 9,5 % de SiO_2 dans la matière sèche, ce qui correspond au meilleur rendement. Pour tous ces facteurs, il n'y a aucun effet de la balle brûlée.

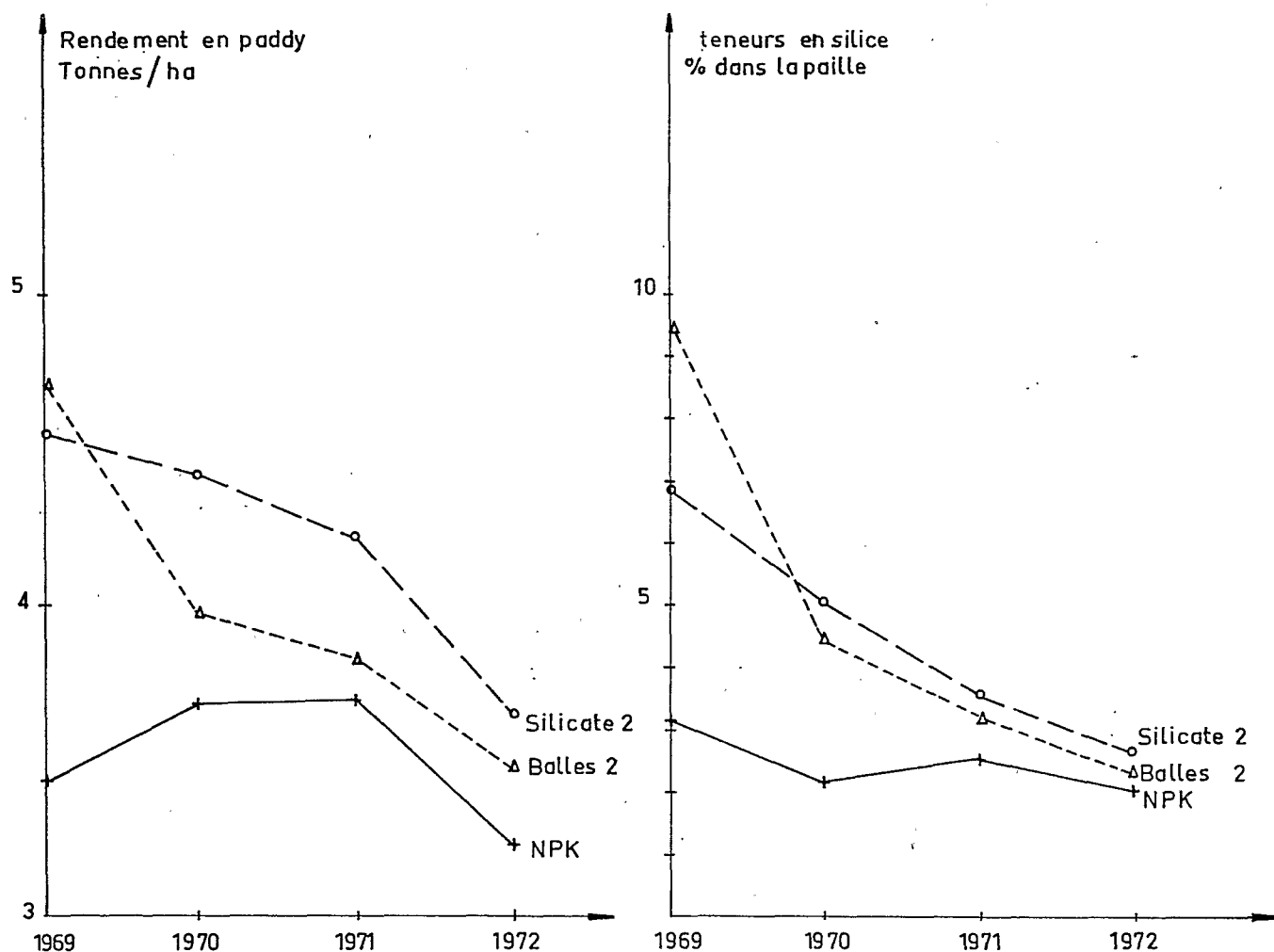


Figure 1. — Evolution des rendements et des teneurs en silice des pailles dans l'essai « formes d'apport de la silice » (Ambila).

Ces différents effets continuent à s'observer pendant les campagnes suivantes, mais de façon différente. L'effet dépressif de la silice sur les

teneurs en azote s'estompe peu à peu, alors que l'effet sur le phosphore reste visible, surtout pour les doses 2 de silice. Les teneurs en silice, tout

en montrant des différences significatives jusqu'à la dernière campagne, diminuent progressivement, moins vite avec apport de silicate qu'avec apport de balle, ce qui explique l'action plus durable sur le rendement de cette forme de silice. A la dernière campagne, la plus forte teneur en silice dans les pailles est de 2,66%, ce qui indique une très grave carence.

— dans les grains, on retrouve le même effet dépressif de la silice sur les teneurs en azote. L'effet sur le phosphore est peu marqué. A la première campagne, où la mesure avait été faite, la silice élève significativement le poids de 100 grains. Comme sur la paille, l'apport de balle et de silicate élève les teneurs en silice. Celles-ci baissent ensuite progressivement, et comme sur les pailles, plus vite pour la balle que pour le silicate de chaux.

— dans les feuilles, analysées à la campagne 1970-1971, on retrouve l'effet dépressif de la silice sur les teneurs en phosphore.

Dans la figure 1, nous avons représenté côte à côte, pour les quatre campagnes de saison fraîche analysées, l'évolution des rendements et celle des teneurs en silice de la paille pour les traitements 2, 4 et 8, pour simplifier le graphique.

En effet, l'évolution saisonnière de ces deux variables est inversée, les rendements sont les plus hauts en saison fraîche, alors que les teneurs en silice sont les plus élevées en saison chaude. Mais, par ailleurs, on observe que les changements au cours du temps sont parallèles. Les rendements, comme les teneurs en silice, diminuent régulièrement et, après une très courte période, où la dose double de balle (traitement 4) amène un meilleur rendement et une meilleure teneur en silice, c'est le traitement 8 (dose double de silicate) qui procure à la fois le meilleur rendement et la meilleure teneur en silice. Si la balle de paddy agit peut-être plus rapidement, on a vu que l'arrière-action du silicate, à dose égale de silice, était plus durable. En fait, les différences de rendement, par rapport à NPK, n'ont surtout été visibles que pour les trois premières campagnes. Par la suite, on est tombé de toute manière à des niveaux de silice dans les pailles trop bas pour que leurs différences se traduisent par un effet intéressant sur le rendement. Le problème de la fertilisation d'entretien en silice est donc posé.

Dans le tableau II, nous avons évalué les exportations totales en silice du riz au cours des sept campagnes successives :

Tableau II

EXPORTATIONS EN SILICE DE L'ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (AMBILA)

	Quantité de silice reçue au départ (kg/ha)	Exportations cumulées de silice (kg/ha)		
		Pailles	Grains	Total
1. Témoin	0	388	108	496
2. NPK	0	710	230	940
3. NPK + balles 1	1.500	1.085	362	1.447
4. NPK + balles 2	3.000	1.541	441	1.982
5. NPK + cendres 1	1.500	760	251	1.011
6. NPK + cendres 2	3.000	758	247	1.005
7. NPK + silicate 1	1.500	1.041	310	1.351
8. NPK + silicate 2	3.000	1.453	403	1.856

Si l'on ne tient pas compte de la silice absorbée par le traitement NPK, on remarque que celle apportée à la dose 1 sous forme de balles ou de silicate a été à peu près complètement utilisée. Par contre, plus d'une tonne de silice devrait être encore disponible sur les traitements 4 et 8. Comme, depuis plusieurs campagnes, l'arrière-action de cette silice tend à devenir négligeable, on peut penser qu'elle a été en grande partie perdue, vraisemblablement par lixiviation.

D'autre part, si l'on calcule, pour les traitements 3 et 4, et 7 et 8, le pourcentage de la silice apportée qui est déjà utilisée après les trois premières campagnes, on a les chiffres suivants :

traitement 3	54 %
traitement 4	36 %

traitement 7	46 %
traitement 8	34 %

Ce pourcentage est donc de l'ordre de la moitié pour les doses 1 et du tiers pour les doses 2. On comprend, en tenant compte de la silice qui peut être perdue, qu'il n'y ait plus guère d'effet après la troisième campagne.

2) Point d'essai de Mahitsy.

Il est, cette fois, situé sur les Hauts Plateaux, c'est-à-dire dans une zone à une seule culture par an, pendant la saison des pluies. Il est situé à 30 km au nord de Tananarive, sur un sol hydro-morphe organique à gley.

La fertilisation d'entretien est uniforme et comprend, sauf sur le témoin absolu, l'apport NPK 150 - 90 - 120. La variété a toujours été le 1632 (Chianan 8). Au cours des quatre campagnes qu'a

duré l'essai, les rendements résumés sur le tableau III ont été obtenus. Les apports de silice n'ont été faits qu'au début de l'essai et ont ensuite été suivis en arrière-action.

