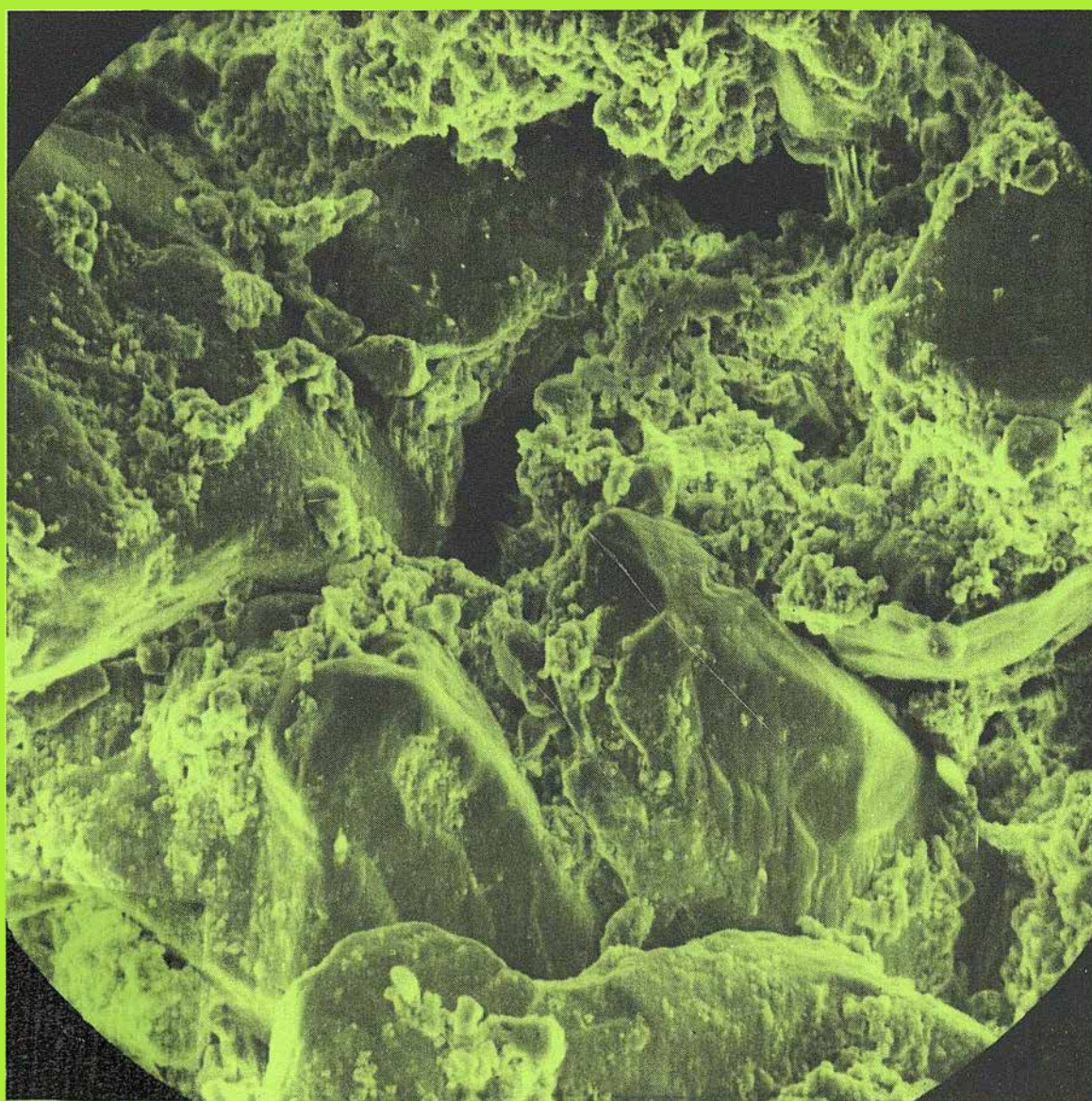


**Christian HARTMANN**

**EVOLUTION ET COMPORTEMENT  
DE SOLS SABLO-ARGILEUX FERRALLITIQUES  
SOUS CULTURE DE PALMIERS A HUILE**

**Cas de la plantation R. Michaux  
à Dabou (Côte d'Ivoire)**



**THESE de DOCTORAT de l'UNIVERSITE de PARIS 6**

**Spécialité PEDOLOGIE**

Présentée par

**Christian HARTMANN**

pour obtenir le titre de DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE PARIS 6

Sujet de la thèse

**EVOLUTION ET COMPORTEMENT DE SOLS  
SABLO-ARGILEUX FERRALLITIQUES SOUS CULTURE  
DE PALMIERS A HUILE**

**Cas de la plantation R. MICHAUX  
à DABOU (Côte d'Ivoire)**

Soutenue le 10 juillet 1991 devant le jury composé de :

MM. A. MARIOTTI	Président
G. PEDRO	
H. PUIG	
C. CHEVERRY	Rapporteur
D. TESSIER	Rapporteur
H. MANICHON	
J. OLIVIN	

## AVANT-PROPOS

*Le travail présenté ici a été effectué sur la plantation R. Michaux (huit mois au total) pour l'étude de terrain ; et principalement à la station de Science du Sol de l'INRA de Versailles, mais aussi au SESCOF-INRA d'Orléans et au laboratoire de pédologie de l'INA Grignon.*

*Afin de mener à bien cette thèse j'ai profité d'une bourse du Ministère de la Recherche et de la Technologie, et du soutien financier du CIRAD.*

*J'ai surtout profité de l'aide et du soutien de très nombreuses personnes à qui je voudrais exprimer ici mes remerciements :*

*- A. MARIOTTI, Professeur à l'Université de Paris VI et Directeur du Laboratoire de Biogéochimie de Isotopes Stables, qui me fait l'honneur de présider le jury ;*

*- G. PEDRO, Directeur de Recherche à l'INRA, qui m'a accepté au DEA Fédéral de Pédologie après une période d'activité professionnelle, puis m'a proposé de travailler sur un sujet de thèse correspond à mes préoccupations ;*

*- D. TESSIER, Directeur de Recherche à l'INRA, qui m'a permis, dès le départ, de dégager les points essentiels de ce sujet, et d'élaborer une démarche scientifique qui associe en particulier une approche physique de l'objet "sol". Je tiens à lui exprimer toute ma gratitude pour avoir accepté, aujourd'hui encore, de consacrer autant de temps et d'énergie à l'amélioration de ce manuscrit et de ma démarche ;*

*- C. CHEVERRY, Professeur à l'ENSA de Rennes, que j'ai rencontré pour la première fois dans le cadre de ma formation à l'ISTOM du Havre, et qui a accepté la lourde charge de rapporteur ;*

*- H. MANICHON, Directeur Scientifique du CIRAD, J. OLIVIN, responsable du département Agronomie de l'IRHO, et H. PUIG, du Laboratoire de Botanique Tropicale, qui ont également accepté de participer à ce jury et de me faire profiter de leur expérience.*

*C'est à l'INRA de Versailles que j'ai passé le plus grand nombre de mois, ce travail doit beaucoup à l'ensemble des personnes que je côtoyais tous les jours. Je tiens à remercier chaleureusement M. TERCE, I. LAMY, C. CHENU, M. BALABANE, J. BALESSENT, P. CAMBIER, et M. ROBERT avec lesquels j'ai eu des discussions fructueuses ; A. BEAUMONT, R. DUPONT, A.M. JAUNET, M. LEMAIN, J. LAPEYRONNIE, J. DUCAROIR, M. HERVIO et G. VENEAU qui m'ont apporté leur aide quotidienne, ainsi que toute l'équipe du secrétariat et du service de reproduction qui ont tout fait pour me faciliter la tâche.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement les différents stagiaires avec qui se sont tissés des liens d'amitié au cours de nos mois de labeurs passés ensemble. C'est bien sûr à C. LE SOUDER que je pense en premier, mais aussi à V. LAPERCHE, T. ALLARD, M. KILASARA et G.H. SALA. Je remercie aussi L. GALSOMIES et C. TILLIER qui ont participé à la réalisation pratique de ce mémoire.*

*Je suis très reconnaissant à L.M. BRESSON et P. GUILLORE de l'INA Grignon ; ainsi qu'à A. BRUAND et C. LELAY de l'INRA d'Orléans et F. van OORT de l'INRA Guadeloupe pour l'aide qu'il m'ont apporté aux différentes étapes de l'étude de la porosité et de l'organisation des sols.*

*Je remercie aussi l'ensemble des personnes de l'IRHO qui m'ont donné libre accès aux documents qui m'étaient nécessaires et qui ont tout fait pour m'aider, en particulier M. OCHS. Je n'oublierai jamais les quelques mois passés sur la plantation R. MICHAUX et je profite de l'occasion qui m'est donnée ici de remercier le Directeur, M. AUBRY, et l'ensemble des cadres pour leur accueil, surtout P. DE KOCHKO. Je remercie également l'ensemble des ouvriers qui m'ont aidé sur le terrain : c'est grâce à eux qu'en peu de mois j'ai pu appréhender un agrosystème qui m'était étranger à mon arrivée. Je pense tout particulièrement à Amidou BALLO avec qui se sont également tissés des liens d'amitié, Victor HOUNKPATIN, SAW ISSA et Y. DONGO KOFFI dont le sérieux et la rigueur sont les qualités premières, mais certainement pas les seules.*

*Durant mon séjour en Côte d'Ivoire, j'ai eu la chance de rencontrer C. VALENTIN et J.L. JANEAU à l'ORSTOM d'Adiopodoumé. Ils m'ont apporté leur soutien matériel, leur expérience et leur amitié ; je leur dois donc beaucoup. Qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus chaleureux et les plus sincères.*

*Je remercie M. PRIOUX, Directeur de la plantation de Cosrou, pour les discussions très fructueuses, même si elles n'ont pas pu être nombreuses, que nous avons eues ensemble ; et M<sup>ME</sup> E. GARNIER-SILLAM de l'Université de Créteil et M. HAN, de l'Université d'Abidjan, pour l'aide qu'ils m'ont apportée dans la détermination des termites rencontrés sur la plantation.*

*Enfin je tiens à remercier une deuxième fois A. BRUAND et L.M. BRESSON ainsi que M. GRIMALDI qui ont dépensé beaucoup de temps et d'énergie pour relire ce mémoire, m'aider à l'améliorer et participer ainsi à ma formation de chercheur.*

---

*A l'heure où s'achève ce travail je me dois aussi de remercier toutes les personnes qui m'ont permis de pouvoir l'entamer. Cette thèse est dédiée :*

- à ma mère et à ma famille, dont le soutien m'a permis de faire des études supérieures,*
- à Nadine Michard et à ses enfants ; c'est dans le besoin que l'on reconnaît ses amis, alors je peux dire que j'ai découvert là une deuxième famille,*
- à Cicia qui, durant toutes ces années, a supporté la même vie d'étudiant que moi, sans forcément y trouver les satisfactions intellectuelles que j'éprouvais quotidiennement ; de plus, durant mes nombreuses absences, elle occupait à elle seule le rôle de père et de mère de famille et m'a permis de toujours me consacrer entièrement à ce travail.*

# S O M M A I R E

## INTRODUCTION GENERALE

### PREMIERE PARTIE : ETUDE DU MILIEU

---

- I - CADRE DE L'ETUDE
- II - LE PALMIER ET SON ACTION SUR LE SOL
- III - LA PALMERAIE ET SON ACTION SUR LE MILIEU

### DEUXIEME PARTIE : ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

---

- IV - CONDITIONS DE LA MISE EN PLACE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE APPOINT DE CRITERES GRANULOMETRIQUES
- V - ANALYSE DE LA VEGETATION EN TANT QU'INDICATEUR DU FONCTIONNEMENT DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE
- VI - SITUATION ET CARACTERISATION DES PROFILS PEDOLOGIQUES
- VII - CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DES PROFILS

### TROISIEME PARTIE : ANALYSE DE L'EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES SOLS

---

- VIII - ANALYSE DU SPECTRE PORAL DES SOLS
- IX - ETUDE DU SPECTRE PORAL PAR LES OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES
- X - ORGANISATION DU SOL A L'ECHELLE DES CONSTITUANTS

### QUATRIEME PARTIE : SYNTHESE GENERALE DES RESULTATS

---

- XI - ORIGINALITE DES CONDITIONS PEDOGENETIQUES DE LA REGION DE DABOU
- XII - FACTEURS D'EVOLUTION DES SOLS SABLO-ARGILEUX SOUS PLANTATION INDUSTRIELLE DE PALMIERS A HUILE
- XIII - CONTRIBUTION A UNE GESTION CONSERVATIVE DE L'AGROSYSTEME

## CONCLUSION GENERALE



## INTRODUCTION GENERALE

Durant les années soixante dix, des baisses de rendement ont été constatées dans la plantation de palmiers à huile de l'Afrique de l'Ouest et notamment la plantation Robert MICHAUX de Dabou en République de Côte d'Ivoire. Cette baisse affecte préférentiellement les parcelles en deuxième cycle de de culture (palmiers sur palmiers), par rapport aux parcelles en premier cycle (palmiers sur savane).

