

# Étude des sols tourbeux et semi-tourbeux utilisés en culture bananière dans la région de Tamatave

par J. KILIAN

*Institut de Recherches agronomiques à Madagascar (I. R. A. M.).*

## ÉTUDE DES SOLS TOURBEUX ET SEMI-TOURBEUX UTILISÉS EN CULTURE BANANIÈRE DANS LA RÉGION DE TAMATAVE

par J. KILIAN (I. R. A. M.)

*Fruits*, vol. 25, n° 1, janvier 1970, p. 35 à 45.

**RÉSUMÉ.** — Le drainage des bananeraies installées sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave a provoqué après 5-6 ans l'apparition de caractères physiques exceptionnels dans les horizons du sol sollicités par le drainage : l'indice de drainage est très élevé. Après une première récolte bonne à moyenne (15-25 t/ha) les rendements ont considérablement diminué.

Causes physiques de ces échecs partiels : lors de l'implantation des bananeraies le réseau de drainage a été creusé de façon à rabattre la nappe phréatique à une profondeur de 60-80 cm. A la suite du drainage, un tassement du sol s'est produit et la nappe phréatique s'est trouvée à une profondeur relative de 40 à 50 cm. Un plan d'eau aussi superficiel provoque rapidement le pourrissement du système racinaire du bananier.

Causes chimiques : évolution des horizons supérieurs des sols marqués par le drainage, lixiviation très marquée des bases, acidité très forte, teneurs en Al échangeable élevées, conditions défavorables à la culture du bananier. D'où : si la maîtrise de l'eau n'est pas obtenue de façon absolue, ces sols doivent être proscrits pour la culture du bananier.

### I. INTRODUCTION

L'étude du comportement du Bananier sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave a été entreprise en novembre 1967. Avant d'aborder cette étude il convient de rappeler brièvement les caractères du climat de Tamatave et de donner quelques généralités sur les propriétés et la répartition des sols tourbeux et semi-tourbeux de cette région.

### II. DONNÉES CLIMATIQUES

Le climat de la région de Tamatave se caractérise par une pluviométrie élevée. Il est du type tropical chaud et humide. Les précipitations annuelles (moyennes du Service Météorologique sur 25 ans) sont de 3 530 mm. Les moyennes annuelles varient entre 4 911 mm et 2 434 mm. Il n'y a pas de saison sèche marquée. Les moyennes mensuelles font seulement ressortir une diminution assez sensible de la pluie entre les mois de septembre et de novembre. La température annuelle moyenne est de 24° C. Les températures minima descendent à 18° C en juillet-août. Les maxima s'observent en janvier-février (30° C).

### III. LES SOLS TOURBEUX ET SEMI-TOURBEUX DE LA RÉGION DE TAMATAVE

La répartition et la superficie des sols tourbeux et semi-tourbeux de cette région sont sous l'étroite dépendance des données géomorphologiques.

Entre l'Océan et le socle cristallin qui est partout

proche du rivage, les formes morphologiques suivantes très générales sur la côte Est de Madagascar accidentent le rivage :

— *Des sables de plage* : formant la plage actuelle.

\*

— *Un premier faisceau de crêtes de plages littorales* : récent, aux rides vives et jeunes et à peu près parallèles au rivage actuel. Ces cordons débutent au talus formant la plage et leur altitude décroît progressivement vers l'intérieur. Elles sont formées d'un sable légèrement jaune, riche en minéraux ferromagnésiens peu altérés.

— *Un deuxième faisceau de crêtes de plages littorales* : beaucoup plus ancien que le premier, aux rides fortement oblitérées. Ces cordons constituent une plateforme de topographie plane légèrement ondulée, dominant faiblement les crêtes de plages récentes.

La dénivellation peut atteindre 5-6 m, par endroits.

Le matériau constituant cette plateforme marine est un sable d'un blanc très poussé et de granulométrie assez homogène. Ces sables sont totalement dépourvus de minéraux ferromagnésiens.

— *De larges dépressions marécageuses qui se localisent* :

#### 1) *Entre les deux séries de cordons littoraux.*

Ces dépressions s'allongeant nord-sud sur de longues distances sont parfois parcourues par un réseau hydrographique aux bras souvent divagants (riv. Nosive, riv. Ranomainty). Elles sont parfois occupées par des lacs (lac Andovolalina, lac Nosive, lac Sarobakina etc.). L'écoulement de ces eaux vers la mer est gêné par la présence des cordons sableux d'altitude plus élevée provoquant un colmatage général des parties basses.

#### 2) *Entre le socle cristallin et le faisceau ancien.*

Les marais localisés dans ces zones envoient les nombreuses vallées creusées antérieurement au dépôt de ces sables.

L'existence de ces dépressions marécageuses est liée au dépôt des cordons sableux dont la présence quasi continue le long du rivage empêche le libre écoulement des eaux de ruissellement vers la mer.

Dans ces dépressions se sont développés des sols organiques de vaste superficie. Ces sols organiques sont d'origine forestière comme le témoigne la présence de très nombreux troncs et souches d'arbres.

Ainsi que le remarque B. DABIN à propos des marais de l'Agneby (Côte-d'Ivoire), de formation semblable, « le nom de tourbe qu'on leur donne généralement n'a pas la même signification qu'en zone tempérée ; car ces sols organiques d'origine forestière ne constituent pas un milieu biologiquement inerte comme les tourbes à Sphaignes des pays nordiques ». D'après G. AUBERT on pourrait les comparer aux « tourbières

basses ». La matière organique d'origine forestière se maintient à l'état fibreux en raison de l'excès d'eau. Elle commence à s'humifier dès que le drainage est suffisant et que l'on provoque un relèvement du pH par des amendements calcaires ».

La plupart des sols organiques observés ont, en surface, un mince horizon (5 à 10 cm) de matière organique bien humifiée. L'existence de cet horizon superficiel, surprenant en pays tempéré, s'explique ici par la température élevée de l'eau une grande partie de l'année et par une baisse sensible de la nappe phréatique aux périodes d'étiages (10 à 15 cm au-dessous de la surface du sol).

Cette eau, de plus, n'est pas complètement stagnante.

Un écoulement constant quoique faible s'effectue, favorisant son oxygénation.

Dans la plupart de ces marais la forêt a actuellement disparu. Elle persiste localement dans les zones peu accessibles. Ces boisements sont constitués de *Raphia*, *Ravenales*, *Pandanus*, *Niaoulis*.