Tableau III
ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (MAHITSY)
Rendements (kg/ha paddy)

Traitement	1969-1970	1970-1971	1971-1972	1972-1973
1. Témoin	3.876	3.685	2.219	4.007
2. NPK	5.571	5.318	2.603	4.793
3. NPK + balle 1.500	5.858	5.562	2.764	4.754
4. NPK + balle 3.000	6.031	5.629	2.611	4.900
5. NPK + silicate 1.500	6.186	5.642	2.430	4.985
6. NPK + silicate 3.000	6.327	5.784	2.750	5.134
ppds 5 %/o	288	299	100	224
CV (%/o)	4,31	4,77	9,39	11,20

Il y a, toutes les années, des différences significatives entre les traitements, même en 1971-1972 où, à la suite d'un cyclone, les parcelles sont restées dans l'eau pendant plusieurs jours au moment de la floraison.

Par rapport à NPK, tous les traitements avec silice sont significativement supérieurs en première année. L'année suivante, seules les fortes doses de silice le sont et la dose 1 sous forme de silicate. Pour la dernière campagne, seule la forte dose de silicate l'est.

A Mahitsy, le silicate se montre, dès la première année, supérieur à la balle de paddy. D'une

manière générale, l'action de la silice sur le rendement n'est pas très marquée, et après trois cultures, elle a presque entièrement disparu.

Analyse de matériel végétal.

Pendant les trois premières campagnes, le diagnostic foliaire, les analyses de paille et de grain ont été effectués, mais nous ne tiendrons pas compte de données de 1972 perturbées par l'inondation. En 1973, seules les pailles ont été analysées à la récolte. On trouvera dans le tableau IV les résultats concernant la silice.

Tableau IV
TENEURS EN SILICE DES PAILLE, GRAIN ET FEUILLE
ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (MAHITSY)
(% MS)

Traitement	Paille			Grain		Feuille	
	1969-1970	1970-1971	1972-1973	1969-1970	1970-1971	1969-1970	1970-1971
1. Témoin	11,80	11,66	8,51	3,75	3,31	6,86	7,10
2. NPK	9,50	8,61	7,33	3,20	2,40	5,96	5,76
3. Balle 1	11,20	10,20	8,00	3,70	2,51	6,75	6,75
4. Balle 2	11,68	10,75	8,25	3,46	2,73	7,46	6,53
5. Silicate 1	11,85	9,56	8,53	3,05	2,31	6,48	6,46
6. Silicate 2	11,65	11,00	8,48	3,71	2,76	7,48	6,73
ppds 5 %/o	ns	1,59	ns	0,53	0,62	0,89	0,67
CV (%/o)	12,41	12,97	11,23	12,79	19,62	10,90	8,56

Ce qui frappe tout d'abord, et qui explique la faible ampleur des réponses, c'est la teneur déjà élevée en silice des pailles. On peut remarquer cependant qu'elle diminue avec les années. Il se peut qu'on ait là un phénomène analogue à celui que l'on connaît pour la potasse et, qu'après plu-

sieurs années de culture intensive, le riz vienne à manquer de silice. Notons, par ailleurs, qu'en 1969-1970, la feuille paraît un indicateur plus sensible que la paille, mais que c'est l'inverse l'année suivante. Dans l'ensemble, la paille semble, d'une année à l'autre, plus fidèle.

3) Point d'essai d'Ambatobé.

Il est situé également sur les hauts plateaux, à proximité immédiate de Tananarive, sur colluvions anciennes. Il s'agit d'une rizière de vallée, très représentative de la riziculture traditionnelle des plateaux. Ce type de rizière ne reçoit jamais de fumure, sauf parfois un peu de fumier de ferme, et les rendements varient de 15 à 25 q/ha en moyenne. L'essai, qui a débuté à la campagne 1969-1970, est du même type que ceux déjà vus

aux marais d'Ambila et à Mahitsy. Cependant, en deuxième campagne, devant la faible réponse à la silice lors de la première, les doses de silice ont été renouvelées. Elles ont ensuite été suivies en arrière-action pour les deux dernières années. Par ailleurs, toutes les parcelles, sauf le témoin, reçoivent une fertilisation d'entretien uniforme NPK (150 - 90 - 120).

Le tableau V résume les résultats des quatre campagnes.

Tableau V
ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (AMBATOBE)
Rendements (kg/ha paddy)

Traitement	1969-1970	1970-1971	1971-1972	1972-1973
1. Témoin	3.172	3.709	4.820	3.704
2. NPK	4.634	5.319	5.936	6.056
3. Balles 1	4.811	5.784	6.772	6.084
4. Balles 2	5.147	6.059	6.876	6.038
5. Silicate 1	4.981	5.388	6.230	5.831
6. Silicate 2	4.615	5.475	6.500	5.712
ppds 5 %	425	252	280	347
CV (%)	7,84	11,34	10,77	14,82

En première année, il n'y a pas d'effet du silicate, seule la plus forte dose de balle marque, alors qu'en deuxième campagne, les deux doses de balles, qui ont, rappelons-le, été rapportées sont efficaces. En troisième campagne, toutes les doses agissent, et à la dernière année, il n'y a plus d'effet par rapport au traitement NPK.

On peut donc remarquer d'une part, un effet peu important de la silice et, par ailleurs, l'action nettement meilleure, quand elle existe, de la balle

de paddy par rapport au silicate, qui n'a été efficace qu'en 1971-1972.

Analyse de matériel végétal.

Elles n'ont été faites que pour les deux premières campagnes. Nous résumerons ci-dessous les résultats sur feuilles et pailles. Pour les grains, on a observé des différences significatives en 1969-1970, mais pas l'année suivante. Les chiffres du tableau VI donnent les teneurs en silice.

Tableau VI
TENEURS EN SILICE DU MATERIEL VEGETAL
ESSAI « FORMES D'APPORT DE LA SILICE » (AMBATOBE)
(% MS)

Traitement	Feuilles		Paille	
	1969-1970	1970-1971	1969-1970	1970-1971
1. Témoin	7,86	9,31	10,30	11,48
2. NPK	7,45	7,71	8,46	10,90
3. Balle 1	9,61	9,90	10,18	12,35
4. Balle 2	10,45	11,43	11,20	12,45
5. Silicate 1	7,61	9,33	8,73	11,81
6. Silicate 2	7,95	9,70	9,30	12,15
ppds 5 %	1,06	1,15	1,18	ns
cv (%)	10,53	11,28	10,26	12,46

Les teneurs en silice sont fortes, aussi bien dans les feuilles que dans les pailles. L'analyse confirme bien la meilleure absorption de la silice

provenant des balles de paddy par rapport à celle du silicate, ainsi que la possibilité d'une réponse quand le taux de silice est inférieur à 10 %.

B) COURBES DE REPONSE A LA SILICE

A partir de 1970, un certain nombre d'essais ont été mis en place pour étudier la réponse du riz à des apports croissants de silice, soit sous forme de balle de paddy, soit sous forme de silicate de chaux. L'expérimentation a été réalisée sur certains des points d'essais que nous venons de voir (côte Est et Hauts Plateaux).

1) Essai du marais d'Ambila.

L'essai a débuté à la saison fraîche 1970, juste à côté de celui dont nous avons rendu compte précédemment. Il a été poursuivi pendant cinq campagnes (dont quatre en arrière-action) à raison de deux cultures par an.

On a étudié les cinq traitements suivants :

- 1) NPK ;
- 2) NPK + 1,5 tonne de silice/hectare ;
- 3) NPK + 3 tonnes de silice/hectare ;
- 4) NPK + 4,5 tonnes de silice/hectare ;
- 5) NPK + 6 tonnes de silice/hectare.

La silice était apportée sous forme de balle de paddy. Toutes les parcelles ont reçu une fertilisation de redressement phosphatée et, à chaque culture, une fertilisation d'entretien NPK.

Après la première campagne, et devant la réponse obtenue, un sixième traitement a été ajouté, apportant 9 t/ha de silice.

Les rendements obtenus au cours des campagnes successives sont groupés dans le tableau VII.

Tableau VII
COURBE DE REPONSE A LA SILICE (AMBILA)
Rendements (kg/ha paddy)

Traitements	Saison fraîche 1970	Saison chaude 1970-1971	Saison fraîche 1971	Saison chaude 1971-1972	Saison fraîche 1972
1. NPK	3.532	1.954	2.769	1.550	2.662
2. NPK + 1,5 t silice	3.709	2.223	3.039	1.689	2.799
3. NPK + 3 t silice	4.147	2.508	3.219	1.942	2.908
4. NPK + 4,5 t silice	5.009	3.202	3.457	2.134	3.214
5. NPK + 6 t silice	5.382	3.279	3.598	2.261	3.580
6. NPK + 9 t silice	—	4.233	5.253	3.186	4.458
ppds 5 %	664	558	396	270	447
cv (%)	12,6	16,2	9,3	10,7	11,5

Il y a eu, à chaque campagne, des différences hautement significatives entre les traitements, qui ne sont dues qu'à la silice puisque le traitement 1, qui sert de terme de comparaison, reçoit la même fertilisation NPK que les autres.

La réponse à la silice est extrêmement franche et se poursuit en arrière-action pendant la durée de l'essai, tout au moins pour les plus fortes doses. A la dernière campagne, seuls les apports supérieurs à 4,5 t/ha ont encore un effet significatif. L'apport de 3 t/ha cesse de marquer après la quatrième campagne et celui de 1,5 t/ha n'a jamais eu d'effet. Il y a donc un certain seuil à franchir pour que l'apport de silice soit efficace.

Analyse du matériel végétal.

Les résultats des analyses des pailles et des grains confirment ceux des essais précédents. L'apport de silice ne marque de façon régulière et significative, que sur les teneurs en azote, en phosphore et en silice.

