

La culture bananière sur sols hydromorphes dans la zone du Niekly (Agneby) en Côte d'Ivoire

A. LASSOUDIÈRE*

LA CULTURE BANANIÈRE SUR SOLS HYDROMORPHES
DANS LA ZONE DU NIEKLY (AGNEBY) EN CÔTE D'IVOIRE
A. LASSOUDIÈRE (IFAC)

Fruits, fev. 1973, vol. 28, n°2, p. 85-102.

RESUME - La basse vallée de l'Agneby, située à 40 km à l'ouest d'Abidjan, est devenue une zone bananière importante en Côte d'Ivoire. Son originalité est que les sols sont hydromorphes, riches en matières organiques (tourbes) et que le plan d'eau est proche de la surface du sol.

Une première partie présente l'aspect écologique (situation, végétation, climatologie, types de sol). On essaie de définir les sols hydromorphes avant et après la mise en culture et l'influence des drainages et amendements.

Dans la deuxième partie, la culture du bananier dans la zone dite du Niekly est décrite brièvement en insistant sur les techniques culturales particulières et sur les problèmes posés.

Le marais de l'Agneby, ainsi que d'autres vallées marécageuses proches de la lagune, constituent la zone bananière ivoirienne la plus importante tant en surface qu'en tonnage produit. L'objectif technique est d'accroître les rendements de façon à maintenir le prix de revient assez bas malgré l'accroissement des charges en personnel, matériel et produits.

Schémas, cartes et photos, références des principales publications.

Nous publions une étude de A. LASSOUDIÈRE sur un cas assez original de culture bananière, en Côte d'Ivoire, sur des sols hydromorphes et riches en matières organiques, parfois de véritables tourbes. Agronome à l'IFAC, il est chargé des expérimentations dans cette zone marécageuse de l'Agneby depuis peu, et il a voulu faire le bilan des connaissances déjà acquises par divers spécialistes, planteurs, botanistes, pédologues, agronomes. Une des sources d'information les plus intéressantes est l'ensemble des enquêtes et rapports, dont le Ministère de l'Agriculture de Côte d'Ivoire fut le promoteur, en 1967-1968. Depuis que des pionniers se lancèrent dans le marais, dès 1933-1934, l'intérêt n'a fait que croître pour l'utilisation rationnelle de zones réputées incultivables selon les normes classiques de l'agronomie.

Le travail de A. LASSOUDIÈRE fait connaître le résultat de nombreux et tenaces efforts des producteurs et des techniciens qui ont abouti à créer une zone de haute productivité.

J. CHAMPION.

LE CADRE NATUREL

Généralités.

Le littoral ivoirien est caractérisé par la présence de nombreuses lagunes. Débouchant dans ces lagunes, des vallées marécageuses s'échelonnent, en particulier à l'ouest d'Abidjan. Le marais de l'Agneby est le plus important.

La culture bananière y a débuté dès 1932-1933 avec des planteurs venant de Guinée. Leur choix est facile à comprendre : ils venaient d'un pays où les saisons sèches sont sévères, où les vallées à sols humifères sont rares et étroites. Les avantages paraissent être la proximité du port d'Abidjan, les réserves élevées en matière organique d'un sol pourvu d'un plan d'eau permanent et proche de la surface et de grands espaces permettant de constituer un ensemble et une organisation coopérative efficace (24).

Cette zone marécageuse située à 40 km à l'ouest d'Abidjan, de forme triangulaire ouverte vers la lagune Ebrié, couvre environ 12.000 ha (figure 1). Elle est encadrée par des plateaux de sable tertiaire à l'est et à l'ouest, dont l'altitude est inférieure à 60-70 m. Elle constitue l'aire d'extension d'un ancien delta de l'Agneby, fleuve dont le bassin versant est actuellement de 8.450 km². Le socle cristallin affleurant au nord du confluent Agneby-Nieky est constitué par des granites et des schistes birrimiens, plus ou moins altérés. Les études SODEMI ont permis de mettre en évidence trois grandes divisions dans le bassin sédimentaire :

le crétacé : sables blancs moyens à grossiers ;

le tertiaire continental ayant à la base des sables très argileux et des couches d'argiles, suivis d'un grès ferrugineux et lits d'oolithes ; au sommet, les sables à niveau de latérites et argiles latéritiques ;

le quaternaire.

LENEUF (22) donne les indications suivantes : « Les marécages de la rive est de l'Agneby représentent l'aire d'extension d'un ancien delta. A l'est du bourrelet alluvial actuel de cette rivière, nous trouvons d'autres affleurements argileux, témoins d'anciennes berges. Ces levées argileuses ont isolé des zones déprimées ou stagnent les eaux de pluies et de crues qui provoquent un ensemble de conditions hydromorphes favorables à l'accumulation de la matière organique et à la formation de tourbes ... Ces levées argileuses ne représentent pas la phase la plus ancienne de l'alluvionnement puisqu'elles reposent sur d'autres tourbes, mises en évidence par des sondages profonds ».

PORTERES (30) a signalé qu'entre l'Agneby et la côte du tertiaire, le profil ouest-est montre un ancien fond de trois kilomètres de largeur dont l'horizon superficiel tourbeux atteint jusqu'à 4 m au-dessus de la cote d'étiage de l'Agneby. Au centre de la dépression la tourbe peut atteindre une épaisseur de 5-7 m et repose sur 20 à 70 cm d'argile très compacte. Au-dessous se trouve une série sableuse avec des intercalaires argileux ou graveleux non continus dans le sens transversal et d'origine alluvionnaire. MOITY (24) en fait la description suivante :

- le tertiaire côtier encaissant, dont le plateau culmine à 70 m d'altitude ;

- la lèvre de la subsidence, sous l'à-pic des collines, où sourdent toutes les résurgences de la nappe souterraine du tertiaire ;

- la tourbière sur dépôt de sables argileux micacés ;

- la tourbière dite d'argile organique dans la zone proche des levées de berges argileuses ;

- enfin, les berges argileuses ou silico-argileuses surélevées des rives de l'Agneby (figures 3a et 3b).

Les tourbières et leur végétation sont alimentées en saison des pluies par les eaux de débordement du fleuve, les pluies stagnantes (faible pente, abondance de la végétation, faiblesse des débouchés) et les eaux d'infiltration de la nappe des collines mio-pliocènes (nappe continuellement en charge). Elles sont quelque peu drainées par le lit mineur de l'Agneby.

La flore.

La flore est variable selon que l'on considère le marais foresté, la forêt marécageuse, les rives lagunaires forestées, les franges herbacées des bords de lagune ou les clairières du marais.

Le Centre technique forestier tropical (34) a étudié la végétation des marais de l'Agneby dans la zone comprise entre les bananeraies du Nieky et la route Abidjan-Dabou. Trois types de formation végétale ont été discernés :

- **Formation végétale de type normal** caractérisée par la prédominance du Bahia (*Myragina ciliata* - Rubiacées) et de Raphia (*R. hookeri*, *R. vinifera*, *R. gigantea* - Palmacées). Les autres espèces importantes sont : *Xylopi rubescens* (Annonacées), *Uapaca paludosa* (Euphorbiacées), *Symphonia globulifera* (Guttifères), *Antostema aubryanum* (Euphorbiacées), *Syzygium owariense* (Myrtacées).

- **Type à Raphia prédominant** : Les touffes de Raphia constituent le principal élément de la végétation. Les espèces secondaires sont les mêmes que pour le type précédent. Ce type de formation correspond en général aux zones les plus humides.

- **Type à *Saccoglottis*, *Syzygium* et *Coelocaryon*** dans les zones moins humides : *Saccoglottis gabonensis* (Humiriacées), *Coelocaryon oxycarpum* (Myristicacées), *Syzygium owariense* (Myrtacées).

Par rapport à une forêt sempervirente typique, la forêt marécageuse de l'Agneby est caractérisée par le faible nombre d'espèces importantes (12 espèces représentent 97,7 p. cent de la surface terrière totale des espèces ligneuses), par la forte densité du peuplement à Bahia et Raphia et par le fait qu'il y a moins de petits arbres, davantage d'arbres moyens et gros, un nombre comparable de très gros arbres.

Sur une superficie de 1.482 ha (plantations exclues), cette étude a mis en évidence :

934 ha de type normal (Bahia et Raphia)

223 ha de type à *Saccoglottis*

267 ha de type Raphia dominant

58 ha de type dégradé.



FIGURE 1 • Bassin versant de l'Agnèby. Relief et hydrographie. Surface totale : 8.450 km².

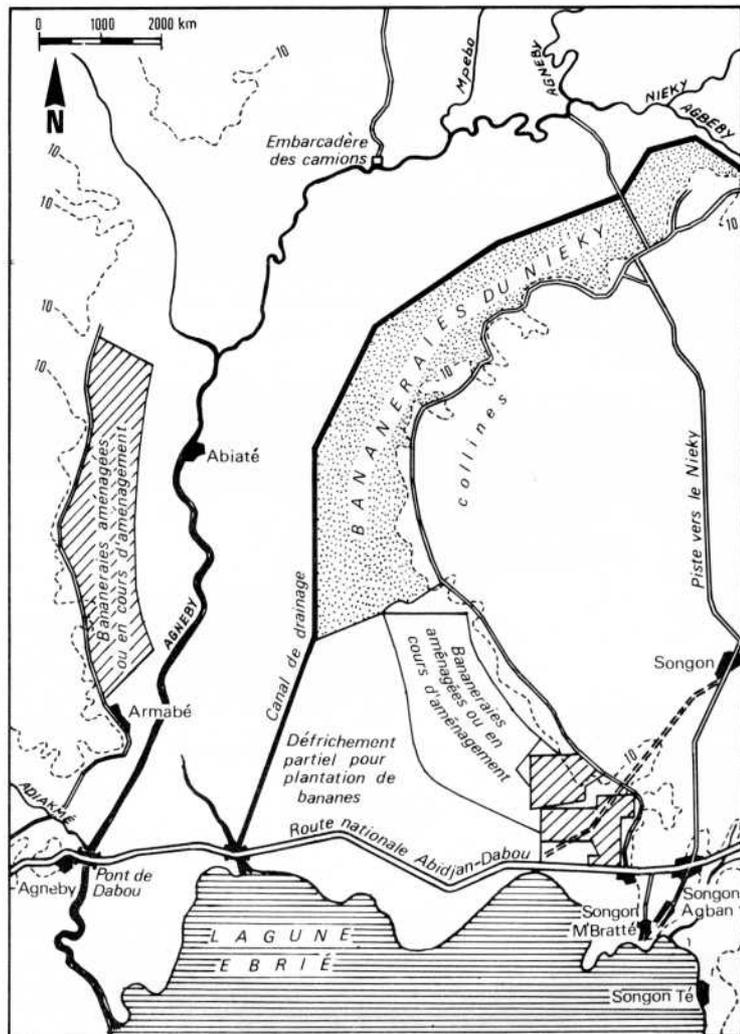


FIGURE 2 • Marais de l'Agnèby. Situation des bananeraies.