Les marais déforestés sont colonisés par des graminées hydrophiles, des cypéracées, des Joncs et des *Viha*.

La classification que nous avons adoptée en 1965-1966 lors de la prospection pédologique de cette région a distingué les catégories de sols suivants :

### A. LES SOLS TOURBEUX.

Dans la classification française (G. AUBERT), ces sols appartiennent à la sous-classe des sols *hydromorphes organiques*, groupe des sols tourbeux, sous-groupe des sols tourbeux oligotrophes.

Trois variétés de sols ont été retenues en fonction de la nature des horizons constituant le profil. Ces distinctions peuvent être rangées au niveau de la famille ou du type.

Ces sols ont en commun les propriétés suivantes :

— la nappe phréatique affleure une grande partie de l'année,

— les teneurs en matière organique sont très élevées : elles sont supérieures à 30 % lorsque le reste du sol est de texture argileuse et supérieure à 20 % s'il est de texture sableuse. Ces teneurs atteignent souvent 60 à 70 % ; cette matière organique est très acide.

#### A.1. Sols tourbeux de grande épaisseur.

L'épaisseur de tourbe est supérieure à 2,20 m. Ces sols se localisent surtout dans les dépressions situées

entre les deux faisceaux de cordons littoraux. Le faible écoulement de l'eau dans ces zones favorise l'accumulation de débris végétaux qui n'évoluent pas. Cette tourbe est constituée d'un matériel végétal très grossier, spongieux, aux nombreuses racines vivantes. La teneur en matière organique est supérieure à 60 % sur 2,20 m d'épaisseur.

Le rapport C/N est toujours très élevé (entre 28 et 35).

L'acidité est très forte (pH entre 4,1 et 4,5).

#### A.2. Sols tourbeux à horizons argileux ou limono-argileux intercalés.

Ces sols occupent les vallées ennoyées localisées entre le socle cristallin et le faisceau ancien de crêtes de plages. On observe dans le profil la présence d'horizons minéraux (argileux ou limono-argileux) intercalés entre les horizons de tourbe. Cette tourbe est souvent moins grossière que celle des sols tourbeux de grande épaisseur. Les éléments constituant les horizons minéraux proviennent des produits d'érosion arrachés par les eaux de ruissellement aux collines environnantes. Ces produits (alluvions, colluvions) s'accumulent dans ces dépressions, surtout sur leurs bordures et tendent lentement à les combler. Ce sont des zones d'alluvionnement actif.

La morphologie des profils est fréquemment la suivante :

KPH 43 : rive droite Vorinkina près de Mahasola.

Nappe phréatique : en surface.

Végétation : Viha, Fandra, Cyperacées.

0-30 cm : boue organominérale, noire, bien décomposée.

30-60 cm : argile brune, fluante, avec débris de racines non décomposées.

60-180 cm : boue organominérale brun clair tourbeuse. Débris organiques nombreux, peu décomposés mais très divisés.

180-220 cm : argile brun gris, légèrement micacée.

Dans les horizons minéraux, la matière organique reste abondante (27 à 40 %) et le rapport C/N varie autour de 20-25.

Dans les horizons tourbeux, ces teneurs oscillent entre 40 et 60 %. Le rapport C/N se situe entre 30 et 35.

Les proportions d'argile sont élevées dans les horizons minéraux (entre 30 et 45 %) ; il en est de même pour les limons (entre 28 et 30 %).

Le complexe absorbant est mal saturé. Ces sols

sont cependant bien pourvus en chaux, magnésie et potasse échangeables.

#### A.3. Sols tourbeux sur horizon argileux réduit.

Ces sols se localisent en général au centre des grandes dépressions bordant les collines du socle cristallin. Les produits de comblement n'ont pas encore atteint les zones centrales et seul le substratum est argileux. Leur profil est constitué d'une épaisseur de tourbe plus ou moins divisée de 80 et 150 cm d'épaisseur reposant sur un horizon argileux très épais. Cet horizon argileux peut prendre localement l'aspect d'un gley.

La morphologie du profil se présente ainsi :

Date : 9 juin 1967.

KJT 64 : Marais de l'Ivondro.

Nappe phréatique : + 20 cm.

Végétation : Viha, Ravenale, Beloha.

0-145 cm : tourbe très grossière, brun noir, fibreuse ; très peu décomposée.

145-200 cm : argile, beige gris ; gorgée d'eau, collante ; quelques racines.

Les teneurs en matière organique sont très souvent supérieures à 60-70 % dans l'horizon de tourbe. Elles oscillent entre 15 et 30 % dans l'horizon argileux sous-jacent.

Cette matière organique est peu humifiée (C/N 25 à 30).

L'azote total est particulièrement abondant (> 10 %).

L'acidité est très forte : (pH entre 4,0 et 4,2).

La fraction minérale des horizons tourbeux est faible (10 à 15 % d'argile, 4 à 10 % de limon).

Les teneurs en argile dans l'horizon sous-jacent avoisinent 45 % et les limons sont abondants (28 à 55 %). Le complexe absorbant est très bien pourvu en magnésie mais déficitaire en potasse.

Le phosphore assimilable est presque inexistant.

#### B. LES SOLS SEMI-TOURBEUX.

Ils appartiennent à la sous-classe des sols moyennement organiques, groupe des sols humides à gley.

Les familles reconnues découlent du matériau sur lesquels ils se sont développés.

Ces sols ont en commun les propriétés suivantes :

— la nappe phréatique affleure une grande partie de l'année,

— les teneurs en matière organique sont comprises entre 10 et 20 % pour les sols à texture sableuse et entre 10 et 30 % pour ceux à texture fine ou très fine,

— la fraction minérale est importante sur l'ensemble des profils.

#### B.1. Sols semi-tourbeux homogènes.

Ces sols se rencontrent fréquemment dans les basses plaines alluviales des fleuves de la côte Est. Ils se sont formés sur des alluvions submergées une grande partie de l'année. L'alluvionnement dans ces zones n'est pas très actif et les processus dus à l'engorgement dominant l'évolution des sols.

KJT 22 : février 1967.

Nappe phréatique : + 20 cm.

Végétation : Viha, Arefo.

0-35 cm : brun foncé, argile très fluante et humifère, collante. Nombreuses racines.