L'apport de silice a un effet dépressif très net sur les teneurs en azote de la paille et, à un moindre degré, du grain. Cet effet est visible tout au long de l'expérimentation, mais, à la dernière campagne, il ne se manifeste plus que pour les deux plus forts niveaux de silice.

On note le même effet dépressif pour le phosphore, d'autant plus important quand l'apport de silice est fort. C'est ainsi qu'à la deuxième campagne, après l'apport de 9 t/ha de silice, la teneur en P % de la paille passe de 0,212 sur le traitement NPK, à 0,090 sur le traitement 6. Cet effet, surtout visible sur la paille, s'atténue progressivement.

Enfin, on a pu observer un effet très net sur les teneurs de la paille et des grains en silice. Des teneurs de 9 %, après apport de 6 t/ha de silice, et de 12 % après apport de 9 t/ha ont été atteintes. Mais, comme on l'a vu précédemment, ces teneurs baissent régulièrement avec le temps et, à la fin de l'expérience, on se retrouve en zone de carence; bien que les rendements soient encore convenables.

Dans la figure 2, on trouvera la représentation graphique de quelques données se rapportant à la première campagne (saison fraîche 1970). Nous avons indiqué le rendement en paddy en fonction, d'une part, de la silice apportée et, d'autre part, du pourcentage de silice dans les feuilles.

Les deux courbes sont très voisines et sont d'allure sigmoïdale. Nous avons déjà remarqué, en effet, que les premières doses de silice ont peu d'effet, mais pour l'essai précédent du marais

d'Ambila, nous n'avons, avec trois points, que le début de la courbe. Ici on peut remarquer l'inflexion de la courbe vers le haut, en fonction de la silice apportée et en fonction du rendement. La courbe B est utile en ceci qu'elle permet de définir un seuil pour les teneurs en silice de la paille. Celui-ci, en saison fraîche, se situerait autour de 9%. D'autre part, sur la courbe C, on a représenté les teneurs en silice de la paille en fonction des apports de silice. La relation est, semble-t-il, linéaire dans le domaine d'étude.

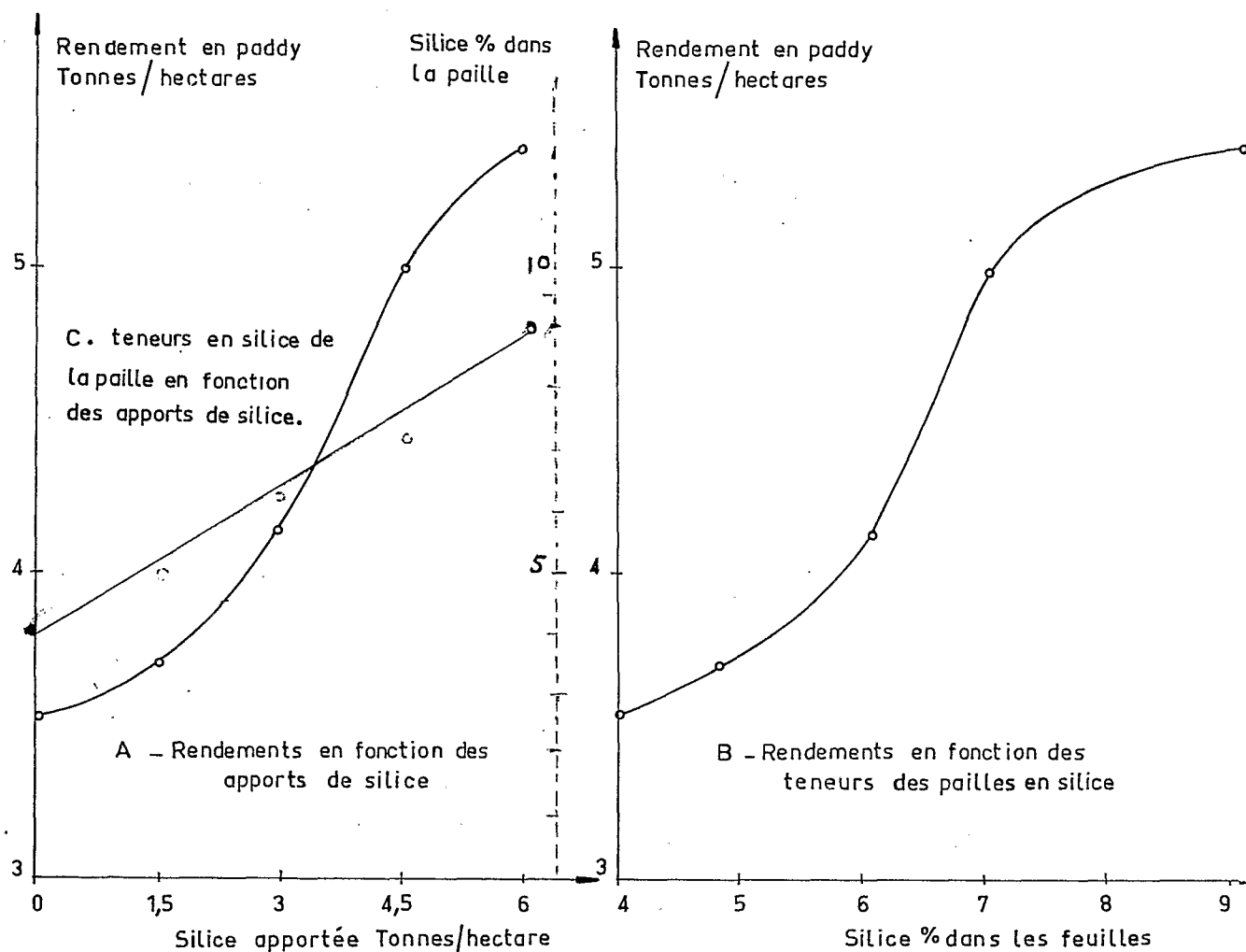


Figure 2. — Relations rendement-apports de silice, rendements-teneurs en silice, teneurs en silice-apports de silice (courbe de réponse-Ambila).

Dans la figure 3, nous avons représenté, comme pour l'essai précédent du marais d'Ambila, l'évolution comparée des rendements et des teneurs en silice de pailles, pour les deux traitements extrêmes : NPK et silice 9 T. Ces deux traitements ont été choisis pour simplifier le graphique. On constate que les rendements de saison fraîche sont toujours plus élevés que ceux de saison

chaude, et que c'est l'inverse pour les teneurs en silice des pailles. Il ne s'agit pas là d'une concentration due à une production plus faible puisque, au contraire, la production de paille est plus importante en saison chaude. L'extraction de la silice par la plante paraît donc plus active en cette saison.

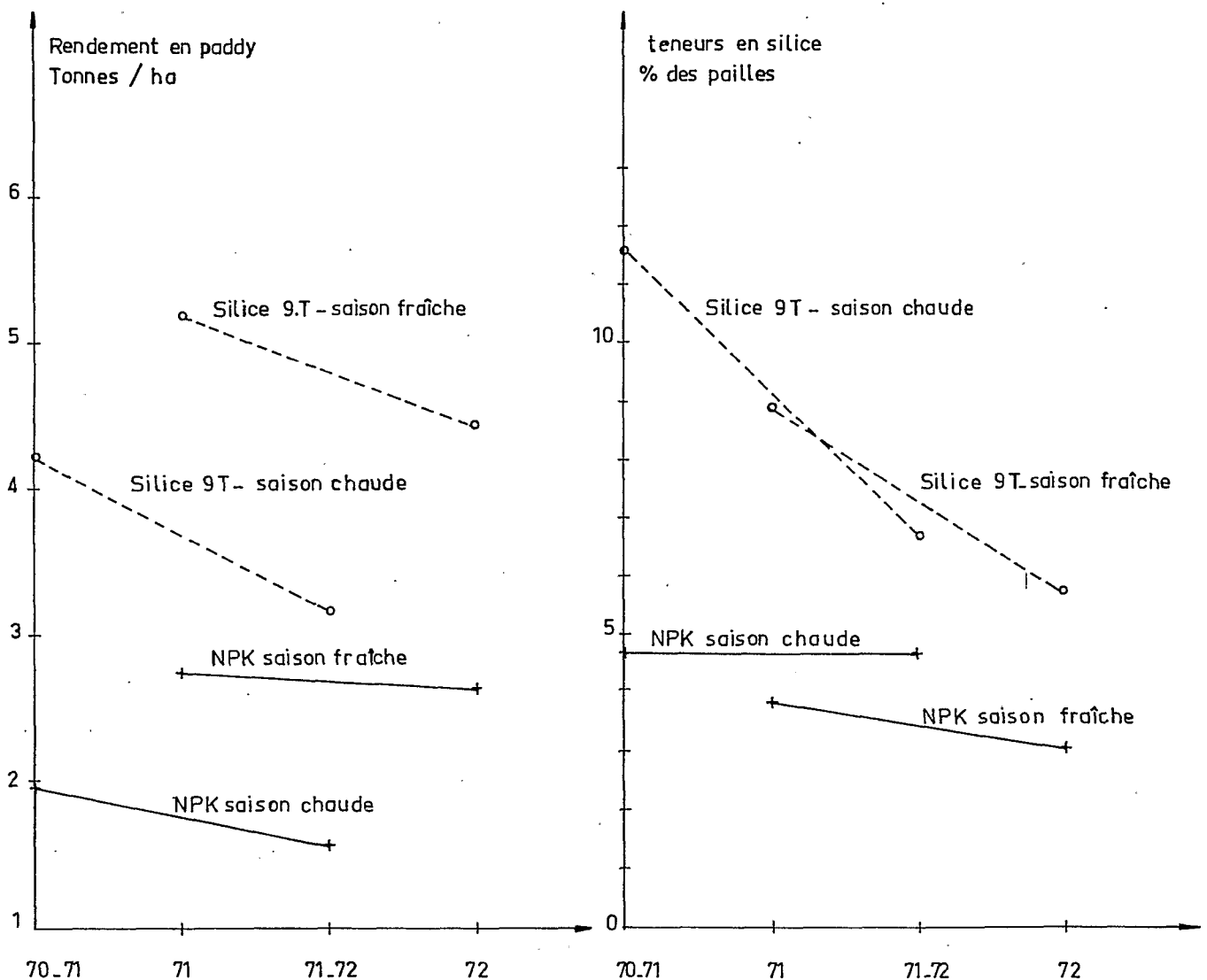


Figure 3. — Evolution des rendements et des teneurs en silice (courbe de réponse-Ambila).