Le *Fusarium oxysporum*, qui pénètre le palmier par ses racines et qui cause une maladie cryptogamique appelée "fusariose", est habituellement le principal facteur invoqué pour expliquer la limitation du rendement chez *Eleais guineensis*. Pourtant BOURGUET (1980) démontre que les baisses de rendement constatées (de 12 à 9 t/ha/an, soit 30 %) ne peuvent être seulement attribuées à la fusariose. Il propose alors différentes voies de recherche, en particulier une étude plus approfondie du facteur de rendement "sol".

L'Institut de Recherche des Huiles et Oléagineux (IRHO) a été amené à développer avant tout des investigations par des diagnostics foliaires afin de vérifier la qualité de l'alimentation minérale de l'arbre. Au total, les résultats ont montré que celle-ci ne peut être mise en cause il n'existe aucune carence et le seuil minimal de teneur en éléments minéraux majeurs est toujours atteint. En revanche l'augmentation des intrants ne permet pas de faire remonter ces teneurs, ni même les rendements (IRHO, 1989) en second cycle de culture.

La prise en compte du sol dans la baisse du rendement a d'abord été abordée par l'étude du changement des valeurs de pH, ces dernières pouvant entraîner une toxicité aluminique. Cependant, seules de très faibles variations de pH ont été observées et la toxicité aluminique avait été éliminée comme facteur explicatif.

Devant les baisses de rendements observées, et sans qu'aucune cause directe ne puisse être mise en évidence, la "fatigue des sols" a été invoquée. Il s'agit là de la résultante globale de changements de différentes natures (physique, biologique, physicochimique,...), sans que l'on puisse en déterminer la part pour chacun d'entre eux.

Le facteur physique paraissant jouer un rôle dans la baisse du rendement, des mesures de densité apparente ont été réalisées par DUFOR (1983). Elles montrent qu'il existe une faible perte de porosité au fil des années de culture, mais ne permettent pas de distinguer clairement les situations correspondant à différents cycles de culture. Les aspects rhéologiques ont aussi été abordés par des mesures de résistance à la pénétration proposées par CALIMAN (1990). Elles mettent en évidence l'apparition d'un horizon cohérent proche de la surface dans le deuxième cycle de culture de palmiers. Cet horizon semble d'ailleurs apparaître faiblement dès le premier cycle de plantation, en même temps que des baisses de rendements.

Ainsi, les baisses mesurées et les différences constatées au niveau d'une caractéristique mécanique synthétique comme la résistance à la pénétration, ont amené l'IRHO à mettre en cause les systèmes de culture modernes, en particulier l'abattage mécanique : poussage à l'aide d'engins lourds (Caterpillar D8) alors que celui-ci se faisait traditionnellement de façon manuelle.

Deux axes de recherche complémentaires ont donc été explorés en même temps :

- l'un répondait à une nécessité à court terme : à une époque où la Côte d'Ivoire entame l'abattage et la replantation de milliers d'hectares plantés dans les années 1960 (actuellement 145 000 ha sont exploités), il était primordial de proposer immédiatement une technique de diagnostic et de correction. Les résultats de ce travail sont exposés dans CALIMAN (1990).

- l'autre répond à une nécessité à plus long terme : les changements de structure n'ayant pu être que constatés à travers leurs conséquences (faible pénétration racinaire, mauvaise alimentation hydrique), il devenait indispensable de commencer par *DECRIRE* effectivement cette *STRUCTURE* et ses changements ; puis de rechercher les *CAUSES* et les *MECANISMES DES CHANGEMENTS* de structure de ces sols sablo-argileux du sud de la Côte d'Ivoire. Enfin il semble nécessaire d'associer fonctionnement de l'arbre et fonctionnement du sol : c'est-à-dire, *in fine*, d'analyser les mécanismes qui relient structure du sol et rendement de la plante, afin que les résultats



acquis puissent être transposés à d'autres situations pédologiques et d'autres régions du monde.

*L'analyse du mécanisme de la dégradation des sols et de ses conséquences sur la culture du palmier va faire l'objet du présent mémoire.*

A cet effet, il est d'abord nécessaire de situer le cadre général d'évolution des sols de la palmeraie au plan géologique, climatique, géomorphologique. Nous examinerons aussi le palmier et son action sur le milieu sol, de même que l'influence de la palmeraie sur son environnement..

Dans la deuxième partie, nous mettrons en évidence l'organisation et le fonctionnement de la couverture pédologique en insistant sur les caractéristiques du substrat initial, en utilisant la végétation comme indicateur du fonctionnement et en décrivant les sols.

La troisième partie sera consacrée à l'analyse de la dégradation des caractéristiques physiques des sols, en particulier le spectre poral et l'organisation des constituants du sol.

La quatrième partie présentera enfin l'analyse générale des résultats. Il sera proposé une synthèse quant aux mécanismes et facteurs mis en jeu au cours de la dégradation (ou l'amélioration) de la structure des sols. Puis, avant de conclure, nous formulerons des propositions pour une gestion plus «conservative» du milieu.

---



PREMIERE PARTIE

ETUDE DU MILIEU

*Pris au sens large le milieu peut être considéré comme étant l'ensemble des éléments physiques (climat, sol), biologiques et anthropiques qui participent à la définition d'un paysage, modifié ou non par l'homme. Cette étude du milieu va comprendre trois chapitres : le cadre régional, la présentation du palmier à huile et son action sur le sol, et enfin la description de la plantation elle-même.*

## CHAPITRE I

# CADRE DE L'ETUDE

Nous examinerons dans ce chapitre les processus et les facteurs qui commandent l'évolution du paysage et lui confèrent ses caractéristiques. L'échelle d'observation est celle de la région, cadre dans lequel s'intègre la plantation ROBERT MICHAUX.

Nous nous intéresserons au climat, à la géologie et à la géomorphologie, au réseau hydrographique et à la végétation existant avant la plantation. Enfin nous ferons une étude bibliographique des connaissances acquises jusqu'à présent sur les sols de cette région.

## A. LOCALISATION

De par sa position au sud de la Côte d'Ivoire, à environ 5°20' de latitude nord et 4°30' de longitude ouest, la plantation ROBERT MICHAUX se situe en zone subéquatoriale (Fig.I.1). La limite sud de la plantation se trouve à environ 6 km en retrait de la lagune Ebrié et à 15 km du littoral du Golfe de Guinée. Cette plantation se trouve également à 65 km à l'ouest d'Abidjan soit 12 km à l'ouest de Dabou (Fig.I.2).

Aucun cours d'eau permanent ne la traverse actuellement, mais on trouve à l'ouest, la rivière Ira, à l'est, l'Adagbambane.

## B. CLIMAT

### 1. Evapotranspiration potentielle

La prise en compte des principaux facteurs climatiques (température et humidité de l'air, température du sol, rayonnement solaire, vent et pression atmosphérique) permet de définir le climat local et de calculer la demande en eau du milieu. Cette demande correspond à l'évapotranspiration potentielle, ou ETP, et s'exprime en mm d'eau par unité de temps.

Le tableau I.1 présente les valeurs d'ETP de la station d'Adiopodoumé, qui sont valables pour la zone lagunaire, en particulier la région de Dabou. Les variations d'ETP observées sont caractéristiques de la zone subéquatoriale : faibles variations autour de la moyenne (100 mm) au cours de l'année.

Tableau I.1 - Valeurs d'ETP pour une année moyenne (d'après ROOSE, 1980)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm)	109	114	130	124	115	79	83	79	82	110	116	109	1250

### 2. Précipitations

Contrairement à la demande climatique d'eau, les précipitations sont soumises à d'importantes variations *saisonnnières*, mais aussi *spatiales* du fait de leur caractère orageux.

Des relevés pluviométriques quotidiens ont été effectués sur la plantation depuis 1947. A partir de ces relevés, nous allons décrire le régime pluviométrique annuel (variations saisonnières) et son évolution au cours des 4 décennies de mesure.

#### a) Variations saisonnières

Du fait des déplacements du front intertropical, une caractéristique du régime pluviométrique de la région est l'existence de quatre saisons : deux saisons des pluies qui alternent avec deux saisons sèches. Ce type de climat peut être nommé "attiéen, à faciès littoral" (ROUGERIE, 1960).

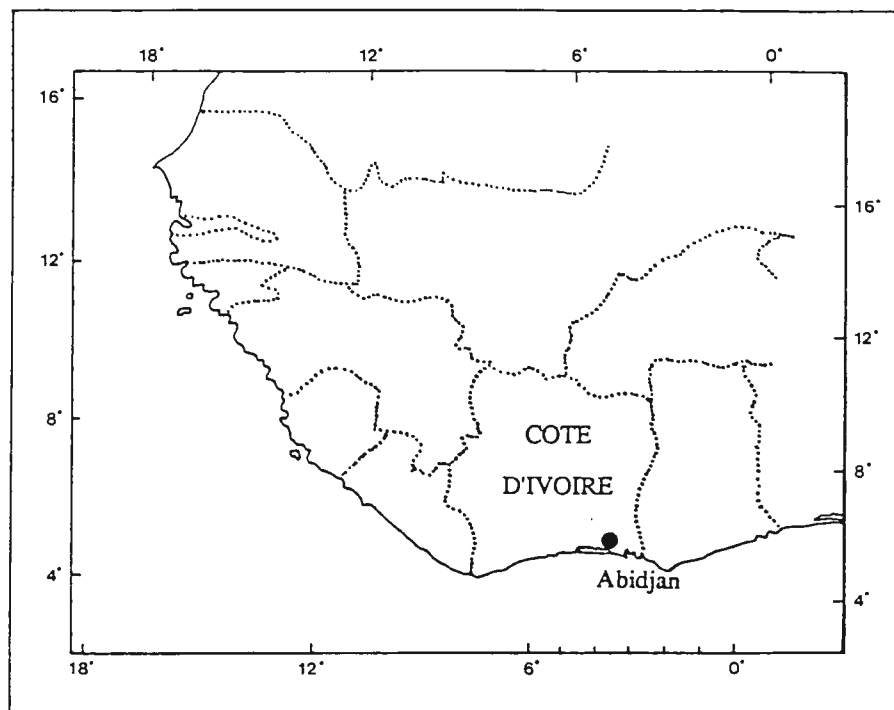


Fig.I.1 - Situation de la zone d'étude par rapport à l'Afrique de l'ouest et à la Côte d'Ivoire

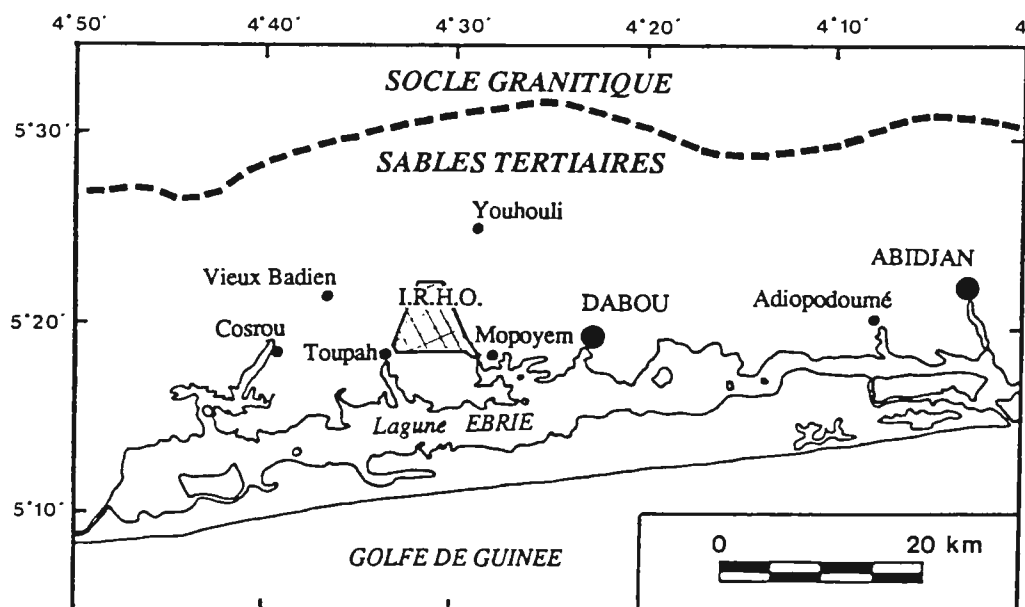


Fig.I.2 - Situation de la plantation Robert Michaux en Basse Côte d'Ivoire

La moyenne des pluviométries mensuelles établie sur la période 1947 à 1987 fournit la répartition suivante au cours de l'année :

SAISON	DUREE	% DU TOTAL ANNUEL
sèche	2 mois (août/sept)	10%
humide	2 mois (oct/nov)	20 %
sèche	4 mois (déc/mars)	10 %
humide	4 mois (avr/juil)	60 %

Il est important de noter qu'il s'agit là de moyennes pour lesquelles les coefficients de variation sont importants (Fig.I.3) : il existe une *forte irrégularité interannuelle* des événements pluvieux.