35-120 cm : Débris végétaux peu décomposés mêlés à une boue argileuse brune.

120-150 cm : sable limoneux gris foncé.

## IV. GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉTUDE

Les bananeraies installées sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave ont toutes été implantées en 1961-1962, parfois 1963. Le drainage de ces zones marécageuses s'est effectué en même temps que la plantation. Les drains ont été creusés de façon à rabattre la nappe phréatique vers 60-80 cm de profondeur. Cette profondeur, en fait, n'a été atteinte que la première année du drainage. Tous les profils, étudiés quelques années après cette implantation, offrent une grande similitude morphologique. Le rabattement de la nappe a provoqué la formation en surface d'un horizon évolué de 20 à 35 cm d'épaisseur. Cet horizon, mélange intime d'argile et de matière organique bien humifiée, biologiquement actif, assez gras au toucher, ne diffère d'un Anmoor classique que par la porosité élevée et la structure qui est ici très bien développée, grumeleuse ou polyédrique. Les teneurs en matière organique ne dépassent jamais 30 % dans cet horizon, et le rapport C/N varie entre 9 et 15.

L'épaisseur de cet horizon superficiel étant faible (conséquence d'un drainage peu poussé) le type génétique originel du sol ne changera pas ; nous lui ajouterons simplement : à horizon humifié de surface.

Les teneurs en matière organique varient entre 10 et 18 %.

Le rapport C/N est assez bas dans l'ensemble du profil (13 à 18 %). L'acidité est moins forte que dans les sols tourbeux (pH entre 4,5 et 5,5).

La fraction minérale est importante et également répartie dans tout le profil. Les proportions d'argile se situent autour de 35 %. Il en est de même pour les limons.

La capacité d'échange est convenable et la saturation du complexe absorbant est moyenne. La chaux et la magnésie échangeables souvent abondantes. Les teneurs en potasse sont faibles.

#### B.2. Sols semi-tourbeux à horizons argileux ou limono-argileux intercalés.

Ces sols ne diffèrent des précédents que par des teneurs en argile plus élevées dans certains horizons. Ces teneurs dépassent largement 40 ou 45 %. Ils ont la même répartition morphologique que les précédents et les limites entre ces sols sont sur le terrain toujours diffuses et progressives.

L'étude entreprise se résume donc à l'analyse de l'évolution de sols génétiquement voisins, sous l'influence d'un drainage d'intensité moyenne et supportant des cultures de bananiers.

Des mesures physiques ont été effectuées dans ce premier horizon où la densité des racines est la plus élevée. Des analyses chimiques ont été réalisées sur l'ensemble du profil. L'étude physique a comporté des mesures de l'indice d'instabilité structurale  $I_s$  auquel on associe le coefficient  $K$  de perméabilité (en cm/h) de la loi de DARCY obtenu après percolation d'eau à travers une colonne de terre (méthode HENIN).

La stabilité structurale est calculée d'après l'indice d'instabilité et la perméabilité par la formule :

$$St = 20 (2,5 + \log 10 K - 0,837 \log 10 I_s)$$

St, chiffrant la stabilité structurale, est d'autant plus grand que la perméabilité est plus élevée et que l'indice d'instabilité est plus petit.

Ces mesures ont été complétées par des déterminations de la porosité qui conditionne l'alimentation en eau de la plante et la respiration des racines ; ont été calculées la porosité totale, l'humidité équi-

valente (porosité correspondant à une force de succion de 1 000 g ou  $pF_3$ ) et le point de flétrissement (porosité correspondant à une force de succion de 16 000 g. ou  $pF_{4,2}$ ).

Ces mesures permettent de calculer les caractéristiques suivantes du sol :

Porosité utile :  $PU = \text{porosité totale} - pF_{4,2}$ .

Eau utilisable :  $EU = pF_3 - pF_{4,2}$ .

Capacité pour l'air :  $A = \text{porosité totale} - pF_3$ .

En combinant ces différentes valeurs, B. DABIN a proposé trois indices chiffrant l'état structural des sols.

Ces indices sont :

— Indice de structure  $F_1 = St \times \sqrt{Pu \times Eu}$ .

— Indice d'humidité  $HE = \frac{\sqrt{Pu \times Eu}}{St}$ .

— Indice de ressuyage  $F_2 = A \times \log_{10} K$ .

$F_1$  peut être considéré comme un indice de structure ;  $\sqrt{Pu \times Eu}$  étant en effet en relation avec la richesse en colloïdes minéraux et organiques et représentant leur stabilité.

$HE$  : Indice d'humidité, ou humidité édaphique, représente les possibilités de rétention d'eau par le sol.

$F_2$  : Indice de ressuyage, ou résistance à l'engorgement, représente les possibilités d'aération et de drainage du sol.

Selon B. DABIN : « Les trois indices ne doivent pas être considérés isolément, ce sont au contraire trois coordonnées qui permettent de situer avec ces différentes variantes l'état physique intrinsèque d'un sol dont les éléments essentiels sont : structure-humidité-drainage ».

Ces indices ont déjà été utilisés en Côte-d'Ivoire par DABIN et LENEUF sur les sols tourbeux de l'Agneby et, à Madagascar, à la station I. F. A. C. de l'Ivoiloïna par G. GODEFROY et dans la plaine de Iazafo (Fénériver) par L. BOUCHARD.

L'étude chimique des profils a comporté les mesures classiques de laboratoire : matière organique, bases échangeables ; les sols étant très acides, il a paru utile de doser l'aluminium échangeable.

Dans chaque bananeraie un profil a été creusé au lieu le plus caractéristique de la plantation. Toutes les mesures physiques ont été réalisées dans l'horizon superficiel à partir de quatre échantillons prélevés autour du profil.

La densité réelle a été mesurée au pycnomètre.

## V. COMPORTEMENT DU BANANIER

Il existe actuellement 7 ou 8 bananeraies installées sur sol tourbeux dans la région de Tamatave.

Au début de leur exploitation les rendements à l'hectare étaient moyens (de l'ordre de 15-20 t/ha). Par la suite plusieurs d'entre elles ont été détruites par les inondations. Des replantations ont été faites, peut-être avec moins de soins et depuis, les rendements sont nuls ou faibles (inférieurs à 10 t/ha).

