

INSTITUT DES SCIENCES AGRONOMIQUES DU BURUNDI

I.S.A.B.U.



Programme Fertilité des Sols.

Note Technique

**PREMIERES INDICATIONS SUR LA FERTILITE
DES SOLS DANS LES MARAIS RIZICOLES
D'ALTITUDE AU BURUNDI**

Luc OPDECAMP
Mathias WAKANA
Jacques GOURDIN

RESUME

Des données générales et des mesures expérimentales relatives à la fertilité des marais rizicoles de Ngozi sont présentées. Les variations spatiales des propriétés pédologiques des marais sont analysées, ainsi que leur évolution à court terme. De faibles teneurs absolues en fer et manganèse sont révélées par l'analyse chimique des eaux de nappes. Un risque de déficience potassique est diagnostiqué dans les sols et les eaux. De rapides oscillations de la nappe suivant le régime des précipitations sont mesurées par des relevés piezométriques.

Des mesures de rendement en riz et haricot ont indiqué que l'incidence des conditions hydrologiques saisonnières est primordiale. Des essais de chaulage se sont révélés inopérants, dans les sols acides de ces marais. Une fumure d'entretien sur riz s'est justifiée sur le plan écologique, mais est restée inefficace sur le plan économique. La restitution de la potasse par incinération des pailles a révélé un effet spectaculaire sur haricot. La productivité naturelle des sols de marais se situe autour de 2 t/ha de paddy et ne s'est pas altérée après 5 ans. Une étude de l'assimilation du phosphore est finalement suggérée pour améliorer les rendements.

SUMMARY

General and experimental data are presented on the soil fertility status of paddy cultivated swamps of Ngozi. Spatial variability and short term evolution of soil properties were analyzed. Low iron and manganese contents were detected in the ground water table, as well as the hazard of potassium deficiency in the swamp soils and waters. Piezometric data showed fast water table oscillations related to the rainfall pattern.

Rice and bean yields were predominantly influenced by seasonal hydrological conditions. Liming tests proved not significant in the acid soils of these swamps. Basic fertilization is acceptable from an ecological point of view, but is economically unjustified.

Burning rice straw produced spectacular effects on bean yields through K-restitution. Natural productivity of the Ngozi swamp soils was about 2 t/ha of paddy and it had not declined after 5 years cropping. Finally a study of phosphorus assimilability is suggested to further improve yields.

T A B L E D E S M A T I E R E S .

| | page. |
|---|-------|
| INTRODUCTION | 1 |
| DONNEES PEDOLOGIQUES | 2 |
| Observations préliminaires | 2 |
| Variabilité spatiale des caractéristiques physico-chimiques du sol | 5 |
| Evolution des caractéristiques physico-chimiques du sol à.. court terme..... | 9 |
| DONNEES HYDROLOGIQUES | 10 |
| Composition chimique des eaux de nappe | 10 |
| Observations piézométriques..... | 12 |
| RENDEMENTS ET FERTILISATON | 15 |
| Données générales pour le Buyenzi | 15 |
| Tests engrais-calcaire | 15 |
| Exportations du riz | 16 |
| Effet de l'incinération des pailles de riz sur le rendement du haricot..... | 17 |
| Effets d'une fertilisation d'entretien sur les rendements.. du riz..... | 18 |
| Riziculture de nappe | 18 |
| Riziculture submergée | 19 |
| CONCLUSIONS GENERALES | 21 |
| REMERCIEMENTS | 22 |
| LITTERATURE CITEE | 22 |

INTRODUCTION.

Depuis l'introduction par l'ISABU de variétés de riz tolérant les basses températures en vigueur au Burundi dans les vastes marais du Nord - Est, à des altitudes de 1400 à 1600 m, des mutations fondamentales du mode d'exploitation de ces marais se sont déroulées chez de plus en plus de fermiers.

On a observé effectivement un engouement pour la riziculture, qui permet en saison des pluies une exploitation plus intensive des formations marécageuses. Si, auparavant, l'association maïs-haricot était pratiquée de juillet à décembre, en culture sur billons, une jachère y succédait, qui était brûlée à la saison sèche suivante. Aujourd'hui, cette jachère saisonnière disparaît au profit d'une saison rizicole et le maïs, de cycle trop long, disparaît de l'ancienne association. On assiste donc à une rotation saisonnière haricot-riz se substituant progressivement à l'association maïs-haricot suivie d'une jachère.

D'autre part, certains marais précédemment ignorés par les fermiers, pour cause de nappe phréatique trop élevée, se voient aujourd'hui emblavés en riz.

De tels bouleversements agricoles retiennent l'attention de la recherche agronomique, car plusieurs interrogations se posent chaque jour avec plus d'acuité:

- l'harmonisation des aménagements rizicoles (nappe haute) avec ceux du haricot (nappe basse, billons);
- les risques de chute de fertilité des sols suite à leur exploitation accrue, sans technique particulière de conservation;
- la diffusion rapide de maladies telles que la piriculariose et la bactériose;
- la sélection de variétés plus adaptées ou plus résistantes;
- la spécificité pédo-écologique des marais organiques mis en exploitation rizicole;
- etc.

On a tenté ici d'approcher le statut de fertilité des sols de marais, en synthétisant et discutant les données acquises depuis quelques années dans le cadre de l'ISABU, ou d'institutions extérieures diverses.

DONNEES PEDOLOGIQUES.

Observations préliminaires .

Au cours d'une phase de prospection pour le choix de sites expérimentaux, quelques observations pédologiques ont été effectuées dans les marais de la région de Ngozi. La localisation de ces observations est fournie à la figure 1.

Les sols sont évidemment marqués par une hydromorphie permanente, où la nappe phréatique oscille durant l'année suivant l'importance des pluies. La nappe est généralement présente bien avant 50 cm de profondeur durant la saison pluvieuse. En surface, le sol présente une couleur noirâtre liée à une abondante quantité de matière organique. Des débris végétaux non décomposés peuvent y être observés en quantité variable, mais généralement faible, de l'ordre de 5 % .

Du point de vue textural, des variations importantes de teneur en argile sont détectées horizontalement dans un même marais et verticalement dans un même sol . L'évolution verticale des teneurs en argile est présentée au tableau I, pour les quatre sites observés

Tableau I : Variations verticales des teneurs en argile (% A) dans les échantillons au cours des observations préliminaires

| Site RUGORI | | Site CAMUGANI | | Site AKAGOMA | | Site MAKABA | |
|-------------|-----|---------------|-----|--------------|-----|-------------|-----|
| Prof.(cm) | % A | Prof.(cm) | % A | Prof.(cm) | % A | Prof.(cm) | % A |
| 0 - 15 | 79 | 0 - 15 | 72 | 0 - 40 | 60 | 0 - 20 | 87 |
| 15 - 30 | 91 | 15 - 30 | 60 | 40 - 70 | 40 | 20 - 35 | 88 |
| - | - | 30 - 45 | 61 | - | - | 35 - 60 | 94 |
| - | - | + 100 | 22 | - | - | + 130 | 37 |

Morphologiquement, les matériaux superposés sont gleyifiés et développent des couleurs grisâtres (value = ± 6 ; chroma = ± 1), typiques des réactions de réductions de fer. Les caractéristiques analytiques des sols échantillonnés sont reproduites dans les tableaux II et III.