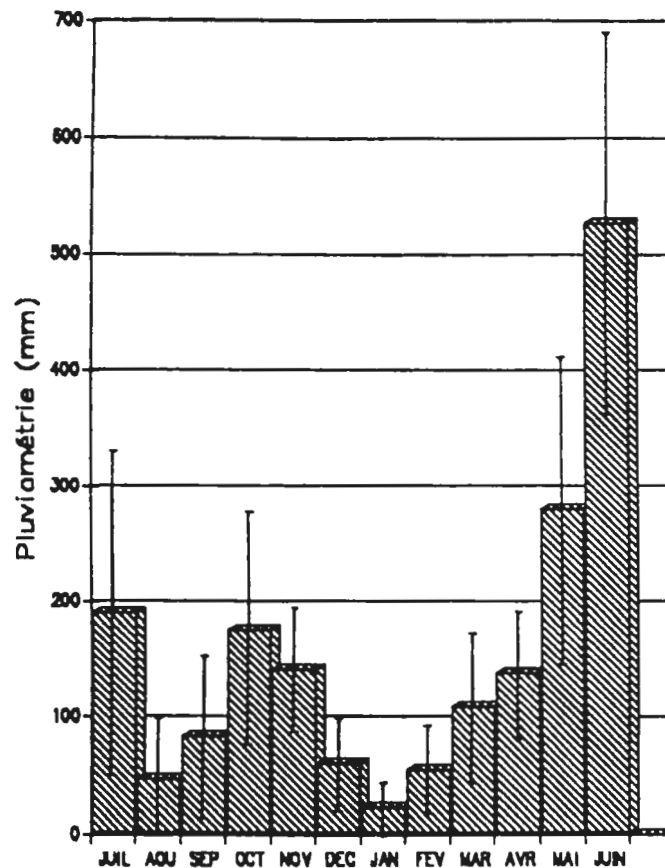


Fig.I.3 - Moyennes mensuelles et écarts-type des pluviométries mesurées sur la plantation R. Michaux entre 1947 et 1987.



Les coefficients de variations les plus faibles sont associés aux mois d'août, décembre, janvier et février (mois secs) et au mois de juin\* (mois humide). Il s'agit là de mois extrêmes pour lesquels les événements pluvieux se reproduisent de façon identique presque toutes les années. Pour les autres mois, les variations peuvent être fortes d'une année à l'autre et modifier en conséquence, pour chacune des saisons, les durées indiquées plus haut.

Il apparaît donc, à partir des relevés effectués sur plusieurs décennies, que les *moyennes ne peuvent caractériser le régime pluviométrique de cette région*. Il est nécessaire de ce fait, de prendre en compte les variations interannuelles.

### b) Variations interannuelles

Il n'existe pas dans la littérature de données portant sur l'analyse de la *succession* d'événements climatiques à l'échelle décennale pour la région de Dabou. La figure I.4 représente donc les pluviométries annuelles mesurées sur la plantation depuis 1947.

Pour la culture du palmier, les années culturales débutent en juillet pour se terminer en juin de l'année suivante : l'année 1947 est donc celle qui va de juillet 1947 à juin 1948. Nous avons alors décidé de faire coïncider les années pluviométriques et les années culturales. Dans la suite du texte l'année est comptée du 1er juillet au 30 juin. La pluviosité annuelle calculée de janvier à décembre a été reportée en annexe.

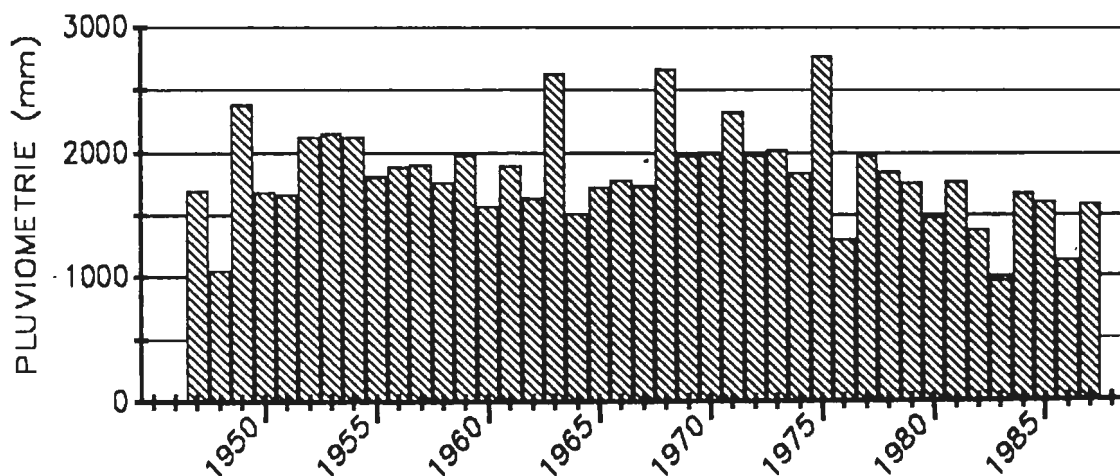


Fig.I.4 - Pluviométries annuelles mesurées sur la plantation R. Michaux entre 1947 et 1987.

La *pluviosité moyenne* sur les 41 ans de mesure est de **1830 mm**. Si 65 % des années (soit 26 années) ont eu une pluviosité comprise entre 1500 et 2000 mm, donc proche de la moyenne, il y a tout de même eu des écarts très importants puisque trois années (63, 68, 75) ont présenté des pluviosités supérieures à 2500 mm et une année (1983) a été inférieure à 1000 mm.

\* coefficient de variation en valeur relative dans ce cas.

Afin de caractériser ces écarts, nous avons fait le calcul du coefficient K3 qui est le rapport entre la pluviométrie la plus forte et la plus faible de la décennie :

- 1947-1956 ;  $K3 = 2388/1057 = 2,3$
- 1957-1966 ;  $K3 = 2639/1520 = 1,7$
- 1967-1976 ;  $K3 = 2779/1304 = 2,1$
- 1977-1986 ;  $K3 = 1981/972 = 2,0$

*Ces valeurs sont très élevées*, puisque les régions soumises à une pluviométrie de 1500 à 2000 mm présentent habituellement, en Afrique de l'Ouest, un coefficient K3 inférieur à 1,5 (CASENAVE et VALENTIN, 1990).

Il faut remarquer aussi que sur les quatre décennies étudiées, il est arrivé trois fois que l'année la plus humide succède à la plus sèche, c'est-à-dire que le passage d'un extrême pluviométrique à l'autre se fait de façon brutale.

Enfin, notons que les faibles pluviosités de la dernière décennie de mesure coïncident avec une importante période d'abattage et de replantation.

### 3. Bilan hydrique

Il s'agit ici, de réaliser un *bilan climatique* à partir de l'ETP et de la pluviosité, toutes deux exprimées en millimètres d'eau.

Si le bilan est positif, on parle de *drainage climatique*. Si le bilan est négatif on parle de *déficit hydrique*. Ces deux cas de figure ne sont donc pas sans conséquence pour les sols. En particulier, en cas de déficit hydrique, le sol subit une *contrainte climatique* qui va le dessécher de la surface vers la profondeur. Dans ce cas, il faut non seulement tenir compte de l'intensité de la contrainte, mais aussi de la durée de son application, car les déplacements de l'eau dans le sol sont lents.

Sur la figure I.5, nous avons donc représenté la valeur du bilan hydrique en millimètres d'eau (en haut), et la *durée du déficit hydrique exprimé en mois* (en bas). Afin de suivre la succession des événements pluvieux au cours de l'année, nous avons distingué dans le nombre total de mois déficitaires, le nombre de mois successivement en déficit.

Tout d'abord il faut constater que même les années où il y a un drainage climatique, il existe plusieurs mois présentant un déficit hydrique ; *la moitié des années présentant un déficit durant au moins 5 mois successifs*.

A trois reprises au cours des deux dernières décennies, la période déficitaire s'est étendue sur *neuf mois successifs* ; dans ces conditions il n'existe plus qu'une grande saison "sèche" (déficit) et une petite saison "des pluies" (drainage) de 3 mois.

De plus il est arrivé aussi à trois reprises que le bilan climatique annuel soit négatif, c'est-à-dire que la pluviosité ne compense pas les pertes d'eau par évapotranspiration.

Enfin, il faut noter que les durées de déficit sont peu corrélées à la valeur du bilan climatique.

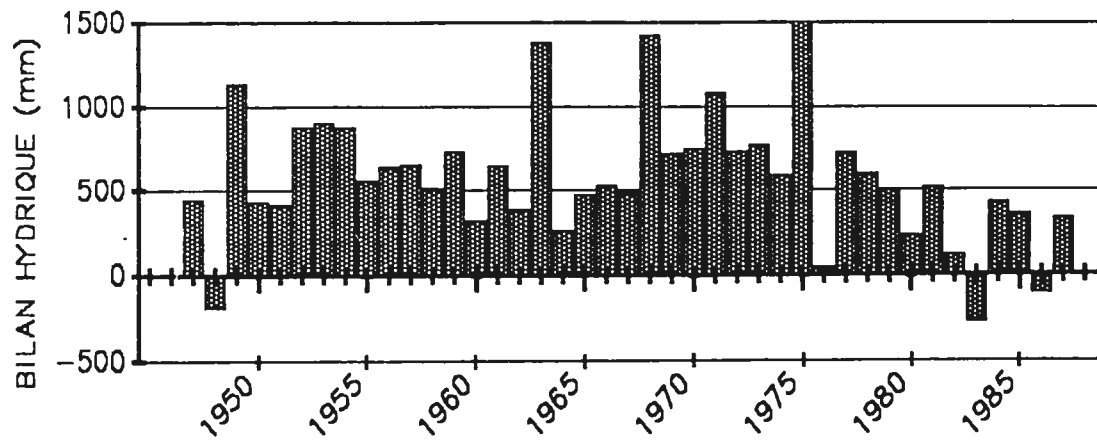
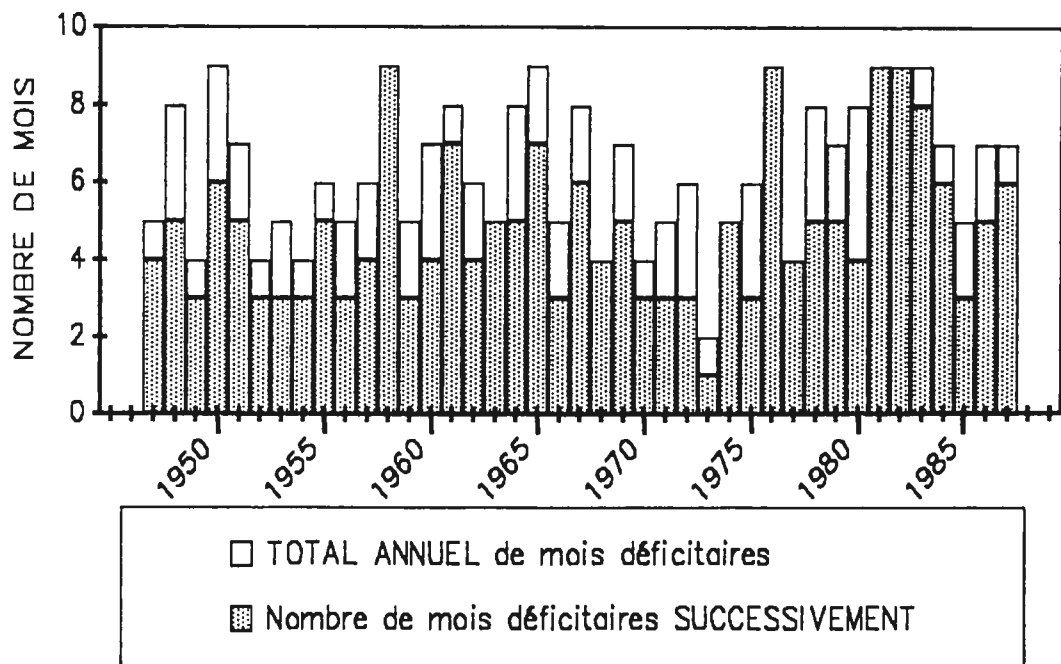
**a****b**

Fig.I.5 - Evolution des conditions climatiques de 1947 à 1987.

a) bilan hydrique annuel en mm d'eau (P-ETP)

b) durée du déficit hydrique annuel en mois

## 4. Conclusion

*Il ressort des données précédentes que les moyennes ne peuvent traduire, dans ce milieu, les réalités climatiques. Il est indispensable de prendre en compte la succession des événements climatiques au cours du temps.*

Pour le sujet qui nous intéresse, il apparaît, qu'au delà du déficit hydrique (exprimé en mm d'eau), il est nécessaire de considérer sa durée. Cette dernière joue un rôle essentiel sur les caractéristiques hydriques du sol.

## C. GEOLOGIE

En Basse Côte d'Ivoire, les sables tertiaires s'étendent en forme de croissant sur près de 400 km le long du Golfe de Guinée, depuis Fresco (Côte d'Ivoire) à l'ouest, jusqu'à l'intérieur du Ghana à l'est ; leur largeur maximale est de 35 à 40 km. (LE BOURDIEC, 1958, in HUMBEL, 1964). Cette formation fait partie du Continental Terminal.