Ces bananeraies sont maintenant plus ou moins abandonnées, les drains ne sont plus curés et un grand nombre d'entre eux sont presque comblés.

L'étude de ces bananeraies s'est effectuée en novembre 1967 après de grosses pluies.

### V.1. Caractéristiques des plantations.

#### Profil KDB 1 :

Bananeraie Ariette : située dans une cuvette de sédimentation latérale dans le cours moyen de l'Ivoiloïna.

*Type de sol* : semi-tourbeux à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,45 m.

Le drainage et la plantation datent de 1963.

La 1<sup>ère</sup> récolte a donné 15 à 20 t/ha.

Détruite par suite d'une inondation en 1964.

La nouvelle plantation a échoué et actuellement la production est nulle.

Les bananiers ont pratiquement disparu.

#### Profil KDB 2.

Plantation effectuée en 1962 dans une ancien marais récupéré sur la rive droite de l'Ivoiloïna dans la basse plaine.

*Type de sol* : semi-tourbeux à horizons argileux intercalés et à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,45 m.

En cinq ans, une récolte normale de 15-20 t/ha.

La production est pratiquement nulle actuellement.

Cette bananeraie est inondée régulièrement après chaque grosse pluie.

*Profil KDB 7 :*

Bananeraie Chan Kwai Chung (plantation Erika).

*Type de sol* : tourbeux oligotrophe à horizons argileux intercalés et horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,60 m.

Précédent : marais à Viha.

La plantation et le drainage datent de 1961-1962.

Le collecteur a été creusé au départ jusqu'à 2 m de profondeur et les drains jusqu'à 1 m.

Les premières récoltes ont été très bonnes (20-25 t/ha).

L'inondation de 1964 a tout détruit. Depuis, les rendements sont faibles et se situent autour de 10 t/ha.

*Profil KDB 8 :*

Bananeraie Fuke mive Lun.

*Type de sol* : tourbeux oligotrophe à horizons argileux intercalés et à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,65 m.

Précédent : marais à Viha.

La plantation et le drainage ont débuté simultanément en 1962.

Le drainage a été effectué à 1 m de profondeur.

Les premières récoltes ont été bonnes (20 t/ha).

Depuis l'inondation de 1964 qui a tout détruit, la production est pratiquement nulle. Bananeraie plus ou moins abandonnée.

*Profil KDB 9 :*

Bananeraie Mario.

*Type de sol* : tourbeux oligotrophe à horizons argileux intercalés et à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,40 m.

Précédent : marais à Viha.

La plantation et le drainage datent de 1963.

Les récoltes n'ont jamais été bonnes. Depuis 1964, cette bananeraie est abandonnée.

*Profil KDB 10 :*

Bananeraie Chan Kwai Chung, cours moyen de la Vorinkina.

*Type de sol* : hydromorphe peu humifère sur alluvions récentes.

Nappe phréatique : 0,55 m.

La plantation et le drainage ont débuté en 1961.

Cette bananeraie est régulièrement inondée tous les ans.

Les rendements ont toujours été très faibles.

Abandonnée depuis deux ans.

**V.2. Morphologie des profils.**

Trois profils seront décrits, ils représentent la gamme des sols observés dans ces bananeraies.

*Profil KDB 7 :*

Bananeraie Erika.

Profils semblables : KDB 8-KDB 9.

*Type de sol* : tourbeux oligotrophe à horizons argileux intercalés et à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,60 m.

0- 25 cm : brun foncé. Limon argileux ; humide, toucher gras. Structure polyédrique fine bien développée ; racines nombreuses. Quelques micras fins ; très nombreux vers de terre.

25- 50 cm : tourbe bien divisée subissant un début de décomposition. Partie minérale assez importante ; gorgée d'eau.

50- 70 cm : brun gris ; limon argileux ; organique. Débris nombreux de racines divisées peu décomposées.

70-120 cm : argile limoneuse grise gleyifiée. Plastique, fluant, gorgé d'eau.

120-185 cm : tourbe très grossière jaunâtre, constituée de gros morceaux de bois pourris.

185-195 cm : argile grise fluante et gorgée d'eau.

195-220 cm : tourbe très grossière brune formée de gros morceaux de bois pourris.

*Profil KDB 2 :*

Profil semblable : KDB 1.

*Type de sol* : semi-tourbeux à horizons argileux intercalés à horizon humifié de surface.

Nappe phréatique : 0,45 m.

0- 20 cm : brun foncé. Limon argileux ; humide. Meuble à plastique, toucher gras. Structure grumeleuse fine à moyenne bien développée. Chevelu racinaire dense. Quelques micras fins, très nombreux vers de terre.

20- 38 cm : brun. Limon argileux organique ; humide, légèrement meuble. Structure grumeleuse moins bien développée. Nombreuses racines de bananiers. Nombreux vers de terre.

38-110 cm : gris jaune. Argile fine ; plastique, très humide.

110-140 cm : argile grise gleyifiée ; plastique et collante gorgée d'eau.

140-200 cm : débris organiques bruns bien décomposés. Partie minérale assez abondante ; gorgée d'eau.

*Profil KDB 10 :*

Bananaïraie localisée dans la moyenne Vorinkina.

Type de sol : hydromorphe peu humifère à pseudogley d'ensemble sur alluvions récentes.

Nappe phréatique : 0,55 m.

0-25 cm : brun jaune, argile, humifère ; humide. Structure polyédrique fine à moyenne. Moyennement développée ; racines abondantes ; très nombreux vers de terre.

25-100 cm : jaune tacheté de rouge. Argile ; humide et plastique. Structure à tendance polyédrique faible. Quelques pores. Taches rouges et grises éparpillées dans l'horizon.

**V.3. Étude des facteurs physiques.**

Les résultats analytiques obtenus sont consignés dans les deux tableaux ci-dessous.

