

LES DELTAS DU NORD-OUEST DE MADAGASCAR

par F. BOURGEAT, M. DAMOUR (*)

Le mont Tsaratanàna, point culminant de Madagascar (2.882 m), constitue un château d'eau pour le Nord de l'île. La Mahavavy, la Mananjeba, l'Ifasy et le Sambirano, drainent le versant nord et ouest. Le cours supérieur de ces fleuves est torrentiel, parfois coupé de chutes. Bien que leur bassin versant soit modeste, les débits de la Mahavavy et du Sambirano sont considérables. Après la traversée, en percée cataclinale des grès isaliens, ces fleuves forment de vastes deltas. Avant d'aborder les problèmes que pose la mise en valeur de ces zones alluvionnaires, nous précisons leur morphologie, ainsi que la répartition et les caractères des différents types de sols que l'on y observe. Il faut signaler que la pluviométrie atteint 2 180 mm à Ambanja et 1 850 mm à Ambilobe. Dans cette dernière localité la saison sèche est mieux marquée : elle s'étale du 15 mai au 15 novembre.

1 - ETUDE GEOMORPHOLOGIQUE DES DELTAS DU NORD-OUEST

J. HERVIEU (1966) a fait une étude générale des deltas du versant occidental. L. BERTHOIS et A. GUILCHER (1956) ainsi que J. DE SAINT OURS (1960) ont plus spécialement étudié le delta de la Mahavavy dans la région d'Ambilobe. Une distinction doit être, en premier lieu, établie entre le mangrove, ou milieu «fluvio-marin», et le delta proprement dit.

(*) Maître de Conférence à l'E.N.S.A.
Pédologue au Service de Pédologie de l'I.R.A.M.

LA MANGROVE

La partie la plus interne atteinte par la mangrove dense et vivante correspond à la limite de pénétration des eaux salines qui remontant, au moment des marées, les axes hydrographiques. A l'intérieur des mangroves on peut observer, localement, des zones intermédiaires où l'on note la disparition des palétuviers et l'absence de toute végétation. Cette disparition de la mangrove serait due, selon J. HERVIEU (1966), à l'intensité de l'alluvionnement qui provoque une émergence; il y a ensuite concentration en sels du fait d'une évaporation intense.

LA PLAINE DELTAÏQUE

En arrière du milieu «fluvio-marin», soumis à l'influence des marées, la zone deltaïque proprement dite présente un maximum d'extension. Celle-ci peut être caractérisée par sa morphologie et par l'étude des sédiments.

MORPHOLOGIE

Dans les deltas du Nord-Ouest, la pente générale est relativement faible, de l'ordre de 1‰. La morphologie paraît, au premier abord, de type classique avec des méandres, des levées, des cuvettes et rigoles de débordement. Les levées, situées de 0,50 m à 3 m au-dessus du lit, ne parviennent jamais à dépasser la hauteur des plus fortes crues. Par suite de l'alluvionnement intense, les cuvettes et rigoles de débordement se trouvent au niveau ou au-dessous du lit actuel. Il en résulte une grande instabilité dans le tracé des cours d'eau qui se déplacent, par recoupement des berges, sur les différentes génératrices des cônes deltaïques. Ceci entraîne la formation de bras morts complètement asséchés en saison sèche, d'anciens lits, de méandres recoupés et abandonnés. Les anciens méandres sont fréquemment regroupés en trains; c'est le cas en particulier pour les boucles de la Mahetsadava dans le delta d'Ambilobe. Le risque d'inondation et de déplacement du fleuve ont obligé les responsables de la SOSUMAV (Société Sucrière de la Mahavavy) d'établir, dans le delta d'Ambilobe, un endiguement de la rivière.

L'ETUDE DES SEDIMENTS

L'étude des sédiments doit être envisagée en fonction de leur granulométrie, de leur évolution et de leur répartition dans les différents milieux de la sédimentation.

Les différents types de sédiments

- Les sédiments des lits actuels et des bras morts (sub-actuels)

Constitués par des sables grossiers on a pensé que ces dépôts de lits provenaient, au moins dans le delta d'Ambilobe, des grès de l'Isalo ou du pédiment (L. BERTHOIS et A. GUILCHER, 1956).

Malgré une analogie granulométrique certaine, il paraît peu vraisemblable que l'origine des sédiments alluviaux grossiers doive être recherchée uniquement dans les formations gréseuses (J. DE SAINT OURS, 1956-1960). La Mahavavy, l'Ifasy et le Sambirano ne reçoivent que des affluents secondaires en provenance des grès isaliens et ils traversent, sur de faibles distances, ces formations sédimentaires en percée cataclinale, (20 à 30 kilomètres au maximum). D'autre part, en dehors des grains de quartz peu usés, on peut noter dans ces dépôts la présence de feldspaths plus ou moins altérés et de micas. Ces matériaux proviendraient du massif cristallin où l'on observe une érosion intense, notamment sous forme de *lavaka*.

- Les sédiments des berges actuelles sont «beige» ou «rouge», limoneux à limono-sableux, très micacés. Il s'agit de véritable *baiboho* sur lesquels on observe des sols peu évolués faiblement humifères. Les levées actuelles ou sub-actuelles dominent les autres dépôts et sont généralement bien drainées.

- *Les sédiments plus ou moins évolués limono-sableux à sablo-limoneux.*

Ces sédiments forment la plus grande partie des dépôts, notamment dans les deltas de la Mahavavy et du Sambirano. Ils sont situés dans des zones très rarement sujettes au débordement; l'immersion, lorsqu'elle se produit, est de courte durée. Ici les sols observés (sols peu évolués) sont «brun» à «brun-jaune», généralement peu micacés et assez fortement humifères. On peut y observer, en profondeur, quelques traces d'hydromorphie.