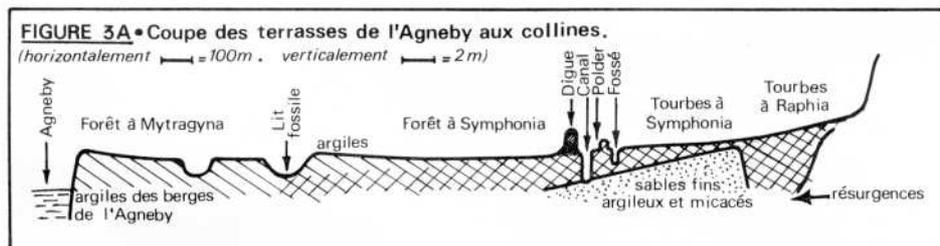


FIGURE 3A • Coupe des terrasses de l'Agnèby aux collines.
(horizontalement \rightarrow = 100m . verticalement \rightarrow = 2m)

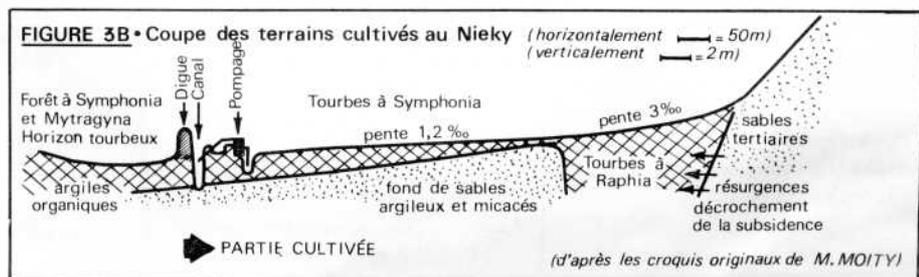


FIGURE 3B • Coupe des terrains cultivés au Nieké (horizontalement \rightarrow = 50m)
(verticalement \rightarrow = 2m)

Le tableau 1 permet de comparer les trois types principaux de peuplement.

Cette situation micro-écologique a entraîné la constitution de sols hydromorphes de deux types principaux :

- sols hydromorphes à horizon réduit, sur les levées argileuses d'origine alluviale ;
- sols hydromorphes organiques dans les dépressions tourbeuses.

Les forêts à *Raphia*, *Symphonia* et *Mitragyna* ont donné des tourbes plus ou moins profondes, très grossières dont nous donnerons de plus amples renseignements dans un chapitre suivant.

Cependant, signalons que les tourbes à *Raphia* occupent la zone proche des résurgences. Celles à *Symphonia* colonisent les zones sur sédiments micacés en mélange avec *Mitragyna* (tourbes argileuses et argiles organiques).

CONDITIONS ÉCOLOGIQUES

Le Nicky est situé dans une dépression marécageuse (figure 2) dont les caractéristiques écologiques sont particulières.

Hydrologie.

Le bilan hydrologique de la basse plaine de l'Agneby a été calculé par le SCET-COOP (36),

- pluviométrie moyenne sur la basse plaine et les collines mio-pliocènes 1.900 mm

- superficie de la basse plaine (non compris les collines)	105 km ²
- superficie des bassins versants hydro-géologiques mio-pliocènes (rive droite et rive gauche groupées) dont les écoulements souterrains se font en direction de la basse plaine	380 km ²
- superficie du bassin versant mio-pliocène (rive gauche du Nicky) les écoulements superficiels se font en direction de l'Agneby	150 km ²
- superficie du bassin versant mio-pliocène de l'Adiakmé	120 km ²
- coefficient de ruissellement moyen annuel du Nicky et de l'Adiakmé	0,10
- évapotranspiration potentielle calculée d'après la formule de TURC	1.360 mm

A partir de ces données, il a été établi le bilan suivant (36) :

Nature des apports	Volume (en millions de m ³)
pluies sur la basse plaine	+ 200
évapotranspiration sur la basse plaine	- 145
pluies sur le bassin versant	+ 720
évapotranspiration sur les collines mio-pliocènes	- 520
exportation d'eau par le Nicky vers l'Agneby	- 30
exportation d'eau par l'Adiakmé vers l'Agneby	- 25
soit un bilan excédentaire de 6,5 m ³ /sec.	+ 200

TABLEAU 1 - Classement des espèces autres que les *Raphia* par ordre de surface terrière décroissante (d'après CTFT - 34)

Formation typique Bahia-Raphia	Formation à Raphia dominant	Formation des zones moins humides
Bahia (<i>Mitragyna ciliata</i> - Rubiacées)	Bahia (<i>Mitragyna ciliata</i> - Rubiacées)	Guessiguie-Ako (<i>Syzygium owariense</i> - Myrtacées)
Djilika (<i>Spondianthus preussii</i> - Euphorbiacées)	Fonde (<i>Xylopi rubescens</i> - Annonacées)	Akouapo (<i>Saccoglottis gabonensis</i> - Humiriacées)
Guessiguie-Ako (<i>Syzygium owariense</i> - Myrtacées)	Guessiguie-Ako (<i>Syzygium owariense</i> - Myrtacées)	Rikio des marais (<i>Uapaca paludosa</i> - Euphorbiacées)
Fonde (<i>Xylopi rubescens</i> - Annonacées)	Rikio des marais (<i>Uapaca paludosa</i> - Euphorbiacées)	Fonde (<i>Xylopi rubescens</i> - Annonacées)
Rikio des marais (<i>Uapaca paludosa</i> - Euphorbiacées)	Meuli (<i>Anthostema aubryanum</i> - Euphorbiacées)	Vieda (<i>Coelocaryon oxycarpum</i> - Myristicacées)
Meuli (<i>Anthostema aubryanum</i> - Euphorbiacées)	Niouetou (<i>Hoplostigma klaineana</i> - Hoplestigmatacées)	Meuli (<i>Anthostema aubryanum</i> - Euphorbiacées)
Beu (<i>Symphonia globulifera</i> - Guttifères)	Beu (<i>Symphonia globulifera</i> - Guttifères)	Akohissi (<i>Cassipourea</i> - Rhizophoracées)
Vieda (<i>Coelocaryon oxycarpum</i> - Myristicacées)	Akohissi (<i>Cassipourea</i> sp - Rhizophoracées)	Beu (<i>Symphonia globulifera</i> - Guttifères)
Niouetou (<i>Hoplostigma klaineana</i> - Hoplestigmatacées)	Djilika (<i>Spondianthus preussii</i> - Euphorbiacées)	Bahia (<i>Mitragyna ciliata</i> - Rubiacées)
Akohissi (<i>Cassipourea</i> sp - Rhizophoracées)	Vieda (<i>Coelocaryon oxycarpum</i> - Myristicacées)	Djilika (<i>Spondianthus preussii</i> - Euphorbiacées)
	Akouapo (<i>Saccoglottis gabonensis</i> - Humiriacées)	Niouetou (<i>Hoplostigma klaineana</i> - Hoplestigmatacées)

Le bilan est probablement, en réalité, beaucoup plus élevé (58 m³/sec.). Le marais de l'Agneby étant en contact direct avec la lagune Ebrié, subit les variations de niveau de celle-ci. Cette zone est très vulnérable comme le prouvent deux exemples qui ont perturbé son système hydrologique.

- le relèvement du niveau de base lagunaire consécutif au passage du fleuve Comoé par le canal de Vridi à Abidjan ;
- l'établissement d'une digue barrant l'aval du marais dans toute sa largeur, pour le passage de la route de Dabou, sans ménager les débouchés nécessaires pour l'évacuation des eaux provenant des crues de l'Agneby et des pluies exceptionnelles sur le marais.

Cette vulnérabilité a conduit les planteurs de bananes à endiguer leurs bananeraies et à évacuer mécaniquement l'excédent des eaux de leurs polders, comme nous le verrons dans un autre chapitre.

Climatologie.

La zone du Nicky se trouve en basse Côte d'Ivoire, c'est-à-dire en climat guinéen forestier caractérisé par l'existence de deux saisons des pluies. La plus intense et la plus longue présente son maximum en juin, la plus courte en octobre. Elles sont séparées par la période appelée la « petite saison sèche d'août ».

La quantité de pluie annuelle est variable pour un même lieu et pour des postes voisins de quelques kilomètres.

Le tableau 2 nous en donne une idée.

Les moyennes établies sur au moins dix ans d'observations sont présentées au tableau 3.

Ainsi est-il possible de distinguer nettement deux saisons humides : la plus importante en intensité centrée sur juin a une durée d'environ 2-3 mois, l'autre est centrée sur octobre-novembre.

C'est au début et à la fin des saisons des pluies que les plus grandes variations sont enregistrées avec souvent des orages et coups de vent.

Dans les conditions des bananeraies du Nicky il est im-

TABLEAU 3 - Quantités moyennes (en mm) calculées sur dix ans.

Mois	Quantités en mm	Nombre de jours de pluies
janvier	30,8	2,9
février	54,7	3,9
mars	105,1	7,6
avril	137,8	9,6
mai	292,5	15,3
juin	661,5	21,7
juillet	291,4	13,3
août	40,5	8,5
septembre	81,9	12,0
octobre	176,6	14,7
novembre	152,4	13,1
décembre	87,7	7,0
Total	2.112,9	129,6

portant de connaître les années les plus défavorables pour l'assainissement (débit du canal d'évacuation). Le maxima observé est de 167 mm en 24 heures, 255 mm en 48 heures.