TABLEAU 1

Profils	KDB 1	KDB 2	KDB 7	KDB 8	KDB 9	KDB 10
Profondeur en cm	0-20	0-20	0-25	0-25	0-25	0-25
Matière organique p. cent	13,18	24,85	21,02	21,66	19,76	7,01
Is	0,054	0,060	0,044	0,051	0,051	0,139
K en cm/h	12,07	10,65	6,86	8,08	8,14	4,52
St	95,9	94,3	92,8	93,0	93,0	80,7
z Henin	2,47	2,41	2,40	2,39	2,39	2,08
Densité réelle	2,03	2,0	1,97	2,09	1,97	2,42
Densité apparente	0,51	0,55	0,53	0,56	0,46	0,68
Humidité équivalente pF 3 (p. cent du volume)	29,74	34,30	30,86	33,81	27,38	32,19
Point de flétrissement pF 4,2 (p. cent du volume)	18,80	22,07	22,51	24,28	21,13	23,54
Eau utilisable EU (p. cent du volume)	10,94	12,23	8,35	9,53	6,25	8,65
Porosité totale p. cent	74,9	72,5	73,1	73,2	76,6	71,9
Porosité utile PU	56,10	50,40	50,59	48,92	55,47	48,36
Capacité pour l'air A	45,16	38,20	42,24	39,39	49,22	39,71

TABLEAU 2

Profils	Profondeur	Indice de drainage $A \times \log 10 K$	Indice de structure $St \times \sqrt{PU \times EU}$	Indice d'humidité $H = \sqrt{PU \times EU} / St$
KDB 1	0-20	93,5	2,369	0,36
KDB 2	0-20	77,5	2,329	0,26
KDB 7	0-25	77,7	1,902	0,22
KDB 8	0-25	75,2	2,008	0,23
KDB 9	0-25	94	2,111	0,24
KDB 10	0-25	65,5	1,646	0,25

Les chiffres obtenus offrent tous une grande similitude ; cela est normal si l'on considère que ces analyses ont été faites sur des sols du même sous-groupe, drainés depuis la même époque et ayant supporté

la même culture. Ces sols, riches en matière organique, ont tous une densité apparente et réelle, très basse.

La densité apparente varie entre 0,46 et 0,56 et la densité réelle entre 1,97 et 2,09 (la densité réelle d'un sol non humifère oscille entre 2,60 et 2,70). Cela se traduit par une porosité totale très grande (entre 74,9 et 76,6 %). L'humidité équivalente exprimée en volume varie entre 27,4 % et 33,8 %. La capacité pour l'air en conséquence est élevée (entre 39,4 % et 49,2 %).

La porosité utile également est forte (exprimée en volume elle est de l'ordre de 50 %).

L'indice Is d'instabilité structurale est extrêmement bas (autour de 0,050). Ce qui traduit une stabilité structurale exceptionnelle. Cela est dû aux fortes teneurs en matière organique.

La perméabilité est convenable partout.

L'indice général de structure est partout exceptionnellement élevé.

L'humidité édaphique qui représente la quantité d'eau qui peut être emmagasinée et retenue par le sol est moyenne (0,26) à l'exception du profil KDB 1 où elle est forte (0,36). Cela n'est pas gênant sous la pluviométrie de Tamatave.

*Interprétation des chiffres obtenus pour les indices (selon B. DABIN)*

*Indice de structure :*

Horizon de surface	
Exceptionnel.....	supérieur à 2 000
Très bon.....	supérieur à 1 600
Bon.....	1 400 à 1 600
Moyen.....	1 100 à 1 400
Médiocre.....	900 à 1 100
Mauvais.....	inférieur à 900

*Indice d'humidité :*

Humidité faible.....	au-dessous de 0,15
Humidité moyenne.....	entre 0,15 et 0,30
Humidité forte.....	entre 0,30 et 0,40
Humidité très forte.....	supérieur à 0,40

*Indice de drainage :*

Exceptionnel.....	supérieur à 70
Très bon.....	60 à 70
Bon.....	50 à 60
Moyen.....	40 à 50

Mauvais pour les climats ou sols humides.....	} 35 à 40
Médiocres, climats ou sols secs.....	
Médiocre dans tous les cas..	

L'indice de drainage (ou résistance à l'engorgement) est très élevé dans tous les profils. Cet indice est particulièrement important dans ces sols car il conditionne l'aération de l'horizon où se développent les racines. Une bonne résistance à l'engorgement permet selon B. DABIN « une utilisation des sols organiques même avec une nappe phréatique peu profonde (30-40 cm) ».

Nous pensons cependant que cette profondeur de 30-40 cm est insuffisante pour la culture du bananier.

Au début du drainage, en effet, avant que le sol n'ait suffisamment évolué, la résistance à l'engorgement est faible et l'humidité du sol (en % du poids sec) est trop forte pour permettre une bonne aération des racines de cette plante très sensible à l'eau.

Les analyses effectuées sur ces sols mettent en évidence les caractères physiques exceptionnels de cet horizon de surface dans lequel se développent la plus grande partie des racines du bananier.

*Les caractères physiques de ces sols ne sont donc pas à impliquer dans l'échec des plantations.*

A notre sens les raisons expliquant les baisses de production généralisées dans toutes les plantations sont, du point de vue dynamique de l'eau, de deux ordres :

#### 1° La submersion :

Le bananier craint à l'extrême un engorgement du sol par l'eau. Il ne résiste pas à une submersion du sol dépassant deux jours ; s'il ne meurt pas, sa production diminue de moitié ou des deux tiers.

Les vallées tourbeuses où ont été implantées les bananeraies reçoivent, lors de grosses pluies et selon leur position morphologique, toutes les eaux de ruissellement où celles d'inondation. Le réseau de drainage est incapable d'évacuer rapidement ces eaux excédentaires et en conséquence les plantations sont submergées pendant quelques jours (en général 2 ou 3).

#### 2° La profondeur de la nappe phréatique :

A l'implantation des bananeraies, la profondeur des drains a été calculée de façon à rabattre la nappe phréatique à 60 à 80 cm de la surface du sol. La pre-

mière production sur des sols tourbeux non évolués a été convenable. Elle s'est échelonnée en effet entre 15 et 25 t/ha.

L'évolution des sols, consécutive au drainage, s'est accompagnée d'un certain tassement dont il est difficile de préciser l'ampleur (de 20 à 40 cm environ). Les drains n'ont pas été simultanément recrusés si bien que la profondeur relative de la nappe phréatique au-dessous du sol a diminué. Lors de la prospection cette profondeur se situait entre 40 et 55 ou 60 cm ce qui est insuffisant pour le bananier.

Il semble donc que l'engorgement et l'insuffisance du drainage soient en grande partie responsables du déclin des bananeraies.

Le profil KDB 10, prélevé dans une bananeraie installée sur un sol hydromorphe minéral formé sur alluvions récentes est assez démonstratif.