L'évolution des rendements et des teneurs en silice se fait parallèlement dans le sens d'une diminution constante. La baisse de rendement est plus faible pour les traitements NPK, à production plus faible, que pour les rendements des parcelles à 9 T de silice. On observe la même variation pour les teneurs en silice. On peut noter la chute rapide des teneurs en silice du traitement à 9 t de silice. A la quatrième campagne, on est déjà en zone carencée.

Par ailleurs, ce deuxième essai a confirmé les conclusions déjà tirées du premier pour ce qui concerne l'effet dépressif de la silice sur l'absorption de certains éléments tels que l'azote et le phosphore.

Un cas particulier se présente ici pour le traitement 6 qui a démarré six mois après les autres. Au cours des quatre campagnes de ce traitement, ses rendements restent nettement supérieurs à

ceux du traitement 5 qui le précède, de 1 t environ, ou parfois plus de paddy à l'hectare. Or ses teneurs en silice dans les pailles ne sont supérieures que pendant les saisons fraîches.

Ces rendements supérieurs, correspondant, il est vrai, à l'apport de 3 t de silice supplémentaires à l'hectare, et à un décalage de six mois, semblent indiquer que le riz a encore accès, dans ce traitement, à de la silice qui est déjà épuisée, pour une raison que nous ne connaissons pas encore, dans les autres traitements. Cependant, le supplément de rendement obtenu ne se traduit qu'imparfaitement dans les teneurs en silice des pailles. Ceci pourrait suggérer l'existence d'un autre facteur limitant, non identifié, qui gênerait l'absorption de la silice au-delà d'un certain niveau, car on sait par ailleurs que les teneurs en silice de la paille de riz peuvent atteindre des niveaux bien plus élevés.

Dans le tableau VIII, nous avons évalué, pour chaque rendement, les exportations totales en

silice au cours de leurs quatre premières campagnes :

Tableau VIII
EXPORTATIONS DE SILICE (COURBE DE REPONSE - AMBILA)

Traitement	Quantité de silice reçue (kg/ha)	Quantité totale de silice exportée (kg/ha)			% de la silice reçue au départ
		Pailles	Grain	Total	
1. NPK	néant	474	123	597	
2. NPK + 1.500 Si	1.500	634	170	804	53
3. NPK + 3.000 Si	3.000	878	230	1.102	36
4. NPK + 4.500 Si	4.500	1.220	291	1.511	33
5. NPK + 6.000 Si	6.000	1.490	354	1.844	30
6. NPK + 9.000 Si	9.000	1.685	373	2.058	23

L'utilisation apparente de la silice est d'autant meilleure que la quantité apportée est plus faible. Au bout de quatre campagnes, l'effet des apports s'est déjà bien estompé, alors que, pour les fortes doses, 25 à 30 % de la quantité apportée ont seulement été utilisés. Les pertes doivent donc être très importantes. Ceci se rapproche de ce que nous avons vu concernant les amendements calcaires en sols acides, sous forte pluviométrie.

Dans ces conditions, plutôt que d'apporter des quantités importantes périodiquement, nous pensons préférable d'amener une fertilisation d'entretien chaque année.

Dans la figure 4, nous avons représenté les exportations pour les cinq campagnes des cinq premiers traitements, qui ont débuté ensemble. Les exportations montrent des différences sensibles suivant les traitements pour les trois premières campagnes (surtout pour les deux premières). Ensuite, elles tendent à se niveler, de même que les rendements, indiquant par là que la silice facilement utilisable a disparu du milieu.

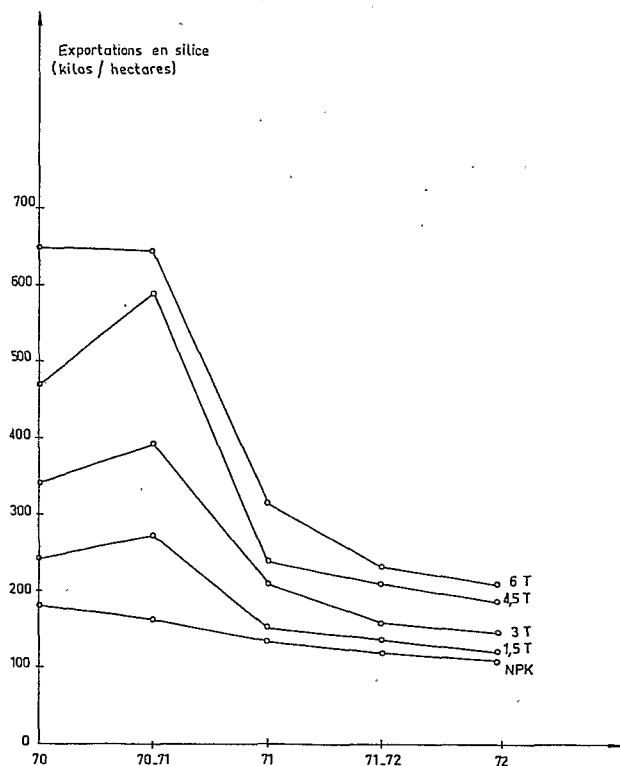


Figure 4. — Exportations de silice (courbe de réponse-Ambila).

2) Essai de Mahitsy.

Il a commencé en même temps que l'essai de formes d'apport de silice et avait pour but d'étudier l'effet sur le riz de doses croissantes de silice, apportées sous forme de cendres ou de balles. Les traitements sont les suivants :

- 1) NPK ;
- 2) NPK + cendres dose 1 (1,5 t/ha silice) ;
- 3) NPK + cendres dose 2 (3 t/ha silice) ;
- 4) NPK + cendres dose 3 (4,5 t/ha silice) ;
- 5) NPK + balles dose 1 (1,5 t/ha silice) ;
- 6) NPK + balles dose 2 (3 t/ha silice) ;
- 7) NPK + balles dose 3 (4,5 t/ha silice) ;
- 8) NPK + balles dose 4 (6 t/ha silice) ;
- 9) NPK + balles dose 5 (10 t/ha silice).

Toutes les parcelles reçoivent par ailleurs une fertilisation NPK uniforme (150-90-120). Les apports de silice n'ont pas été renouvelés.

Les rendements des quatre campagnes sont groupés dans le tableau IX.

Tableau IX
RENDEMENTS (COURBE DE REPONSE - MAHITSY)

Traitement	1969-1970	1970-1971	1971-1972	1972-1973
1. NPK	4.900	7.048	3.297	7.097
2. Cendres 1	5.303	6.909	3.343	7.251
3. Cendres 2	5.601	7.411	3.407	7.182
4. Cendres 3	5.742	7.583	3.409	7.371
5. Balles 1	5.555	7.778	3.165	7.137
6. Balles 2	5.480	7.795	3.391	7.334
7. Balles 3	5.905	7.051	3.501	7.305
8. Balles 4	5.866	7.683	2.922	7.235
9. Balles 5	6.707	7.232	3.223	7.290
ppds 5 %	394	495	ns	ns
cv (%)	5,91	5,69	15,65	6,09

La réponse à la silice n'a été franche que la première année, quelle que soit la forme utilisée, et jusqu'à la plus forte dose. A doses égales, la balle paraît un peu plus efficace que la cendre, mais l'effet sur le rendement n'est pas significatif. L'effet diminue en deuxième année, n'est pas visible en troisième année (inondation) et disparaît en dernière année.

Les analyses de matériel végétal ont été faites. En ce qui concerne les teneurs en silice, il n'y a jamais eu de différences significatives entre les grains issus des divers traitements. Pour les feuilles et les pailles, nous avons regroupé les teneurs en silice dans le tableau X.