- *Les sédiments argileux*

Ils se localisent au niveau des anciennes cuvettes. Mais on observe, d'une façon assez inattendue, dans ce milieu de sédimentation, des dépôts sableux qui correspondent à d'anciens lits ou d'anciens chenaux. Les sables y sont surtout riches en quartz et en feldspaths plus ou moins altérés. Les cuvettes, mal drainées, sont occupées par des sols hydromorphes et des sols à alcalis qui présentent une structure toujours diffuse.

L'origine des différents sédiments

On pourrait supposer que les dépôts limono-sableux, ou sablo-limoneux, correspondent à des dépôts de berges et que leur répartition est liée uniquement aux déplacements incessants et sub-actuels des rivières. Certes le tracé de celles-ci peut subir de profondes modifications; cependant plusieurs faits s'opposent à cette interprétation :

- Les dépôts sablo-limoneux plus ou moins évolués forment des «terrasses» qui ont des pentes faibles et on n'observe nulle part une morphologie de bourrelets.
- L'évolution est beaucoup plus marquée que sur les dépôts actuels.
- Localement, en particulier dans le delta d'Ambanja, ces dépôts sont recreusés par un système de talwegs et de bas-fonds.

L'ensemble des dépôts paraît en réalité correspondre à deux phases de sédimentation. Des sondages faits dans le delta d'Ambanja ont montré l'existence, entre 15 et 18,50 m de profondeur, d'un dépôt madréporique et d'un sable d'estran à coquilles marines (R. Battistini, 1960). Ces observations laissent supposer que, jusqu'à une époque récente, la mer devait s'arrêter à la base des collines gréseuses. Dans ce cas, une partie de ces vastes deltas serait constituée par des alluvions marines (de type mangrove) qui, après la régression post-flandrienne, auraient été recouvertes par des dépôts fluviatiles récents. La datation d'un fragment de madrépore recueilli dans le sondage d'Ambanja (R. Battistini, P. Vérin, 1966) a donné un âge supérieur à 30.000 ans : il ne s'agit donc pas de flandrien, comme on l'avait initialement supposé, mais d'un dépôt plus ancien (karimbolien).

En dehors des levées actuelles ou sub-actuelles, aux formes plus ou moins conservées, les dépôts peuvent être attribués à une période d'alluvionnement ancien (dépôts sambainiens, selon la terminologie de F. Bourgeat, 1970). Ces dépôts auraient été, en partie, érodés et décapés au cours du pluvial post-sambainien. Le décapage des alluvions anciennes a été observé sur le versant oriental de Madagascar; il peut correspondre à la formation de vastes marigots où l'alluvionnement reste très faible, en même temps que la capacité de transport devient relativement élevée. Quelle que soit leur origine, les dépôts ont été soumis à l'influence d'une nappe salée d'origine marine; la remontée de cette nappe, liée à la dernière transgression marine; a provoqué un enrichissement en sels. L'absence, dans les deltas du nord ouest, de sols salés à l'arrière des mangroves et des zones dénudées, serait due à l'abaissement de la nappe marine liée à la dernière régression et au lessivage intense des sels par les précipitations abondantes. Cependant, tous les sols présentent une teneur excessive en magnésium, et, au niveau des anciennes cuvettes, les sols à alcalis peuvent prendre une certaine extension.

2 - LES SOLS

Les sols observés dans ces deltas appartiennent à la classe des sols peu évolués, à la classe des sols hydromorphes ou à la classe des sols à alcalis.

LES SOLS PEU EVOLUES (classe des sols peu évolués - sous-classe des sols d'origine non climatique).

La distinction des sols peu évolués pourrait être basée sur la nature des dépôts et sur l'existence de traces d'hydromorphie qui s'individualisent, parfois, à la base de certains profils. Il ne paraît pas nécessaire, dans le cadre de cet article, d'envisager une description de tous les types de sols qui ont déjà été étudiés (P. Segalen : 1956 - J. Riquier : 1959 - J. Vieillefon et F. Bourgeat : 1965 - M. Damour et L. Bouchard : 1971). Nous préciserons seulement la morphologie et les caractères analytiques d'un sol peu évolué typique, observé sur des dépôts limono-sableux plus ou moins évolués dans le delta d'Ambanja. Il convient d'ailleurs de préciser que ce type de sol a une grande extension et qu'il présente un réel intérêt au point de vue agronomique.

- Morphologie

- 0-20 cm - horizon brun limono-sableux à sablo-limoneux; structure grumeleuse; cohésion moyenne; très forte porosité; très bon enracinement.
- 20-80 cm - horizon brun jaune limono-sableux, faiblement micacé; structure peu développée à faible tendance polyédrique; très forte porosité; l'enracinement reste moyen; le passage avec les horizons adjacents est progressif.
- 80-120 cm - horizon brun jaune sablo-limoneux, structure peu développée.

- Caractéristiques physico-chimiques

Le pH est acide sur tout le profil (5 à 6). Les teneurs en limon sont supérieures à celles de l'argile (25 à 40 % de limon pour 10 à 25 % d'argile). Le sable grossier est peu abondant. La matière organique est comprise, en surface, entre 2 et 5 % et l'azote entre 1,5 ‰ et 2 ‰. Le complexe absorbant présente une capacité d'échange qui varie entre 15 et 20 me %. Les rapports $\frac{\text{Mg}^{++}\text{échangeable}}{\text{Ca}^{++}\text{échangeable}}$ sont fréquemment supérieurs à 1 lorsque le sol n'a pas été chaulé. Les rapports $\frac{\text{Mg}^{++}\text{échangeable}}{\text{K}^{+}\text{échangeable}}$, qui devraient être voisins de 4, se situent le plus souvent entre 15 et 50. Il y a, dans ces sols, un déséquilibre cationique qui peut freiner l'absorption de certains éléments par les plantes, en particulier le potassium. Dans les sols formés sur les dépôts actuels très micacés les teneurs en magnésium paraissent généralement plus faibles et le déséquilibre cationique moins prononcé. De nouvelles analyses doivent cependant être faites pour confirmer ce résultat.