Les analyses ont mis en évidence les caractères physiques exceptionnels de l'horizon humifère de surface (7 % de matière organique). Cette bananeraie implantée sur un bon sol, drainé convenablement est inondée périodiquement par les eaux de débordement de la Vorinkina. Ces submersions répétées ont conduit à l'abandon de cette plantation.

#### V.4. Facteurs chimiques.

Les éléments chimiques dosés dans ces sols ont été la matière organique, le pH, les bases échangeables, l'aluminium échangeable.

Les sols tourbeux à horizons argileux intercalés ont pour caractères essentiels avant drainage :

— Des taux de matière organique variant entre 30 et 40 % en surface, avec un rapport C/N élevé (entre 20 et 30).

Dans certaines zones topographiques où la nappe phréatique subit des oscillations saisonnières, il peut exister en surface un mince horizon (entre 5 et 10 cm d'épaisseur) de matière organique transformée, liée à la fraction minérale. Dans cet horizon d'Anmoor la teneur en matière organique est toujours inférieure à 30 % et le rapport C/N est bas (entre 9 et 13).

— Une capacité d'échange élevée.

— Un taux de saturation du complexe absorbant bas dans les horizons organiques et souvent fort dans les horizons argileux.

Le complexe absorbant est fortement pourvu en chaux et magnésie échangeables et déficitaire en potasse échangeable. Les teneurs en phosphore assimilable sont toujours faibles.

— Un pH toujours supérieur à 4, oscillant entre 4,2 et 4,8.

Après cinq à six années de drainage, les propriétés chimiques des horizons situés sous la nappe phréatique n'ont pas changé. Par contre les horizons supérieurs placés au-dessus de la nappe phréatique ont profondément évolué. Actuellement l'horizon supérieur se caractérise par :

— Des taux de matière organique toujours inférieurs à 30 % (entre 15 et 24 %) et un rapport C/N bas (entre 9 et 15).

— Une lixiviation très importante des bases échangeables ; très marquée pour la chaux et la magnésie, elle est moins forte pour la potasse. Le phosphore assimilable se maintient par contre dans des proportions semblables.

— Une forte baisse du pH : celui-ci varie entre 3,8 et 3,6.

— Des teneurs très fortes en aluminium échangeable.

Ces caractères très nets dans l'horizon humifère s'estompent légèrement dans la zone du battement de la nappe phréatique.

Le tableau 3 met en évidence ces différences pour Al<sup>+++</sup>.

L'acidité très marquée et la présence de taux très élevés d'aluminium échangeable caractérisent donc l'horizon supérieur en même temps que des teneurs très basses en bases échangeables.

La présence dans le sol d'aluminium échangeable

peut expliquer l'action dépressive qu'exerce d'une façon générale un pH acide sur la croissance des plantes.

Selon HARTWELL et PEMBER cité par C. JUSTE (10) l'influence toxique de l'aluminium se manifeste sur la plupart des plantes surtout vis-à-vis de l'appareil racinaire dont le développement peut être complètement inhibé.

Selon C. JUSTE qui a étudié particulièrement les phénomènes de toxicité de l'aluminium échangeable

TABLEAU 3  
Teneurs en aluminium échangeable dans quelques profils

Profils	Profondeur en cm	pH	Al <sup>+++</sup> en méq. %	Observations
KDB 1-1	0-20	4,4	5,7	Nappe phréatique 0,40 m
	20-30	4,2	5,1	
	30-100	4,0	3,0	
KDB 2-1	0-20	3,7	10,2	Nappe phréatique 0,45 m
	20-38	3,7	10,5	
	38-110	4,2	2,7	
KDB 7-1	0-25	3,8	9,4	Nappe phréatique 0,60 m
	25-50	3,4	10,4	
	50-70	4,2	3,6	
KDB 9-1	0-25	3,9	6,1	Nappe phréatique 0,40 m
	25-53	3,8	5,4	
	53-160	4,0	3,1	
KDB 17-1	0-20	3,6	5,7	Nappe phréatique 0,50 m
	20-38	3,6	5,3	
	38-58	4,3	3,9	