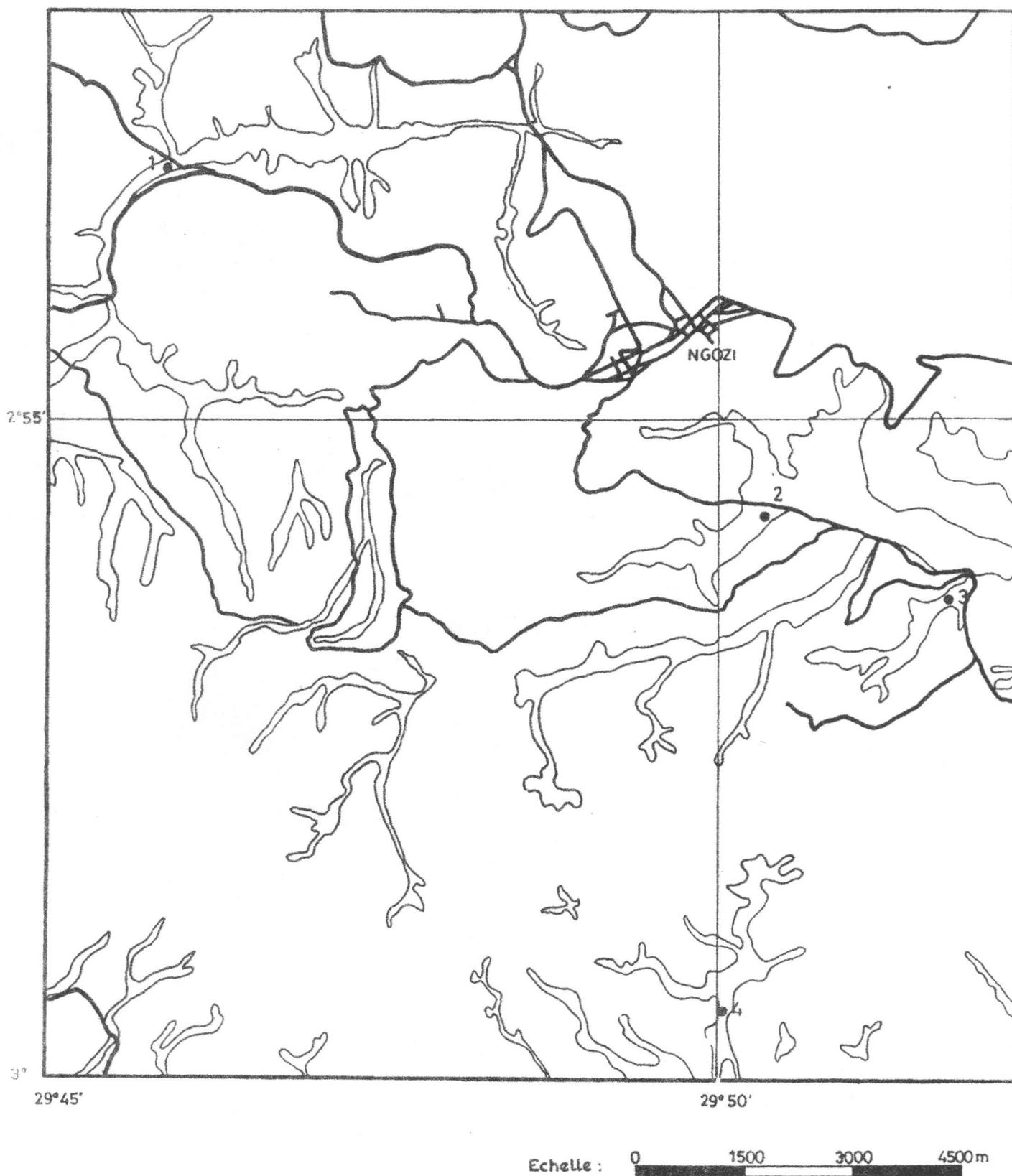


Figure 1 : Localisation des observations hydro-pédo-analytiques

- Site 1 : RUGORI
- Site 2 : CAMUGANI
- Site 3 : AKAGOMA
- Site 4 : MAKABA

Tableau II: Teneurs en carbone organique (%C), en azote (%N), conductivité électrique (CE) et pH dans les sols échantillonnés au cours des observations préliminaires.

| Site | Prof.(cm) | % C | % N | C/N | pH H ₂ O | pH KCL | CE mmhc/cm |
|----------|-----------|------|------|------|------------------------|-----------|---------------|
| RUGORI | 0 - 15 | 11.3 | 0.81 | 14.0 | 5.2 | 4.2 | 0.048 |
| | 15 - 30 | - | - | - | 4.4 | 3.7 | 0.229 |
| CAMUGANI | 0 - 15 | 10.1 | 0.87 | 11.7 | 5.0 | 4.1 | 0.059 |
| | 15 - 30 | 4.6 | - | - | 5.2 | 4.2 | 0.046 |
| | 30 - 45 | 0.8 | - | - | 4.8 | 3.7 | 0.040 |
| | + 100 | 0.1 | - | - | 4.7 | 3.7 | 0.024 |
| AKAGOMA | 0 - 40 | 11.3 | 0.90 | 12.5 | 5.3 | 4.4 | 0.057 |
| | 40 - 70 | 3.5 | 0.30 | 11.5 | 5.1 | 4.0 | 0.020 |
| MAKABA | 0 - 20 | 20.3 | 1.95 | 10.4 | 4.3 | 4.0 | 0.564 |
| | 20 - 35 | 14.0 | 2.06 | 6.8 | 3.8 | 3.5 | 0.895 |
| | 35 - 60 | 14.6 | 1.85 | 7.9 | 4.0 | 3.4 | 0.412 |
| | + 130 | 1.2 | 0.13 | 9.0 | 4.8 | 3.6 | 0.033 |

Les teneurs en carbone organique dépassent les 10% en surface. A cet égard, il convient de préciser que les sols organiques lourds (+ de 60% d'argile) sont définis par une teneur en carbone de plus de 18% sur une épaisseur variable suivant les classifications utilisées. Du point de vue taxonomique, seul le sol de MAKABA peut être considéré comme organique. De toute manière, un "capital" important en matière organique caractérise tous les sols échantillonnés, du moins dans les 30 premiers cm. On observera d'autre part que les rapports C/N ne sont pas diagnostiques de matériaux tourbeux : la matière organique est relativement bien décomposée et sa minéralisation ne semble pas devoir être compromise par un déficit d'azote. Les pH sont acides. Localement, de hautes conductivités électriques sont mesurées, que l'on attribue aux teneurs particulièrement élevées en calcium.

Tableau III: Cations échangeables, capacité effective d'échange cationique (ECEC) et taux de saturation aluminique (m) dans les sols échantillonnés au cours des observations préliminaires.

| Site | Prof.(cm) | Ca | Mg | K | Na | Al | H | ECEC | m |
|----------|-----------|------------|------|------|------|------|------|-------|----|
| | | még/100 gr | | | | | | | % |
| RUGARI | 0 - 15 | 7.34 | 1.74 | 0.13 | 0.06 | 0.58 | 0.18 | 9.95 | 6 |
| | 15 - 30 | 11.88 | 3.94 | 0.26 | 0.17 | 1.38 | 0.86 | 18.49 | 7 |
| CAMUGANI | 0 - 15 | 4.24 | 1.07 | 0.17 | 0.04 | 3.45 | 0.33 | 9.30 | 37 |
| | 15 - 30 | 5.01 | 1.85 | 0.05 | 0.07 | 1.04 | 0.23 | 8.25 | 13 |
| | 30 - 45 | 3.55 | 1.52 | 0.03 | 0.04 | 2.52 | 0.01 | 7.67 | 33 |
| | + 100 | 0.78 | 0.41 | 0.03 | 0.03 | 1.39 | 0.76 | 3.40 | 41 |
| AKAGOMA | 0 - 40 | 6.33 | 1.39 | 0.12 | 0.06 | 0.78 | 0.29 | 8.97 | 9 |
| | 40 - 70 | 2.68 | 0.73 | 0.06 | 0.03 | 1.30 | 0.17 | 4.97 | 26 |
| MAKABA | 0 - 20 | 11.90 | 0.90 | 0.26 | 0.03 | 2.71 | 0.60 | 16.40 | 17 |
| | 20 - 35 | 13.03 | 0.80 | 0.19 | 0.08 | 3.58 | 0.91 | 18.59 | 19 |
| | 35 - 60 | 14.16 | 3.39 | 0.12 | 0.09 | 1.40 | 1.57 | 20.73 | 7 |
| | + 130 | 2.11 | 0.90 | 0.03 | 0.02 | 1.59 | 0.86 | 5.51 | 29 |

Les pH assez acides reproduits dans le tableau II ne se traduisent pas par des teneurs très élevées en aluminium. Au vu des indices "m" du tableau III, il n'y aurait pas lieu de craindre dans ces marais des problèmes de toxicité en aluminium, ni pour le riz, ni pour le maïs, ni pour le haricot. Une nette dominance du calcium et du magnésium est observée par rapport aux autres bases échangeables, plus particulièrement par rapport au potassium. Les rapports "(Ca + Mg) / K" dépassent fréquemment 60, parfois même 100, ce qui entraîne des risques de carences potassiques assez élevés.