Il s'agit d'une sédimentation fluvio-lagunaire qui est à l'origine de formations détritiques sablo-argileuses à sables grossiers dominants. *Le matériel provient du manteau d'altération ferrallitique du socle précambrien* situé plus au nord, constitué de *kaolinite*, de *goethite* et de *quartz* résiduel. Au tertiaire, durant les périodes du Miocène (-23 à -5 Ma) et du Pliocène (-5 à -1.9 Ma) où régnait un climat semi-aride à saisons contrastées, il y eut d'abord décapage de ce manteau, puis transport par des cours d'eau à régime torrentiel, intermittents et mal hiérarchisés, et enfin dépôt en nappes couvrant l'extrémité du socle(\*).

*La question principale à laquelle nous allons être confronté est celle de l'hétérogénéité du matériau de sédimentation et de son influence sur l'hétérogénéité des sols.*

## D. GEOMORPHOLOGIE

Ne disposant d'aucune carte topographique recouvrant l'ensemble des sables tertiaires ou l'ensemble de la plantation, nous avons confectionné une carte à partir des feuilles IGN au 1/50 000<sup>e</sup> de la région dite "de Dabou" qui se situe à l'ouest de cette ville. Le résultat de ce travail est présenté à la figure I.6.

Le modelé est composé principalement de trois types de paysages distincts :

- à l'ouest et au nord, un ensemble de *buttes* culminant à 80 m, plus rarement 100 m, dont les pentes sont fortes et les dénivelés supérieurs à 40 m. Il s'agit donc là du paysage le plus représentatif de la bande des sables tertiaires (voir la toposéquence "Adiopodoumé" de ROOSE, 1980 ; ou YORO, 1984a et b).

- l'autre paysage est situé au centre-sud de notre carte et en retrait de la lagune. On y observe *un plateau culminant à plus de 100 m*, incliné vers le sud avec une pente de l'ordre de 1 %. Ce plateau est profondément entaillé sur ces bords. Ce type de paysage est plus spécifique à cette région de Dabou.

- il faut signaler également les zones alluviales basses (0 à 40 m d'altitude) souvent planes, mais aux pentes parfois brusques en bordure de lagune.

---

\* Le bassin sédimentaire ivoirien comprend aussi les sables du Quaternaire séparés du Continental Terminal par le système lagunaire ou qui s'y rattachent par des plaines marécageuses.

La plantation R. Michaux est située sur la partie sud du plateau, à l'ouest d'une profonde entaille. Il s'agit d'une *position discordante par rapport à l'ensemble des sables tertiaires mais, au sein de la plantation, le modelé est homogène, composé de longs versants en pente douce.*

\*\*\*\*\*

Ainsi, malgré l'unité du substrat géologique, il apparaît à l'échelle régionale des versants aux formes très différentes. Dans la suite de notre travail, *il sera donc indispensable de prendre en compte l'aspect géomorphologique autant que l'aspect géologique pour raisonner au mieux la distribution des sols dans le paysage.*

## E. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

La figure I.7 fait clairement apparaître les différences qui existent du point de vue fonctionnement hydrologique entre les différentes zones qui viennent d'être décrites :

- la zone ouest et nord qui comprend de nombreuses buttes correspond à un réseau hydrographique dense composé de nombreuses branches aux formes incurvées. Cette organisation est caractéristique des zones forestières équatoriales (TARDY, 1986, p90). La densité du réseau hydrographique est d'environ 1,7 km/km<sup>2</sup>.

- La zone centrale, organisée en longs versants, correspond à une densité du réseau hydrographique deux fois plus faible (0,8 km/km<sup>2</sup>). De plus les branches de réseau possèdent une forme très différente puisqu'elles sont rectilignes et peu ramifiées. Cette organisation présente alors certaines caractéristiques du réseau hydrographique des zones arides (TARDY, 1986).

Les zones alluviales basses correspondent aux axes principaux qui collectent l'eau et la dirigent vers la lagune. Ces collecteurs sont caractérisés par la présence de nombreux méandres.

Il ressort de cette description que, *malgré un climat et un substrat géologique identiques, les modalités de l'évacuation de l'eau, (et donc des composés solubles et en suspension), sont très différents selon les types de paysage.* Il en est de même des modalités de *l'érosion* et de *l'évolution du paysage.*

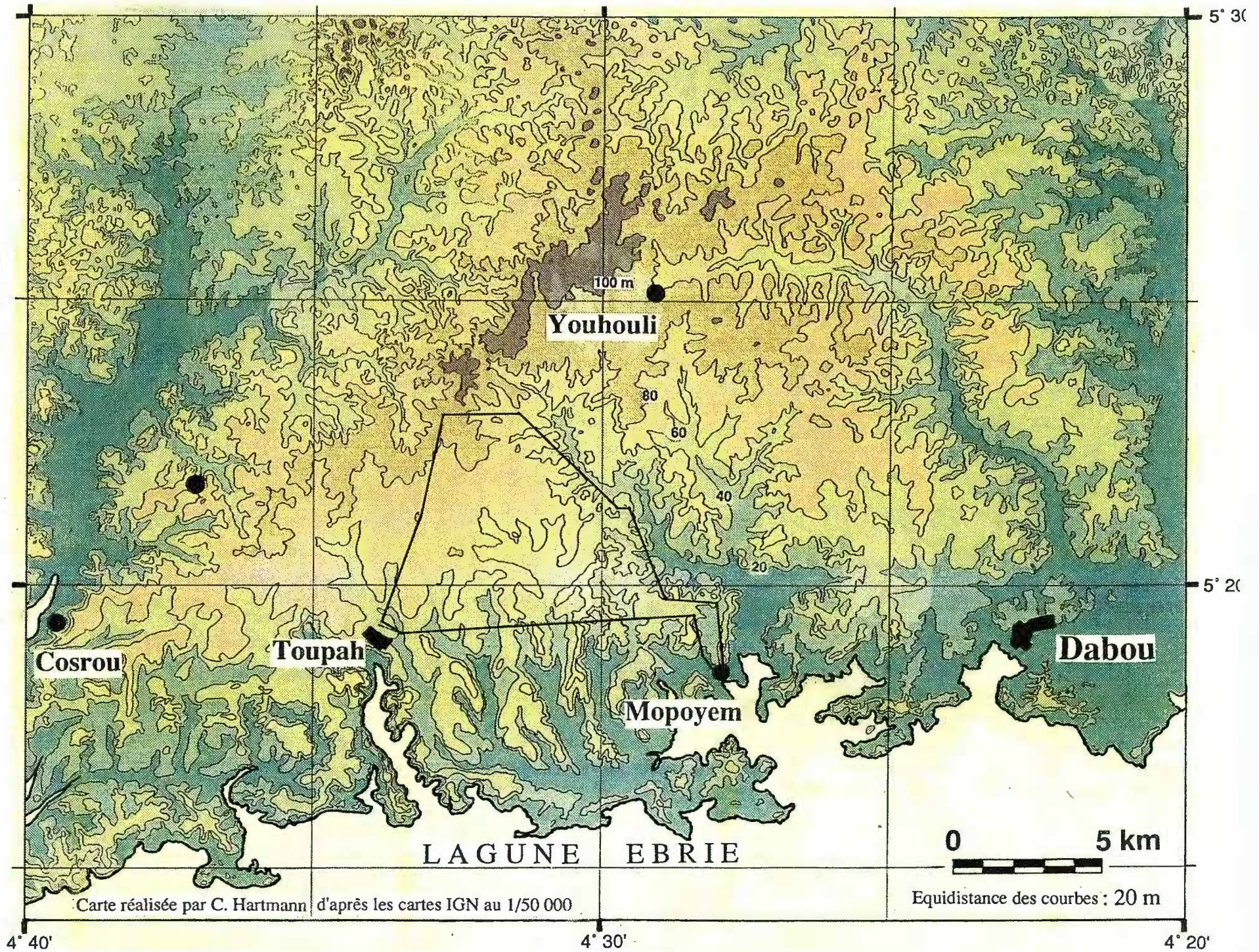
## F. VEGETATION

Le sud de la Côte d'Ivoire, du fait de sa position subéquatoriale, est une zone de forêt dense humide sempervirente. Au milieu de cette forêt, il existe pourtant quelques inclusions de savane pouvant couvrir des dizaines de milliers d'hectares. La plantation étudiée est située dans une telle zone appelée "savane de Dabou", en référence à l'environnement forestier.

La composition floristique de la savane de Dabou est donnée par GUILLAUMET et ADJANOHOUN (1971). Il s'agit d'une savane à graminée, *Bracharia brachylopha*, caractérisée par la présence spontanée de palmiers ronciers, *Borassus flabelliformis*. De nos jours, les



Fig. I.6 - Carte du modelé de la région de Dabou.







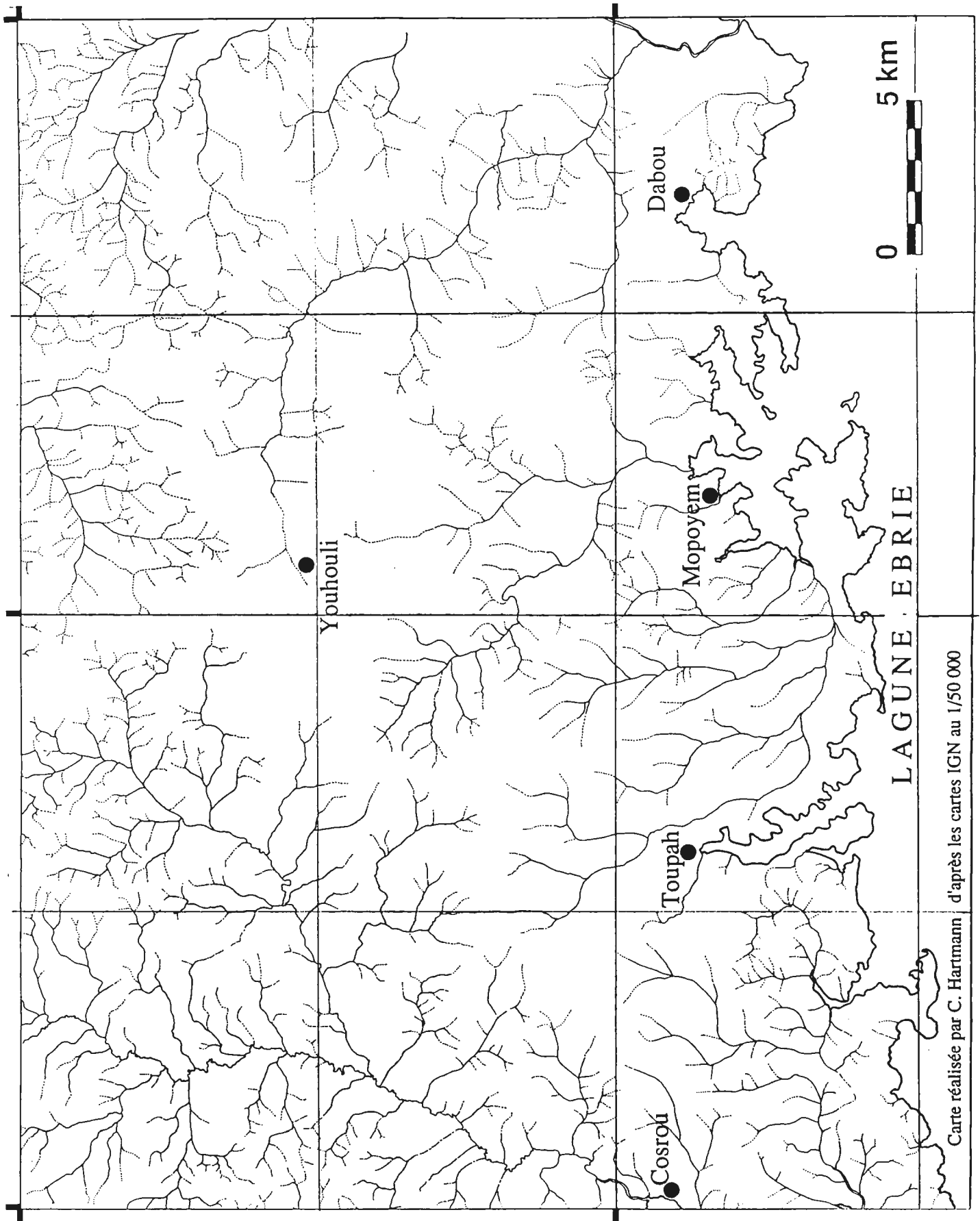


Fig.I.7 - Carte du réseau hydrographique dans la région de Dabou

surfaces non plantées qui subsistent sont assez rares et caractérisées par une végétation à base d'*Impérata cylindrica*, plante à rhizome qui représente le stade ultime de dégradation floristique (Fig. I.8).



Fig.I.8 - Limite entre la savane à Imperata (au premier plan), et la forêt (au fond).

L'établissement d'une palmeraie dans ce milieu correspond à de profonds changements, en particulier des conditions édaphiques, que nous décrivons dans la suite de ce travail.