Les variations de **température** sont faibles au cours de l'année et d'une année à l'autre, les températures moyennes les plus basses se situant en juin-juillet-août :

- moyenne annuelle : 26,1°C
- amplitude des moyennes mensuelles : 3,3°C
- amplitude journalière : 7°C.

La moyenne annuelle d'**insolation** est voisine de 4 heures. Le minima se situe en juin-juillet-août, ce qui entraîne une diminution des températures moyennes.

Les maxima d'**humidité** relative sont supérieurs à 95 p. cent tout au long de l'année. Les minima moyens se situent entre 65 p. cent (février-mars, novembre-décembre) et 77 p. cent (juin à août). L'hygrométrie relative de 60 p. cent n'est atteinte que lorsqu'il y a harmattan (vent sec du nord-nord est).

Les brouillards sont très fréquents en particulier de novembre à février. Ils prennent naissance en général sur les

TABLEAU 2 - Quantités de pluies annuelles (en mm) (*).

Années	Situation approximative des postes			
	PK-4	AGBO PK-8	BONJOUR PK-14	AGBEBY PK-15
1960	-	-	1.488	1.654
1961	-	-	1.501	2.358
1962	-	-	3.190	2.660
1963	-	-	2.975	2.563
1964	-	-	1.909	1.580
1965	-	1.955	2.524	1.871
1966	-	1.908	1.799	1.686
1967	-	2.264	1.706	1.794
1968	2.336	2.153	2.469	2.398
1969	1.899	1.645	1.919	1.798
1970	1.609	1.507	1.927	1.867
1971	-	1.315	1.302	1.319

(*) - chiffres fournis par la SCB.

masses forestières avoisinantes et s'écoulent dans la dépression.

La région du littoral est soumise pratiquement toute l'année à des vents de secteur sud-ouest. Exceptionnellement en début janvier, on peut avoir un peu d'harmattan, mais passant en altitude du fait de la topographie de la vallée.

D'une façon générale, la vitesse des vents est modérée sauf parfois lors des orages intersaisons.

A partir des données de l'évaporomètre Piche, il est possible d'estimer l'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle en utilisant la formule de TURC (*). Diverses sources de données météorologiques ont permis à ELDIN de calculer pour la zone où se trouve le marais de l'Agneby l'évapotranspiration potentielle mensuelle et d'établir ainsi un bilan hydrique théorique.

Le bilan hydrique «H» est la différence entre l'évapotranspiration et les précipitations. Le tableau 4 donne les valeurs minima, moyenne et maxima de ce bilan hydrique. Ces chiffres montrent la nécessité d'irriguer (en l'absence de plans d'eau proches de la surface du sol) :

- toujours en janvier-février
- très fréquemment de décembre à mars et août-septembre
- fréquemment en avril, juillet et octobre (Faibles doses).

Ce tableau ne donne que les indications très approximatives car il serait nécessaire de tenir compte de la répartition des pluies et de leur intensité ainsi que de la rapidité de drainage. Par exemple, sur tourbes grossières le point de flétrissement pouvant être rapidement atteint, il faudrait des apports d'eau journaliers.

Les périodes déficitaires sont importantes quant à leur durée, et si l'on introduit la notion de précipitations utiles d'au moins 20-30 mm selon les saisons, elles se situent de décembre à mars et en juillet-août.

En dehors des données pluviométriques, le micro-climat du marais de l'Agneby est mal connu. Il existe probablement des caractères particuliers puisque certains faits biologiques ne sont pas explicables avec les données classiques de la zone de basse côte (développement de la cladosporiose, pullulation de vecteurs de la mosaïque).

Cette zone étant dans une dépression topographique, on a souvent pensé qu'un effet de serre se manifeste lors des brouillards matinaux de saison sèche qui peuvent persister une grande partie de la matinée.

Il est certain que malgré ces problèmes, le climat du Niéky - lorsque l'alimentation hydrique est assurée - permet un développement très rapide des plants (sortie rapprochée des feuilles successives, cycles courts).

Les sols et les effets de leur mise en culture.

MOITY (24) dans une note très documentée sur le Niéky mais de diffusion limitée à la coopérative, a fait une description du profil transversal de la vallée au niveau de la partie centrale du secteur implanté en bananeraies. A partir du tertiaire côtier, on trouve une zone de résurgence des eaux du plateau avec tourbière profonde à Raphia, puis une tourbière sur sables argileux micacés (tourbe à *Symphonia*).

Les tourbes sont très variées selon la végétation dont elles sont issues et selon les conditions hydrologiques de formation. Elles peuvent être feuilletées ou fibreuses lorsque les raphiales constituaient le peuplement. Parfois les éléments organiques fins sont mélangés à des particules argileuses.

Il faut noter la très grande diversité des recouvrements, la présence de couches de vases, d'argiles molles, de tourbes pures ou en mélange à du sable ou à des éléments plus fins. Dans un rapport de SOGETHA (33) montrant le profil longitudinal de la vallée, il est possible de se faire une idée des nombreux changements de cours, des divagations des bras du fleuve, des enclaves de forêt marécageuse, etc. Il est donc très difficile dans ces conditions de dresser une carte précise des sols de cette zone.

Néanmoins, les travaux de pédologie réalisés par divers organismes permettent de mieux apprécier cette variabilité et de définir les principales caractéristiques pour la zone du Niéky.

En 1938, BARON et BOUFFIL ont réalisé les premières analyses physiques et chimiques des tourbes. PORTERES (30) a donné les principaux caractères analytiques des sols des plantations.

TABLEAU 4 - Bilan hydrique.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ETP	122	129	142	141	124	93	94	93	95	118	128	120
BILAN HYDRIQUE												
Minima	+130	+125	+ 70	+ 24	+ 3	-293	+135	+130	+130	+ 64	+ 21	+ 89
Moyenne	+ 62	+ 67	+ 22	+ 22	-140	-512	-140	+ 92	+ 36	+ 27	- 17	+ 36
Maxima	+ 29	0	- 79	- 89	-378	-729	-402	- 16	-116	-240	-122	- 62

$$(*) - ETP = (0,40 - \frac{t}{t+15}) \left[(0,62 \frac{h}{H} + 0,18) IgA + 50 \right]$$

ETP en mm, t en degrés centigrades, IgA en calories/cm²/jour (énergie du rayonnement solaire en l'absence d'atmosphère), H et h en heures (H est la durée du jour). Pour la Côte d'Ivoire, il est nécessaire d'augmenter de 15 p. cent les valeurs obtenues par cette formule.

En 1957, LENEUF et de la SOUCHERE (22), à l'occasion du creusement du drain principal, ont mis au point une classification des sols organiques.

PERRAUD (28) lors de la prospection de la zone de la

Loyo en 1960, a pu étudier les différents types de tourbes vierges sous forêt. DABIN et LENEUF (10) dans le cadre d'une étude des sols de bananeraies de Côte d'Ivoire, ont également apporté des précisions intéressantes. Signalons aussi les travaux réalisés par DUGAIN, GODEFROY, GAUCHER, etc.

Comme le précise DABIN (10), «Le nom de tourbe qu'on leur donne généralement (aux sols organiques d'origine forestière) 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'autre part cette tourbe provenant de la décomposition de racines extrêmement lignifiées est plutôt une lignite en puissance.

Morphologie des sols organiques du Nicky.

Le premier facteur de la morphologie de la tourbière est l'importance de la constitution (en espèces et en quantité) du peuplement forestier.

Les principales catégories peuvent être présentées sommairement de la façon suivante :

• Tourbes proprement dites :

- . tourbes fines plus ou moins fibreuses, noires ou brunes, constituées de débris végétaux bien décomposés
- . tourbes grossières pouvant être fibreuses (forêt à *Raphia*) feuilletées ou fibro-feuilletées (forêt à *Symphonia*). Elles sont de teinte rougeâtre et peuvent être superficielles ou profondes.

Tourbes grossières fibreuses assez homogènes et toujours engorgées d'eau ;

Tourbes grossières feuilletées plus hétérogènes et argileuses.

• Mélanges d'argile et de tourbe :

- . tourbes granulaires grises, assez argileuses, grumeleuses,
- . argiles organiques plus ou moins plastiques, gris foncé, avec de rares débris végétaux.

PERRAUD et de la SOUCHERE (29) établissent la différenciation des divers sols organiques en tenant compte de la teneur pondérale en matière organique :

- argile compacte	moins de 10 p. cent de matière organique
- argile organique	moins de 40 p. cent de matière organique
- tourbe argileuse	de 40 à 52 p. cent de matière organique
- tourbe brute	plus de 52 p. cent de matière organique

Les profils observés dans le marais sont constitués par la superposition variable de ces tourbes et argiles, ce qui donne une gamme importante souvent sur des surfaces réduites.

La nature d'une formation tourbeuse dans son ensemble peut être appréciée grâce à des renseignements d'ordre géologique. Ainsi GAUCHER (15) a donné des indications intéressantes à la fois sur l'âge et l'origine botanique des tourbes.

- tourbes récentes : GAUCHER a relevé fréquemment le profil suivant : en surface, une couche organique constituée

par les feuilles des arbres et par les résidus fournis par les végétaux de l'étage inférieur, gorgés d'eau (Fougères, Aroïdées, Polygonacées, Graminées, Cypéracées, etc.). Cette matière organique évolue vers le type anmoor (C/N < 20), toucher gras, plasticité marquée) disparaissant probablement au moment de la mise en culture (écobuage ou mélange avec les horizons inférieurs).

. au-dessous, une couche de tourbe fine d'épaisseur variable (décomposition des minces racines superficielles et pénétration de l'anmoor).

. ensuite, une zone d'altération des racines de l'étage inférieur arboré, sa nature dépendant des espèces.

. l'horizon inférieur est occupé par les racines des grands arbres qui s'étalent sur l'argile (tourbe «bocagère»).

Bien entendu, ce profil n'est pas homogène car à l'emplacement des arbres (*Raphia*, *Symphonia* par exemple) on rencontre en surface de la tourbe à *Raphia* (ou à *Symphonia*) ou de la tourbe bocagère. Nous pouvons remarquer que la constitution du peuplement forestier est le premier facteur de la morphologie de la tourbe comme nous l'avons indiqué précédemment.