LES SOLS HYDROMORPHES ARGILEUX ET LES SOLS A ALCALIS

Au niveau des cuvettes de sédimentation, on observe des sols hydromorphes et à alcalis qui sont compacts et mal structurés. Ces différents sols présentent des caractères morphologiques très proches et ils ne peuvent être distingués qu'à l'analyse.

- Morphologie (sol observé sous cannes dans le delta d'Ambilobe - parcelle 743)

- 0-35 cm - horizon humifère à structure grumeleuse très grossière à tendance polyédrique.
- 35-90 cm - horizon jaune avec des taches noires de manganèse, argileux, humide, plastique, assez compact, à structure polyédrique qui peut être plus ou moins diffuse.

En-dessous de 90 cm, on note la présence d'un horizon argileux, jaune à taches rouges, de faible porosité.

- Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques de ces sols sont très variables et nous aurons l'occasion d'y revenir à propos de la mise en valeur de certains bas-fonds envisagée par la SOSUMAV. On note, d'une façon générale, une teneur très élevée en magnésium et un taux variable en sodium échangeable.

3 - LES PROBLEMES DE MISE EN VALEUR

Les deltas du Nord-ouest présentent un potentiel économique certain. Dans le delta du Sambirano, il y a regression des superficies cultivées en manioc, mais la production de cacao a augmenté jusqu'à ces dernières années. Dans le delta d'Ambilobe, l'agriculture est surtout orientée vers la production de canne à sucre; de plus un effort de diversification des cultures a été entrepris par la SOSUMAV. Cette société exploite actuellement 6.000 hectares de canne à sucre, 120 hectares de coton, 300 hectares de riz et 500 hectares d'anacardier. La mise en valeur du delta d'Ambilobe a nécessité de gros travaux : nivellement, aménagements hydrauliques, mise en place d'un système de drainage et d'irrigation, construction de routes. Il nous a été possible d'effectuer, tout récemment, une tournée sur l'exploitation de la SOSUMAV et certains problèmes, en liaison avec la nature et les caractéristiques des sols, se posent pour une intensification des cultures et des rendements. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- L'efficacité du drainage et les baisses de rendements observés en bas des parcelles irriguées.
- Les possibilités d'extension des cultures irriguées dans les bas-fonds argileux.
- Les relations entre l'état sanitaire des cultures et la nature des sols.

La plupart des observations faites dans ces différents domaines intéressent, d'une façon générale, la mise en valeur des sols alluviaux du Nord-Ouest et nous nous proposons de les développer. Il faut signaler que les cultures industrielles sont essentiellement localisées sur l'ensemble des sols peu évolués limono-sableux.

LES MAUVAIS RENDEMENTS OBSERVES EN BAS DE PARCELLES DANS LES CHAMPS DE CANNE DE LA SOSUMAV

PRESENTATION DU PROBLEME

En bas de parcelles, notamment au voisinage de certains drains qui fonctionnent mal en saison des pluies et restent plus ou moins engorgés, on note un développement végétatif médiocre des cannes et des phénomènes de jaunissement.

En bas de parcelles, la nappe phréatique se trouve d'une façon générale assez haute et elle remonte, après les pluies, jusqu'à 30 ou 40 cm de la surface en créant des conditions réductrices.

Il nous a été cependant possible d'observer un développement végétatif très satisfaisant dans les parcelles 221, alors que la nappe remontait, vingt-quatre heures après un orage, jusqu'à 45 cm de la surface. Plusieurs facteurs, à notre avis, interviennent pour limiter les rendements en bas de parcelle : c'est la possibilité de resuyage du sol et l'abaissement plus ou moins rapide de la nappe, sa composition ainsi que les propriétés chimiques des sols. Nous avons déjà insisté sur la forte teneur en magnésium échangeable des sols. Cet élément risque, par ailleurs, de s'accumuler dans les parties basses lorsque celles-ci sont insuffisamment drainées. La nappe également peut subir un enrichissement en éléments solubles en bas de parcelles. Dans le but de vérifier ces différentes hypothèses, des prélèvements de sols et d'eaux de nappe ont été faits sur les parties hautes et basses de différentes parcelles (couples d'hétérogénéité).

RESULTATS D'ANALYSE

Pour pouvoir établir d'utiles comparaisons, il nous est apparu nécessaire de faire sur plusieurs parcelles à végétation hétérogène (Ex. : 536 - 142 - 825) deux types de prélèvements. Une première série de prélèvements a été faite en tête de parcelles sous canne de belle venue : ceux-ci sont désignés par le numéro de la parcelle suivi de la lettre S. La deuxième série de prélèvements a été faite en bas de parcelles sous végétation médiocre : ces prélèvements sont désignés par le numéro de la parcelle suivi de la lettre M. L'ensemble des résultats est résumé dans le tableau n° 1. A la lecture de celui-ci, on peut en déduire différentes remarques concernant les propriétés physico-chimiques des sols.

La granulométrie des sols

Le développement irrégulier des cannes ne peut être attribué à des variations de textures. Celles-ci sont très hétérogènes et on n'observe pas de variations significatives, et systématiques, entre les profils situés vers les canaux d'irrigation et ceux situés en bordure des drains. Cette observation avait d'ailleurs été faite sur le terrain lors de la prospection. De plus, il n'a pas été noté, sauf en ce qui concerne la profondeur de la nappe phréatique, de différences significatives dans l'observation des profils culturaux.

La teneur en oligo-éléments des sols

Les conditions d'engorgement, très marquées en bas de parcelles, pourraient laisser supposer que la teneur en manganèse échangeable y est plus élevée, et que celui-ci y devient toxique. On observe effectivement une teneur plus élevée en manganèse extractible pour 536 M (350 ppm) que pour 536 S (150 ppm).