Variabilité spatiale des caractéristiques physico-chimiques du sol.

Le marais de l'AKAGOMA (site n° 3 à la figure 1) a été retenu par l'ISABU pour aborder les problèmes posés par la conservation de la fertilité des marais rizicoles d'altitude. Un dispositif expérimental y a été adopté, basé sur deux modes d'exploitation: la riziculture submergée (casières) et la riziculture de nappe. Le parcellaire en est fourni aux figures 2 et 3. Toutes les parcelles concernées ont subi un échantillonnage composite (20 prises/parcelle) de 0 à 15 cm de profondeur. La caractérisation analytique des échantillons, reproduite dans les tableaux IV et V, permet d'analyser la variabilité spatiale au sein d'un même marais.

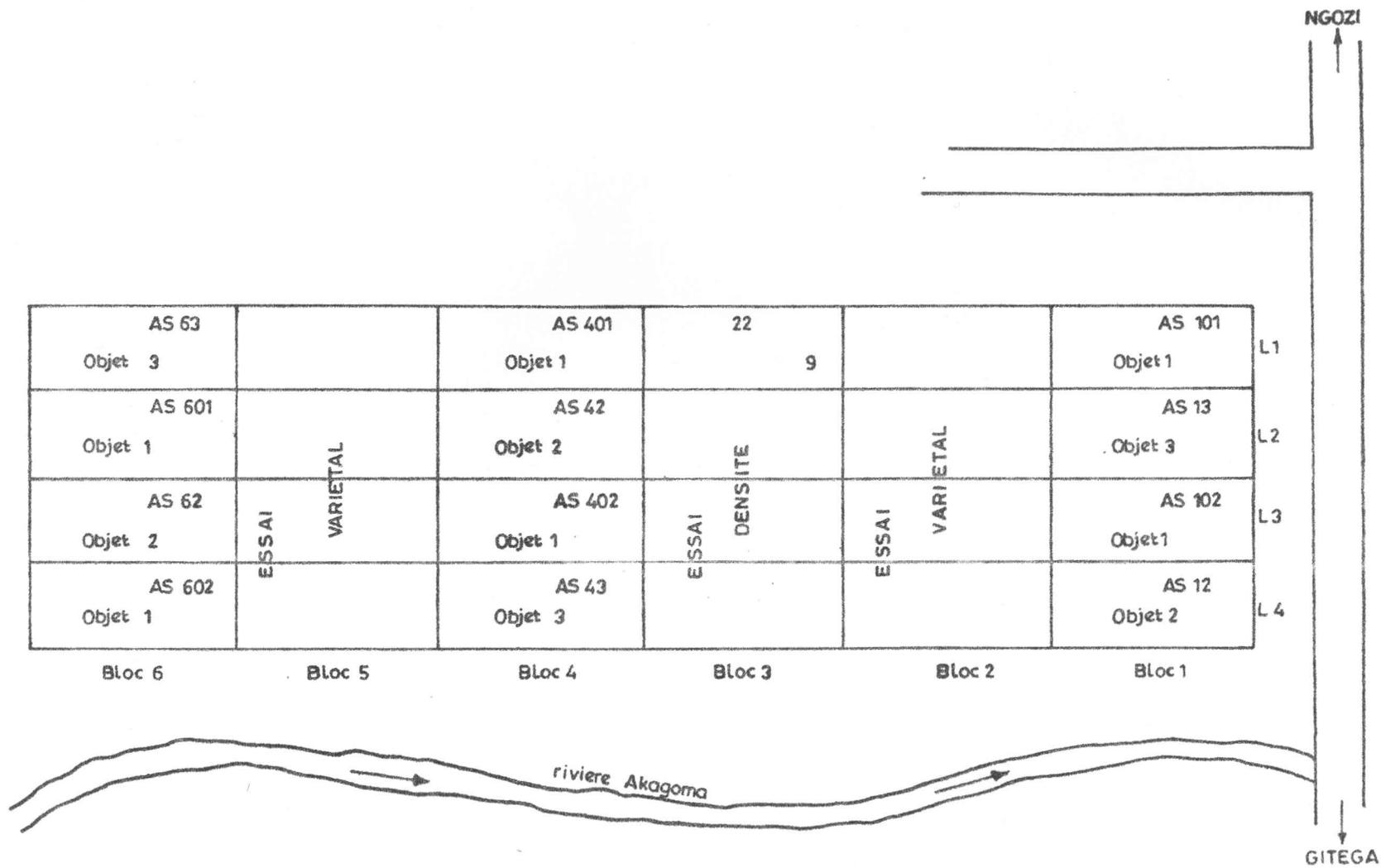


Figure 2: Schéma du dispositif en riziculture submergée (partie aval)

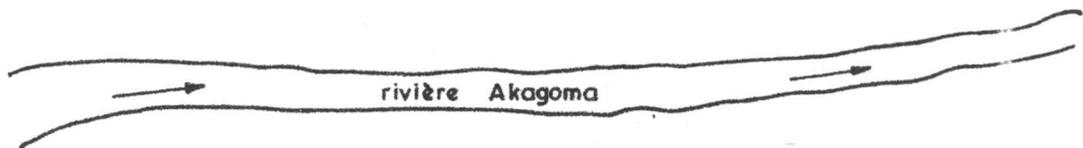
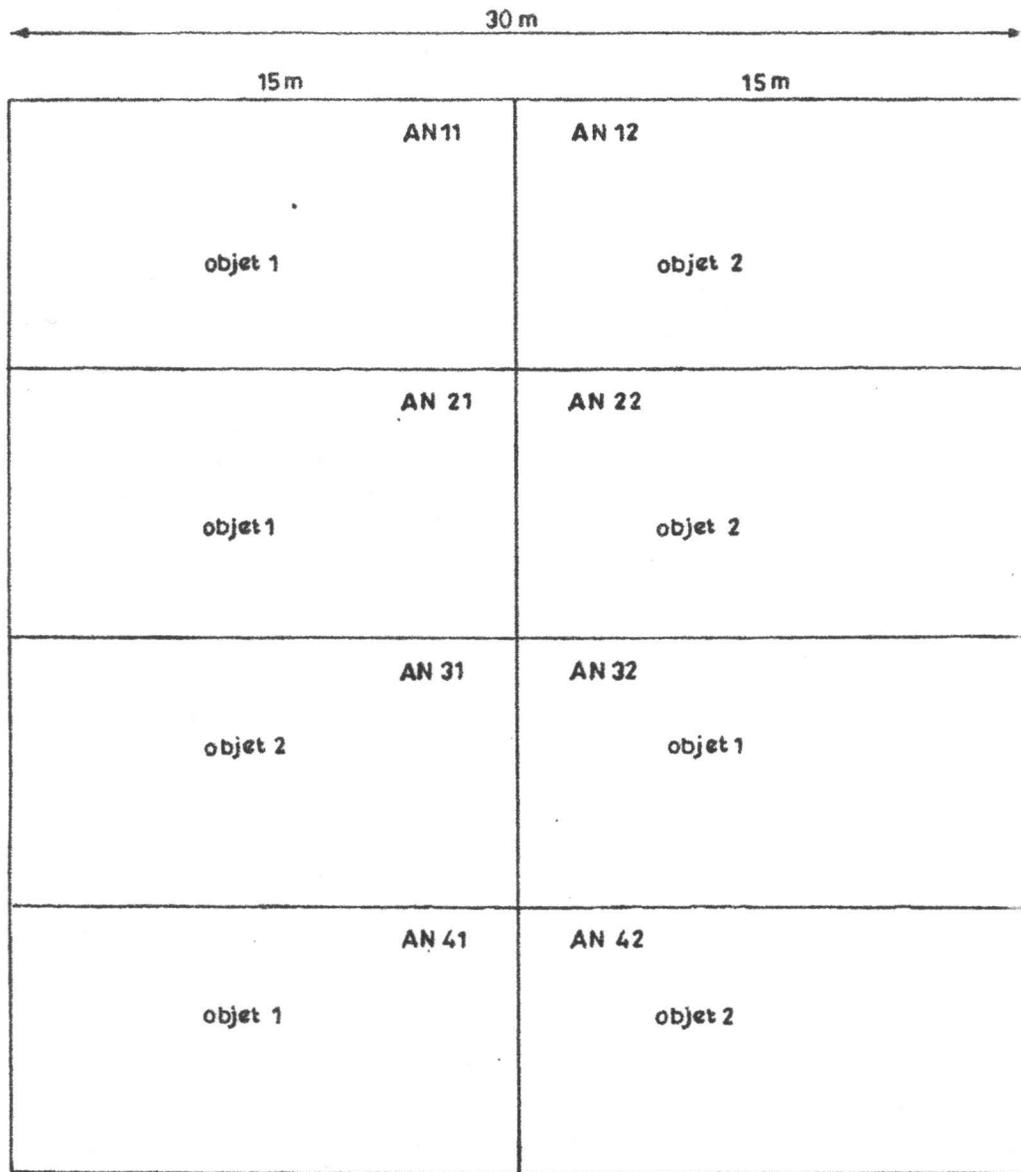