Tableau X
TENEURS EN SILICE, FEUILLES ET PAILLES (COURBE DE REPONSE - MAHITSY)
(% MS)

Traitement	Feuilles		Pailles		
	1969-1970	1970-1971	1969-1970	1970-1971	1972-1973
1. NPK	5,88	6,11	11,21	10,48	7,61
2. Cendres 1	5,45	6,75	11,73	9,20	7,90
3. Cendres 2	5,50	6,23	10,91	9,16	7,41
4. Cendres 3	5,11	6,41	12,45	9,50	8,68
5. Balles 1	6,75	6,20	12,85	10,36	7,98
6. Balles 2	6,78	6,46	12,70	9,40	7,71
7. Balles 3	7,00	6,65	13,16	10,50	8,53
8. Balles 4	7,18	7,43	14,03	10,91	7,80
9. Balles 5	7,28	8,15	15,26	11,43	9,91
ppds 5 %	ns	1,04	1,61	ns	ns
cv (%)	25,78	13,68	9,07	14,47	12,64

Les teneurs en silice sont élevées dans les feuilles et les pailles. Dans ce dernier cas, et pour la première campagne, on pourrait croire que l'on est en présence d'une consommation de luxe. En fait, ce n'est pas le cas : le rendement de NPK, 4.900 kg/ha s'accompagne d'une teneur en silice de 11,21 % dans la paille. Celui du traitement 9, 6.707 kg/ha entraîne, lui, une teneur de 15,26 % de silice dans la paille. On a ici un effet très net de la silice malgré une absence présumée de carence. On peut donc penser que, même avec des teneurs en silice supérieures à 10 % dans la

paille, on peut encore espérer accroître le rendement. Toujours dans la paille, on ne voit de différences significatives que la première année, et on observe aussi, avec le temps, une baisse sensible des teneurs en silice sur tous les traitements.

3) Essai de la plaine de Tananarive.

Il est situé sur le point d'essai de Belanitra, dans la plaine de Tananarive. Le sol, formé d'alluvions micacées récentes de la rivière Mamba, est à texture très fine (80 % d'argile + limon) à

pH nettement acide (5,2-5,3), bien pourvu en matières organiques (4,5 % environ). Il est pauvre en phosphore assimilable, mais relativement bien pourvu en bases échangeables (somme des bases autour de 4 à 5 m.e. %).

Bien que nous ayons eu, sur ce point d'essai, les plus forts rendements en riz de tout notre réseau d'essai, un essai de silice à doses croissantes y a été placé en 1969-1970. Il comportait les traitements suivants :

- 1) NPK ;
- 2) NPK + 1.500 kg/ha de silice sous forme de balles de paddy ;

- 3) NPK + 3.000 kg/ha de silice sous forme de balles de paddy ;
- 4) NPK + 4.500 kg/ha de silice sous forme de balles de paddy ;
- 5) NPK + 6.000 kg/ha de silice sous forme de balles de paddy ;
- 6) NPK + 3.000 kg/ha de silice sous forme de cendres de balles.

Toutes les parcelles recevaient par ailleurs une fumure uniforme NPK d'entretien de 100-60-90. L'apport de silice n'a pas été renouvelé et c'est l'arrière-action qui a été suivie pendant les trois dernières campagnes. Les résultats sont résumés dans le tableau XI.

Tableau XI
RENDEMENTS (COURBE DE REPONSE - TANANARIVE)
(kg/ha paddy)

Traitements	1969-1970	1970-1971	1971-1972	1972-1973
1. NPK	8.433	8.268	6.647	7.837
2. Balles 1	9.375	8.049	6.634	8.048
3. Balles 2	9.536	8.522	6.709	8.017
4. Balles 3	9.487	8.599	7.242	8.544
5. Balles 4	9.747	8.823	6.647	7.095
6. Cendres	9.040	7.428	6.486	7.881
ppds 5 %	ns	ns	ns	ns
cv (%)	8,09	12,90	9,82	10,07

Malgré les différences que l'on peut observer en première et, à un moindre degré, en seconde année, l'essai n'a jamais été significatif malgré une bonne homogénéité. Ceci est sans doute dû au fait que le nombre de répétitions est insuffisant (4), faute de place.

L'analyse du matériel végétal, effectuée la première année, est résumée dans le tableau XII.

Tableau XII
TENEURS EN SILICE DES FEUILLES,
PAILLES ET GRAINS
(COURBE DE REPONSE - TANANARIVE)
(% MS)

Traitement	Silice % feuilles	Silice % pailles	Silice % grains
1. NPK	8,62	11,20	2,85
2. Balles 1	10,05	11,80	2,42
3. Balles 2	11,50	14,35	3,27
4. Balles 3	10,77	14,70	3,35
5. Balles 4	10,65	14,70	3,07
6. Cendres	8,17	11,17	2,65
ppds 5 %	1,75	1,05	0,59
cv (%)	11,63	6,79	13,29

Les teneurs des pailles et des feuilles en silice sont déjà élevées sur le traitement NPK. Cependant, bien que l'augmentation de rendement ne soit pas significative, elle est de 13 quintaux de paddy à l'hectare et, dans le même temps, la teneur en silice de la paille augmente significativement pour passer de 11,20 à 14,70 %. Donc, un bon rendement et une bonne teneur de la paille en silice ne doivent pas faire écarter la possibilité d'une réponse.

A la campagne 1970-1971, seules les feuilles ont été analysées. Il y a des différences hautement significatives pour les teneurs en silice qui sont respectivement, des traitements 1 à 6, de 8,45 - 8,82 - 10,25 - 11,12 - 11,15 - 8,35 %. La silice des cendres, ici aussi, est moins bien absorbée que celle des balles.

C) INFLUENCE DE LA SILICE SUR LA FERTILISATION POTASSIQUE

Depuis plusieurs années, une expérimentation était en cours à la station de l'Ivoloïna, près de Tamatave, sur la réponse du riz à la potasse.

Les rizières sont sur des sols hydromorphes, minéraux à semi-tourbeux à gley de profondeur.

Le pH est fortement acide, la texture très fine, les teneurs en matière organique et en azote très élevées. Par contre, il y a très peu de P_2O_5 assimilable et de bases échangeables, et le degré de saturation est faible. On a voulu, sur ce sol, voir si l'apport de silice modifierait la réponse du riz à la potasse. Pour cela, les parcelles de cet

essai ont été subdivisées et, sur chaque moitié, 1.600 kg/ha de silice sous forme de silicate de chaux ont été apportées. Toutes les parcelles reçoivent par ailleurs une fertilisation NP identique. L'essai conduit à raison de deux cultures par an, a donné les résultats indiqués au tableau XIII.

Tableau XIII

RENDEMENTS, ESSAI SILICE-POTASSE (TAMATAVE)

(kg/ha paddy)

Traitements	Saison chaude 1970-1971	Saison fraîche 1971	Saison chaude 1971-1972	Saison fraîche 1972	Saison chaude 1972-1973
K 0	3.520	4.227	2.817	2.882	3.619
K 0 + silice	5.172	5.066	3.254	3.080	3.940
K 60	4.984	5.998	3.909	5.716	4.378
K 60 + silice	6.495	7.004	4.189	6.335	4.592
K 90	5.232	6.339	4.057	6.028	4.218
K 90 + silice	6.604	7.104	4.293	6.727	4.814
K 120	6.175	6.525	3.985	6.009	4.261
K 120 + silice	6.920	7.487	4.231	6.831	4.932

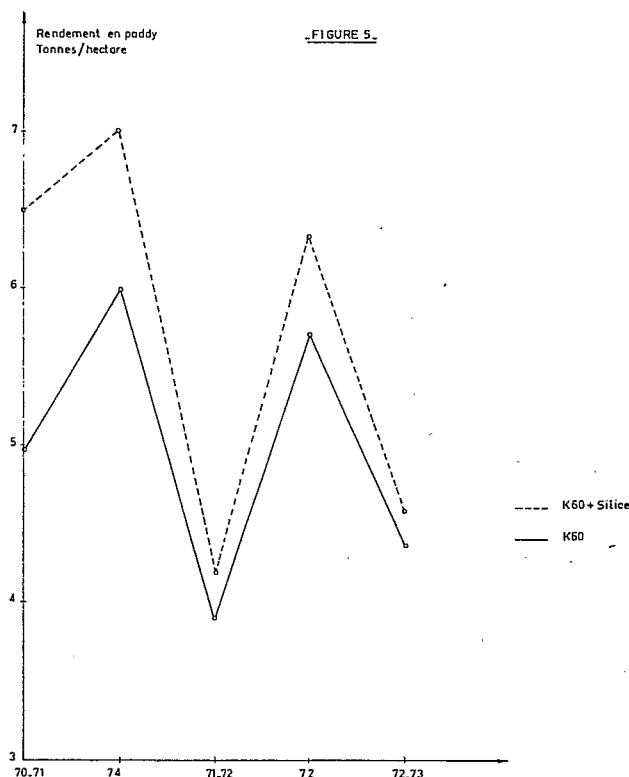


Figure 5. — Evolution des rendements, essai silice-potasse (Tamatave).

Les résultats ont été constants. Pour chaque campagne, on a un effet des doses de K et un

effet de la silice extrêmement significatifs. Il n'y a jamais eu d'interaction. Ceci est valable également pour les rendements en paille.

Dans la figure 5, nous avons représenté, pour deux traitements seulement, pour ne pas charger le graphique, l'évolution des rendements. On voit qu'à partir de la troisième campagne, l'arrière-action devient faible. Ceci est confirmé en comparant les effets moyens de l'apport de silice, c'est-à-dire les suppléments moyens de rendement amené par la silice qui, à chaque campagne, ont été très hautement significatifs.