## G. LES SOLS

Les études pédologiques en Basse Côte d'Ivoire ont commencé avec l'arrivée des pédologues de l'ORSTOM, sous la direction de G. AUBERT.

Du fait de l'absence de forêts, la région qui nous intéresse était alors réputée inculte. L'installation des plantations industrielles s'est pourtant effectuée dans cette zone puisqu'il n'était pas nécessaire d'y procéder à un abattage préalable. Pour les pédologues il s'agissait alors de conseiller les responsables des plantations (hévées et palmiers) nouvellement installées (CLAISSE, 1951 ; LENEUF, 1955). Les études et les expérimentations menées ont permis de montrer que la production pouvait atteindre des niveaux très satisfaisants grâce à des fumures adaptées.

Les pédologues se sont alors attachés à chercher des différenciations pédologiques qui pouvaient expliquer les différences de végétations naturelles (CHARREAU, 1951 ; LENEUF et AUBERT, 1956 ; BERLIER, DABIN et LENEUF, 1956). Aucune explication pédologique n'a pu être mise en évidence, les sols paraissaient parfaitement identiques dans tout l'ensemble des sables tertiaires. Il faut noter malgré tout que LENEUF (1958), au sein de la zone de savane (commune de Toupah), mit en évidence l'existence des variations pédologiques en relation avec les différentes positions topographiques, grâce à l'observation de l'aspect végétatif des hévéas.

Afin de réaliser la synthèse des travaux menés antérieurement, ROOSE et CHERROUX (1966) procédèrent à la cartographie des sols du bassin sédimentaire de la Basse Côte d'Ivoire au 1/200 000<sup>e</sup>.

Par la suite, les études menées sur les sols développés sur sables tertiaires se sont cantonnées aux zones forestières pour des questions de localisation des Centres de Recherche (Adiopodoumé) et, parce qu'une fois les problèmes de fertilité résolus, les Instituts Techniques n'éprouvèrent pas le besoin d'approfondir leur connaissance des sols. Parmi les travaux effectués en zone de forêt il faut citer : THAN-CANH (1972), BERNHARD-REVERSAT (1975), YORO (1984 a et b) ou MOREAU (1987) par exemple.

*Au total il apparait que ces sols sablo-argileux développés sur les sables tertiaires ferrallitisés sont assez peu connus quant à leur caractéristiques physiques ou leur comportement mécanique. Enfin il n'existe aucune étude réalisée en zone de savane sur leur distribution et leur évolution après mise en culture.*

## CONCLUSION

Après avoir passé en revue les éléments d'ordre climatique et géomorphologique, ceux liés à la végétation et au matériau parental, nous en déduisons qu'il n'est pas possible d'analyser dans le détail la distribution des sols dans le paysage sans faire intervenir les interrelations entre tous les facteurs du milieu.

Nous allons voir dans ce qui suit comment les caractéristiques propres au palmier d'une part, et comment l'installation d'une palmeraie industrielle (et ses conséquences) d'autre part, sont susceptibles de modifier le milieu en déplaçant les équilibres initiaux.



## CHAPITRE II

### LE PALMIER

### ET SON ACTION SUR LE SOL

Une palmeraie industrielle est avant tout l'implantation sur des milliers d'hectares et pour plusieurs dizaines d'années d'une plante pérenne au fonctionnement végétatif continu.

*Notre but n'est pas ici d'étudier le palmier comme pourrait le faire un botaniste, mais d'envisager quelle est son action sur l'organisation, le fonctionnement et l'évolution des sols sur lesquels il est implanté.*

L'action la plus directe est celle du système racinaire. Elle sera l'objet du premier paragraphe. L'appareil foliaire présente une surface et une masse considérables dont l'influence est indirecte, mais déterminante ; il sera décrit dans le deuxième paragraphe. Ensuite, nous verrons d'une part comment s'élabore le rendement à partir des inflorescences, et d'autre part les mécanismes par lesquels le sol peut être à l'origine de brusques et importantes baisses de rendement.

## PRESENTATION

Le palmier à huile, *Eleais guineensis Jacq.*, fait partie de la famille des Palmeae qui comporte 1200 espèces dont plusieurs fournissent des produits alimentaires (dattes, noix de coco, choux palmiste,...) ou industriels (raphia, rotin, ivoire végétal...).

Le palmier est une *Monocotylédone* qui, malgré sa taille et son aspect, *n'est pas un arbre*. Il s'agit en fait d'une *couronne de feuilles*, au centre de laquelle se situe le bourgeon terminal qui prend place à l'extrémité d'une puissante tige appelée *stipe*. Le stipe n'est pas un tronc car il ne comporte *pas de tissus secondaires* (dont le plus important est le bois). Quand au système racinaire, il est également dépourvu de tissus secondaires et se compose de *milliers de racines* émergeant directement d'un bulbe localisé à la base du stipe.

## A. LE SYSTEME RACINAIRE

L'imposant système racinaire du palmier induit une structure pédologique original du fait de son architecture et de son mode de fonctionnement. Ces deux caractéristiques vont être décrites dans ce paragraphe.

### 1. L'architecture

Le système racinaire présente trois caractéristiques architecturales principales :

1 - De nombreuses racines identiques émergent du bulbe, aussi le système est dit "fasciculé".

2- Chaque racine est capable de se ramifier grâce aux méristèmes latéraux sans qu'il y ait disparition du méristème terminal ; il s'agit d'une ramification "monopodiale". Elle permet de conserver intacte la capacité de développement de chacune des racines malgré ses nombreuses ramifications.

3 - Le nombre de niveaux de ramification est limité à quatre en partant du bulbe. Les racines de chacun des niveaux ont une taille et une orientation qui répond à un déterminisme très strict (Fig.II.1) :

- les racines de niveau I (RI) émergent du bulbe ; elles ont une direction de *croissance horizontale* (plagiotropie), sont rectilignes et se situent à une profondeur de 20 à 30 cm sous la surface du sol. Pour le palmier adulte, leur diamètre est de 1 cm et leur longueur est d'au moins 10 m (RUER, 1968)

- les racines du niveau II (RII) proviennent des méristèmes latéraux du niveau I. Leur direction de croissance est strictement *verticale* (orthotropie), *vers la surface et vers la profondeur* du sol. Elles sont également rectilignes. A 6 m, profondeur maximale explorée à l'heure actuelle, ces racines sont encore bien représentées.

- Les racines de niveau III (RIII) qui sont très anguleuses ne possèdent pas de direction préférentielle de croissance. Leur longueur est d'une dizaine de centimètres environ, et leur diamètre de quelques millimètres.

- Les racines de niveau IV (RIV) ne présentent aucune ramification et sont rectilignes. Longues de quelques millimètres pour un diamètre de quelques centaines de micromètres, ces racines sont souvent comparées à des poils absorbants.

## 2. Fonctionnement et développement du système racinaire du palmier adulte

Nous appelons "palmier adulte" un palmier possédant les quatre niveaux de racines qui viennent d'être décrits. Cet état est atteint au bout de quelques mois.

Il faut d'abord souligner que si le système racinaire comporte, du point de vue architectural, quatre niveaux de ramifications nos observations montrent qu'*il n'existe que deux groupes de racines véritablement différentes par leurs morphologie, fonction et localisation* :

1 - *Les racines de niveau I et II* sont plurimétriques. *Lignifiées* sur toute leur longueur, leur capacité à absorber l'eau et les éléments nutritifs est par conséquent limitée à la zone de l'apex, qui ne représente qu'une surface infime par rapport à la surface totale (Fig.II.1, en bas).

En revanche *leur capacité de pénétration dans le sol est remarquable* : ainsi un palmier adulte peut réémettre depuis son stipe des racines I qui perforent les croûtes argileuses de surface pour s'implanter en pleine terre. Quant aux racines de niveau II, nous les avons retrouvées à 6 m de profondeur. Elles ont donc réussi à pénétrer dans des horizons relativement compacts, difficiles à débiter au marteau de géologue (Fig.II.2).

*Au total, quelles que soient les conditions édaphiques :*

- *ces deux niveaux racinaires permettent l'exploration d'un cylindre de terre de 2 000 m<sup>3</sup> environ par palmier adulte (Fig.II.3),*

- *dans ce volume la répartition et la localisation des racines I et II restent similaires (CIRAD, 1989).*

2 - *les racines de niveau III et IV* sont respectivement *peu et non lignifiées*. Elles *assurent l'alimentation hydrique et minérale* du palmier. En revanche ces racines n'ont qu'une *faible capacité de pénétration*, si bien que leur morphologie et leur répartition dans le sol varient suivant les conditions rencontrées.

A 6 m de profondeur, ces racines sont encore présentes, même si leur taille et leur nombre sont très réduits. En revanche, près de la surface, la présence fréquente de volumes pédologiques à faible cohésion permet aux racines III de rester très peu lignifiées, aux racines de niveau IV de s'hypertrophier et d'atteindre ou dépasser la longueur de 1 cm (Fig.II.4). En outre, nous avons observé aussi que leur nombre augmente.

*Au total, ces deux niveaux racinaires sont toujours localisés près de la surface mais leur développement est sous la dépendance des conditions édaphiques.*

## 3. Conséquences sur les prélèvements d'eau dans le sol

Etant donnée l'architecture du système racinaire du palmier, nous nous sommes demandé quelles sont les conditions de prélèvements d'eau et de sels minéraux dans le sol.

Des mesures d'ouverture stomatique(\*) peuvent nous aider à cet effet. Celles effectuées par OCHS et OLIVIN (1968), et dont les résultats sont confirmés par DUFRENE (1989), montrent que l'ouverture des stomates se fait seulement quelques heures après un événement pluvieux, donc bien avant que le front d'humectation ait pu s'étendre en profondeur. En revanche, quelques jours après l'événement pluvieux les

---

\* Le sol est un réservoir au sein duquel la plante extrait de l'eau. Quand le réservoir n'arrive plus à fournir de l'eau suffisamment vite pour répondre à la demande par transpiration de la plante, les stomates de cette dernière se ferment. Les mesures d'ouverture stomatique permettent donc de juger de la qualité de l'alimentation hydrique instantanée.

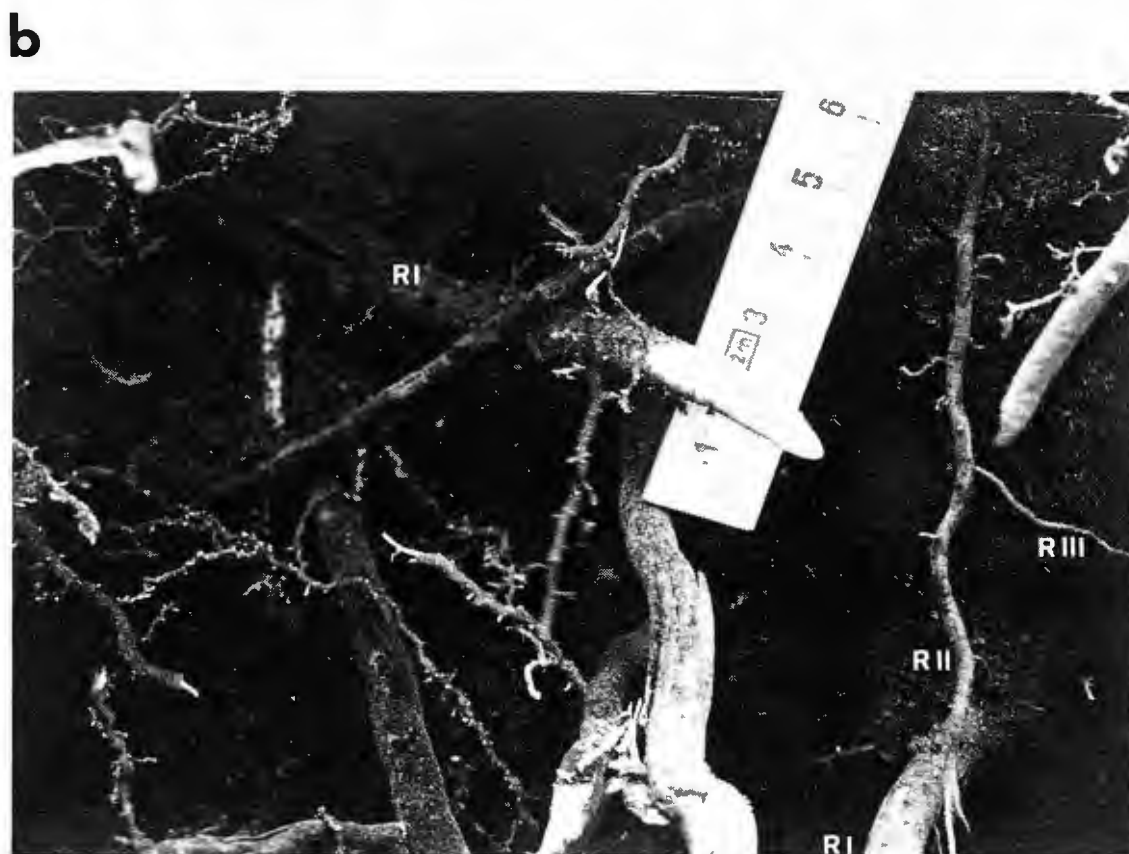
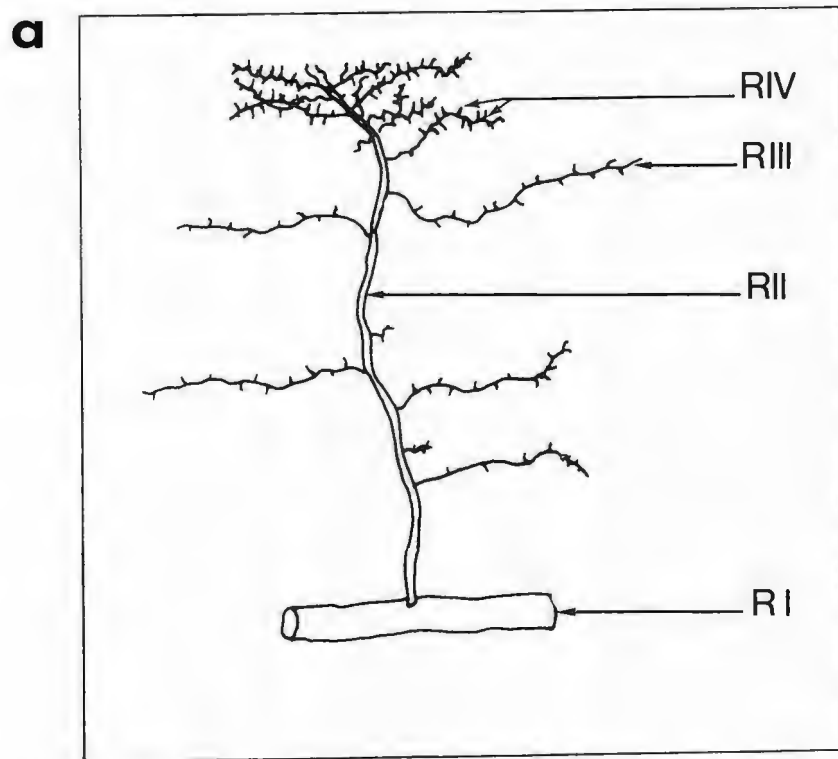