Mais, pour la parcelle 142, c'est l'inverse que l'on observe (300 à 400 ppm pour 142 M; 350 ppm pour 142 S). D'ailleurs la teneur en manganèse échangeable reste toujours très faible dans ces sols à texture moyenne.

La teneur en aluminium échangeable atteint 2 à 4 ppm pour 536 M, 3 à 35 ppm pour 536 S, 1,5 à 4 ppm pour 142 M, 4 à 8 ppm pour 142 S. La plus forte solubilisation observée près de canaux d'irrigation pourrait être liée à un pli un peu plus acide. Mais il semble exclu qu'une trop faible teneur en aluminium puisse expliquer les variations constatées dans le développement végétatif.

Malgré le petit nombre d'analyses que nous possédons, il paraît difficile d'attribuer les variations de rendements à la déficience ou à l'excès d'un alio-élément déterminé.

Les cations échangeables fixées sur le complexe

Dans les parcelles de grande culture, caractérisées surtout par des sols à granulométrie moyenne, il apparaît (tableau N° 2) un déséquilibre cationique plus ou moins marqué. Le rapport $\frac{Mg^{++} \text{ éch}}{Ca^{++} \text{ éch}}$ compris entre 0,4 et 0,7, est satisfaisant : il s'agit vraisemblablement là d'une conséquence du chaulage qui a été appliqué, d'une façon généralisée, sur la plupart des parcelles.

Il n'en reste pas moins que ces sols sont relativement riches en magnésium et le rapport Mg^{++}/K^+ apparaît élevé; ce dernier varie, en effet, entre 2,9 et 38. Il peut en résulter un ralentissement dans l'absorption du potassium dû à des phénomènes d'antagonisme des ions solubilisés.

Si les rapports $Na^+ \text{ éch.}/Ca^+ \text{ éch.}$ paraissent très satisfaisants (inférieurs à 0,05) l'étude du tableau n° 2 montre que les rapports $Mg^{++} \text{ éch.}/K^+ \text{ éch.}$ sont plus élevés dans les zones basses présentant un mauvais développement végétatif. Certains résultats antérieurs ont d'ailleurs montré que les proportions de Mg^{++} échangeable, par rapport au calcium et au potassium, étaient plus faibles en haut de parcelles qu'en bordure des drains. Dans certains cas, ces proportions étaient sensiblement identiques, mais n'étaient *jamais plus élevées*.

La teneur en magnésium des sols, par rapport au potassium, paraît donc intervenir dans l'alimentation des cannes. Il faut cependant remarquer qu'il est difficile de fixer des limites convenables pour ce rapport.

Tableau n° 1 (1)

N° échantillons	5361 M	5362 M	5361 S	5362 S	1421 M	1421 S	8251 M	8251 S
Profondeur (cm)	0-35	35-70	0-45	45-100	0-40	0-40	0-35	0-35
Sable grossier	8,05	10,05	9,1	8,1	8,9	8,9	32,9	3,1
Sable fin	25,04	33,04	40,0	70,0	22,1	10,4	35,1	50,7
Limon grossier	12,14	12,04	8,1	5,1	13,7	10,4	10,0	16,4
Limon fin	22,5	19,5	13,0	6,0	21,1	29,5	6,8	12,0
Argile	31,5	24,0	30,0	9,5	25,5	33,5	9,9	13,2
pH	6,8	7,5	6,2	6,6	7,7	6,6	6,0	5,9
Matière organique %	2,00	0,60	2,6	0,3	1,7	3,1	1,14	1,75
Azote %	1,1	0,50	1,15	0,35	0,80	1,35	0,6	0,7
Rapport C/N	10,64	7,01	13,5	5,0	12	13,4	11,2	1,4
Acide phosphorique assimilable	0,031	0,09	0,025	0,11	0,075	0,025		
Ca échangeable me %	9,82	9,57	4,22	3,0	9,58	10,78	8,62	4,10
Mg. échangeable me %	5,79	5,75	1,64	1,39	5,54	4,31	1,4	1,98
K. échangeable me %	0,10	0,15	0,45	0,10	0,10	0,25	0,25	0,57
Na. échangeable me %	0,35	0,42	0,22	0,17	0,14	0,08	0,06	0,04
S. en me %	16,06	15,89	6,53	4,66	15,63	15,42	4,33	6,69
T. en me %	14	10,2	12,2	5,6	18,91	18,91	6,36	10,83
Taux de saturation			53,5	83	89,5	81	67	62
Mn ++ échangeable ppm		traces	traces	traces				
Mn ++ extractible ppm	355	340	163	135	295	350		
SiO ₂ /TRUOG modif. ppm	130	215	163	62,5	57,5	65		
al échangeable ppm	4,05	2,7	34,4	8,1	3,9	7,8		

(1) Certains résultats fournis dans cet article proviennent d'analyses qui ont été effectuées gracieusement par le laboratoire de pédologie de l'ORSTOM. D'autres proviennent d'analyses effectuées par le laboratoire de pédologie de l'IRAM.

Tableau n° 2

Prélèvements	Parcelle 536 bon développement		Parcelle 536 mauvais développement		Parcelle 142 bon développement		Parcelle 142 mauvais développement		Parcelle 825 bon développement		Parcelle 825 mauvais développement	
	5361 M	5362 M	5361 S	5362 S	1421 M	1422 M	1421 S	1422 S	8251 M	8252 M	8251 S	8252 S
Rapports												
$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$	0,6	0,6	0,4	0,45	0,7	0,7	0,4	0,55	0,5	0,6	0,5	0,5
$\frac{Mg^{++}}{K^{+}}$	58	38	3,65	13,9	55,4	32,2	17,2	16,7	5,6	32	2,9	34
$\frac{Na^{+}}{Ca^{++}}$	0,03	0,04	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,015	0,01	0,02

En effet, on observe un bon développement des cannes dans une partie de la parcelle 142 où le rapport Mg^{++} échangeable/ K^+ échangeable atteint 17 sur l'ensemble du profil alors que le développement végétatif est réduit dans la parcelle 825 pour un rapport atteignant 5,6 en surface et 32 en profondeur. De même peu de différences apparaissent dans les zones à bonne et mauvaise végétation relevées dans la parcelle 825.