GAUCHER fait comme hypothèse la distinction entre tourbes récentes en surface et tourbes anciennes en-dessous. ASSEMIEN a déterminé au radio-carbone qu'une tourbe prélevée à 5 m de profondeur (dans la partie aval du marais de l'Agneby) avait un âge de 4.990 ans (± 250 ans). Le point le plus important au point de vue agronomique est de savoir si ces tourbes dites anciennes (c'est-à-dire profondes) diffèrent des tourbes récentes (superficielles). En réalité, il n'a pas été observé de différences fondamentales dans leur morphologie.

Dans beaucoup de publications, les auteurs ont tendance à sous-estimer l'importance des affleurements très homogènes d'argile grise souvent teintée et qui peut être considérée comme kaolinite.

GAUCHER a observé quatre types principaux d'argile dans le périmètre du Nicky.

• argile grise (à la base des profils et parfois en surface). Par sa topographie, elle joue un rôle primordial dans la morphologie des profils, la répartition des types de sol et la circulation des eaux.

• argile organique qui fut définie par PERRAUD et de la SOUCHERE comme un mélange d'argile et de tourbe (10 à 40 p. cent d'argile).

• argile humifère qui se forme seulement dans les sols cultivés quand l'argile grise est superficielle et recouverte d'une mince couche de tourbe fine.

C'est un horizon de pénétration humique très différent de l'argile organique.

• argile originaire des sables tertiaires dans la partie amont du périmètre.

G. GAUCHER (15) résume ainsi la classification des sols :

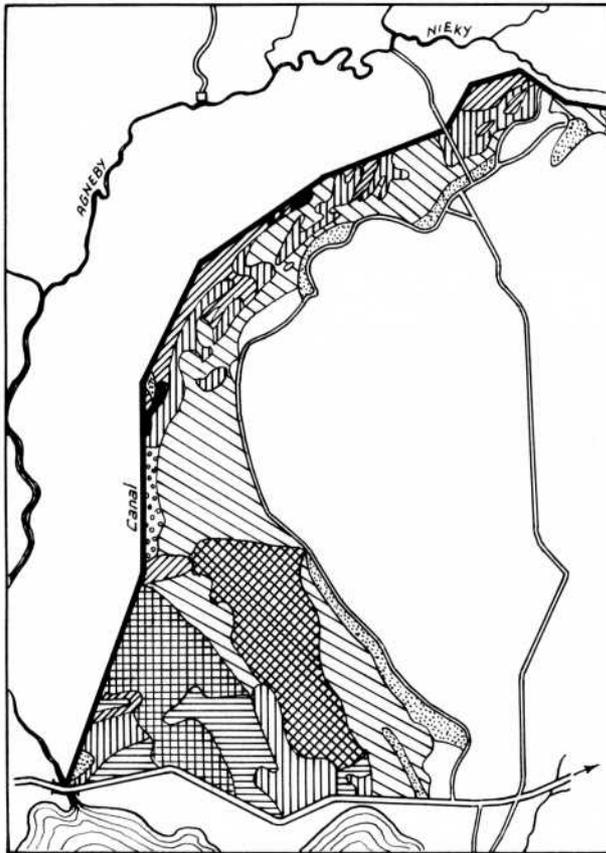


FIGURE 4 • Carte pédologique de la zone de l'Agneby (rive gauche).

-  Argile compacte superficielle, parfois avec tourbe peu épaisse.
-  Tourbe sur plus de 1 mètre, généralement tourbe grossière.
-  Tourbe fine en surface, argile entre 40 et 100 m.
-  Sable tourbeux ou alluvions sableuses, sablo-argileuses, etc.
-  Tourbe fine ou argileuse sur argile organique (> 1 m).
-  Tourbe fine ou argileuse sur sable plus ou moins argileux (> 1 m).
-  Argile humifère en surface (0-25 cm), sur argile compacte.
-  Tourbe sur plus de 1 m, généralement tourbe fine ou argile organique en surface.
-  Tourbe grossière en surface, argile entre 40 et 100 cm.

(adapté de G. GAUCHER)

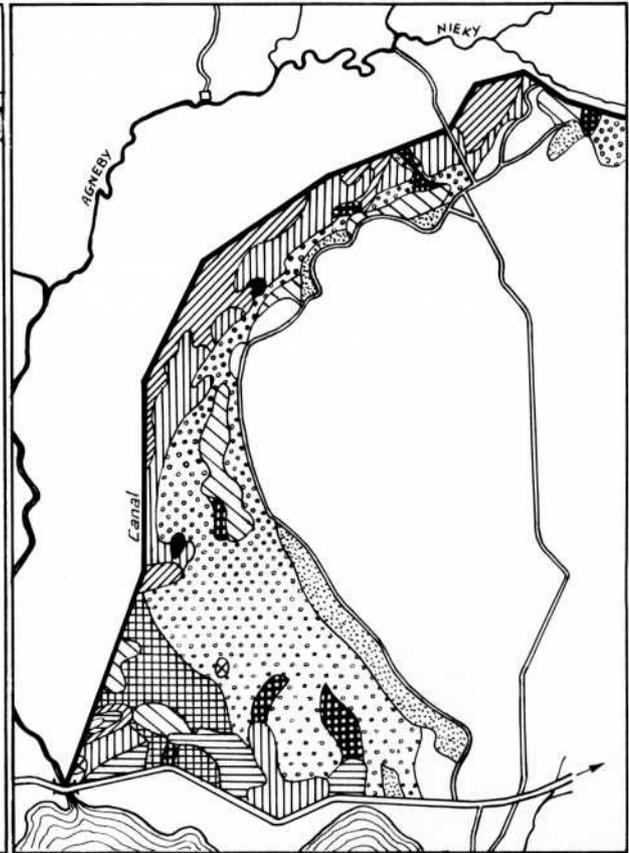


FIGURE 5 • Carte des aptitudes culturales de l'Agneby (rive gauche).

BONNES SITUATIONS :

-  Argile compacte très proche de la surface (résultats en fonction du drainage-irrigation).
-  Tourbe avec sous-sol argileux peu profond (40-100 cm).
-  Sable tourbeux, alluvions sableuses ou argileuses sur tourbe.

SITUATIONS DOUTEUSES :

-  Tourbe assez épaisse.
-  Tourbe fine ou argileuse sur argile organique.
-  Tourbe fine ou argile organique sur sol plus ou moins argileux.

SITUATION DÉFAVORABLE :

-  Tourbe ou argile organique de faible épaisseur sur fosses profondes.

(adapté de G. GAUCHER)

-  Eaux chargées de substances organiques.
-  Eaux sulfhydriques.

tourbes fines [litières superficielles très décomposées (type anmoor)
tourbe fine granuleuse
tourbe fine ou très finement fibreuse, compacte, au toucher onctueux (plusieurs origines possibles).

tourbes grossières [tourbe fibreuse grossière [tourbes à raphiales
tourbe feuilletée
tourbe fibro-feuilletée
tourbe bocagère avec fragments de bois de dicotylédones plus ou moins cohérents.

tourbes argileuses ou argiles tourbeuses [tourbe argileuse
argile organique
argile humifère

argile grise.

Principaux types de sols cultivés.

Ils se déduisent de la morphologie ; les profils les plus fréquemment rencontrés dans la zone du Nieký sont les suivants :

- Tourbe fine ou argile organique sur une grande épaisseur. C'est un profil considéré comme le plus apte à la culture bananière. Les résultats agronomiques sont fonction principalement du facteur hydrique.

- Tourbe fine peu épaisse (25-30 cm) sur tourbe grossière. Après plusieurs années de culture, il y aurait amélioration de la tourbe grossière par les amendements et engrais.

- Tourbe grossière épaisse - tourbe à Raphia - caractérisée par une faible teneur en matières minérales et la présence d'hydrogène sulfuré (GAUCHER).

- Tourbe sur argile. Ces tourbes sur argile représentent certainement les meilleurs sols de culture. Les tourbes formées sur argiles dans des forêts de dicotylédones sont souvent du type anmoor argileux (*). Elles pourraient être à l'origine des argiles organiques.

- Tourbe sur sable. Les surfaces cultivées sont peu importantes mais peuvent donner de bons résultats si leur niveau en matière organique est suffisant.

- Argile humifère ou tourbe argileuse. Profils localisés seulement dans un petit secteur.

- Argile grise alluviale (tourbe en surface de moins de 15 cm). La culture y est assez difficile et demande une maîtrise sûre du drainage et de l'irrigation.

Les figures 4 et 5 donnent une esquisse de la répartition de ces divers types de sol sur la rive gauche de l'Agneby.

A partir des cartes pédologiques et d'aptitudes culturales établies par divers auteurs et notamment GAUCHER (15) nous avons pu estimer grosso modo l'importance de chacun des profils.

Dans la partie Nieký cultivée depuis plusieurs années, les bananeraies sont principalement, soit sur tourbe assez épaisse, soit sur tourbe avec sous-sol argileux proche de la surface. L'importance des surfaces sur argile compacte n'est pas négligeable. Entre le Nieký et la route de Dabou la majorité des terrains sont constitués par de la tourbe assez épaisse.

Caractéristiques des sols du Nieký, avant la mise en culture.

Par leur morphologie nous avons distingué précédemment plusieurs types de sol. Divers auteurs ont donné des résultats

TABLEAU 5 - Estimation des superficies en hectares. Zone rive gauche-Nieký jusqu'à la route de Dabou.

Profils	Total		Cultivé		Non cultivé mais éventuellement cultivable	
	superficie	p. cent	superficie	p. cent	superficie	p. cent
Argile compacte très proche de la surface	290	9,6	245	19,5	45	2,5
Tourbe avec sous-sol argileux peu profond (0,4 à 1 m)	635	21,0	460	36,7	175	9,9
Sable tourbeux	20	0,7	20	1,6	-	-
Alluvions sableuses ou argileuses sur tourbe	15	0,5	15	1,2	-	-
Tourbe assez épaisse	1.335	44,0	380	30,3	955	54,0
Tourbes fines ou argileuses sur argile organique (épaisseur supérieure à 1 m)	350	11,6	-	-	350	19,8
Tourbes fines ou argile organique sur sables plus ou moins argileux	175	5,8	-	-	175	9,9
Tourbes ou argile organique de faible épaisseur, sur fosses profondes	250	6,8	135	10,7	70	3,9
Total :	3.025	100,0	1.255	100,0	1.770	100,0

(*) - aussi bien pour les conditions de formation (sols périodiquement submergés) que pour leurs caractères (C/N voisin de 20, granulométrie très fine, toucher onctueux ...).

d'analyses physique et chimique en tenant compte de la morphologie du substrat.