Figure 3 : Schéma du dispositif en riziculture de nappe (partie amont)

Tableau IV : Caractéristiques analytiques relatives à la matière organique, au phosphore (Olsen-Dabin), au pH (rapport 1/5) et à la conductivité électrique (CE, rapport 1/5). Echantillonnages composites (20 prises) prélevées de 0 à 15 cm le 4/01/1988 . AKAGOMA .

| N°. Labo | Parcelle | pH | | CE mmho/cm | C % | N % | C/N | P ppm |
|----------|----------|-----|-----|---------------|--------|--------|------|----------|
| | | H2O | KCl | | | | | |
| H 990 | AN 11 | 5.4 | 4.5 | 0.074 | 16.43 | 1.02 | 16.1 | 155 |
| H 991 | AN 12 | 5.4 | 4.5 | 0.068 | 16.08 | 1.07 | 15.0 | 115 |
| H 992 | AN 21 | 5.3 | 4.4 | 0.086 | 16.32 | 1.01 | 16.2 | 145 |
| H 993 | AN 22 | 5.4 | 4.5 | 0.077 | 17.46 | 1.07 | 16.3 | 168 |
| H 994 | AN 31 | 5.4 | 4.5 | 0.094 | 20.98 | 1.25 | 16.8 | 118 |
| H 995 | AN 32 | 5.6 | 4.7 | 0.080 | 21.06 | 1.29 | 16.3 | 168 |
| H 996 | AN 41 | 5.6 | 4.7 | 0.090 | 19.08 | 1.01 | 18.9 | 143 |
| H 997 | AN 42 | 5.8 | 4.9 | 0.115 | 21.69 | 1.40 | 15.5 | 158 |
| | | | | | | | | |
| H 998 | AS 101 | 5.2 | 4.2 | 0.047 | 9.68 | 0.59 | 16.4 | 130 |
| H 999 | AS 102 | 5.2 | 4.2 | 0.053 | 13.00 | 0.82 | 15.9 | 115 |
| H 1000 | AS 12 | 5.1 | 4.2 | 0.043 | 12.44 | 0.77 | 16.2 | 120 |
| I 1 | AS 13 | 5.1 | 4.4 | 0.062 | 14.58 | 0.83 | 17.6 | 138 |
| I 2 | AS 401 | 5.3 | 4.3 | 0.036 | 7.15 | 0.50 | 14.3 | 98 |
| I 3 | AS 402 | 5.1 | 4.3 | 0.086 | 13.79 | 0.79 | 17.5 | 120 |
| I 4 | AS 42 | 5.3 | 4.3 | 0.056 | 12.21 | 0.72 | 17.0 | 100 |
| I 5 | AS 43 | 5.1 | 4.2 | 0.046 | 12.44 | 0.78 | 15.9 | 120 |
| I 6 | AS 601 | 5.3 | 4.5 | 0.043 | 12.37 | 0.73 | 16.9 | 138 |
| I 7 | AS 602 | 5.2 | 4.4 | 0.043 | 13.16 | 0.78 | 16.9 | 120 |
| I 8 | AS 62 | 5.3 | 4.5 | 0.042 | 11.18 | 0.68 | 16.4 | 113 |
| I 9 | AS 63 | 5.3 | 4.4 | 0.043 | 10.39 | 0.72 | 14.4 | 83 |

On observe que la partie amont du site expérimental est plus riche en carbone organique, avec des teneurs qui peuvent dépasser les 20 %. Les teneurs en phosphore sont élevées et assez régulières. La partie amont du site présente un pH et une conductivité électrique plus élevés qu'en aval. Le contraste s'accroît lorsqu'on examine le complexe adsorbant (tableau V ci-après): plus haute teneur en bivalents et moindre teneur en aluminium en amont qu'en aval. On remarquera aussi que les teneurs en cations échangeables peuvent varier du simple au double au sein d'un même mode d'exploitation du marais. Ces observations confirment la possibilité d'existence de fortes variations des propriétés du sol dans un marais, et ce sur de courtes distances. Un marais est essentiellement hétérogène du point de vue pédologique: variations horizontales et verticales n'obéissant à aucune loi connue de distribution.

Tableau V : Caractéristiques analytiques relatives au complexe adsorbant, somme des bases échangeables (S), capacité d'échange cationique effective (ECEC) et saturation aluminique effective (m).

Echantillons composites (20 prises) prélevés de 0 à 15 cm le 04/01/1988. AKAGOMA.

| Parcelle | Ca | Mg | K | Na | S | Al | H | ECEC | m |
|----------|-------|------|------|------|------------|-------|------|-------|----|
| | ----- | | | | még/100 gr | ----- | | | % |
| AN 11 | 12.37 | 2.98 | 0.10 | 0.18 | 15.63 | 0.26 | 0.17 | 16.06 | 2 |
| AN 12 | 12.33 | 2.84 | 0.14 | 0.17 | 15.48 | 0.33 | 0.19 | 16.00 | 2 |
| AN 21 | 11.29 | 2.63 | 0.10 | 0.17 | 14.19 | 0.32 | 0.15 | 14.76 | 2 |
| AN 22 | 11.15 | 2.57 | 0.11 | 0.19 | 14.02 | 0.30 | 0.23 | 14.55 | 2 |
| AN 31 | 13.28 | 3.27 | 0.13 | 0.22 | 16.90 | 0.31 | 0.26 | 17.47 | 2 |
| AN 32 | 15.88 | 4.89 | 0.12 | 0.20 | 21.09 | 0.14 | 0.25 | 21.48 | 1 |
| AN 41 | 16.13 | 4.69 | 0.13 | 0.15 | 21.10 | 0.07 | 0.32 | 21.49 | 0 |
| AN 42 | 20.67 | 6.87 | 0.28 | 0.32 | 28.14 | 0.04 | 0.22 | 28.40 | 0 |
| AS 101 | 3.65 | 0.90 | 0.07 | 0.07 | 4.69 | 1.02 | 0.32 | 6.03 | 17 |
| AS 102 | 5.01 | 1.23 | 0.10 | 0.08 | 6.42 | 0.99 | 0.39 | 7.80 | 13 |
| AS 12 | 4.65 | 1.23 | 0.09 | 0.10 | 6.07 | 1.38 | 0.36 | 7.81 | 18 |
| AS 13 | 6.25 | 1.30 | 0.10 | 0.09 | 7.74 | 0.94 | 0.28 | 8.96 | 10 |
| AS 401 | 4.43 | 1.15 | 0.06 | 0.11 | 5.75 | 0.99 | 0.31 | 7.05 | 14 |
| AS 402 | 7.27 | 1.40 | 0.09 | 0.10 | 8.86 | 0.72 | 0.41 | 9.99 | 7 |
| AS 42 | 9.97 | 1.99 | 0.06 | 0.07 | 12.09 | 0.70 | 0.23 | 13.02 | 5 |
| AS 43 | 4.80 | 1.15 | 0.09 | 0.07 | 6.11 | 1.88 | 0.30 | 8.29 | 23 |
| AS 601 | 7.79 | 1.36 | 0.07 | 0.10 | 9.32 | 0.53 | 0.22 | 10.05 | 5 |
| AS 602 | 5.27 | 1.03 | 0.08 | 0.09 | 6.47 | 0.99 | 0.35 | 7.81 | 13 |
| AS 62 | 6.65 | 1.25 | 0.08 | 0.12 | 8.10 | 0.57 | 0.21 | 8.88 | 6 |
| AS 63 | 8.06 | 1.77 | 0.07 | 0.09 | 9.99 | 0.47 | 0.26 | 10.72 | 4 |

Evolution des caractéristiques physico-chimiques du sol à court terme

Pendant deux ans, quatre parcelles du marais AKAGOMA ont été échantillonnées en surface pour suivre l'évolution de leurs caractéristiques physico-chimiques sous mise en valeur intensifiée, mais sans engrais ni amendements quelconques. Les résultats sont reproduits au tableau VI.