Les premiers résultats obtenus semblent cependant montrer, d'une façon irréfutable, qu'il y a effectivement enrichissement plus ou moins marqué en magnésium vers les bas de parcelles. Cet enrichissement, qui dépend évidemment de l'efficacité plus ou moins grande du système de drainage, peut être favorisé par un chaulage excessif qui permet un déplacement des ions Mg^{++} du complexe. L'apport massif d'urée ou d'engrais ammoniacaux peut également favoriser le déplacement du magnésium et son accumulation en bordure des drains lorsque ceux-ci n'éliminent pas suffisamment les excès d'eau.

Etude de la nappe phréatique et sa composition

On aurait pu penser que la présence, à faible profondeur, d'une nappe était la cause d'un faible développement végétatif; mais le problème apparaît plus complexe. La nappe ne se maintient pas à un niveau stable au cours de la saison des pluies. En fonction de l'intensité du drainage, elle peut s'abaisser plus ou moins vite après les pluies. De plus, la composition de cette nappe semble jouer un rôle essentiel. Sa conductivité et sa teneur en magnésium et sodium interviennent pour freiner le développement végétatif. Dans le tableau n°3, nous donnons les analyses des eaux de nappe qui ont été prélevées. Ces eaux sont désignées par le numéro de la parcelle, la lettre M signifie que la nappe a été prélevée dans la zone à faible développement végétatif et S dans la zone à bon développement:

On peut constater que dans les tâches où le développement végétatif est médiocre la nappe phréatique s'élevait au moment de la prospection (c'est-à-dire après de violents orages), jusqu'à 40 ou 50 cm de la surface. Dans les cas étudiés et dans les conditions où ont été faits les prélèvements, l'action néfaste d'une nappe, *susceptible de s'élever près de la surface*, apparaît lorsque celle-ci a une conductivité supérieure à 0,15 mmhos/cm, avec une teneur en cations dépassant 1,5 me. Les teneurs en magnésium sont alors voisines ou supérieures à 0,5 me; les teneurs en magnésium + sodium dépassent 1 me et le rapport Mg^{++}/K^+ reste supérieur ou égal à 10 (tableau n° 4).

La nappe, peu saline, observée dans la parcelle 221, paraît ne pas avoir un effet très marqué sur la végétation. La nappe observée sur la parcelle 142 S est relativement riche en cations mais son action est faible car elle était située à 1 mètre. Evidemment, la concentration de la nappe est susceptible de modifications au cours de l'année, et son niveau peut fluctuer. Pour expliquer les différences de végétation, nous n'avons pu faire qu'une étude statique alors qu'il conviendrait, dans ce cas, de faire une étude dynamique. Les chiffres que nous donnons n'ont donc qu'une

Tableau n° 3

N°	pH	Conductivité mmhos/cm	Ca ⁺⁺ me/l	Mg ⁺⁺ me/l	Na ⁺⁺ me/l	K ⁺ me/l	Profondeur nappe
825 M	6,3	0,15	0,35	0,49	0,58	0,05	30 cm
825 S	6,3	0,10	0,29	0,32	0,60	0,05	180 cm
536 M	6,7	0,20	0,91	0,94	0,54	0,04	40 cm
536 S	6,1	0,11	0,38	0,31	0,40	0,05	140 cm
142 M	6,5	0,44	1,66	1,53	0,44	0,05	10 cm
142 S	6,2	0,15	0,51	0,49	0,48	0,05	100 cm
345 M	6,3	0,19	0,59	0,98	0,72	0,05	90 cm
345 S	5,9	0,10	0,16	0,22	0,40	0,11	40 cm
221 S	5,8	0,11	0,50	0,40	0,40	0,05	40 cm

Tableau n° 4

N°	Profondeur de la nappe	Cations en me/l	Mg ⁺⁺ en me/l	Mg ⁺⁺ + Na ⁺ en me/l	$\frac{Mg^{++}}{K^{+}}$
825 M	30 cm	1,67	0,49	1,07	10
825 S	180 cm	1,26	0,32	0,92	6
536 M	40 cm	2,43	0,94	1,48	23
536 S	140 cm	1,11	0,31	0,71	6
142 M	10 cm	3,68	1,53	1,97	31
142 S	100 cm	1,53	0,49	1,07	9
345 M	90 cm	2,25	0,98	1,70	18
345 S	40 cm	0,83	0,22	0,62	2
221 S	40 cm	1,35	0,40	0,80	8

ANALYSES D'EAU DE NAPPE

signification relative. On devrait, sur des couples d'hétérogénéité observés sur certaines parcelles, suivre l'évolution de la nappe; mesurer, à l'aide de piézomètres, les variations de son niveau au cours de l'année ainsi que les variations de sa composition (ou à défaut de sa conductivité).

LES POSSIBILITES DE MISE EN CULTURE DES BAS-FONDS (OU CUVETTES DE DECANTATION)

On envisage actuellement à la SOSUMAV l'extension des cultures de cannes dans des zones de bas-fonds anciennement cultivées en rizières. Dans ces zones, essentiellement argileuses, on note la présence de quelques passées sableuses qui correspondent à d'anciens tracés de rivière. L'extension des cultures irriguées y est conditionnée par les propriétés des sols, les possibilités de drainage et la composition de la nappe phréatique.