Saison chaude 1970-1971	1.301 kg/ha
Saison fraîche 1971	893 kg/ha
Saison chaude 1971-1972	299 kg/ha
Saison fraîche 1972	584 kg/ha
Saison chaude 1972-1973	450 kg/ha

L'augmentation moyenne provoquée par l'apport de silice sur les teneurs en silice des feuilles, des pailles et des grains est donnée ci-dessous. Le diagnostic foliaire n'a pas été fait à la première campagne, et à la saison chaude 1971-1972, on a pris par erreur, un échantillon moyen par traitement pour la paille et le grain. Cet effet moyen, sauf quand cela est indiqué, a toujours été hautement significatif. Il est donné en % de silice dans l'organe considéré.

Tableau XIV

Saison	Feuille	Paille	Grain
1970-1971	Non fait	1,29	0,69
1971	0,80	0,49	0,33
1971-1972	0,34	Non fait	Non fait
1972	Non significatif	0,34	0,17
1972-1973	Non significatif	Non significatif	Non significatif

On constate que tous ces effets diminuent régulièrement et disparaissent à la dernière campagne, confirmant l'évolution observée sur les rendements.

D) EFFET DE LA SILICE SUR LES OLIGO-ELEMENTS

Sur les points d'essai des hauts plateaux, des dosages d'oligo-éléments ont été effectués à l'occasion des diagnostics foliaires, pour voir si la silice modifiait leur absorption par le riz.

a) Les résultats obtenus sur le point d'essai de **Mahitsy** sont résumés dans le tableau XV. Les prélèvements et les dosages ont été effectués au cours de la première campagne d'essai.

Tableau XV

INFLUENCE DES APPORTS DE SILICE SUR LES TENEURS DU RIZ EN OLIGO-ELEMENTS (MAHITSY)

Traitement	Fer (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)
1. NPK	155	9,6	133
2. Cendres 1	149	9,9	134
3. Cendres 2	163	9,6	123
4. Cendres 3	120	7,9	123
5. Balles 1	125	9,1	119
6. Balles 2	153	8,9	112
7. Balles 3	152	8,7	121
8. Balles 4	138	8,0	95
9. Balles 5	146	9,6	92
ppds 5 %	ns	ns	19,86
cv (%)	26,21	20,18	27,5

On voit que seules les teneurs en manganèse, qui sont d'ailleurs ici peu élevées, sont affectées par la silice qui les diminue.

b) Les résultats obtenus sur le point d'essai d'**Ambatobé**, également au cours de la première campagne, figurent sur le tableau XVI.

Tableau XVI

TENEURS DU RIZ EN OLIGO-ELEMENTS (AMBATOBE)

Traitement	Fer (ppm)	Cuivre (ppm)	Manganèse (ppm)
1. Témoin	189	6,2	885
2. NPK	253	4,3	1.035
3. Balles 1	259	5,2	987
4. Balles 2	273	5,7	786
5. Silicate 1	209	3,8	724
6. Silicate 2	187	5,1	726
ppds 5 %	54,7	1,55	176
cv (%)	20,12	25,73	17,30

On peut noter tout de suite que le riz, poussant sur des colluvions d'origine ferrallitique, est beaucoup plus riche en fer et surtout en manganèse, que celui de Mahitsy sur un sol organique. La balle de paddy n'a pas d'action sur les teneurs en fer, alors que le silicate de chaux (deuxième dose) en a. Il s'agit ici peut-être d'une action de la chaux du silicate plutôt que de la silice. Les deux doses de silicate diminuent les teneurs en manganèse, alors que la deuxième dose de balles seule le fait. Sur les teneurs en cuivre, l'action de la silice est plus confuse.

c) Sur le point d'essai de **Bélanitra** (plaine de Tananarive) les analyses ont été faites la première année. On en trouvera les résultats au tableau XVII.

Tableau XVII

TENEURS DU RIZ EN OLIGO-ELEMENTS (BELANITRA)

Traitement	Fer (ppm) feuilles	Cuivre (ppm) feuilles	Manganèse (ppm) feuilles
1. NPK	127	9,1	1.021
2. Balles 1	98	6,0	640
3. Balles 2	125	8,6	715
4. Balles 3	103	7,7	573
5. Balles 4	127	8,5	706
6. Cendres	109	7,4	778
ppds 5 %	ns	ns	264
cv (%)	31,35	23,31	23,70

Les analyses confirment l'action de la balle et, ici, des cendres sur la teneur en manganèse et le manque d'effet sur la teneur en fer.

On a donc une action régulière sur les teneurs en manganèse, plus incertaine sur le fer. Pour les faibles doses de silice, le silicate est plus efficace, l'action de la chaux pouvant s'ajouter à celle de la silice.

E) EFFETS DE LA SILICE SUR L'ETAT SANITAIRE DU RIZ

Nous citerons ici, à titre d'information, quelques observations qui ont pu être faites au marais d'Ambila, où l'état sanitaire du riz est, d'une façon générale, très mauvais. Ceci n'était pas notre objet mais nous pensons qu'il est intéressant d'indiquer l'influence de la silice sur l'aspect du riz.

Sur l'essai « formes de silice », au cours de la première campagne, les pépinières ayant été faites sur alluvions, les plants n'ont commencé à prendre un aspect malade qu'une quarantaine de jours après le repiquage. Il apparaît à ce moment que les deux traitements 3 et 4, ayant reçu les deux doses de balle de paddy, montrent la meilleure végétation. A la récolte, seuls les grains du traitement 4 (3 t/ha de silice sous forme de balles) sont totalement sains. Viennent ensuite les traitements 3, 7 et 8. Tous les autres traitements, qui n'ont d'ailleurs pas d'effet sur le rendement, ont le même aspect maladif.

D'autre part, au cours de la saison fraîche 1970, un comptage de pieds atteints de pyriculariose nodale a été effectué sur 10 lignes de chaque parcelle de deux essais (forme de silice et courbe de réponse à la silice).

Pour l'essai forme de silice, le nombre d'épis malades pour 10 lignes passe de 14,0 sur le traitement NPK à 4,1 pour le traitement 4 et 4,6 pour le traitement 8. Ces deux traitements ont reçu 3 t/ha de silice respectivement sous forme de balles et sous forme de silicate. Les différences sont très hautement significatives.

Sur l'essai courbe de réponse à la silice, le nombre d'épis malades pour 10 lignes figure sur le tableau XVIII.

Tableau XVIII

Traitement	Nombre d'épis malades
1. NPK	12,5
2. NPK + 1,5 t silice	8,8
3. NPK + 3 t silice	3,8
4. NPK + 4,5 t silice	2,3
5. NPK + 6 t silice	1,6
ppds 5%	1,9
cv (%)	20,7

L'effet de la silice paraît ici particulièrement net. Nous pensons, en dehors peut-être d'un effet purement « mécanique », que la silice pourrait agir grâce aux baisses des teneurs en azote qu'elle provoque dans tous les organes de la plante.

F) ESSAI SUR RIZ PLUVIAL

Nous donnerons, pour terminer, les résultats d'un essai où de la silice a été apportée sur riz pluvial. Il a été mis en route par la division d'Entomologie de l'IRAM, dans le moyen-ouest de Madagascar, à la Sakay (sols brun rouge ferrallitiques sur terrasses anciennes). Il avait pour but de comparer l'action de la silice à celle d'un certain nombre d'insecticides.

En première année, 1971-1972, les traitements étaient :

- 1) Témoin ;
- 2) Silice seule ;
- 3) Lindane ;
- 4) Lindane + silice ;
- 5) Diazinon ;
- 6) Diazinon + silice.

Toutes les parcelles reçoivent une fertilisation uniforme NPK de 30-60-60. La silice est apportée sous forme de balles à la dose de 3.000 kg/ha de silice. On utilise la variété de riz pluvial 1490. En première année, on obtient :

1) Témoin	2.617 kg/ha
2) Silice	3.084 kg/ha
3) Lindane	2.949 kg/ha
4) Lindane + silice	3.345 kg/ha
5) Diazinon	3.161 kg/ha
6) Diazinon + silice	3.372 kg/ha

Il y a des différences hautement significatives entre les traitements (F calculé 11,12 - F 1%, 4,10 ppds 247 kg/ha c.v. : 6,09 %).

Malgré les rendements assez faibles, la silice est efficace soit seule, soit associée à un insecticide.

L'année suivante, d'autres produits ont été essayés, mais nous pouvons comparer, toujours en riz pluvial, les deux traitements : témoin et arrière-action de la silice, que produisent respectivement 3.475 et 4.412 kilos de paddy à l'hectare.

La différence entre ces deux traitements est très fortement significative.

Nous ne disposons malheureusement pas, pour cet essai, d'analyses de matériel végétal, mais l'on peut constater, surtout en deuxième année, en arrière-action, l'effet très net de la silice sur le riz pluvial puisque le rendement se trouve augmenté de près d'une tonne par hectare. Donc, même quand le rendement du riz pluvial est bon, ce qui est le cas (35 q/ha sur le témoin) il peut cependant valoir la peine d'étudier l'effet de la silice.

DISCUSSION

L'expérimentation menée sur l'utilisation de la silice en rizière permet de faire un certain nombre de constatations. D'abord, une observation générale : il apparaît que les carences en silice, à Madagascar, sont plus graves sur la côte est que sur les plateaux et il faut sans doute voir là l'effet cumulé d'une température et d'une pluviométrie, surtout, nettement plus élevées. Les pertes en silice y sont certainement plus fortes, et ceci ne joue pas seulement pour les sols de rizière puisque nous avons observé également, dans d'autres essais, une nette réponse de la canne à sucre aux apports de silice, dans la région de Tamatave-Brickaville. Ceci étant, l'apport de silice sur du riz irrigué se traduit par un certain nombre de modifications de son comportement.