Caractéristiques physiques (*).

Il n'est pas certain que les méthodes d'analyse des caractéristiques physiques - en particulier des caractères hydriques - soient bien adaptées au milieu particulier que constitue la tourbe surtout lorsqu'il s'agit de «tourbe grossière».

Le tableau 6 donne un certain nombre de résultats d'analyse physique. D'une façon générale, par rapport aux sols classiques, les tourbes ont un pH faible (3,5 à 4,5), un **taux de matière organique élevé, un rapport C/N également élevé.**

La densité apparente étant très faible (0,05 à 0,20) la **porosité totale est très grande (80 à 95 p. cent)**. La capacité minima pour l'air est de l'ordre de 60 à 70 p. cent et la porosité utile de 70 à 80 p. cent, alors que dans les sols ferrallitiques ces valeurs sont respectivement de 30-40 p. cent et 40-50 p. cent. Du fait des fortes teneurs en matière organique, la stabilité structurale est également élevée dans la plupart des cas.

Les analyses permettent de différencier les divers types de substrats. Nous passerons en revue les principaux caractères physiques intéressants :

- L'eau utilisable (EU). Dans les tourbes fines et les tourbes grossières les valeurs sont voisines de zéro. Ainsi sur des substrats apparemment toujours humides, le point de flétrissement peut être rapidement atteint.

- La capacité pour l'air, élevée dans tous les cas, est légèrement plus faible dans les tourbes fines et l'argile compacte.

- La densité apparente est plus faible dans les tourbes grossières.

- La perméabilité est variable, ce qui tient probablement à la méthode d'échantillonnage.

- L'indice général de structure. La figure 6 permet de constater que la position des différents substrats est assez bien déterminée. Les tourbes grossières ayant une humidité édaphique basse sont situées dans la partie droite du graphique (indice de structure défavorable). Les tourbes fines à humidité édaphique élevée sont meilleures. Les substrats à base d'argile ont un indice structurale d'autant plus mauvais que la teneur en argile est élevée.

Les taux de colloïdes, matières humiques, matières organiques et le rapport C/N permettent de définir d'une façon encore plus nette les divers types rencontrés dans le marais de l'Agneby.

TABLEAU 6 - Caractéristiques physiques des sols avant mise en culture. d'après B. DABIN (8, 9).

	1	2	3	4	5	6	7
Humidité (p. cent)	87,3	91,9	90,1	85,1	75,0	24,4	
Indice de stabilité (S)	58,4	65,4	79,8	36,8	46,4	57,5	46,0
Perméabilité (Kcm/h)	1,82	1,77	4,95	0,11	0,02	0,13	0,63
Porosité totale	93,9	96,4	95,0	93,2	92,1	79,0	58,5
Humidité équivalente (pF 3) (volume)	34,0	18,5	27,6	26,2	23,6	18,4	19,9
Point de flétrissement (pF 4,2) (volume)	25,0	17,5	24,6	17,2	22,0	15,0	13,4
Eau utilisable (EU)	9,0	1,0	3,0	9,0	1,6	3,4	6,0
Capacité minima pour l'air (A)	59,9	77,9	67,4	67,0	69,1	60,6	38,7
Porosité utile (Pu)	68,9	78,9	70,4	76,0	70,1	64,0	45,1
Densité apparente	0,092	0,054	-	0,100	0,177	-	1,080
Densité réelle	1,50	1,51	-	1,48	2,46	-	2,60
pH	3,8	4,5	-	4,1	3,8	-	5,6
Argile + Limon + Matière organique (p. cent de tourbe humide)	8,4	5,0	-	15,0	29,4	-	-
Argile + Matière organique (p. cent de tourbe humide)	4,0	2,8	-	10,1	20,7	-	-
Matières humiques	1,50	0,77	-	4,00	3,00	-	-
Azote (N)	2,02	1,17	1,38	1,22	0,70	-	1,24
Carbone (C)	27,9	31,3	30,9	22,3	21,4	-	16,8
C/N	13,8	27,6	22,4	18,3	30,5	-	13,5
Matière organique (p. cent)	48,0	55,6	53,3	38,6	36,8	-	-

1 - Tourbe fine ; 2 - Tourbe grossière fibreuse ; 3 - Tourbe grossière feuilletée ; 4 - Tourbe granulaire
5 - argile organique ; 6 - argile compacte ; 7 - sol jaune ferrallitique (Azaguié).

(*) - les méthodes d'analyse utilisées sont indiquées en annexe.

Sur le plan **analyse physique**, nous pouvons donc distinguer :

- Les tourbes fines contenant 8 à 10 p. cent de colloïdes avec une faible capacité pour l'air mais un bon indice de structure et une eau utilisable élevée.
- Les tourbes grossières contenant moins de 4 à 7 p. cent de colloïdes et moins de matières humiques que les tourbes fines. Le rapport C/N est élevé (25-30). L'indice de structure est médiocre voire mauvais. L'eau utilisable est faible ce qui pose des problèmes d'alimentation hydrique en saison sèche lors de la mise en culture.
- Les tourbes granulaires dont le taux de colloïdes est encore plus élevé (15 p. cent). Elles sont caractérisées comme les argiles organiques par une humidité édaphique élevée, ce qui leur confère un indice de structure moyen.
- Les argiles organiques dont le niveau de colloïdes avoisine 3 p. cent avec une teneur en matière organique de 40 à 52 p. cent sont voisines des tourbes granulaires (que l'on pourrait appeler tourbe argileuse).
- Les argiles compactes ayant un mauvais indice de structure mais pouvant donner de bons résultats à condition de bien contrôler le problème hydrique (drainage et irrigation).

Caractéristiques chimiques.

Etant donné les fortes teneurs en matières organiques de ces sols, les densités apparentes sont faibles et assez variables. Pour cette raison la plupart des résultats d'analyse sont exprimés en p. cent du volume (*).

Quelques analyses de sols non cultivés peuvent être données :

La teneur en potassium échangeable est moyenne, par contre la teneur en sodium est légèrement supérieure à celle des sols non tourbeux.

Le taux de phosphore assimilable ou total est assez variable mais généralement assez élevé sauf dans les tourbes feuilletées.

Au point de vue oligo-éléments, la tourbe est pourvue faiblement en manganèse (moins de 10 ppm), très faiblement en cuivre (0,2 à 0,3 ppm). Les teneurs en fer sont variables (de 0 à 50 ppm), le zinc est à un niveau élevé (3 à 7 ppm).

Les indications sur les caractéristiques chimiques des tourbes non cultivées sont assez imprécises et peu nombreuses.

Influence de la mise en culture.

La mise en culture de ces sols organiques a entraîné une modification radicale des conditions micro-écologiques. Les conséquences sont difficiles à prévoir comme l'indique DIDIER de SAINT-AMAND (12) citant RIQUIER et MOUREAUX (1951) : «Notons la très grande difficulté de prévoir, sans expérience directe, l'évolution d'un sol passant des conditions anaérobies à des conditions aérobies. Aucune étude scientifique n'a été faite à notre connaissance sur l'évolution des sols de marais en pays tropicaux». Ceci reste vrai en 1972, quoique divers travaux ont été publiés sur les conséquences du drainage sur les sols tourbeux de Madagascar, il est vrai réalisés sous un autre type climatique.

Les analyses de sol qui ont été faites au Niekly sur sols vierges et sols cultivés ne sont pas comparables entre elles,

TABLEAU 7 - Caractéristiques chimiques de sols non cultivés. (Résultats exprimés en p. cent du volume).

	tourbe feuilletée				
Bases échangeables					
Calcium (meq. p. cent)	0,05	1,60	0,80	4,30	5,60
Magnésium (meq p. cent)	0,15	0,50	1,00	1,30	1,90
Potassium (meq p. cent)	0,05	0,40	0,60	0,25	0,30
Sodium (meq p. cent)	-	0,4	0,8	-	-
Somme des bases (meq p. cent)	0,25	2,90	3,20	5,85	7,90
Capacité de fixation (meq p. cent)	18,8	23,6	22,0	26,3	42,7
Coefficient de saturation	1,4	12,0	14,0	22,0	18,0
P ₂ O ₅ total (p. mille)	-	3,7	2,9	-	-
P ₂ O ₅ assimilable (p. mille)	0,180	-	-	0,005	0,006
pH	3,7	3,7	4,0	4,1	4,0

La principale caractéristique des tourbes vierges est leur très faible teneur en calcium et en magnésium échangeables, ce qui cause une forte désaturation du complexe absorbant (qui est élevé) et un pH très acide.

(*) - Le passage de l'expression «par rapport au poids» à celle «par rapport au volume» se fait en multipliant les résultats ramenés au poids par la densité apparente.

puisque les échantillons proviennent de lieux différents. En l'absence de résultats provenant d'un même emplacement nous exposerons les observations réalisées par divers auteurs.

Influence sur les caractéristiques physiques.

DABIN (8, 9) en 1962 a étudié les corrélations entre les diverses composantes physiques du sol et les rendements.