ETUDE DES SOLS

Ainsi que nous l'avons vu les bas-fonds sont occupés par des sols argileux hydromorphes, ou des sols à alcalis. Sur les lentilles sableuses, on note la présence des sols hydromorphes présentant, en dessous d'un horizon humifère à structure peu discernable, un horizon tacheté, compact, constitué par des grains de quartz cimentés par de l'argile.

- Propriétés chimiques

Deux prélèvements de sols argileux, faits entre 30 et 90 cm dans les parcelles 374 et 743, ont été analysés. Les propriétés de ces sols argileux sont très variables. Le profil 743 correspond à un sol à alcalis, le pH y est nettement basique (9,3), les teneurs en magnésium et en sodium échangeables sont excessives, le rapport Na^+/T est supérieur à 30 %.

Le profil 347, qui correspond à un sol hydromorphe, a une granulométrie mieux équilibrée et une faible teneur en sodium échangeable. Cependant, on note une forte proportion de magnésium échangeable par rapport au calcium et au potassium, le rapport Mg^{++}/K^+ y atteint 42. Le taux de saturation reste cependant voisin de 60 % et le pH est acide (5,9). Ce sol renferme une quantité importante de magnésium échangeable; et là encore cet excès de magnésium risque de gêner l'absorption d'autres éléments, en particulier du potassium. Bien que les analyses n'aient pas été effectuées, on doit signaler des risques de toxicité du manganèse échangeable dans ces sols mal aérés. La manganèse est en effet solubilité en milieu réducteur et acide.

- Propriétés physiques

Les sols argileux sont plus ou moins compacts; mal aérés, ils présentent des traces d'hydromorphie dès la surface, ou en-dessous de 30 cm. L'enracinement sur ce type de sol reste superficiel et les racines ne descendent guère au-delà de 40 cm.

Les sols sableux, de plus faible extension, ont une faible porosité par suite d'un colmatage par les argiles. Ces sols ont tendance à durcir et à «bétonner» dès qu'ils s'assèchent ; ils présentent, de plus, une faible capacité de rétention pour l'eau.

ANALYSE DES EAUX DE LA NAPPE (tableau n° 3)

Deux prélèvements d'eau de nappe ont été faits dans la parcelle 345. Sous sol à dominance argileuse, la nappe a été observée à 90 cm (nappe 345 S). Sous sol sableux, la nappe (345 M) a été observée à 30 cm. On notera que les lentilles sableuses constituent des axes naturels où s'accumulent les eaux de drainage. Il y a là concentration en sodium et en magnésium et nous avons déjà signalé l'influence que peuvent avoir ces ions sur le développement végétatif des cannes. On a effectivement observé un très mauvais développement végétatif dans les sols sableux, lorsque la nappe, peu profonde, était enrichie en sodium et magnésium.

MISE EN CULTURE ET AMELIORATION DES SOLS

Dans les cuvettes anciennement cultivées en rizières les sols apparaissent peu favorables pour l'extension des plantations de cannes, ou à l'installation d'autres cultures industrielles. Les rendements à prévoir y seront faibles. Si l'on est dans l'obligation d'aménager ces zones, pour des cultures autres que le riz, il paraît absolument nécessaire d'améliorer le drainage; *des essais devront être faits en faisant des plantations sur billons.*

L'apport de chaux ne devrait pas être excessif. Il ne paraît pas souhaitable d'amener les sols, actuellement acides, à un pH supérieur à 6, car on risquerait de provoquer une insolubilisation de la plupart des oligo-éléments et une solubilisation excessive du magnésium, notamment dans le cas où le drainage serait insuffisant. Le chaulage des sols à alcalis, qui ont un pH supérieur à 7, sera sans effet si on ne provoque pas une solubilisation du calcaire par des apports massifs de matière organique. Mieux vaudrait alors utiliser du plâtre comme amendement, afin de provoquer un remplacement, par du calcium, des ions Mg et Na fixés sur le complexe. La profondeur des drains devrait être progressivement augmentée. Il y a lieu de procéder ici à des labours grossiers et d'éviter une pulvérisation des sols qui augmente leur colmatage et leur imperméabilité. La récupération des sols à alcalis ne peut être prévue que si l'on est certain d'avoir à sa disposition de fortes quantités d'eau d'irrigation et si l'on peut assurer un *drainage très efficient*. Cette récupération des sols à alcalis reste une opération délicate. L'aménagement de ces sols (qui sont faciles à détecter du fait de leur pH élevé) devrait, de toute façon, n'être envisagé qu'en deuxième priorité.

Dans les zones sableuses, correspondant à d'anciens drains naturels, il convient d'abaisser le niveau de la nappe car celle-ci a une conductivité élevée et une teneur excessive en magnésium et sodium. Ces sols, du fait de leur faible pouvoir de rétention en eau, resteront toujours sensibles à la sécheresse. On peut seulement préconiser des apports de matières organiques pour augmenter leur capacité de rétention.