On ne détecte aucun bouleversement du complexe adsorbant. Des petites variations d'un prélèvement à l'autre, qui peuvent être considérés comme de l'ordre de grandeur de l'erreur analytique. Le rapport C/N paraît assez instable. Un fait plus significatif est la chute régulière de la conductivité électrique dans pratiquement toutes les parcelles. Cette diminution progressive n'est cependant pas associée à une perte d'éléments biogènes, puisque les bases échangeables ne diminuent pas. Il n'y a donc pas d'implications négatives apparentes de ce phénomène sur la fertilité du sol. Par

ailleurs, ce dernier peut être purement fortuit, lié à des variations en sels solubles dans la nappe phréatique en fonction de ses oscillations propres et des flux vers l'aval.

Tableau VI: Evolution des caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle du sol (0-15 cm) du marais AKAGOMA entre décembre 1985 et janvier 1988.

| Parc. | Prélév. | pH H ₂ O | CE mmho/cm | Mat. organique | | | Cat. échangeables | | | |
|--------|---------|------------------------|---------------|----------------|--------|------|-------------------|-----|-----|------------------|
| | | | | C % | N % | C/N | Ca | Mg | K | Al méq/100 gr |
| AN 41 | 12/85 | 5.2 | 0.458 | 19.0 | 1.37 | 13.9 | 8.3 | 5.7 | 0.3 | 0.2 |
| | 07/86 | 5.4 | 0.192 | 19.6 | 1.39 | 14.1 | 12.4 | 4.7 | 0.2 | 0.2 |
| | 01/87 | 5.4 | 0.154 | 18.7 | 1.37 | 13.7 | 15.0 | 4.1 | 0.1 | 0.2 |
| | 01/88 | 5.6 | 0.090 | 19.1 | 1.01 | 18.9 | 16.1 | 4.7 | 0.1 | 0.1 |
| AN 21 | 12/85 | 5.2 | 0.272 | 19.4 | 1.20 | 16.2 | 11.9 | 3.2 | 0.3 | 0.3 |
| | 07/86 | 5.3 | 0.152 | 17.8 | 1.27 | 14.0 | 12.0 | 3.9 | 0.1 | 0.4 |
| | 01/87 | 5.2 | 0.141 | 16.2 | 1.23 | 13.2 | 11.6 | 2.7 | 0.1 | 0.4 |
| | 01/88 | 5.3 | 0.086 | 16.3 | 1.01 | 16.2 | 11.3 | 2.6 | 0.1 | 0.3 |
| AS 12 | 12/85 | 4.8 | 0.193 | 6.5 | 0.70 | 9.3 | 3.5 | 0.8 | 0.1 | 1.7 |
| | 07/86 | 5.1 | 0.075 | 9.3 | 0.59 | 15.7 | 3.4 | 0.8 | 0.1 | 1.2 |
| | 01/87 | 5.5 | 0.041 | 7.3 | 0.59 | 12.4 | 2.8 | 0.7 | 0.1 | 1.1 |
| | 01/88 | 5.1 | 0.043 | 12.4 | 0.77 | 16.2 | 4.6 | 1.2 | 0.1 | 1.4 |
| AS 101 | 12/85 | 4.9 | 0.166 | 6.0 | 0.62 | 9.7 | 3.5 | 0.8 | 0.1 | 1.7 |
| | 07/86 | 5.0 | 0.070 | 9.7 | 0.66 | 14.7 | 2.8 | 0.7 | 0.1 | 1.6 |
| | 01/87 | 5.3 | 0.053 | 6.9 | 0.69 | 10.0 | 3.9 | 1.0 | 0.1 | 1.2 |
| | 01/88 | 5.2 | 0.047 | 9.7 | 0.59 | 16.2 | 3.6 | 0.9 | 0.1 | 1.0 |

DONNEES HYDROLOGIQUES.

Composition chimique des eaux de nappe.

Les quatre sites d'observations préliminaires (figure 1) ont été également caractérisés quant à la composition chimique de leur nappe phréatique. Les résultats sont reproduits dans les tableaux VII et VIII, respectivement pour leur composition anionique et cationique.

Tableau VII : Composition anionique, pH et conductivité électrique (CE) de l'eau de nappe phréatique dans les 4 sites préliminaires.

| Site | pH | CE | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ |
|----------|-----|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | | mmho/cm | -----még/ l ----- | | | |
| RUGORI | 5.8 | 0.192 | 0.00 | 1.39 | - | - |
| CAMUGANI | 5.5 | 0.151 | 0.00 | 0.07 | 1.49 | 0.00 |
| AKAGOMA | 5.7 | 0.126 | 0.00 | 1.39 | - | - |
| MAKABA | 5.4 | 0.302 | 0.00 | 0.12 | 2.56 | 0.00 |

Il s'agit d'eaux acides, à l'image des sols qu'elles baignent et dont elles constituent la solution. Dans ces conditions, on ne détecte pas de carbonates, mais seulement des bicarbonates. La présence de sulfates est également détectée, mais pas de chlorures. D'autres anions n'ont pas été dosés. La conductivité électrique relativement élevée est attribuée à la richesse du sol en éléments minéraux, particulièrement en calcium. Il convient de remarquer que la concentration de ces éléments dans la nappe peut subir des variations significatives dans le temps.

Tableau VIII : Composition cationique de l'eau de nappe phréatique dans les 4 sites préliminaires.

| Site | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Mn | Fe |
|----------|--------------------|------------------|----------------|-----------------|------|------|
| | -----még / l ----- | | | | | |
| RUGORI | 0.47 | 0.26 | 0.02 | 0.11 | 0.05 | 0.33 |
| CAMUGANI | 0.81 | 0.46 | 0.01 | 0.22 | 0.02 | 0.05 |
| AKAGOMA | 0.75 | 0.51 | 0.03 | 0.13 | 0.02 | 0.57 |
| MAKABA | 1.15 | 0.67 | 0.02 | 0.10 | 0.04 | 1.65 |

Note : Fe et Mn exprimés comme cations divalents.

La composition cationique des eaux révèle une faible proportion relative du potassium à l'égard du calcium et du magnésium, comme cela avait également été observé sur le complexe adsorbant des sols. Les teneurs en fer sont faibles, variant dans les sites explorés entre 1 et 50 ppm. SANCHEZ (1976) cite des seuils de toxicité de 350 ppm en solution du sol, et des seuils de déficience de 20 ppm. Les eaux des marais considérés seraient dès lors plutôt déficientes que toxiques en fer pour le riz. Les teneurs en manganèse réduit varient de 0.5 à 1.5 ppm, ce qui est très faible.

En conclusion, les eaux de nappe des marais étudiés sont légèrement acides, et assez riches en éléments minéraux.

Sur base des teneurs absolues, on ne diagnostique pas de risque de toxicité en fer ou en manganèse. Les concentrations relatives en potassium confirment les risques de déficience en cet élément, qui ont déjà été diagnostiqués au niveau pédologique.

Observations piézométriques.