TABLEAU 4

N° de l'échantillon	KDB 1				KDB 2			KDB 7			KDB 8			KDB 9			KDB 10	
	0-20 4,4	20-30 4,2	30-400 4,0	100-180 4,1	0-20 3,7	17-38 3,7	38-110 4,2	0-25 3,8	25-50 3,4	50-70 4,2	0-25 3,8	25-55 4,1	55-75 4,3	0-25 3,9	25-53 3,8	53-160 4,0	0-25 4,1	25-100 4,3
Granulométrie																		
Sable grossier %	0,37	2,96	3,90	1,49	0,68	14,65	0,26	0,72	1,69	1,59	0,34	0,29	0,29	0,16	0,88	0,43	0,27	0,18
Sable fin %	4,34	28,89	6,87	19,63	1,80	3,33	1,01	2,31	1,09	2,69	0,90	0,22	0,84	0,25	1,06	0,26	0,78	1,25
Sable très fin %	4,55	8,16	9,52	8,79	3,63	4,04	2,34	0,88	1,96	1,31	1,05	0,20	0,37	0,21	1,08	0,16	0,42	3,39
Limon %	40,50	31,50	25,60	30,00	38,00	31,50	31,00	38,50	38,00	32,50	40,00	20,50	36,50	42,00	27,00	34,50	36,00	29,00
Argile %	36,00	25,50	24,50	37,50	30,00	29,00	61,50	35,50	25,50	37,50	35,00	22,00	34,00	37,00	36,00	59,00	54,50	63,50
Eléments organiques																		
Carbone %	7,63	1,12	16,00	1,21	14,49	9,53	1,64	12,17	18,14	13,53	12,54	32,28	15,62	11,44	19,06	2,67	4,06	0,94
Matière organique %	13,18	1,93	27,63	2,09	24,85	16,46	2,83	21,02	31,33	23,37	21,66	55,75	26,97	19,76	32,92	4,61	7,01	1,62
Azote %	7,88	0,86	7,06	0,74	9,02	10,84	1,22	8,32	12,60	7,56	8,84	10,34	7,22	10,00	13,04	1,86	4,00	1,04
Rapport C/N	9,68	13,02	22,66	16,35	15,95	8,79	13,44	14,63	14,40	17,90	14,15	31,22	21,63	11,44	14,62	14,35	10,15	9,04
Complexe absorbant																		
Acide phosphorique assimilable %	0,028	0,020	0,020	0,020	0,024	0,022	0,030	0,020	0,018	0,018	0,018	0,020	0,018	0,020	0,020	0,048	0,018	0,014
Ca échangeable méq. %	0,82	1,24	1,65	2,07	0,82	1,24	2,49	0,82	0,82	3,32	0,82	7,48	4,15	0,82	0,82	1,24	0,82	0,82
Mg échangeable méq. %	0,166	0,250	0,332	0,416	0,166	0,250	0,500	0,166	0,166	0,666	0,166	1,500	0,832	0,166	0,250	0,166	0,166	0,166
K échangeable méq. %	0,65	0,65	1,64	0,65	0,65	0,65	2,63	0,65	0,65	1,64	0,65	3,94	4,93	0,65	0,65	1,64	0,65	0,65
Na échangeable méq. %	0,080	0,080	0,200	0,080	0,080	0,080	0,320	0,080	0,080	0,200	0,080	0,480	0,600	0,080	0,080	0,200	0,080	0,080
Somme des bases échangeables S méq. %	0,51	0,12	0,12	0,07	0,25	0,15	0,05	0,20	0,12	0,10	0,20	0,10	0,07	0,25	0,07	0,07	0,15	0,05
Degré de saturation	0,200	0,050	0,050	0,030	0,100	0,060	0,020	0,080	0,050	0,040	0,080	0,040	0,030	0,100	0,030	0,030	0,060	0,020
v = $\frac{S}{T} \times 100$	0,03	0,05	0,08	0,13	0,08	0,05	0,12	0,05	0,05	0,17	0,08	0,12	0,08	0,08	0,12	0,08	0,08	0,05
	0,058	0,012	0,020	0,028	0,020	0,012	0,028	0,012	0,012	0,040	0,020	0,028	0,020	0,020	0,028	0,020	0,020	0,012
	2,01	2,06	3,49	2,91	1,80	2,09	5,29	1,72	1,64	5,23	1,75	11,64	9,23	1,80	1,66	3,03	1,70	1,57
Capacité d'échange T méq. %	35,60	13,40	37,60	10,60	48,00	63,20	23,80	43,40	66,40	37,40	43,20	68,60	36,20	39,20	57,40	17,20	18,40	12,60

dans les sols acides du sud-ouest atlantique : « Les symptômes d'intoxication par  $Al^{+++}$  sont très peu caractéristiques... le caractère le plus constant est le nanisme ou même l'arrêt total de la croissance du végétal ; cette atrophie intéresse surtout le système racinaire : les racines s'épaississent, brunissent et s'enroulent sur elles-mêmes... En ce qui concerne les parties aériennes, celles-ci peuvent dans les cas les plus graves jaunir et se dessécher ; un symptôme assez fréquent est le rougissement général de la plante, rougissement tout à fait comparable à celui que l'on peut observer à la suite d'une sévère carence en acide phosphorique. »

Ces symptômes ont été observés en pays tempéré et ailleurs sur des espèces végétales autres que le bananier. Il est pensable cependant que l'action phytotoxique de l'aluminium échangeable ait été

quelque peu responsable du dépérissement progressif des bananeraies.

Il convient donc d'éviter dans ces sols une baisse excessive du  $pH$ . Cela peut se réaliser par des chaulages effectués au moment du drainage.

L'excès d'aluminium échangeable peut être également combattu par des phosphatages. Selon HARTWELL et PEMBER toujours cités par C. JUSTE « l'effet bénéfique d'un apport complémentaire de phosphates dans les sols ne résulte pas de la correction d'une éventuelle carence en acide phosphorique qu'aurait pu provoquer la formation d'un précipité de phosphate d'aluminium mais de l'atténuation ou de la disparition de la toxicité de l'aluminium qui précipite à la suite d'un excès d'acide phosphorique ».

Cet apport complémentaire de phosphate équivaut selon ces auteurs « au point de vue de la diminution de l'activité de  $Al^{+++}$  à la réalisation d'un chaulage ».

## VI. CONCLUSIONS

Le drainage des bananeraies installées sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave a provoqué après cinq ou six années l'apparition de caractères physiques exceptionnels dans les horizons du sol sollicités par le drainage ; en particulier l'indice de drainage est très élevé.

Dans toutes les bananeraies analysées, après une première récolte bonne à moyenne (entre 15 et 25 t/ha), les rendements ont baissé dans de telles proportions que quelques-unes d'entre elles ont été abandonnées.

Ces échecs partiels sont dus probablement à des causes physiques et chimiques.

### *Causes physiques.*

Les marais tourbeux où ont été implantées les bananeraies sont très mal protégés, en raison de leur topographie contre les submersions provoquées par des pluies violentes ou des inondations. Ces submersions persistent malgré le réseau de drainage, pendant 2 ou 3 jours, ce qui suffit à tuer le bananier, plante sensible à l'extrême à un engorgement du sol par l'eau. Lors de l'implantation des bananeraies, le réseau de drainage a été creusé de façon à rabattre la nappe phréatique à une profondeur de 60-80 cm, ce qui est convenable pour cette espèce végétale. L'évolution de ces sols tourbeux à la suite du drainage s'est traduite par un tassement du sol.

Les drains n'ayant pas été recreusés, la position relative de la nappe phréatique par rapport à la surface du sol est amenée à une profondeur de 40 ou 50 cm. Un plan d'eau aussi superficiel provoque rapidement le pourrissement du système racinaire.