Fig.II.1 - Représentation schématique (a) et photographie (b) du système racinaire du palmier



Racine de niveau II

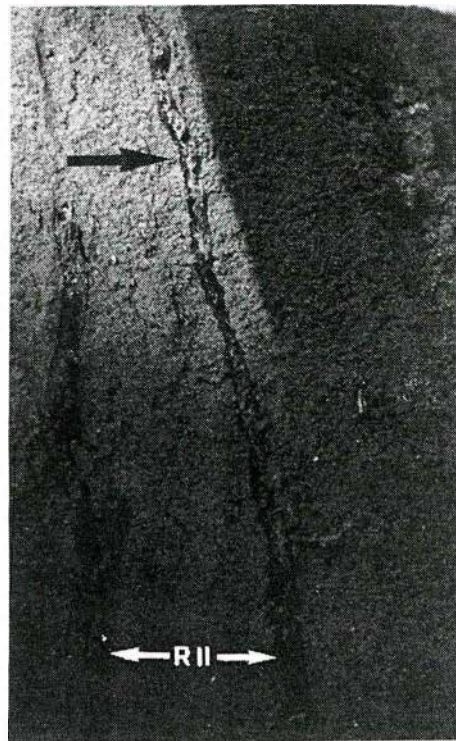
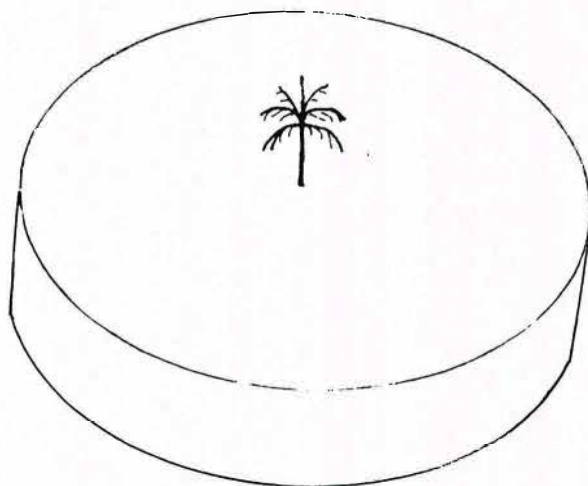


Fig.II.2 - Racines secondaires dans un horizon à structure continue à environ deux mètres de profondeur.



Diamètre : 20 m

Epaisseur : 6 m

Volume : 2 000 m<sup>3</sup>

Fig.II.3 - Les racines de niveau I (horizontales) et de niveau II (verticales, photo du haut), permettent l'exploration d'un volume pédologique d'environ 2 000 m<sup>3</sup> quelque soit la cohésion du matériau.

stomates se referment, ce qui prouve que l'alimentation en eau n'est plus assurée correctement malgré l'humectation du profil.

***Ce sont les racines III et IV proches de la surface qui assurent principalement la qualité de l'alimentation en eau du palmier.***

Pourtant des mesures d'humidité du sol effectuées jusqu'à 6 m de profondeur prouvent que des prélèvements d'eau ont lieu dans ces horizons durant la saison sèche (REY, 1988).

***La partie inférieure du système racinaire est donc d'une importance vitale pour permettre au palmier de rester dans un état physiologique convenable durant la période sèche.***

***De plus, dans ce milieu pauvre en minéraux altérables, il est clair que cette partie inférieure participe aussi au prélèvement des éléments nécessaires au métabolisme de la plante.***

Au total :

- une importante extension latérale du système racinaire et la localisation près de la surface des niveaux absorbants permettent l'utilisation maximale des précipitations qui atteignent le sol,
- d'un autre côté, un important volume exploré en profondeur, même dans des sols extrêmement cohérents, compense la faible densité de racines absorbantes et permet une alimentation (minérale et hydrique) correcte du palmier, malgré la pauvreté du milieu.

#### 4. Conséquences sur le sol

Nos observations d'une coupe verticale de sol font apparaître l'existence d'un système racinaire toujours organisé en trois strates qui présentent entre elles des limites brutales (Fig.II.5) :

- la première strate, de 10 à 30 cm d'épaisseur, est composée principalement de racines de niveau III et IV, allant dans toutes les directions et portées par des racines II ;
- la deuxième strate comprend uniquement des racines I horizontales très enchevêtrées et plus ou moins serrées sur 10 à 30 cm d'épaisseur ;
- la dernière strate s'étend sur plusieurs mètres d'épaisseur et comporte principalement des racines du niveau II verticales portant quelques racines du niveau III de plus en plus petites et rares.

Cette organisation et cette densité de racines ont des conséquences très importantes sur l'organisation du sol.

Les racines du niveau I et II provoquent en particulier une perforation horizontale et verticale du sol qui entraîne l'apparition d'un réseau poral qui ***peut permettre un transfert rapide de l'eau jusqu'à plusieurs mètres de profondeur***. Cette véritable perforation du sol délimite de grandes unités structurales subanguleuses de taille décimétrique.

Les racines du niveau II et IV permettent, grâce à leur densité et à leur rapidité de croissance, de stabiliser les structures poreuses et faiblement cohérentes créées par l'activité biologique (galeries, placages de récoltes, etc...), ou humaine (buttage de terre par exemple) près de la surface du sol. Ceci a pour conséquence d'améliorer la dynamique verticale de l'eau



Fig.II.4 - Dans des conditions de faible cohésion, les racines de niveau II, III et IV restent peu lignifiées comme dans une butte de terre au pied d'un palmier (en haut) et dans un chenal au sein d'un horizon continu (en bas)

*en favorisant le drainage puis le stockage de l'eau, donc de limiter le ruissellement et l'érosion.*

## 5. Conclusion

De nos observations, il ressort que *le palmier devient un facteur prépondérant de l'organisation du sol*. A l'échelle de quelques décennies, il devient possible d'en cerner les effets sur :

- la structuration du sol avec toutes les conséquences que cela peut avoir, notamment sur *la dynamique de l'eau*,
- la redistribution des éléments minéraux au sein de la couverture pédologique.

Ceci étant, le palmier intervient non seulement par son système racinaire, mais aussi par la couverture qu'il assure au sol. Il intercepte ainsi les pluies et le rayonnement solaire. Enfin, il joue aussi un rôle par les apports de résidus organiques qu'il assure.

Nous allons à présent examiner ces différents aspects.

## B. L'APPAREIL FOLIAIRE

### 1. Description

Il nous a paru important de rappeler quelques données essentielles sur la croissance et le développement du système foliaire du palmier, plante à croissance continue ne présentant jamais d'arrêt végétatif(\*).

Le palmier ne comporte qu'un seul bourgeon végétatif entouré d'une zone méristématique qui va d'abord croître en largeur, puis en hauteur pour former le stipe. La feuille, issue du bourgeon, apparaît à la verticale du stipe et forme la "flèche" ; les feuilles les plus anciennes sont insérées autour de l'axe en formant une spirale. L'ensemble constitue la "couronne" (Fig.II.6).

Il s'écoule environ quatre ans entre les premières ébauches cellulaires du bourgeon et la mort d'une feuille. *La phase d'élongation, qui fait passer la feuille de quelques centimètres à quelques mètres, ne dure que cinq mois, soit seulement 10 % de sa durée de vie*. Elle nécessite de grandes quantités d'eau et de matières minérales concentrées sur de courtes périodes.

A l'état adulte, la couronne d'un palmier est composée de 40 feuilles environ, représentant (en plantation) une surface de 70 m<sup>2</sup>, susceptibles d'absorber l'énergie lumineuse (HIRSCH, 1980). Chaque feuille mesure de 5 à 7 m de longueur et possède un pétiole long de 1,5 m, ainsi qu'un rachis sur lequel s'insèrent des centaines de folioles.

---

\* Contrairement à l'hévéa, cultivé de façon industrielle dans la même région, qui perd l'ensemble de ses feuilles une fois par an.

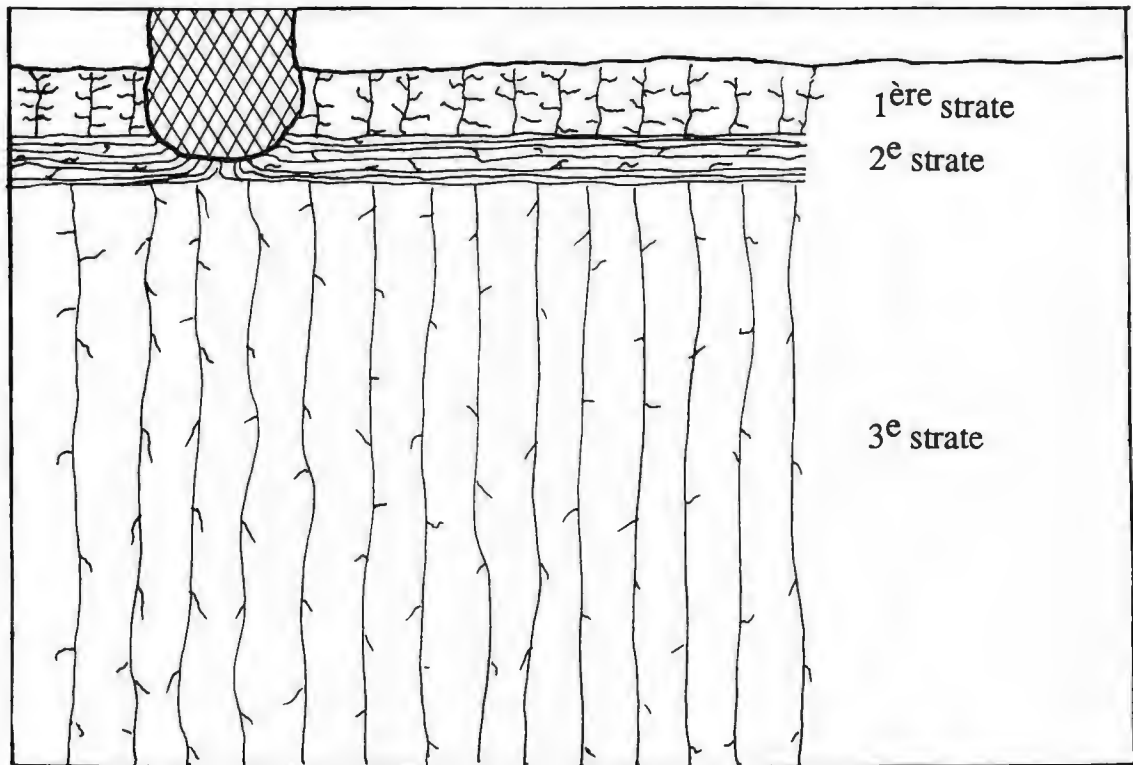


Fig.II.5 - Représentation schématique des trois strates du système racinaire du palmier (en haut) et photographie de la première et deuxième strate (en bas)

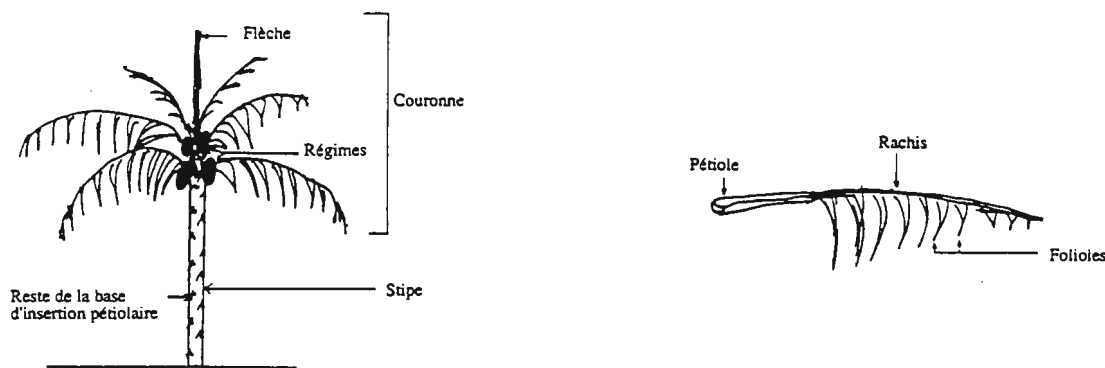


Fig.II.6 - Représentation schématique de la morphologie générale d'un palmier.