Tableau n° 6

Etude comparée des sols prélevés
dans les zones saines et les zones malades

N° échantillons	Parcelle 641		Parcelle 414		Parcelle 351	
	6411 M	6411 S	4141 M	4141 S	3511 M	3511 S
Profondeur	0-35cm	0-40cm	0-40cm	0-45cm	0-25cm	0-45cm
pH	6,4	6,1	6,3	6,3	6,9	6,6
Sable grossier	9,0	6,55	7,4	6,35	12,05	4,05
Sable fin	24,1	12,5	30,8	52,05	51,1	40,05
Limon grossier	12,6	11,0	14,3	11,2	9,15	12,85
Limon fin	26,5	29,0	24,5	14,5	11,5	19,5
Argile	26,0	37,5	24,0	16,0	14,5	22,0
Matière organ. %	1,9	4,15	1,7	1,4	0,85	1,30
Azote ‰	1,02	1,65	1,05	0,95	0,70	2,25
Rapport C/N	10,9	16,4	9,4	8,5	7,2	1,15
Ca échang. me %	5,37	7,77	6,5	6,22	5,27	6,42
Mg échang. me %	5,33	4,68	2,79	2,13	1,8	2,50
K échang. me %	0,18	0,17	0,32	0,45	0,2	0,12
Na échang. me %	0,22	0,25	0,25	0,17	0,17	0,30
S me %	11,1	12,87	9,86	7,97	7,44	9,35
T me %	12,6	17,6	10,6	8,40		
V	8,81	73,1	93	94,9		
Mn extractib. ppm	363	395	265	198	198	205
Mn échang. ppm	traces		traces		traces	
K ₂ O ppm (TRUOG)	97,5	85	80	85	102,5	100
Al échang. ppm	20,9	20,2	6,1	10,8	4,73	4,75
Bore total ppm	9,3		6,0		20,0	
Bore soluble ppm	0,7		0,14		0,15	

RELATION ENTRE LA NATURE DU SOL ET LE DEVELOPPEMENT DE CERTAINES MALADIES

Il nous a été signalé à la SOSUMAV, dans de nombreuses parcelles plantées en cannes S 17, l'apparition de la maladie de «pokkah boeng» due à un *Fusarium*. On a même pensé que le sol pouvait être le facteur déterminant de cette maladie. Les observations effectuées sur le terrain semblaient infirmer cette hypothèse; des prélèvements ont été effectués sur les parcelles 351, 414, 641 qui sont plus ou moins contaminées. Les prélèvements, indiqués M, ont été faits au sein des taches infestées; les prélèvements, indiqués S, ont été faits dans des zones indemnes des mêmes parcelles. L'ensemble des résultats apparaît dans le tableau n° 6. Nous aborderons successivement :

- L'étude comparée des sols provenant des zones saines et des zones contaminées.
- L'influence secondaire que peut avoir le sol ou la nappe phréatique sur le développement de la maladie.

ETUDE COMPAREE DES SOLS

La granulométrie des différents horizons ne permet pas d'expliquer l'apparition de la maladie, sous forme de taches, dans certaines parcelles. D'une façon générale ces sols sont hétérogènes au point de vue texture; localement, des horizons très sableux, ou très peu argileux, apparaissent appauvrissant sérieusement un niveau quelconque du profil ou gênant le développement du chevelu racinaire.

- La nappe ne semblait jouer aucun rôle car, dans certains profils observés, elle se situait en-dessous de 1 m - 1,50 m.

- Le complexe absorbant reflète une richesse importante en Ca^{++} et Mg^{++} échangeables. Les rapports $\text{Mg}^{++}/\text{Ca}^{++}$ sont satisfaisants (inférieur à 1) aussi bien dans les parcelles saines que dans les parcelles infestées. Les rapports Na^{+} échangeable/ Ca^{++} échangeable sont satisfaisants dans l'ensemble. Les rapports Mg^{++} échangeable/ K^{+} échangeable révèlent très forte proportion de magnésium échangeable par rapport au potassium. Il s'agit là, ainsi que nous l'avons signalé à plusieurs reprises, d'une caractéristique générale des sols de ces deltas et les rapports les moins satisfaisants ne s'observent pas systématiquement dans les taches d'infection (tableau n° 7).

TABLEAU N° 7

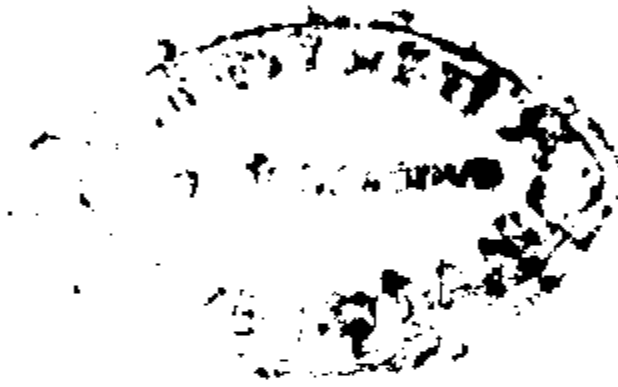
N° Ech	6411	6412	6411	6412	4141	4142	4141	4142	3511	3512	3511	3512
Rapports	M	M	S	S	M	M	S	S	M	M	S	S
$\frac{\text{Ca}^{++} \text{ éch}}{\text{Mg}^{++} \text{ éch}}$	1,0	0,75	0,6	0,6	0,4	0,35	0,40	0,35	0,35	0,45	0,35	0,45
$\frac{\text{Mg}^{++} \text{ éch}}{\text{K}^{+} \text{ éch}}$	29,6	41,1	27,5	27,1	8,7	4,5	4,75	18,05	9,0	45,2	20,85	27,0

L'INFLUENCE SECONDAIRE DU SOL OU DE LA NAPPE PHREATIQUE SUR LES EFFETS DE LA MALADIE

La maladie «pokkah-boeng» ne semble pas devoir être occasionnée par des mauvaises propriétés (physiques ou chimiques) du sol. Cependant, lorsque les conditions sont peu favorables à une croissance accélérée de la canne, le bourgeon terminal est détruit et les effets de la maladie deviennent spectaculaires. Ainsi, en bas de la parcelle 646, les cannes de premières repousses apparaissent entièrement contaminées et présentent un très mauvais développement végétatif. Nous avons observé ici la présence d'une nappe (nappe 646). Située au moment de l'observation entre 30 et 40 cm, cette nappe a une conductivité de 0,45 mmhos/cm, une teneur en cations voisine de 3 me/l avec un rapport Mg^{++}/K^{+} atteignant 35 (tableau n° 8).