Plusieurs piézomètres ont été installés dans le marais AKAGOMA, ainsi qu'une station météorologique. Les mesures effectuées permettent de suivre les oscillations de la nappe phréatique, en relation avec les précipitations. La figure 4 reproduit des relevés partiels en 1986 et 1988. On observe qu'en saison sèche (juillet à septembre) la nappe est la plus basse, et atteint normalement son niveau minimum vers août - septembre. L'amplitude moyenne de l'oscillation peut approcher 40 cm. Il existe cependant des années plus humides, telle que 1988, où la nappe reste plus élevée en saison sèche, et où son niveau est aussi influencé par des pluies durant cette saison. La figure 5 illustre précisément la remontée rapide de la nappe en pleine saison sèche, suite à une forte pluie.

En conclusion, la nappe des marais peut osciller avec des amplitudes variables suivant les années et est fortement dépendante du régime des précipitations. Il existe des années assez pluvieuses où la nappe peut rapidement affleurer après le retour des pluies. Des conditions plus ou moins asphyxiantes pour la culture du haricot en saison C peuvent alors être rencontrées. Inversément, on peut prédire une chute rapide de nappe en cas de basses précipitations momentanées en saison pluvieuse, pouvant alors induire un stress hydrique sur riz.

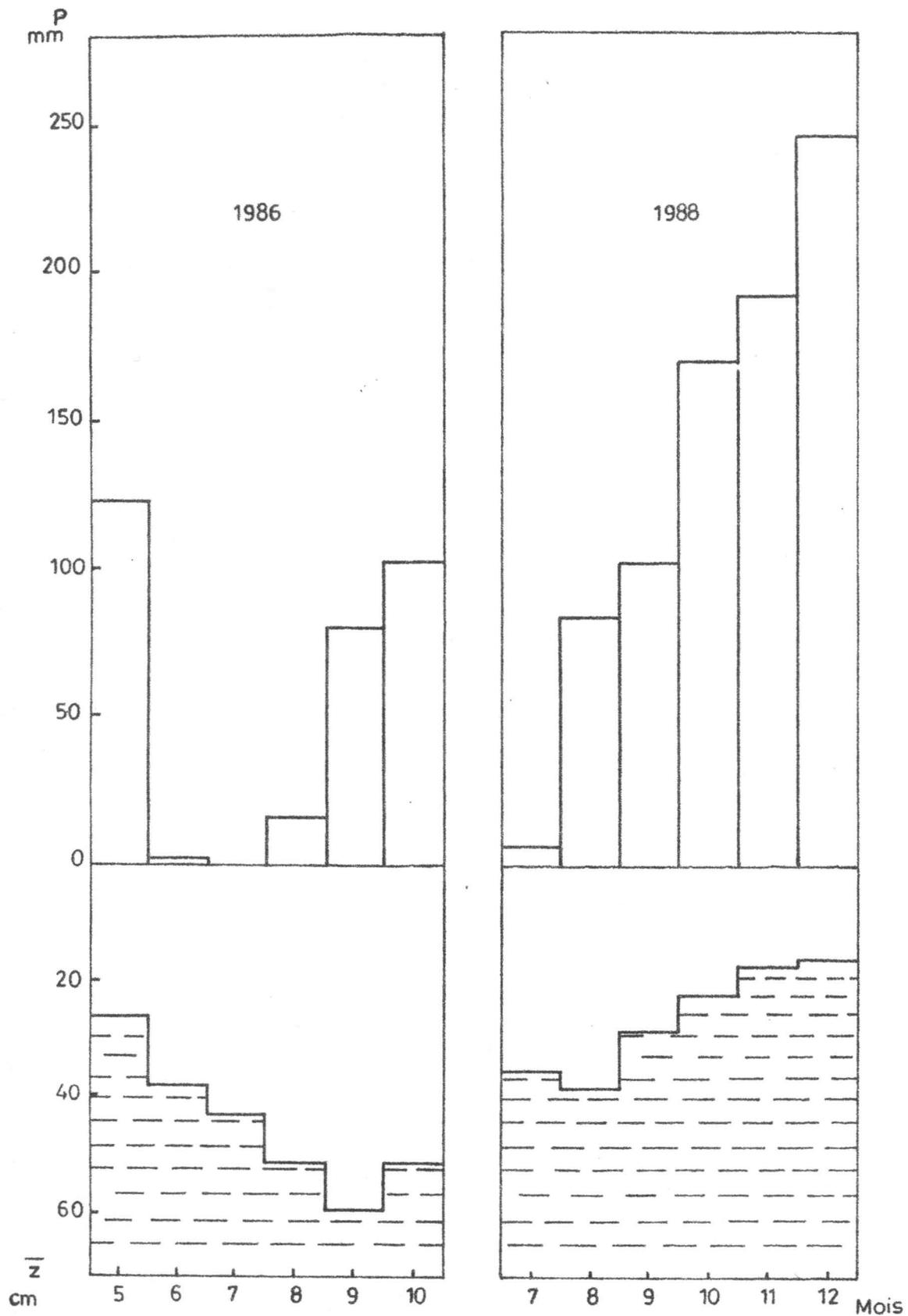


Figure 4 : Evolutions du niveau moyen mensuel (\bar{z}) de la nappe dans le marais AKAGOMA, en fonction de la hauteur mensuelle des précipitations. Relevés partiels de 1986 et 1988 (Piézomètre n°4)

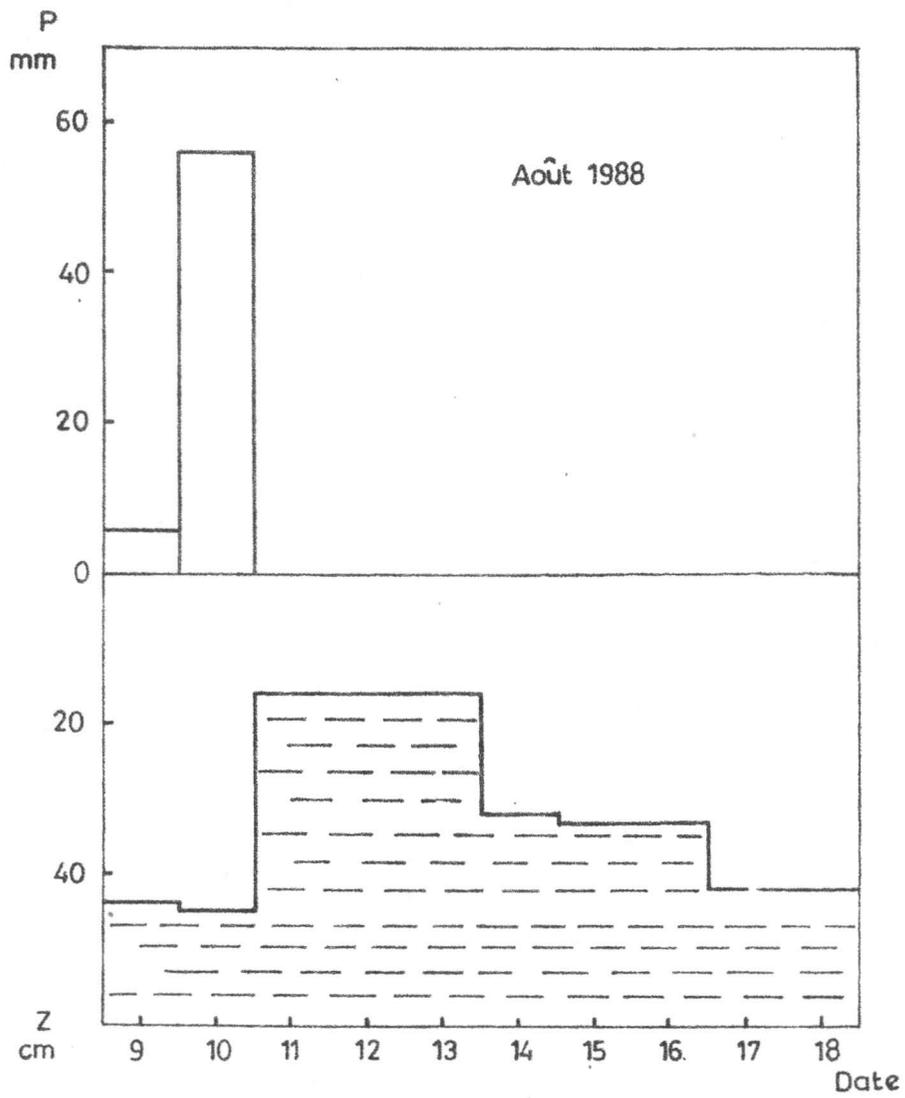


Figure 5: Incidence d'une forte pluie de saison sèche (août 88) sur la remontée de nappe dans le marais AKAGOMA
 P = précipitation journalière en mm
 Z = profondeur de la nappe en cm (Piézomètre n°4)

RENDEMENTS ET FERTILISATION.