## 2. Effets indirects sur le sol

Ils sont de plusieurs natures et peuvent se résumer ainsi :

- La couronne de feuilles assure un ombrage très important : seulement 5 à 15 % du rayonnement arrive au sol dans une plantation (HIRSCH, 1978) (Fig.II.7). En zone tropicale, l'ombrage a une *incidence favorable sur le climat du sol* en réduisant son échauffement et sa dessiccation par évaporation.

- De la même manière, la couronne intercepte les précipitations qui ne peuvent atteindre le sol qu'après avoir transité sur les feuilles et s'être chargées d'une quantité importante de pluviollessivats(\*). Ainsi l'interception réduit l'agressivité des pluies lorsque la plante est jeune et basse ; en revanche, lorsque la couronne s'élève, les feuilles servent de collecteur et la taille des gouttes d'eau arrivant au sol risque ainsi d'être augmentée. Leur énergie cinétique est, à ce moment-là, importante et l'effet du couvert arborescent annulé si le sol n'est pas protégé par un couvert herbacé(\*\*) (Fig.II.8).

- Selon DUFRENE (1989), pour les pluies supérieures à quelques millimètres, 80 % de l'eau arrivent directement au sol et les 20 % restant circulent le long du stipe (Fig.II.9). Ceux-ci peuvent être alors à l'origine d'un ruissellement et d'érosion dans le cas où la perméabilité du sol n'est pas suffisante au pied du stipe.

## 3. Effets directs : apports de matières organiques

La couronne représente une biomasse d'environ 20 tonnes de matière sèche par hectare (DUFRENE, 1989). Le renouvellement annuel de la moitié des feuilles permet un retour au sol d'au moins 10 t/ha ; ce chiffre est à mettre en rapport avec les 10 à 15 t/ha d'une forêt équatoriale.

*Par rapport à la savane, cet important retour de matières organiques ne peut être que favorable au développement de la plante, mais aussi de la méso et de la microfaune.*

Nous développerons cet aspect dans le prochain chapitre.

---

\* Les pluviollessivats proviennent du lavage des feuilles par les eaux de pluie qui entraînent des produits excrétés par les feuilles, une partie de la microflore et des poussières atmosphériques collées sur la feuille (TOUTAIN, 1984). Les pluviollessivats n'ont jamais été étudiés sous le palmier. Mais du fait de la grande surface foliaire, il est certain que d'importantes quantités de matières solubles (polysaccharides, composés phénoliques) mais aussi des cations (K, Ca, Mg) sont apportés au sol de cette manière.

\*\* Sous les palmes qui pendent au-dessus des pistes il apparaît des "nids de poules" dûs à l'impact des gouttes de pluie (OLIVIN, comm. orale).



Fig.II.7 - Les palmiers interceptent 85 à 95 % du rayonnement. Noter la luminosité dans la clairière à l'arrière plan

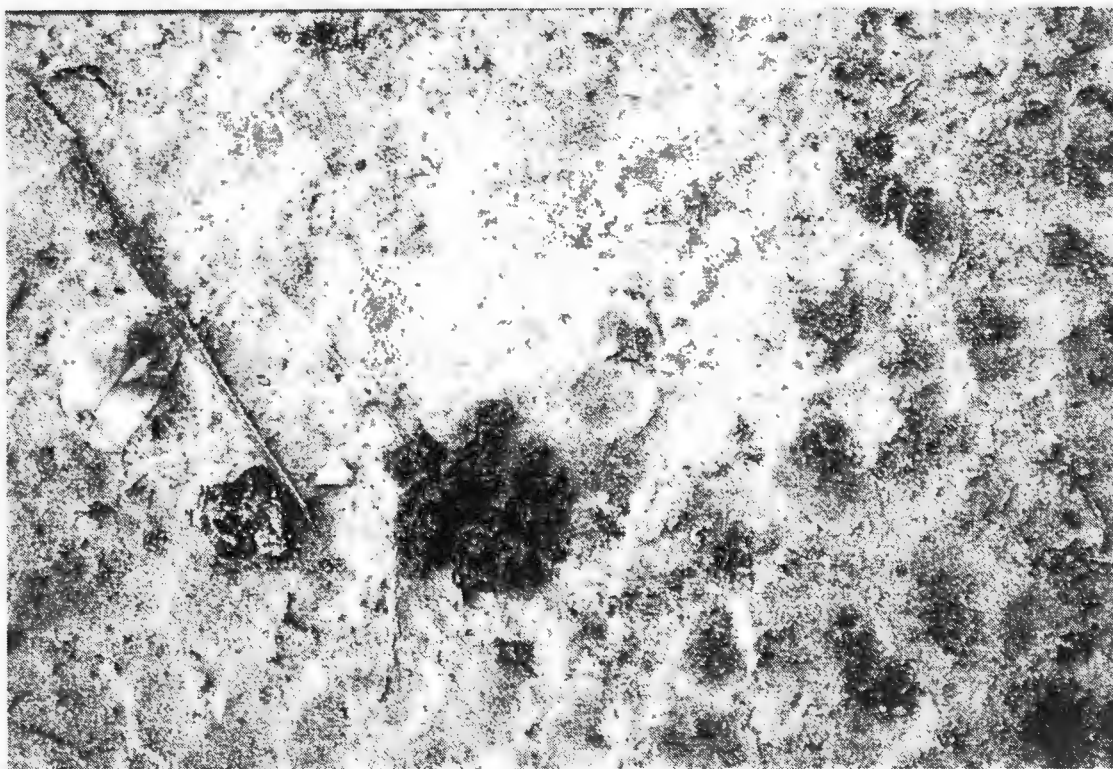


Fig.II.8 - Impact des gouttes de pluies sur le sol nu. Noter la disjonction squelette-plasma

## C. LES INFLORESCENCES ET LES REGIMES

Afin de mettre en évidence les mécanismes d'élaboration du rendement, des corrélations ont été établies par l'IRHO entre les principaux facteurs du milieu et la production de régime ou d'huile. Ainsi il apparaît que, toutes choses étant égales par ailleurs, *le rendement du palmier à huile est «étroitement lié à la distribution des pluies et par conséquent au déficit hydrique annuel»* (NGUYEN et al, 1984). L'établissement de corrélations entre le déficit hydrique et la production dans différentes régions du monde a donc été effectué (DUFOUR et al, 1988 par exemple).

Mais il est clair que ces corrélations n'apportent pas réellement d'informations sur les mécanismes d'élaboration du rendement. Elles ne permettent donc pas d'expliquer *pourquoi, au sein de la même zone climatique* (plantation de Dabou), *les rendements peuvent être si différents*. Une étude sur la physiologie du palmier n'ayant pas encore permis de comprendre et modéliser les mécanismes d'élaboration du rendement nous avons utilisé la bibliographie disponible.

### 1. Développement du système végétatif et rendement

Le palmier est une plante monoïque, c'est-à-dire à sexes séparés sur un même individu. A chaque ébauche foliaire correspond une ébauche florale, donc un régime de fruits potentiel.

Nous avons vu que le développement des palmes nécessite une grande quantité d'eau et d'éléments minéraux. Du fait du déficit existant dans la région de Dabou, l'émission foliaire est irrégulière au cours de l'année(\*). Malgré tout il semble que le total de feuilles émisent annuellement soit similaire chaque année, quelles que soient les conditions pluviométriques. Il y aurait un phénomène de "rattrapage" (DUFRENE, 1989 ; OLIVIN, comm. orale).

Les inflorescences se suivent en formant des séries unisexuées sur une période de quelques semaines. Le rythme de cette alternance (période de fleurs mâles/période de fleurs femelles) est sous la dépendance de l'alimentation en eau : une mauvaise alimentation se traduisant par un taux de féminité (ou sex-ratio) faible, provoquant une baisse de la production potentielle.

*Au total, le rendement du palmier est d'abord sous la dépendance du taux de féminité. Ce taux décroît avec l'apparition de stress hydriques.*

*En revanche, la production primaire semble assez peu affectée par les déficits hydriques.* Ceci est certainement dû au système racinaire du palmier tel que nous l'avons décrit au paragraphe précédent.

Les palmiers d'Afrique produisant environ 15 t/ha ont le même aspect que les palmiers d'Asie qui peuvent atteindre 30 t/ha. En revanche, le taux de féminité est très différents : on aperçoit de nombreuses fleurs mâles sur les palmiers en Afrique, ce n'est pas le cas en Asie.

*Par conséquent il paraît à présent indispensable de dissocier le problème de production de biomasse végétative et la production agricole en terme de régimes.*

### 2. Rôle du sol

Sous le climat de Basse Côte d'Ivoire à longues périodes de déficit hydrique, une *importante réserve en eau* accessible au palmier est indispensable pour obtenir une bonne production en

---

\* Par conséquent l'émission florale et la production de régimes sont eux aussi irréguliers au cours de l'année.



terme de régimes. Les différences de rendements constatées au sein de la plantation R. Michaux peuvent alors être dues à réserves en eau ou des densités racinaires variables suivant les situations.

Toutes choses étant égales par ailleurs, le sol, milieu poreux hydraté, devient un facteur limitant de la production :

- il stocke l'eau indispensable au rendement du palmier durant les périodes de déficit hydrique prolongé,
- il permet ou non le développement des racines absorbantes.

Ce sont ces aspects qui devront être discutés dans la suite de notre travail.



← base pétiolaire

← stipe sec

← stipe humide

Fig.II.9 - 20 % des précipitations circulent le long du stipe. Sur cette photo prise après une pluie on voit que la partie du stipe située sous la base pétiolaire est restée sèche, cette dernière a intercepté l'eau qui circulait.

## CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous nous sommes avant tout intéressés au palmier en tant que plante susceptible d'influencer le milieu sol.

A la lumière des résultats précédents, il ressort que le passage d'une végétation herbacée de type savane humide comme celle de Dabou à une plantation de palmiers implique des changements du milieu à différentes échelles. Ces changements sont le résultat de caractères propres à cette plante.

Il y a lieu de considérer la taille de la plante en incluant sa partie souterraine, et sa durée d'implantation. Par rapport à une culture annuelle ou une plante herbacée "classique", on peut s'attendre à ce que l'action du palmier sur le milieu sol soit *profonde*.

Dans l'analyse du problème de dégradation du milieu il apparaît clairement qu'il est nécessaire de dissocier le problème de production en terme de régime, de la production en terme de biomasse totale.

Nous n'avons ici examiné le problème qu'à l'échelle de l'arbre lui-même. Il nous faut maintenant envisager les choses à une autre échelle, et voir comment la mise en place d'une plantation industrielle, telle qu'elle est conçue actuellement, est susceptible de modifier le milieu à l'échelle du paysage.

---

## CHAPITRE III

# LA PALMERAIE ET SON ACTION

## SUR LE MILIEU

Dés lors que l'on installe une palmeraie industrielle, toutes les opérations qui y sont liées sont susceptibles d'intervenir sur le milieu. En effet, la plantation lui impose une certaine configuration et en modifie les caractéristiques sur plusieurs milliers d'hectares et pour plusieurs décennies.

Il s'agira donc de voir, dans ce chapitre, comment les pratiques actuelles laissent leur empreinte sur le sol.

## A. MISE EN PLACE

### 1. Densité de plantation

Les palmiers sont disposés aux sommets d'un réseau hexagonal dont l'écartement est de 9 m, ce qui correspond à une densité de 143 plants à l'hectare (Fig.III.1). Les lignes sont **toujours** orientées nord/sud, pour que les arbres bénéficient du maximum d'ensoleillement en début et en fin de journée(\*).

Rappelons que, dans ces conditions, la plantation provoque l'interception de 85 à 95 % du rayonnement et de 20 % des pluies (HIRSCH, 1980 , DUFRENE, 1989).