Au contraire, dans la parcelle 975, où la maladie ne s'observe qu'au sein de taches plus ou moins circonscrites, le bon développement des cannes favorise leur résistance. Ce bon développement est à mettre en rapport avec les propriétés physico-chimiques satisfaisantes des sols. La nappe phréatique reste profonde; de plus celle-ci n'a qu'une faible conductivité (0,10 mmhos/cm), sa teneur en cations n'atteint que 1,35 me/l et son rapport Mg^{++}/K^{+} est de 9.

Echantillons	pH	Conductivité	Ca ⁺⁺ me/l	Mg ⁺⁺ me/l	K ⁺ me/l	Na ⁺ me/l
Nappe 646	6,5	0,45 mmho/cm	1,36	1,70	0,45	0,05
Nappe 975	5,9	0,10	0,50	0,45	0,35	0,05



4 - CONCLUSIONS GENERALES

La mise en valeur des riches deltas du Nord-Ouest est conditionnée par la répartition, les propriétés et les caractères des sols.

- L'extension des cultures irriguées (en dehors de la riziculture) dans les zones basses ne paraît guère aisée. Si on doit obligatoirement l'envisager, mieux vaudrait, dans un premier temps, faire les extensions sur les sols argileux hydromorphes, en pratiquant des cultures sur billons et en précédant à un chaulage modéré de façon à obtenir un pH final voisin de 6. C'est seulement dans le cas où le manganèse présenterait une teneur toxique que les apports de chaux devraient être augmentés. Les sols à alcalis devraient être aménagés de préférence en rizière.

- A la suite d'un drainage insuffisant on peut observer, sous cultures irriguées, des chutes de rendements en bas de parcelles. Celles-ci peuvent être attribuées à un engorgement plus marqué des sols ainsi qu'à une accumulation du magnésium qui se produit dans le sol ou au niveau de la nappe phréatique.

Un chaulage exagéré peut favoriser l'entraînement et l'accumulation du magnésium.

- Des apports importants d'engrais ammoniacaux risquent d'accentuer le processus, en particulier lorsque ceux-ci sont épandus à une époque où le drainage reste déficient.

- L'emploi d'engrais potassiques, à la fin ou au début de la saison des pluies, est peut-être susceptible d'améliorer les rendements. Il serait en tout cas utile de suivre, par la méthode des diagnostics foliaires, l'alimentation en potassium des végétaux.

Un meilleur drainage, l'installation d'un système tertiaire *efficace* en bas des parcelles devraient diminuer les effets de la nappe et entraîner un lessivage correct du magnésium.

Il convient d'abaisser au maximum la nappe durant la saison sèche tout en procédant à des apports d'eau d'irrigation pour lessiver le magnésium.

- Dans le domaine phytosanitaire, il n'apparaît pas certain que le sol joue une influence primordiale sur le développement de certaines maladies. Si l'on envisage plus spécialement le cas de la maladie de «pokkah boeng» (observée sur cannes dans le delta de la Mahavavy), il apparaît à peu près certain qu'on ne puisse pas attribuer la propagation de cette maladie aux propriétés physico-chimiques des sols. Sur le plan chimique, il faut cependant retenir une richesse plus marquée en matière organique totale des parcelles non infestées. Le sol et la nappe n'interviennent que secondairement pour augmenter ou diminuer la résistance de la plante. Lorsque les conditions sont défavorables, la propagation se trouve favorisée et ses effets plus marqués.

En matière de fertilisation, il apparaît, comme l'a signalé P. BAUDIN (rapport inédit), qu'une fertilisation azotée (nitrates) pourrait éventuellement accélérer le développement des cannes et augmenter, de ce fait, leur résistance.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BATTISTINI (R.) - 1960 - Description morphologique de NOSY-BE, du delta du Sambirano et de la baie d'Ampasindave, Mém. Inst. Scient. Madagascar (série F), III : p. 121-343.
- BATTISTINI (R.) - VERIN (P.) - 1966 - La datation à Madagascar par la méthode du radiocarbone 14, CR. Sém. Géol. Impr. Nat. Tananarive : p. 13-16.
- BOURGEAT (F.) - 1970 - Contribution à l'étude des sols sur socle ancien à Madagascar. Types de différenciation et interprétation chronologique au cours du quaternaire, thèse Strasb. pub. prov. 310 p. - annexes.
- BERTHOIS (L.) - GUILCHER (A.) - 1956 - La plaine d'Ambilobe, étude morphologique et sédimentologique, Rév. Géom. dynam. Mars-Avril 3 et 4 : p. 3-52.
- DAMOUR (M.) - BOUCHARD (L.) - 1971 - Etude Agropédologique de la Plaine de la Mahavavy Secteur d'Antanimiavotra - Document IRAM N 305 : 56 p.
- HERVIEU (J.) - RIQUIER (R.) - 1955 - Les sols de la SOSUMAV, rapport dact. : 6 p.
- SAINT OURS J. (de) - 1960 - Etudes géologiques dans l'Extrême Nord de Madagascar et de l'Archipel des Comores, Thèse sur géol. Tananarive.
- SEGALEN (P.) - 1956 - Notice de la carte pédologique de reconnaissance au 1/200.000è - Feuille N° 1 (Diégo-Suarez), Mém. I.R.S.M. VII, D : 261-317.
- SEGALEN (P.) - 1956 - Notice de la carte pédologique au 1/50.000è des Plaines d'Ambilobe - Mém. I.R.S.M., VII, D : 317-375.
- SEGALEN (P.) - 1956 - Etude des sols de la plaine du Bas Sambirano - Mém. I.R.S.M. VII, D : p. 375-403.
- VIEILLEFON (J.) - BOURGEAT (F.) - 1956 - Notice explicative cartes pédologiques de reconnaissance au 1/20.000è feuille d'Ambilobe, pub. O.R.S.T.O.M. : 92 p.