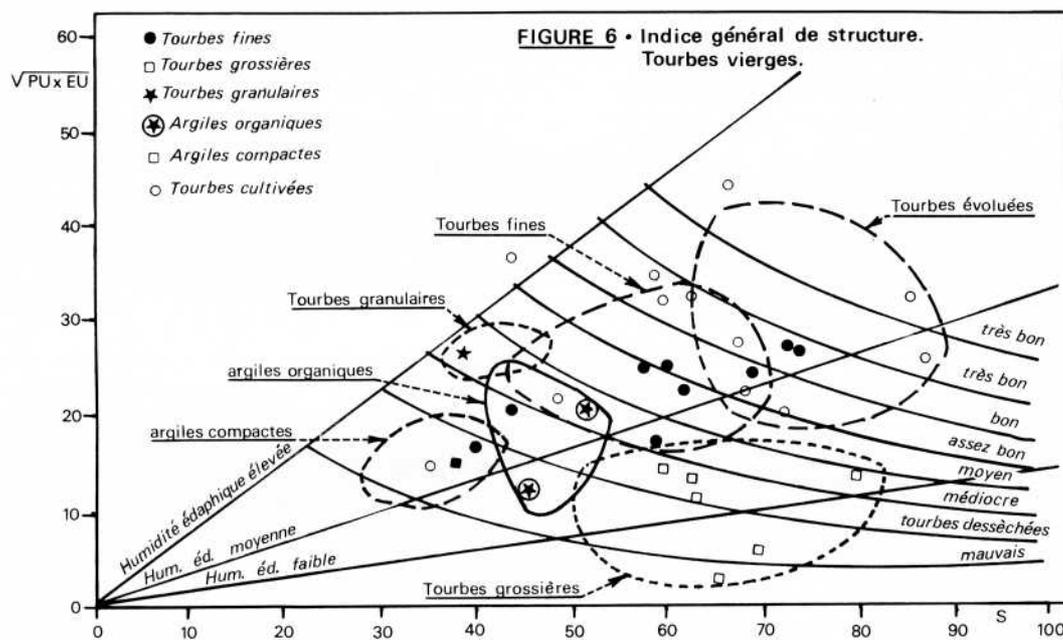


TABLEAU 8

	1	2	3	4	5	6	7	8
Argile organique (défriche récente)	0 à 7	51,5	0,36	18,5	210	7,4	28,8	18,5
Tourbe peu évoluée (mauvais drainage)	0 à 7	41,8	0,47	19,0	800	23,0	35,0	2,8
Tourbe peu évoluée	14 à 21	41,0	1,07	44,0	780	16,6	46,6	2,9
Tourbière forestière-argile organique (10 ans de culture)	14 à 21	46,6	0,88	41,0	510	11,6	46,6	2,5
Argile organique (10 ans de culture)	21 à 28	44,0	1,55	68,0	730	12,1	60,2	1,7
Tourbe évoluée (20 ans de culture)	21 à 28	29,5	1,77	52,5	1840	24,0	76,5	0,3
Tourbe un peu argileuse (22 ans de culture)	28 à 35	42,0	2,17	91,0	2250	25,0	42,2	0,2
Tourbe évoluée (7 ans de culture)	28 à 35	40,9	1,64	67,0	1830	26,5	68,6	0,7

DABIN 1962.

1 - rendements bruts (t/ha) ; 2 - capacité pour l'air (A) ; 3 - Perméabilité (Log 10K) ;

4 - Indice de ressuyage (A. Log 10K) ; 5 - Indice de structure (st. $\sqrt{VPU \times EU}$).6 - Indice de porosité ($VPU \times EU$) ; 7 - Stabilité (st) ; 8 - Instabilité (Is).

Le tableau 8 donne les caractéristiques de ces indices pour plusieurs types de sol.

Il a démontré ainsi que, dans les sols où la nappe phréatique est peu profonde, la **stabilité structurale**, l'**indice de ressuyage** et la **perméabilité** sont réellement les facteurs limitants des rendements. Le niveau de fertilité des sols nouvellement mis en culture dépendra donc, d'une part des caractéristiques physiques à l'origine, et d'autre part de la rapidité d'évolution de la matière organique sous l'influence du drainage et des techniques culturales (en particulier la fertilisation).

GODEFROY (17), dans un intéressant rapport bibliographique sur le Nieky, a comparé une tourbe vierge (non mise en culture) avec des tourbières cultivées depuis des temps

variables, en prenant les valeurs obtenues par DABIN (9), (tableau 9).

- L'eau utilisable, assez élevée, n'augmente pas dans les tourbes cultivées.

L'humidité équivalente (pF 3) exprimée en volume, varie de 20 à 45 p. cent (en poids par rapport à la matière sèche, elle peut atteindre 300 p. cent).

Au-delà d'une certaine dessiccation, la tourbe forme en surface des petits grumeaux ou mottes dont la réhumidification n'est plus possible. Une étude effectuée sur la dessiccation d'une tourbe argileuse a montré que la réhumectation ne se fait pas quand la dessiccation a été poussée jusqu'à 37 p. cent de perte d'eau, la récupération n'est alors que de 7 p. cent. Pour une tourbe desséchée à 80 p. cent et se

TABLEAU 9

	Tourbe vierge		Tourbes cultivées depuis								
			6 mois	6 mois	1 an	1 an	2ans	2ans	2ans	20ans	20 ans
Humidité	81,3	83,6	76,1	85,0	76,4	77,5	66,3	76,7	85,9	58,7	84,2
Stabilité structurale	63,5	59,4	60,9	42,5	69,2	35,2	64,9	49,1	48,6	83,3	67,9
Perméabilité (K en cm/h)	2,55	1,98	1,12	0,48	4,25	0,36	2,97	1,18	0,74	9,62	5,03
Porosité totale	91,1	92,2	88,2	92,3	87,0	87,8	87,4	87,1	91,5	82,5	93,7
pF3 (volume)	36,7	34,5	42,6	47,5	42,5	35,8	40,0	40,7	45,2	37,7	44,7
pF4,2 (volume)	21,3	18,8	27,0	26,2	34,7	32,6	30,6	32,4	20,1	19,2	18,2
Eau utilisable (EU)	15,4	15,7	15,6	21,0	7,8	4,2	9,4	8,3	15,1	18,5	26,5
Capacité pour l'air (A)	54,4	57,7	45,6	44,8	44,5	51,0	41,4	46,4	46,3	44,8	49,0
Porosité utile (PU)	69,8	73,4	61,2	65,8	52,3	54,2	50,8	54,7	61,4	63,3	75,5
Densité apparente	0,13	0,11	0,17	0,12	0,19	0,18	0,27	0,18	0,12	0,31	0,12
Densité réelle	1,51	1,38	1,40	1,34	1,42	1,47	1,43	1,43	1,39	1,77	1,90
Argile+limon+mat. org. *	15,0	17,4	17,4	12,6	20,0	19,7	23,2	16,2	10,0	24,2	12,0
Mat. org. colloïdales	68	65	66	71	69	53	52	61	75	15	72
Argile+limon *	4,9	5,5	5,8	3,3	6,2	8,5	10,1	5,9	2,5	20,5	3,3
Matières humiques (p. cent)	4,9	5,8	6,0	6,5	9,0	5,6	8,3	5,9	5,4	7,9	5,3
pH	3,2	3,4	3,8	3,4	4,0	3,7	4,5	3,6	3,5	4,5	3,4

* - p. cent de tourbe humide.

présentant sous forme de granules durcis, le poids final, après réhumectation, n'est que de 1/3 du poids de tourbe initiale.

Ces propriétés du sol vis-à-vis de l'eau conditionnent tout le problème du drainage. Il faut à la fois drainer très efficacement pour maintenir le plan d'eau à un niveau suffisamment bas pour qu'il n'y ait pas asphyxie des racines, et maintenir une humidité suffisante pour ne pas dépasser le seuil au-delà duquel la réhumidification ne se fait plus. Il semble probable toutefois que la tourbe desséchée en surface sert d'écran protecteur et qu'ainsi une faible épaisseur seulement peut se mettre en granules. Ce phénomène irréversible pourrait être dû à des substances hydrophobes (résines).

- La densité apparente augmente régulièrement de 0,1 dans la tourbe vierge, elle atteint 0,2 après deux ans et 0,3 après vingt ans. La capacité pour l'air diminuant avec le temps (environ 60 p. cent) tout en restant élevée, il s'agit donc d'une conséquence du tassement de la tourbe consécutif au drainage.

Comme l'indique J. GODEFROY : «il résulte de cette faible densité qu'un mètre cube de tourbe pèse, suivant le degré d'évolution, entre 100 et 500 kg, alors qu'un mètre cube de terre sèche pèse habituellement de 1.600 à 1.800 kg».

Ainsi, pour un même volume de sol exploité par les racines, celles-ci disposent donc d'une quantité d'éléments trois à seize fois moindre que dans un sol ordinaire.

- La perméabilité de 2 cm/h pour une tourbe vierge passe à 9 cm/h pour une tourbe cultivée depuis vingt ans.

- Le dosage des colloïdes a donné des résultats intéressants. Le taux de colloïdes passe de 15 à 20 p. cent après un an, 23 p. cent après deux ans, 25 p. cent après vingt ans de culture.

Le taux en argile plus limon passe de 4,9 à 6 p. cent après un an, 10 p. cent après deux ans et 20 p. cent après vingt ans de culture.

- Le taux de matières humiques atteint son maximum après deux années de culture.

- L'indice général de structure, comme nous l'avons signalé précédemment, est l'un des facteurs les plus importants quant à la fertilité des tourbes. DABIN et LENEUF (10) ont montré que cet indice est plus élevé (donc meilleur) dans les sols anciennement mis en culture. Selon le type de substrat à l'origine, en particulier la présence d'argile, l'indice de structure peut être bon dès la première année de mise en culture ou seulement après plusieurs années de drainage et d'apport d'amendements.