Tout d'abord, dans l'aspect au champ et dans l'état sanitaire. Dans des régions comme celle du marais d'Ambila où le riz a le plus souvent une très mauvaise apparence, l'apport de silice donne au riz une allure saine. Nous avons vu qu'il diminue de façon très significative le nombre de pieds malades. Il a été signalé, en particulier par Yoshida et al. (1959), que la silice se dépose surtout dans l'épiderme de la feuille, et que cette membrane silice-cellulose serait la raison de la résistance aux insectes et aux maladies. Cependant, il est également possible que la moindre sévérité des maladies soit due à la baisse des teneurs en azote constatée sur les divers organes analysés.

Dans les zones carencées de la côte Est, l'apport de silice a un effet très marqué sur le rendement. Ceci s'accompagne normalement d'un fort accroissement des teneurs en silice dans les feuilles, les pailles et les grains. Dans ce dernier cas, cet accroissement est localisé dans la balle de paddy. Ceci vaut par rapport aux traitements recevant une fertilisation NPK seule. En effet, ce traitement a, de façon très générale, des teneurs en silice inférieures à celles du témoin absolu, mais ceci peut être dû à un simple effet de dilution. La silice agit aussi sur le rendement en augmentant le poids de 1.000 grains.

Par rapport aux traitements NPK, l'apport de silice entraîne un certain nombre de modifications dans la composition chimique du riz.

Nous avons vu qu'il amène une baisse des teneurs en azote, en particulier de la paille. Ceci confirme les observations faites par Mitsui et Takatoh (1963), Okuda et Takahashi (1964), Islam et Saha (1969), Miyoshi et Ishü (1960). Ces derniers auteurs constatent qu'en présence de silice, les teneurs en azote baissent dans les tiges et les feuilles mais augmentent dans l'épi. Nous

avons vu aussi une diminution de l'azote dans le grain. La silice favoriserait le transfert de l'azote des feuilles vers les parties actives, permettant ainsi d'utiliser davantage d'azote, sans avoir les inconvénients habituels. Datta et Shinde (1965) ont constaté sur riz pluvial que les concentrations en azote et silice étaient inversement reliées, mais ne le vérifiaient pas sur riz irrigué. Nous avons observé l'inverse à Madagascar sur le riz irrigué. Les mêmes auteurs trouvent des teneurs en silice plus fortes chez le riz pluvial que chez le riz irrigué.

Nous avons observé, sous l'action de la silice, une baisse des teneurs en phosphore, dans la paille et les grains. Elle est plus accentuée, semble-t-il, quand la silice est apportée sous forme de silicate de chaux. Ceci confirme aussi plusieurs observations. Shinde et Datta (1964), travaillant en vases de végétation avec P 32, notent que l'apport de silice ne modifie pas la quantité de P provenant du sol, ou de l'engrais, ni les teneurs en P du riz. Par contre, la combinaison de fortes doses de silice et d'azote diminue l'absorption du phosphore. Nair et Aiyer (1968) montrent aussi de fortes teneurs en silice associées à de faibles taux de phosphore.

Okuda et Takahashi (1964) constatent que pour un niveau de phosphore optimum, ou en excès, la silice diminue la teneur en phosphore et la quantité de phosphore absorbé. Nous étions dans ces conditions dans notre expérimentation à Madagascar. Dans les cas de carences en P, la silice augmente la quantité de phosphore absorbé (à cause de l'effet de la silice sur le rendement). Ceci explique peut-être que d'autres auteurs (Datta et Shinde, 1965, Islam et Saha, 1969, Sadanandan et Varghese, 1969, Takijima et al., 1959) trouvent que la silice favorise l'absorption du phosphore, ou bien n'a pas d'influence sur celle-ci. Ceci peut être également rapproché des observations de Roy (1969) selon lesquelles la silice, apportée avec du phosphore, augmente l'absorption de P par les racines des plantes qui accumulent peu de silice et la diminue chez les plantes qui accumulent beaucoup de silice. Le riz est dans ce cas.

Le rôle de la silice sur le phosphore du sol a été étudié par Takahashi (1968) : dans les sols à forte fixation de phosphore, la silice empêche en partie cette fixation, libère une partie du phosphore fixé, et améliore la quantité de phosphore assimilable du sol.

L'action de la silice sur l'absorption de certains oligo-éléments est nette, surtout pour les teneurs en manganèse qui diminuent fortement. On a vu aussi le même effet sur les teneurs en fer, mais

il faut, semble-t-il pour cela, qu'elles atteignent déjà un certain niveau, et il peut s'agir aussi d'un effet dû à la chaux. En effet, pour ces deux éléments, l'action du silicate de chaux est meilleure que celle des balles de paddy, car à l'action de la silice, s'ajoute celle du calcium.

Cet effet sur le fer et le manganèse joue sûrement un rôle dans l'action de la silice sur certains sols de rizière mal drainés, et où le riz a des difficultés.

Islam et Saha (1969), Takahashi (1968), ont noté aussi que la présence de silice diminuait l'absorption de fer et de manganèse par le riz. Ceci se passe par l'intermédiaire des racines, dont la silice augmente le pouvoir d'oxydation. On observe alors des dépôts de fer et de manganèse oxydé sur les racines d'où diminution de leur absorption. Cet effet dépend de la teneur en silice du riz et pas de la teneur en silice de la solution.

Quand on étudie la fertilisation du riz en silice, il faut avoir présent à l'esprit, le volume des exportations en cet élément. Il est très grand, et Matsuo (1966) indique qu'une variété à haut rendement exporte de 1 à 2 tonnes de silice à l'hectare.

Nous avons calculé ces exportations dans plusieurs cas, mais nous donnons encore ci-dessous, à titre d'exemple, les quantités de silice exportées au cours des deux campagnes de l'année 1971, sur cinq traitements de l'essai de silice de l'Ivoiloina à Tamatave, en kilos de silice à l'hectare.

Traitements	Silice exportée par les grains	Silice exportée par la paille	Total par hectare
Témoin	110,8	660,6	771,4
NPK	152,2	840,3	992,5
Silice 1.600 kg	144,5	947,8	1.092,3
Silice 3.200 kg	189,0	1.090,3	1.279,3
Silice 4 800 kg	256,8	1.284,4	1.541,2

La quantité totale de silice exportée surprend. Même le traitement NPK, qui n'en a pas reçu, en exporte pratiquement une tonne par an. L'importance de cette fourniture apparaît d'autant mieux qu'elle est faite en peu de temps. En effet, les deux campagnes occupent le terrain pendant 230 jours environ, 125 pour la saison froide et 105 pour la saison chaude.

Sur les plateaux, nous avons fait le même calcul, sur le point d'essai de Bélanitra, pour le traitement NPK et celui ayant reçu 6 t de silice sous forme de balle, les exportations de silice étant mesurées en kilo par hectare.

Traitement	Silice des grains	Silice des pailles	Total
NPK	241	946	1.187
Silice 6 T	312	1.422	1.734

Ici aussi les chiffres sont très élevés et ceci pour une occupation du terrain d'environ 135 jours.

On comprend mieux, à la lecture de ces chiffres, que l'arrière-action des apports de silice soit de faible durée et d'autre part, que la teneur en silice des pailles de riz baisse d'année en année sur les essais. Les calculs d'exportations de silice que nous avons présentés donnent bien une idée de la quantité de silice qui peut être perdue.

Nous avons, au cours de cette expérimentation, utilisé différentes formes d'apport de silice. Dans l'ensemble, et parmi, évidemment, ce que nous avons essayé, la moins bonne forme paraît être la cendre de balles, surtout quand elle a été portée à trop haute température. Dans ce cas, elle n'est pratiquement pas utilisable. Ishibashi (1956) a observé également que la silice des balles simplement carbonisée, est mieux absorbée par le riz que les cendres de balle.

La silice de la balle de paddy agit très vite, ceci se voit en particulier sur l'aspect sanitaire de la végétation. Par contre, il semble que le silicate de chaux ait une arrière-action un peu plus prolongée, mais ceci s'est vu surtout au marais d'Ambila, et ne se confirme pas nettement ailleurs. On considère en Corée (Park, 1971) que l'effet d'un apport de silicate de chaux peut durer environ quatre à cinq ans.

Un point d'importance pratique est celui qui consiste à déterminer à partir de quand l'on a une carence en silice. On peut se référer pour cela aux teneurs en silice de différents organes du riz. Cependant, parmi ceux que nous avons analysés, il semble que l'on puisse éliminer d'emblée le grain, dont les variations de teneurs en silice sont relativement étroites. Restent la feuille et la paille. Les indications données par la feuille nous ont paru irrégulières, tantôt bien liées au rendement, tantôt peu. Aussi préférons-nous analyser la paille, dont le prélèvement, à la récolte, est par ailleurs facile. A la lumière des essais précédents, nous pensons qu'une teneur en silice, sur des parcelles NPK, de 7 à 8 % dans la paille, indique une alimentation en silice déjà insuffisante, et il vaudrait mieux retenir comme seuil le taux de 10 %.