Données générales pour le BUYENZI.

La SRD BUYENZI mesure l'évolution des emblavures en riz depuis 1982 ainsi que celle des rendements moyens chez les riziculteurs. Le tableau IX reproduit ses données.

Tableau IX: Evolution des superficies en riziculture de marais dans le Buyenzi et des rendements moyen en paddy depuis 1982
 Source: SRD BUYENZI, Rapports annuels 1982 à 1988.

| Année | Superficie repiquée (ha) | Rendement moyen (kg/ha) |
|-------|-----------------------------|----------------------------|
| 1982 | 84 | +/- 2000 |
| 1983 | 100 | +/- 2000 |
| 1984 | 491 | +/- 2000 |
| 1985 | 830 | 2916 |
| 1986 | 1428 | 2268 |
| 1987 | 2496 | 2809 |
| 1988 | 2524 | 2590 |

On observe une progression quasi - géométrique des emblavures ainsi qu'une certaine stabilité des rendements moyens. Ces données confirment l'engouement pour la riziculture dans la région, et ne permettent pas de diagnostiquer une quelconque chute de fertilité des marais suite à leur mutation rizicole en saison des pluies.

Tests engrais - calcaire.

Dans deux marais de Ngozi, KAGOMA et GAHERA, la recherche d'accompagnement de la SRD BUYENZI a testé l'effet isolé ou synergique de l'application de 100 kg/ha de DAP (diammonium phosphate) et de 50 kg/ha d'urée d'une part, et, d'autre part, de 250 kg/ha de calcaire broyé (25 répétitions). L'engrais et/ou le calcaire sont appliqués en saison C sur l'association haricot - maïs, le riz de saison B en bénéficie seulement comme arrière - effet éventuel. Les résultats obtenus démontrent l'absence d'effet du calcaire en saison C sur le haricot ainsi que l'absence d'arrière - effet sur le riz, dans les 2 marais considérés. Par contre, un effet significatif de l'engrais est détecté sur haricot, mais sans arrière - effet sur le riz (ISABU, Rapport Annuel 1988).

Exportations du riz.

Etant donné le capital de fertilité des marais, principalement sous forme organique, étant donné également l'absence de diagnostic préalable de toxicité en aluminium ou en fer, la recherche s'est orientée vers des essais de conservation de la fertilité des sols. Dans ce cadre, on visera essentiellement à compenser les exportations supplémentaires dues à la riziculture. Ces exportations ont été mesurées en dosant les principaux éléments biogènes dans le riz, au niveau des pailles et des panicules, dans le marais expérimental de l'ISABU. Les résultats sont reproduits dans le tableau X.

Tableau X : Teneurs minimales (MIN.), maximales (MAX.) et moyennes (MOY.) en éléments biogènes des pailles et panicules de riz secs. Mesures effectuées sur récolte de riz YUNNAN-3 en saison 88 B dans le marais de l'AKAGOMA.

| Matériau | Teneurs | % N | % P2O5 | % K2O | % CaO | % MgO |
|-----------|---------|------|--------|-------|-------|-------|
| pailles | MIN. | 0.80 | 0.09 | 1.12 | 0.51 | 0.30 |
| | MAX. | 1.12 | 0.18 | 1.55 | 0.55 | 0.38 |
| | MOY. | 0.94 | 0.13 | 1.28 | 0.53 | 0.33 |
| panicules | MIN. | 1.60 | 0.37 | 0.32 | 0.04 | 0.15 |
| | MAX. | 1.78 | 0.50 | 0.47 | 0.10 | 0.18 |
| | MOY. | 1.68 | 0.43 | 0.40 | 0.07 | 0.17 |

On remarquera la teneur élevée en potasse dans les pailles du riz, ce qui est une observation classique pour les céréales. En mesurant d'autre part la quantité de paille produite et le poids des panicules pour une production d'une tonne de paddy, on peut évaluer les exportations à l'hectare. Les résultats sont fournis au tableau XI.

Tableau XI: Quantités moyennes d'éléments biogènes exportées dans les pailles et les panicules de riz, par tonne/ha de riz paddy produite.

Calculs sur base des analyses de la récolte YUNNAN-3 en saison 88 B dans le marais de l'AKAGOMA, en comptant que 1 tonne de paddy correspond à 1.25 t de panicules et à 2 - 2.5 t de pailles.

| Matériau exporté | Unités exportées (kg/ha) | | | | |
|------------------|--------------------------|------|-----|-----|-----|
| | N | P2O5 | K2O | CaO | MgO |
| pailles | 20 | 3 | 30 | 12 | 8 |
| panicules | 20 | 5 | 5 | 1 | 2 |
| total | 40 | 8 | 35 | 13 | 10 |

Sur base de ces chiffres, d'un rendement moyen de 2 t/ha de paddy et du fait que les pailles sont brûlées, la formule d'entretien équivaut à " 80 - 10 - 10", en supposant nulles les pertes par lessivage et insignifiantes les exportations de CaO et de MgO. Remarquons qu'en cas d'exportation des panicules et des pailles, la formule d'entretien doit être considérablement enrichie en potasse, du moins sur le plan théorique : 70 unités au lieu de 10.

Effet de l'incinération des pailles de riz sur le rendement du haricot .

Le dispositif expérimental schématisé à la figure 3 en riziculture de nappe, comprend les deux objets suivants, en quatre répétitions:

- objet 1 = témoin (exportation des pailles de riz et de fanes de haricot, aucune fumure) ;
- objet 2 = fumure minérale d'entretien " 60 - 20 - 20 " sur riz avec enfouissement des fanes de haricot, incinération des pailles de riz sur haricot mais sans fumure complémentaire (sauf "60 - 20 - 20" appliqué en plus en saison 88 C).

L'option de fumure sous forme minérale a été prise du fait que les ressources en fumure organique sont faibles dans la région et que leur acheminement jusqu'aux marais paraît de prime abord irréaliste. Les résultats sur haricot en saisons 87 C et 88 B , sont reproduits au tableau XII.

Tableau XII: Rendements moyens (MOY.) et par répétition (R1 à R4) du haricot cv. DORE DE KIRUNDO (87 C) et MBIKEKURE (88C), en kg/ha, dans le marais de l'AKAGOMA, après riziculture de nappe 87 B et 88 B .
Coefficients de variation (CV%).
Objet 1 = Exportation des pailles de riz;
Objet 2 = Incinération des pailles de riz (+ "60-20-20" en 88 C).

| Saison | Objet | R1 | R2 | R3 | R4 | MOY. | CV % |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 87 C | 1 | 352 | 259 | 1000 | 341 | 480 | 72 |
| | 2 | 1300 | 1618 | 1558 | 1527 | 1501 | 9 |
| 88 C | 1 | 0 | 0 | 64 | 0 | 16 | 200 |
| | 2 | 643 | 534 | 698 | 630 | 626 | 11 |

En saison 87 C , les différences de rendements pour les deux objets

considérés sont hautement significatives (Fobs. = 33.57**). Ces différences sont essentiellement attribuables à un effet favorable de l'incinération des pailles de riz, qui se révèle ici assez spectaculaire sur haricot. Sans doute, est-ce essentiellement un effet de la potasse restituée de cette manière sous forme de cendres.