La figure 7 établie par les mêmes auteurs permet de faire les différences suivantes :

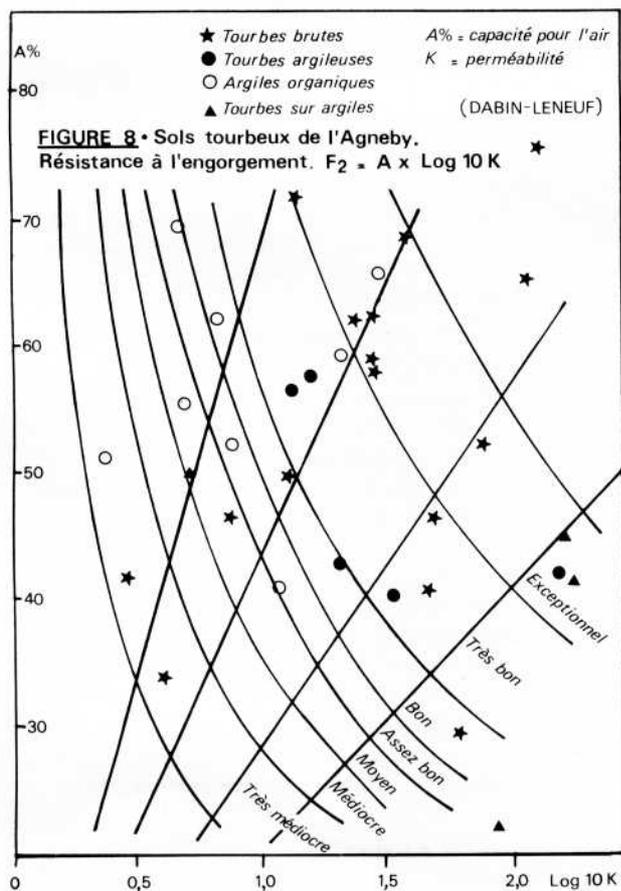
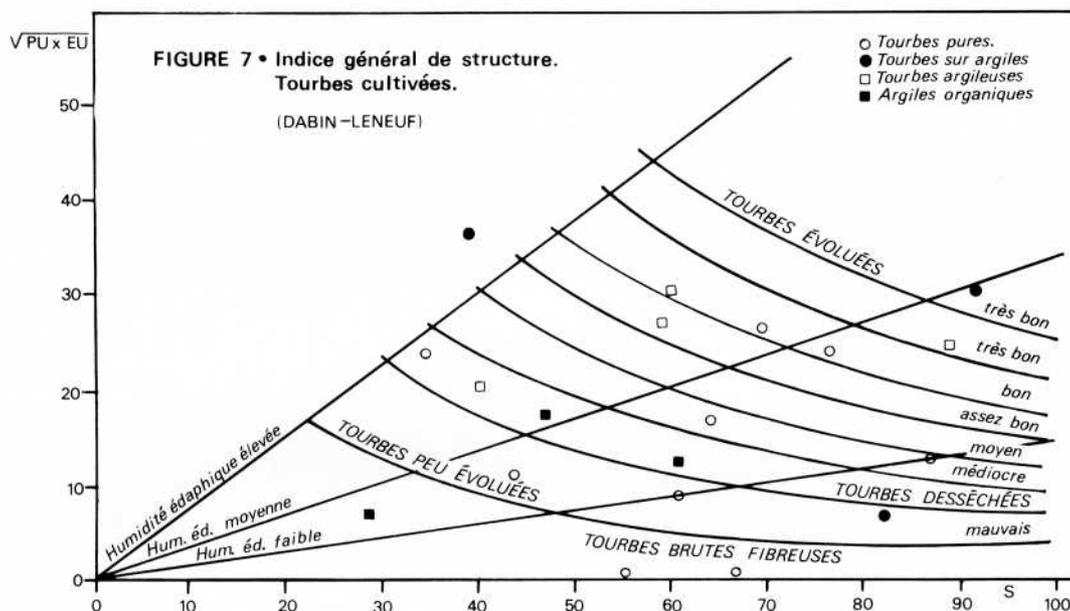
. Les tourbes argileuses et tourbes sur argile donnent une bonne production car l'indice de structure s'élève rapidement après la mise en culture.

. Les argiles organiques permettent une production rapide mais l'indice de structure varie peu et reste médiocre.

. Les tourbes profondes subissent les plus grandes modifications. D'une structure très mauvaises au départ, ces tourbes s'améliorent et donnent satisfaction après 5-7 ans de culture. Après 8-10 ans la structure et l'humidité édaphique sont bonnes.

. La résistance à l'engorgement des tourbes est bonne et permet une utilisation de ces sols organiques même avec une nappe phréatique relativement peu profonde (figure 8).

Dans une enquête agronomique faite par l'IFAC en 1967 et comportant analyses de sols, analyses foliaires et comp-



tages de nématodes, J. GODEFROY n'a observé aucune corrélation entre les caractéristiques physiques et la croissance des bananiers, d'autres facteurs encore mal connus devant intervenir.

Influence sur les caractéristiques chimiques.

Les analyses chimiques n'apportent que peu de précisions sur l'évolution des tourbes. Les résultats sont très variables d'une plantation à l'autre suivant les apports qui ont été effectués.

Des apports d'amendements calco-magnésiens en quantité importante sont nécessaires les premières années de mise en culture.

Les apports d'engrais azotés sont indispensables malgré les teneurs élevées en azote organique. Les doses à apporter sont d'autant plus élevées que la tourbe est moins évoluée, et que le rapport C/N est plus élevé.

Des études effectuées sur le pouvoir nitrificateur qui traduit l'activité bactérienne, montre une bonne nitrification dans les sols tourbeux, même dans ceux fortement acides.

Le phosphore total ou assimilable est généralement très élevé dans les plantations. Beaucoup de planteurs ont considéré les apports de phosphates divers (surtout de scories) comme bénéfiques, et dans beaucoup de cas les niveaux en phosphore sont très supérieurs aux besoins de la plante.

Le pH, comme la somme des bases échangeables, est assez variable d'une plantation à l'autre. Dans la majorité des cas, il existe une corrélation positive entre le pH et le coefficient de saturation en bases échangeables (tableau 10).

Dans la quasi totalité des cas, le pH est fortement acide, au-dessous de 5, et le plus souvent entre 3,5 et 4,5.

TABLEAU 10 - Résultats exprimés en p. cent du volume.

	Durée de culture			
	10ans	10ans	30ans	6 ans
Bases échangeables				
calcium (meq p. cent)	4,9	6,7	9,8	7,3
magnésium (meq p. cent)	1,7	3,4	3,7	2,6
potassium (meq p. cent)	0,8	0,9	0,7	0,4
Sommes des bases (meq p. cent)	7,4	11,0	14,2	10,3
Capacité de fixation (meq p. cent)	31,6	31,9	33,2	37,2
Coefficient de saturation P ₂ O ₅ assimilable (p. mille)	0,21	0,35	1,11	0,34
pH	4,0	4,5	5,0	3,9

CHARLES (4) signale les principaux caractères défavorables de l'acidité du sol :

- sur la stabilité structurale,
- sur la disponibilité des éléments nutritifs (insolubilisation de Mo et P₂O₅, solubilisation de Fe, Al et Mn pouvant entraîner des toxicités, lessivage des sels solubles),
- sur l'activité biologique du sol,
- sur l'absorption des éléments pour la plante (antagonisme entre H⁺ et Mg⁺⁺).

Les *oligo-éléments* : la déficience en cuivre est fréquente ; le zinc est à un niveau élevé dans les tourbes ; le manganèse, faible dans les tourbes vierges, est généralement élevé dans les tourbes cultivées (apports de scories Thomas).

GODEFROY (32) a mis en évidence un certain nombre de relations entre la croissance des bananiers et quelques caractéristiques chimiques :

- . degré d'humidification (r = +0,71, P : 99 p. cent)
- . calcium échangeable (r = +0,68, P : 98 p. cent)
- . magnésium échangeable (r = +0,74, P : 99 p. cent)
- . pH (r = +0,49, P : 90 p. cent)
- . coefficient de saturation (r = +0,50, P : 90 p. cent)

Discussion.

Les publications réalisées sur le marais de l'Agneby insistent surtout sur les substrats tourbeux, mais il faut reconnaître que l'argile compacte est un milieu relativement fréquent en particulier au Niek. La culture bananière sur argile donne de bons résultats lorsque le drainage est efficace et l'irrigation adéquate en saison à déficit hydrique (fréquence et doses).

Les tourbes constituent un milieu original et hétérogène comme nous l'avons mentionné dans les chapitres précédents. Il existe encore beaucoup d'inconnues notamment sur l'évolution des tourbes et leur aptitude à la culture bananière. En effet, la mise en culture d'un sol jusqu'ici constamment gorgé d'eau (donc en milieu anaérobie) entraîne une modification complète de celui-ci tout particulièrement par le drainage.

Les conséquences du drainage sur la tourbe elle-même n'ont été étudiées systématiquement en régions tropicales que par DIDIER de SAINT-AMAND (11, 12) et KILIAN (20) à Madagascar. Pour KILIAN, les sols organiques de la région de Tamatave sont d'une origine comparable à ceux de l'Agneby en Côte d'Ivoire (origine forestière). En l'absence d'indications phytosociologiques et climatologiques, il est difficile de faire des comparaisons. Avec ces réserves quant à l'extrapolation au cas particulier qui nous intéresse, les indications suivantes sont données par DIDIER de SAINT-AMAND (12) mais concernent les zones tourbeuses des plateaux :

. *Conséquences sur la couverture végétale.* Les Cypéracées sont remplacées par des Graminées.

. *Conséquences sur la morphologie du profil.* L'aspect fibreux disparaît en même temps qu'il y a tassement important pouvant atteindre et dépasser 80 cm à 1 m. Ceci entraîne l'apparition d'un relief plus accidenté par le fait que les troncs et souches restent sensiblement dans leur position.

DIDIER de SAINT-AMAND (12) indique que la matière organique peu évoluée soumise à une dessiccation brusque forme des polyèdres à faces luisantes qui ne retiennent pas l'eau (dépôt de résine sur les parois) ; au Niek la dessiccation de la tourbe se traduit aussi par la formation d'agrégats.

. *Conséquences sur les caractères physicochimiques et biologiques.* Le drainage entraîne une augmentation relative de la fraction minérale constituée de limon et d'argile par l'oxydation des éléments organiques.

A Madagascar, dans les tourbes à Graminées et Cypéracées des plateaux, qui diffèrent considérablement de celles du marais de l'Agneby, l'évolution provoque un accroissement puis une baisse de l'azote, des acides humiques et du taux d'humidification ; le rapport C/N diminue. La proportion d'acides humiques liés aux argiles s'accroît par rapport aux acides humiques libres peu polymérisés (par l'intermédiaire de l'alumine et parfois du fer). L'activité microbienne s'accroît en surface ; DIDIER de SAINT-AMAND cite : cellulolyse, fixation d'azote atmosphérique, ammonification, nitrification, activité globale des germes.

Les meilleurs caractères concernant le complexe absorbant seraient observés pour une évolution moyenne. L'acidité qui est très forte à l'origine décroît légèrement lorsque l'évolution est poussée. L'alumine, bien plus stable que le fer (en quantité peu abondante) présente constamment des taux élevés.