Park et al. (1964) estiment que l'apport de silice accroît le rendement du riz quand la feuille paniculaire contient moins de 11 % de silice. Par

contre, Miyoshi et Ishü (1959) trouvent que la meilleure corrélation avec le rendement est donnée par la teneur en silice des tiges. Vient ensuite la paille (tiges et feuilles), la meilleure époque étant la récolte. Ils estiment qu'il y a peu de corrélation entre les rendements et les teneurs des feuilles 1, 2 et 3. Enfin Imaizumi et Yoshida (1958) considèrent que la silice amène un accroissement de rendement quand la teneur en silice de la paille est inférieure à 11 %. Tout ceci rejoint nos observations.

Nous avons, par ailleurs, effectué quelques dosages de silice « assimilable » dans les sols en utilisant la méthode de Trug modifiée à Hawaï par Ayres et Hagihara (1952). On considère, avec cette méthode, que des teneurs en Si inférieures à 110 ppm sont indicatrices de carence. Nous avons observé de bonnes réponses à la silice avec des teneurs de 60 à 90 ppm dans les sols. Mais nous avons pu en voir aussi, plus faibles il est vrai, avec des teneurs de 400 à 450 ppm. Il semble que le type de sol intervienne dans les valeurs trouvées.

Le problème de la détermination de la silice « assimilable » dans les sols de rizière ne paraît pas encore bien résolu. Plusieurs méthodes ont été proposées : Y.K. Kim et al. (1971) utilisent l'extraction par l'acétate d'ammonium à pH 4 pendant 10 minutes à 20 °C. Ils déterminent ainsi cinq classes de sols, pour des teneurs en silice allant de 40 à 130 ppm. Nair et Aiyer (1968), qui ont étudié plusieurs extractifs, estiment que le meilleur est l'acide citrique 0,025 M. Imaizumi et Yoshida (1958) ont aussi travaillé en milieu acide dilué, avec un tampon acétate à pH 4, et déterminent trois classes de sols en reliant les probabilités de réponse à l'apport de silice aux teneurs en silice du sol et à celles de la paille à la récolte. Ils ont trouvé la régression suivante : silice dans la paille = $11,1 \text{ Log } x + 0,43$ (x étant la silice assimilable du sol). Ils estiment que plus de 70 % de la silice absorbée par le riz vient du sol, et le reste de l'eau d'irrigation. Park (1971), extrayant la silice par l'acétate d'ammoniac à pH 4, indique les relations suivantes : silice dans la paille = $1,54 + 0,0729 x$ (silice du sol) avec $r = 0,8$ et rendement = $63,97 + 0,425 x - 0,00114 x^2$, avec $r = 0,72$. Par contre, Miyoshi et Ishü (1959) n'ont pas trouvé de corrélation entre l'augmentation de rendement et la teneur en silice assimilable des rizières.

Il nous semble donc que l'analyse de la paille à la récolte offre un moyen plus simple et plus sûr de prévoir la réponse du riz à des apports de silice.

CONCLUSION

Au cours de notre expérimentation, nous n'avons pas pu, en fait, déterminer la dose de silice pour laquelle il n'y a plus d'augmentation de rendement. Ceci est surtout vrai pour le point d'essai du marais d'Ambila, où chaque accroissement de la dose de silice se traduisait par une augmentation de rendement, sans fléchissement de la courbe. Et cependant, la plus forte dose employée correspond à 45 t/ha de balles de paddy, ce qui, vu sa faible densité, est pratiquement impossible à enfouir. Ce point mériterait d'être éclairci, peut-être en vases de végétation.

Dans ces conditions, il faut reconnaître que le problème de la fertilisation du riz en silice n'est pas résolu. Le seul pays, à notre connaissance, qui utilise la silice en fertilisation d'entretien est le Japon (et peut-être Formose).

Au Japon, d'après Takahashi (1968), la fertilisation a débuté en 1952 environ. En 1968, on utilisait environ 1.000.000 de tonnes de matériel silicaté sur le riz, sur un peu moins de 900.000 ha, et l'on considérait que 30 % environ des rizières étaient déficientes en silice.

A Madagascar, dans les zones carencées, une fertilisation de redressement est indispensable, apportant au moins 3 t de silice à l'hectare. Pour les pays à riziculture traditionnelle, il semble hors de question d'utiliser du silicate de chaux, qui doit être importé et dont le prix en rend l'usage fort improbable. On peut alors avoir recours à un apport de balles de paddy, à raison de 15 t/ha. Cette opération est déjà difficile et n'est pas praticable partout (proximité d'une rizerie, gros volume de matériau à transporter et à enfouir). Dans le cas où on pourrait quand même réaliser cette opération, on peut envisager en fertilisation d'entretien, d'enfourer des pailles de riz dont la teneur en silice a été remontée. On n'arrive jamais, de cette façon, à compenser les exportations, mais on limiterait au moins l'appauvrissement du sol. Cette opération serait, de plus, hautement profitable pour l'alimentation en potasse et en azote, et il convient donc de l'encourager par tous les moyens.

Alors que tout ce qui vient d'être évoqué se rapporte au riz irrigué, rappelons enfin qu'une action très favorable de la silice a pu être observée sur riz pluvial.

Il nous paraît donc intéressant de prévoir l'effet de la silice également dans l'expérimentation sur le riz pluvial.

Références

- MITSUI S. et TAKATO H. — Nutritional study of silicon in graminaceous crops (parts 1 and 2). *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 9, n° 2, 1963, pp. 7-16.
- YOSHIDA S., OUSHI Y., KITAGISHI K. — 1. The chemical nature of silicon in rice plant. *Soil and Plant Food*. Vol. 5, n° 1, 1959, pp. 23-7.
- YOSHIDA S., OUSHI Y., KITAGISHI K. — 2. Role of silicon in rice nutrition. *Soil and Plant Food*. Vol. 5, n° 3, 1959, pp. 127-33.
- COCK J.H., YOSHIDA S. — *Soil Science and Plant Nutrition*. Vol. 16, n° 5, 1970, pp. 212-4.
- OKUDA A., TAKAHASHI E. — The role of silicon. *Proc. Symp. Mineral Nut. Rice Plant 1964*. pp. 123-46.
- TAKIJIMA Y., SHIOJIMA M., KOUNO K. — Studies on soils of peaty paddy fields. XI. Effect of silica on growth of rice plant and its nutrient absorption. *Miyagi Agricultural Experiment Station, 1959*, pp. 181-4.
- ISLAM A., SAHA R.C. — Effects of silicon on the chemical composition of the rice plant. *Plant and Soil* XXX, n° 3, juin 1969, p. 446.
- MIYOSHI H., ISHII H. — Effect of silicic acid and silicic clay on paddy rice. Part 3: Effect of silicic acid on nitrogen metabolism of paddy rice. *J. Sci. Soil Manure, Japan, 1960*, 31 (3), pp. 113-6.
- DATTA N.P., SHINDE J.E. — Yield and nutrition of rice under upland and waterlogged conditions. Effect of nitrogen, phosphorus and silica. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1965, vol. 13, n° 1, p. 53.
- SHINDE J.E., DATTA N.P. — Tracer investigations with P 32 on phosphorus nutrition of lowland rice as affected by nitrogen and silica. *Symposium on fertility of Indian soils proceedings, 1962*, pp. 279-84.
- ROY A. — Ph. D. Dissertation, Univ. of Hawaï, 1969.
- TAKAHASHI E. — Silica as a nutrient to the rice plant. *Japan Agric. Res. Quart* 1968, vol. 3, n° 3, p. 1.
- NAIR P.K., AIYER R.S. — Status of available silica in the rice soils of Kerala State (India). II. Silicon uptake by different varieties of rice in relation to available silica contributor by soil and irrigation water. 1968, 2, *Agric. Res. J. Kerala*, 6 (2), pp. 88-94.
- MATSUO H. — Fertilizer application techniques and water management for rice, in "Development of paddy rice culture techniques in Japan". *Agriculture Asia, Tokyo, 1966*.
- ISHIBASHI H. — On the effect of silica contained in carbonized rice hull on the growth of rice seedlings. *B. Facul. Agr. Yamaguti, Tome 7*, pp. 333-40, 1956.
- PARK C.S. — The use of silicon in Korean Agriculture ASPAC. *Frod and Fertilizer Technology Center Newsletter*, n° 4, pp. 9-10, 26 mars 1971.
- PARK Y.S., OH W.K., PARK C.S. — A study of the silica content of the rice plant. *Res. Rept. Off. Rur. Devlpmt (Korea)*, 7 (1), pp. 31-8, 1964.
- MIYOSHI H., ISHII H. — Effect of silicic acid and silicic slag on paddy rice. Part 1: A criterion to silicic application to paddy. *J. Sci. Soil Manure, Japan, 30 (7)*, pp. 337-40, Oct. 1959.
- IMAIZUMI K., YOSHIDA S. — Edaphological studies on silicon supplying power of paddy fields. *B. Natl. Inst. Agr. Sci., Serie B 8*, pp. 261-304, juin 1958.
- AYRES A.S., HAGIHARA H.H. — *Hawaï Planters Rec.* (54), 81, 1952.
- KIM Y.K., HONG C.W., PARK C.S., KIM Y.S. — Rapid examination of available silica for paddy soils. *Res. Rep. Office Rural Develop.* (14), pp. 39-44, Dec. 1971.
- NAIR P.K., AIYER R.S. — Status of available silica in the rice soils of Kerala State (India). I. Evaluation of different methods for determination of available silica in soils. *Agri. Res. J. Kerala, 1968-1*, 6 (1), pp. 20-5.