En saison 88 C, les rendements sont très sensiblement en baisse, ce qu'on attribue non à une chute de fertilité, mais bien aux conditions de précipitations élevées ayant prévalu et ayant conduit à des conditions asphyxiantes pour le haricot. Ceci est d'ailleurs confirmé par les relevés piézométriques reproduits précédemment à la figure 4. Des rendements quasi-nuls sont obtenus dans l'objet 1, tandis que dans l'objet 2, avec fertilisation minérale et incinération, le haricot s'est développé plus vigoureusement et a mieux résisté aux inondations.

Effets d'une fertilisation d'entretien sur les rendements du riz.

Les rendements de riz sont mesurés à l'AKAGOMA suivant deux modes d'exploitation : la riziculture de nappe, proche de ce qui se fait en milieu rural, et la riziculture submergée, en casiers de 2 cultures par an, plutôt à titre de prospective.

Riziculture de nappe.

Les objets ont été définis dans le paragraphe précédent et le dispositif expérimental à la figure 3. Les résultats des premières observations effectuées sur deux saisons culturales sont reproduits au tableau XIII.

Tableau XIII : Rendements moyens (MOY.) et par répétition (R1 à R4) du riz cv. YUNNAN - 3, en kg/ha, dans le marais de l'AKAGOMA, en saisons 88 B et 89 B après haricot. Coefficients de variation (CV %).
Objet 1 = Exportation des fanes de haricot, aucune fumure ;
Objet 2 = Enfouissement fanes + "60 - 20 - 20".

| Saison | Objet | R1 | R2 | R3 | R4 | MOY. | CV % |
|--------|-------|------|------|------|-----|------|------|
| 88 B | 1 | 1469 | 2344 | 2031 | 562 | 1601 | 49 |
| | 2 | 2969 | 1937 | 1656 | 625 | 1798 | 54 |
| 89 B | 1 | 250 | 312 | 250 | 313 | 281 | 13 |
| | 2 | 313 | 250 | 718 | 375 | 414 | 50 |

Aucun effet significatif n'est détecté par statistiques, ni par objet (F.obs. = 0.19 n.s. en 88 B et F.obs. = 1.32 n.s. en 89 B), ni par bloc (F.obs. = 2.84 n.s. en 88 B et F.obs. = 0.68 n.s. en 89 B). Les résultats médiocres obtenus en 89 B sont imputables à un repiquage en période de stress hydrique, ayant conduit au flétrissement de nombreux plants .

Riziculture submergée.

Une double saison rizicole est simulée en casiers submergés . La première (saison C) avec une variété coréenne , la "K 5", la seconde (saison B) avec la variété chinoise habituelle, la "YUNNAN-3". Le dispositif expérimental a été représenté à la figure 2 . Trois objets y sont comparés , en 3 blocs, définis comme suit :

- Objet 1 = témoin expérimental, aucune fumure et exportation des pailles;
- Objet 2 = fumure minérale d'entretien "60 - 20 -20" et incinération des pailles de riz;
- Objet 3 = riziculture avec ensemencement d'Azolla et enfouissement de celui-ci avec les pailles à chaque saison.

L'objet 1 est répété deux fois par bloc (1 et 1bis); l'objet 3 vise à tester l'opportunité et l'efficacité de l'Azolla en riziculture, en temps que source d'azote organique . On rappellera que cette expérimentation est menée à titre prospectif, ne s'appuyant en rien sur ce qui se fait actuellement en milieu rural. On remarquera aussi que la formule d'entretien est sous-dimensionnée en azote , d'après les bilans d'exportations dressés précédemment . Les rendements de 3 saisons sont reproduits dans le tableau XIV.

Tableau XIV : Rendements moyens (MOY.) et par répétition (R1 à R3) du riz, en kg/ha de paddy, dans le marais de l'AKAGOMA en saisons 88 B, 88 C et 89 B. Coefficients de variation (CV %).

Objet 1 = exportation totale;
 Objet 2 = incinération des pailles + fumure 60-20-20 ;
 Objet 3 = enfouissement pailles + Azolla.

| Saison | Variété | Objet | R1(BI) | R2 (BIV) | R3 (BVI) | MOY. | CV % |
|--------|----------|--------|--------|----------|----------|------|------|
| 88 B | YUNNAN 3 | 1 | 1819 | 1151 | 1664 | 1545 | 23 |
| | | 1(bis) | 1730 | 1402 | 2579 | 1904 | 32 |
| | | 2 | 2297 | 1375 | 2983 | 2218 | 36 |
| | | 3 | 2207 | 2169 | 2131 | 2169 | 2 |
| 88 C | K 5 | 1 | 1356 | 1341 | 1244 | 1314 | 5 |
| | | 1(bis) | 1850 | 1446 | 1017 | 1438 | 29 |
| | | 2 | 1090 | 2177 | 2029 | 1765 | 33 |
| | | 3 | 2028 | 1395 | 1604 | 1676 | 19 |
| 89 B | YUNNAN 3 | 1 | 2068 | 2000 | 1235 | 1768 | 26 |
| | | 1(bis) | 2425 | 1596 | 1084 | 1702 | 40 |
| | | 2 | 1570 | 2046 | 1269 | 1628 | 24 |
| | | 3 | 2158 | 1842 | 2034 | 2011 | 8 |

Ici non plus, aucun effet n'est détecté par statistiques durant les 3 saisons observées, ni par objet (F.obs.n.s. : 1.82 en 88 B; 0.64 en 88 C ; 3.34 en 89 B), ni par bloc (Fobs. n.s.:4.29 en 88 B; 0.08 en 88 C ; 3.34 en 89 B). De plus, on a observé que la croissance de l'Azolla était inhibée, sans doute par déficience de nutrition phosphorée.

On peut donc conclure qu'une fumure d'entretien sur riz, que ce soit en riziculture de nappe ou en riziculture submergée, ne produit aucun effet sur les rendements et qu'elle reste donc non rentable sur le plan économique, même si elle est parfaitement justifiée sur le plan écologique. La fertilité naturelle du marais considéré semble donc équilibrée du point de vue de la disponibilité NPK. Deux tonnes de paddy à l'hectare en constituent l'expression en productivité. La potentialité pourrait être supérieure, soit avec d'autres cultivars, soit avec une meilleure assimilabilité du phosphore. Cette dernière pourrait effectivement être limitante d'après le comportement de l'Azolla. Des investigations complémentaires sont suggérées à ce sujet.

CONCLUSIONS GENERALES.

La fertilité des marais rizicoles d'altitude du Burundi permet de produire de manière continue près de 2 t/ha de paddy avec la variété YUNNAN - 3, sans qu'aucune précaution particulière de conservation soit prise, et ce depuis plus de 5 ans.

Les conditions pédologiques acides n'exigent cependant aucun amendement basique. Par contre, des déficiences en potasse se marquent sur une culture comme le haricot : un effet très favorable de l'incinération des pailles de riz y est détecté. Un déséquilibre entre bivalents (Ca et Mg) et potassium est observé, tant sur le complexe d'échange que dans la solution de sol.

Les analyses des eaux de nappe ne permettent pas de diagnostic d'une éventuelle toxicité en fer. Les concentrations absolues sont faibles. Toutefois, les marais analysés étaient certes riches en matière organique, mais non tourbeux pour la plupart. Des conditions réductrices plus sévères pourraient localement induire des toxicités en fer, surtout si l'on considère les concentrations relatives en cet élément.

Au vu du mauvais comportement de l'Azolla et de productivités somme toute relativement modestes en riz, on peut suspecter une assimilabilité insuffisante du phosphore, pour laquelle on suggère des études complémentaires.

Enfin, les conditions hydrologiques sont déterminantes pour les rendements: des oscillations assez brutales de la nappe phréatique, induites par la distribution des précipitations, peuvent condamner une récolte de haricot (inondations) ou de riz (stress hydrique).

REMERCIEMENTS.

Les auteurs expriment leurs remerciements à Mr. C. OTOUL, du service de Biométrie et Informatique, pour les analyses statistiques effectuées.

LITTERATURE CITEE.

ISABU . Recherche vivrière d'accompagnement à la SRD BUYENZI.
Rapport annuel 1988.

SANCHEZ, P.A.; 1976 . Properties and management of soils in the
tropics. Wiley-Interscience (618 p.): page 429.

SRD BUYENZI . Rapports annuels 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987,
1988.