Les réserves en eau, fortes au départ, passent par un maxima pour une évolution moyenne. Toute dessiccation prolongée rend la réhumectation difficile et provoque un abaissement des réserves. Le point de flétrissement des végétaux est obtenu alors que l'humidité des horizons riches en matière organique est encore élevée.

D'après DIDIER de SAINT-AMAND (12) : « L'examen de l'ensemble des conséquences du drainage sur un sol tourbeux montre que c'est pour une évolution moyenne

(*) que le sol a, en surface, les meilleurs caractères concernant les éléments organiques, le complexe absorbant, la réserve en eau, les perméabilités et les plasticités. De plus, ce milieu présente des proportions équilibrées entre la fraction minérale (limon + argile + sable) et la fraction organique, une bonne activité microbienne, des teneurs en bases totales et en acide phosphorique total intermédiaires entre celles relatives aux stades origine ou ultérieurs.

Ainsi, une évolution moyenne des tourbes conduit à un sol qui est doté de caractères favorables à la production agricole».

Le drainage doit être réalisé progressivement de façon à ne pas provoquer une évolution défavorable. Vu la relative fragilité de ce milieu, il est nécessaire de faire suivre le drainage de moyens d'irrigation et de culture rationnels et bien adaptés.

A la suite de diverses observations réalisées par les planteurs de bananes du Niéky, il a été supposé que dans certaines tourbes des phénomènes de toxicité pouvaient exister par intermittence. Bien qu'aucune donnée expérimentale n'ait été fournie jusqu'ici, des présomptions sérieuses existent. Trois types de toxicité ont été envisagés selon les substances qui en sont la cause : l'hydrogène sulfuré, les substances organiques, l'aluminium.

L'aluminium fut souvent invoqué dans les cas de toxicité des sols acides (JUSTE, 19).

JUSTE donne la description générale suivante :

«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 qu'on peut observer à la suite d'une sévère carence en acide phosphorique».

A Madagascar, KILIAN (20) a noté des taux élevés d'aluminium échangeable dans les sols tourbeux très acides.

Pour le Niéky les publications ne mentionnent que très rarement l'aluminium et jamais sous forme de résultats d'analyse.

Il est possible (mais pas vérifié) que des apports d'amendements (scories Thomas en particulier) aient entraîné l'atténuation ou la disparition de la toxicité de l'alumine qui précipite à la suite d'un excès d'acide phosphorique.

(*) - Le profil de ce stade moyen d'évolution est le suivant :
 0-20 cm : fins débris de racines, couleur gris foncé, riche en matière organique, assez plastique et collant.
 20-50 cm : débris organiques fragmentés, ramollis.
 50-90 cm : mélange intime de matière organique fine, de limon et d'argile.
 > 90 cm : gley réduit, gris clair, massif, compact et plastique.

TABLEAU 11 - d'après KILIAN (20)

Horizons en cm	pH	Al^{+++} en meq p. cent	Profondeur de la nappe en cm
0-20	4,4	5,7	0,40
20-30	4,2	5,1	
30-100	4,0	3,0	
0-20	3,7	10,2	0,45
20-38	3,7	10,5	
38-110	4,2	2,7	
0-25	3,8	9,4	0,60
25-50	3,4	10,4	
50-70	4,2	3,6	
0-25	3,9	6,1	0,40
25-53	3,8	5,4	
53-160	4,0	3,1	
0-20	3,6	3,1	0,50
20-38	3,6	5,3	
35-58	4,3	3,9	

L'hydrogène sulfuré et les sulfures.

Il est facile de mettre en évidence la présence d'hydrogène sulfuré dans les tourbes du Niéky. Beaucoup de personnes ont pu faire la constatation de tels dégagements au niveau de certains horizons,

- horizon tourbeux grossier parfois peu profond (1 m). Nous l'avons observé récemment même sur des tourbes mises en culture depuis plusieurs années,
- horizons minéraux de sable ou de vase (au-dessous de 1 m).

La présence d' H_2S dans les horizons de tourbe grossière pourrait être due à la décomposition de racines de palétuiviers riches en soufre. Il serait nécessaire de réaliser une étude des pollens fossiles dans cette zone.

L'influence sur le développement des racines de bananier n'a encore jamais été étudiée.

Les substances organiques.

Quelques planteurs ont remarqué qu'après une pluie très abondante, la croissance des bananiers s'accélérait. GAUCHER (15) en 1968 a observé, après une pluie de 160 mm en 20 heures, une évacuation par un drain d'eau très chargée en matières organiques. Par des tests de germination de graines de melon cet auteur a montré «indiscutablement l'existence de substances toxiques dans les eaux colorées en brun».

La pluie exercerait une action bénéfique dans la mesure où elle est suffisante pour «laver» le sol et n'amène pas d'eaux toxiques au contact des racines des plantes cultivées.

L'influence de la matière organique, dont en particulier CHAMINADE (2), FLAIG (13, 14), HENNEQUIN et JUSTE (18) ont étudié les modalités, n'est pas surprenante dans le cas des tourbes du Niéky.

CHAMINADE (2) a mis en évidence un effet «global» de la matière organique sur la capacité de production du sol.

Cet effet est la résultante de diverses actions : rhizogénèse, germination, nutrition aqueuse, nutrition minérale.

Comme nous l'avons invoqué précédemment, la tourbe est surtout une lignine qui, en se transformant, donne des phénols et des quinones. Des études sérieuses sur ces substances ont été réalisées, notamment par FLAIG (13, 14), HENNEQUIN et JUSTE (18). Les composants foncés de l'humus se formeraient par des réactions entre les produits de fragmentation de la lignine et des produits de transformation des protéines végétales et microbiennes.

FLAIG a montré que l'action de substances physiologiquement actives comme certaines fractions de l'humus, les produits de dégradation des lignines, les phénols et les quinones, dépend des conditions de milieu comme la quantité d'éléments nutritifs assimilables, etc. L'action de ces produits dépend d'autant plus des facteurs de milieu que le rendement est plus éloigné du rendement maxima. L'action dépend de la concentration de la substance active comme l'indique cet auteur.

NGUYEN KHA et Ph. DUCHAUFOR (26, 27) ont montré expérimentalement que les alternances microclimatiques accentuées (humectation et dessiccation) jouaient un rôle activant sur les processus de décomposition de la matière organique (biodégradation) et sur les processus d'humidification et de polymérisation des composés humiques. Par exemple, un été très chaud et sec accélère la formation d'acides humiques stables alors qu'un été moyennement chaud et humide augmente la décomposition des acides humiques labiles.

Le fait que l'action des substances organiques physiologiquement actives dépend notamment de l'humidité de l'atmosphère, pose le problème des relations entre l'humus et l'économie de l'eau.

HENNEQUIN (18) aboutit aux mêmes résultats que FLAIG, à savoir que dans les conditions optimales de croissance il n'y a aucun effet d'activation. Il indique aussi que les quantités d'acides phénols «libres» ne sont pas nécessairement en relation directe avec le taux de carbone total du sol. L'action inhibitrice (ou stimulante) des phénols sur le développement des végétaux a été assez bien démontrée. Ce facteur devrait être étudié tout particulièrement en milieu tourbeux et permettrait peut-être d'expliquer un certain nombre de caractères du développement du bananier au Niekry.

Conclusion.

Les tourbes aussi bien grossières que fines ou argileuses, sont dans la quasi totalité des cas très déminéralisées. Ces tourbes que l'on peut considérer comme oligotrophes ne constitueraient en réalité qu'un simple support. Leur valeur agricole serait fonction essentiellement de l'organisation du profil pédologique, de l'environnement hydrogéologique ainsi que de leur nature.

Les tourbes cultivées en bananes et fertilisées depuis plusieurs années sont devenues minéralement plus riches.

Il est certain - quels que soient les inconnues et problèmes non élucidés - que les tourbières constituent une zone où la

culture bananière est financièrement rentable dans les conditions économiques actuelles. Toutefois, une connaissance plus précise et plus approfondie de ces sols serait utile aux recherches faites pour améliorer les rendements donc la rentabilité.

ANNEXE

Méthodes d'analyses physiques et définitions (Dabin, 8,9).

Texture - proportion des éléments de différentes dimensions.

Structure - assemblage des éléments, en quelque sorte la solidité qui tient compte du nombre et des dimensions des pores (rapport entre l'eau et le sol).

Stabilité structurale (S) se définit à partir de deux paramètres :

- la perméabilité (K) exprimée en cm /heure
- l'indice d'instabilité (Is)

} Méthodes HENIN et MONNIER

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

S est d'autant plus grand que la perméabilité est élevée et que l'indice d'instabilité est petit.

Porosité.

. Porosité totale : proportion totale de pores par rapport au volume total du sol à saturation.

. Macroporosité : proportion de grands pores où l'eau s'écoule facilement pour laisser place à l'air.

. Microporosité : proportion des pores où l'eau est retenue par des forces de succion plus ou moins grandes.

Selon la force de rétention pour l'eau on définit :

- l'humidité équivalente, pourcentage de pores occupés par de l'eau retenue avec une force de 1.000 g (ou pF3).

- le point de flétrissement - idem - avec une force de 16.000 g (ou pF4,2).

De ces mesures on peut calculer les grandeurs suivantes :

- porosité utile (PU) - porosité totale - point de flétrissement

- eau utilisable (EU) = humidité équivalente - point de flétrissement

- capacité minima pour l'air (A) = porosité totale - humidité équivalente.

Aucune de ces grandeurs ne suffit à caractériser la qualité structurale d'un sol. Expérimentalement, DABIN a constaté que le produit

$$F1 = S \sqrt{PU \cdot EU}$$

était en relation étroite avec la qualité structurale d'un sol évaluée directement sur le terrain et avec sa fertilité. Il a défini un indice complémentaire, l'humidité édaphique (He) qui représente les possibilités de rétention d'eau par le sol :

$$He = \frac{\sqrt{PU \cdot EU}}{S}$$

En portant les valeurs de S en abscisses et (PU . EU) en ordonnées on peut connaître la valeur de l'indice général de structure.

De façon à mieux connaître la résistance à l'engorgement, DABIN a aussi défini un indice dit de ressuyage :