### *Causes chimiques.*

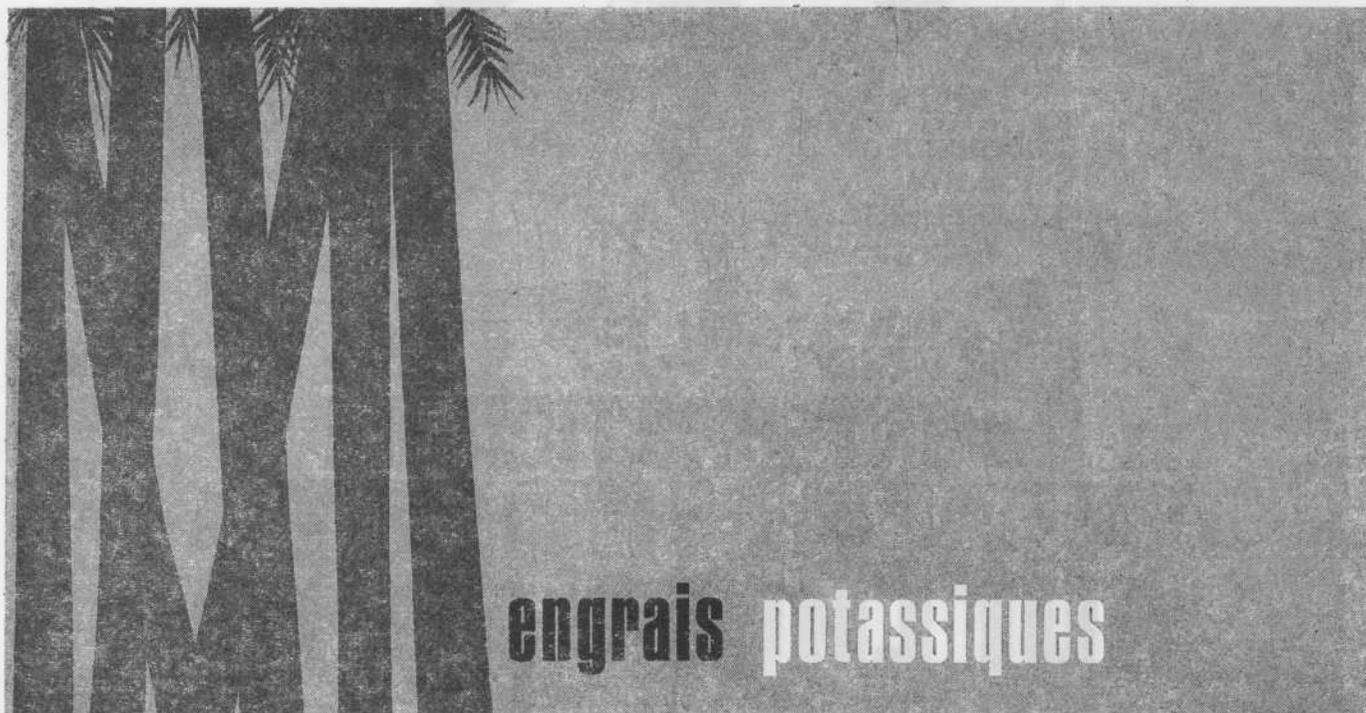
Dans les horizons supérieurs des sols, marqués par le drainage, l'évolution se traduit par une lixiviation très marquée des bases, une acidité très forte et la présence de teneurs en aluminium échangeable élevées. Ces caractères très défavorables doivent être combattus par des chaulages ou des phosphatages ; les autres éléments minéraux devront être également apportés au sol pour éviter des déséquilibres chimiques.

Il ressort de cette étude que la culture du bananier sur les sols tourbeux et semi-tourbeux de la région de Tamatave est d'une pratique délicate qui nécessite de grandes précautions et de forts investissements. En particulier, si la maîtrise de l'eau n'est pas obtenue de façon absolue, il est préférable de proscrire l'utilisation de ces sols pour le bananier.

Tananarive, février 1968.

## BIBLIOGRAPHIE

- (1) AUBERT (G.). — La classification pédologique utilisée en France, 3<sup>e</sup> symp. intern. class. sols gand. 1965.
- (2) CHAMPION (J.), DUGAIN (F.), MAIGNIEN (R.) et DOMMERGUES (Y.). — Les sols de bananeraies et leur amélioration en Guinée. *Fruits*, vol. 13, n° 9-10, 1958.
- (3) DABIN (B.) et LENEUF (N.). — Les sols de bananeraies de la Côte-d'Ivoire. *Fruits*, vol. 15, n° 1, 1960.
- (4) DABIN (B.). — Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. *Cahiers Pédologie O. R. S. T. O. M.*, vol. II, fasc. 1, 1961.
- (5) DABIN (B.). — Relations entre les propriétés physiques et la fertilité dans les sols tropicaux. *Ann. Agron.*, 1962, vol. 13, n° 2.
- (6) DUGAIN (F.). — Étude sur la fertilité des sols de la plaine bananière du Cameroun. *Fruits*, vol. 15, n° 4, 1960.
- (7) DUGAIN (F.). — Le sulfate d'ammoniaque dans le sol en culture bananière de bas fond. *Fruits*, vol. 14, n° 4, 1959.
- (8) GODEFROY (J.). — Relation entre la fertilité du bananier et les caractéristiques structurales dans les sols de la Station d'Ivoiloïna à Madagascar. Colloque sur la Fertilité des Sols tropicaux. CFS/TAN/112-3-1, n° 127, Tananarive, 1967.
- (9) HARTWELL (B. L.) et PEMBER (F. R.). — The presence of aluminium as reason for the difference in the effect of so called acid soil on barbey and Rye-Sgil, So. 6, 1918.
- (10) JUSTE (C.). — Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du sud-ouest atlantique. Application à leur mise en valeur. *Ann. Agron.*, vol. 17, n° 2 et vol. 17, n° 3, 1966.
- (11) KILIAN (J.) et NGO CHAN BANG. — Étude pédologique de reconnaissance sur les Bananiers dans la région de Tamatave. Rapport I. R. A. M., sept. 1965.
- (12) KILIAN (J.). — Recherches des sols à Palmier à huile dans la région de Tamatave. Rapport I. R. A. M., oct. 1966.
- (13) MAIGNIEN (Ri.). — Sols à bananiers de la région de Kindia (Guinée française). *Agron. Tropic.*, vol. X, n° 1, 1955.
- (14) PORTERES (R.). — Les terres organiques tourbeuses de l'ancien delta de l'Agneby (Côte-d'Ivoire) et leur conduite en culture bananière. *Agron. Trop.*, vol. V, n° 5 et 6, 1950.
- (15) HENIN (S.), MONIER (G.) et COMBEAU (A.). — Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.*, n° 1, série A, 1958.



**engrais potassiques**

573 R

**SCPA** RENSEIGNEMENTS - DOCUMENTATION

**SOCIÉTÉ COMMERCIALE DES POTASSES ET DE L'AZOTE**

11, av. de FRIEDLAND - PARIS 8<sup>e</sup> - Tél. : 225-74-59 - Telex : 28 709 POTA-PARIS