Le volume compris entre le sol et les couronnes présente donc un *microclimat* nettement différent du climat général : les températures y sont moins élevées et l'humidité y est mieux conservée (aucune mesure n'est disponible dans le cadre de la plantation étudiée).

Ce *microclimat est de type "forestier"* (plus frais, humide et stable que le climat environnant). C'est lui qui va déterminer directement le climat du sol (ou pédoclimat), et non le climat général.

### 2. Dispositif d'implantation

Les milliers d'hectares d'une plantation industrielle ne peuvent être plantés d'un seul tenant, et il est indispensable d'y délimiter des parcelles séparées par des voies d'accès.

Le réseau routier doit être maintenu au minimum, car il occupe du terrain et coûte cher à la création aussi bien qu'à l'entretien. Malgré tout, il doit être suffisant en raison des tonnages élevés qui sortent de la plantation en toutes saisons. Le compromis adopté sur la plantation ROBERT MICHAUX est une *maille carrée* orientée nord/sud et est/ouest composée ainsi :

- tous les 250 m des chemins de récolte prévus pour le passage d'un seul véhicule. La surface de la **PARCELLE** élémentaire ainsi délimitée est de 6 ha environ.
- tous les 1 000 m des routes de 4 à 6 m recouvertes de latérite et bordées par des fossés de drainage. De cette manière sont délimités des **BLOCS** de 100 ha rassemblant 16 parcelles élémentaires.

Le réseau routier ainsi créé recoupe le paysage sans tenir compte des unités géomorphologiques. De même, l'aménagement de fossés recoupe le réseau hydrographique naturel (Fig.III.2).

***Le dispositif d'implantation contribue donc à modifier la dynamique du milieu par rapport à l'état initial(\*\*).***

---

\* La plantation s'est faite à la boussole, ce qui explique que les lignes soient implantées suivant le nord magnétique et non pas géographique.

\*\* Ce mode de mise en valeur est, à différents points de vue, comparable à ce que l'on a obtenu en France avec la création d'un nouveau parcellaire et la mise en place d'un réseau de chemins indépendants des caractéristiques du paysages, suite au remembrement.

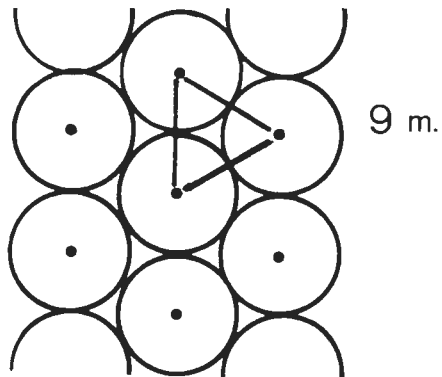


Fig.III.1 - Schéma d'implantation des palmiers en plantation industrielle.



Fig.III.2 - Les axes routiers séparent les blocs kilométriques et sont bordés par des fossés de drainage (cachés ici par le *Pueraria javanica*, au premier plan à gauche). Noter les lignes de plantation (toujours orientées nord/sud) et les axes routiers qui recoupent le modelé.

### 3. Nomenclature des parcelles

Pour repérer facilement les différentes surfaces ainsi délimitées, la nomenclature est la suivante (Fig.III.3) :

- les blocs sont désignés à la façon des cases d'un échiquier : par une lettre indiquant la position dans la direction ouest/est et un nombre dans la direction sud/nord, B2 ou C6 par exemple (Fig.III.3a),
- les parcelles sont désignées par un nombre à deux chiffres : les dizaines indiquent la position dans la direction sud/nord en partant du chiffre 0 ; les unités indiquent la position dans la direction ouest/est en partant du chiffre 1. La parcelle 01 est donc située dans le coin sud-ouest du bloc alors que la parcelle 34 est située dans le coin opposé, soit nord-est (Fig.III.3b).

Pour repérer facilement les arbres au sein de la parcelle la nomenclature est la suivante :

- les lignes de plantation (toujours orientées sud/nord) sont numérotées dans la direction ouest/est en partant du chiffre 1 jusqu'à 31
- sur la ligne de plantation, chaque arbre est numéroté du sud au nord en partant du chiffre 1 jusqu'à 27.

Pour chacun des arbres, le repérage géographique dans les deux dimensions est donc possible avec une précision de quelques mètres, au sein d'une plantation de plusieurs milliers d'hectares.

Il est tout aussi facile de situer rapidement les sites les uns par rapport aux autres; ainsi G6 se trouve 4 km au nord et 1 km à l'ouest de F2 ; A2-14 est à côté de B2-11.

## B. SUIVI DE LA PLANTATION

Pour analyser dans le détail l'impact d'une plantation sur le milieu, il est nécessaire de suivre la mise en place pas à pas jusqu'au stade correspondant à l'état adulte, puis durant toute la période de production. Ceci peut être fait à différentes échelles spatiales. L'échelle choisie ici est celle de l'arbre lui-même.

### 1. Mode de réalisation de la première plantation (avant production)

La plantation est installée sur une savane : il n'est donc pas nécessaire de procéder à un abattage préalable de la forêt. Après un labour, les plants de jeunes palmiers sont installés en pleine terre et une légumineuse de couverture (*Pueraria javanica*) est semée. Elle a assuré une fertilisation azotée en plus de son rôle protecteur.

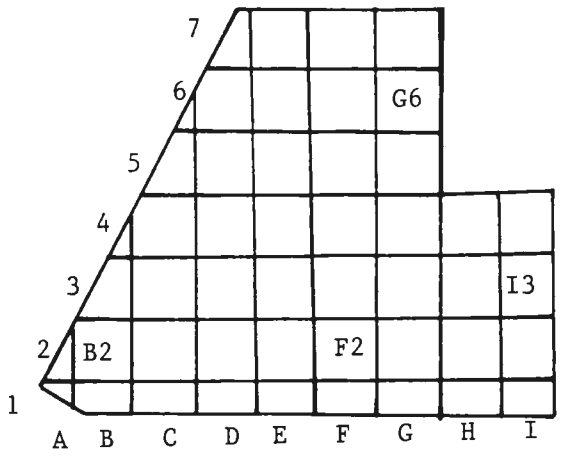
Lorsque le palmier grandit, le *Pueraria* régresse et vit en association avec une *végétation herbeuse* spontanée. L'ensemble forme l'équivalent d'un *sous-bois*. Sur certaines parcelles, un recrû ligneux nécessite un passage annuel du gyrobroyeur, *seule machine à passer dans la parcelle*. La contrainte mécanique exercée durant la période d'exploitation est donc très faible.

Depuis le premier jour de plantation et durant toute la période de production (25 ans), un disque de 4 m de diamètre autour du palmier est en permanence maintenu sans végétation ce qui permet de repérer les régimes mûrs par visualisation des fruits mûres tombés spontanément au sol. Le "rond" est nécessaire également pour le ramassage des fruits détachés lors de la chute. Ces fruits sont les plus riches en huile, donc les plus intéressants économiquement(\*). Cette surface est donc maintenue *constamment propre par désherbage chimique* et à Dabou elle est même *débarrassée au râteau des débris végétaux* qui peuvent s'y trouver (Fig.III.4).

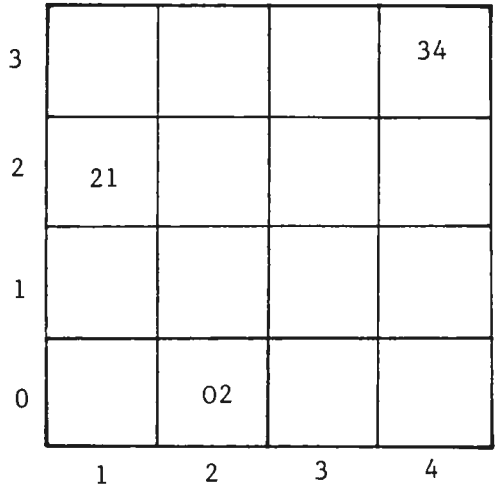
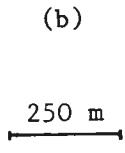
Les "*ronds*" représentent environ 20 % de la surface de la parcelle.

---

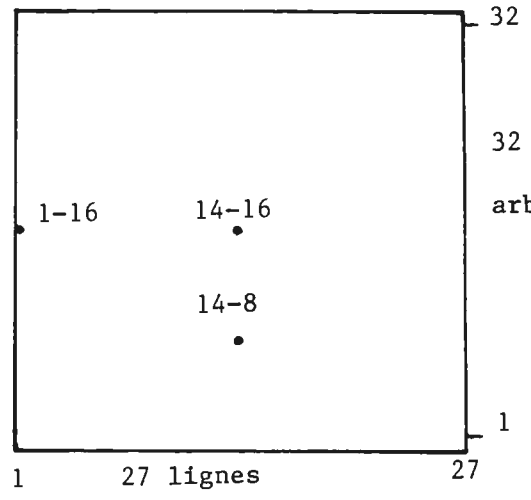
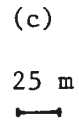
\* pour une production de 12 t/ha/an de régimes la récupération de 10 fruits détachés supplémentaires par régime coupé permet un bénéfice égale à une fois et demi le coût du désherbage chimique du rond (IRHO, 1989).



Plantation  
3500 ha



Bloc  
100 ha



Parcelle  
6,25 ha

Fig III.3 - Organisation de la plantation Robert Michaux :

- a) blocs kilométriques,
- b) chaque bloc est divisé en 16 parcelles,
- c) vingt sept lignes d'arbres composent la parcelle avec trente deux arbres sur chaque ligne.

*Nous avons noté que l'absence de végétation (due au désherbage permanent) soumet le sol à l'action directe des gouttes de pluies. Ceci entraîne l'apparition de croûtes plasmiques surmontées de sables déliés et brillants. La présence des croûtes est très défavorable à la pénétration de l'eau et provoque le ruissellement qui peut accroître localement l'érosion.*



Fig.III.4 - Vue d'ensemble d'une plantation de 15 ans avec, au premier plan, le rond dégagé de toute végétation et recouvert de sables déliés de couleur claire.

\*\*\*\*\*

De ce qui précède, il apparaît que la plantation de palmiers à huile est, à l'échelle de l'arbre, un milieu dans lequel *la répartition* de la végétation est parfaitement maîtrisée par l'action de l'homme. En revanche *la composition* floristique n'est plus maîtrisée, et peut devenir un indicateur de l'évolution des conditions climatiques ou édaphiques.

## 2. Apports d'engrais

La déficience potassique est l'unique déficience minérale rencontrée dans ce type de sols en premier cycle de culture du palmier (IRHO, 1989). Les sols profitent donc d'un apport de KCl très important : 300 kg/ha/an pour une production de 11 t/ha/an. Cet apport est nettement supérieur à la moyenne mondiale, qui est de 100 kg/ha/an pour une production de 15 t/ha/an (OLAGNIER et OLIVIN, 1984).

On notera que cette fertilisation concerne essentiellement les ronds (au maximum 1800 m<sup>2</sup>/ha). Nous en concluons que *l'apport local* en KCl est de l'ordre de 1670 kg/ha de rond. *En 25 ans*, soit un cycle de culture, l'apport local est donc considérable, puisqu'il est d'environ **40 tonnes de KCl** par hectare de rond.



*Mais nous avons signalé que le rond présente une croûte plasmique continue et permanente due à l'action des gouttes de pluie. Lors des événements pluvieux KCl va s'infiltrer sous le rond mais va également être entraîné à l'aval avec les eaux de ruissellement.*

Il faut signaler que pendant certaines périodes les épandages peuvent se faire sur la ligne de circulation. Au total, de tels apports ne sont sans doute pas sans conséquences sur l'ambiance physico-chimique au sein de la couverture pédologique, et peuvent affecter le comportement (dispersion) des particules argileuses comme l'a montré OUVRY (1985) au laboratoire, en colonne de percolation.

Quant aux apports d'azote et de phosphore, ils sont quasiment nuls, car ces éléments ne constituent pas un facteur limitant du rendement dans le cadre de la plantation R. MICHAUX (IRHO, 1989).

### 3. Pratiques culturales liées à la récolte

Les modalités de récolte, même si elles semblent au premier abord sans conséquences sur les sols, doivent être prises en compte.

#### a) Tas de palmes

Pour récolter le régime, il est nécessaire de couper tout d'abord la ou les palmes situées sous ce régime. La récolte impose ainsi l'élagage de la moitié (environ) des 20 feuilles émises annuellement. Une biomasse d'au moins 10 t ms/ha retourne ainsi au sol chaque année, **durant 25 années successives.**

Les palmes élaguées sont sectionnées en deux, puis jetées entre les arbres sur la ligne de plantation nord/sud et forment *le "tas"* de palmes qui occupe l'espace entre les ronds de deux arbres (5 m), sur une largeur d'environ 3 m (Fig.III.5).

Nous en déduisons donc que seulement 20 % de la surface de la parcelle reçoit l'ensemble des retours de matières organiques fraîches. En *apport local*, cela fait donc environ 50 t ms/ha de tas de palmes/an, soit **1250 tonnes en 25 années.**

#### b) Conséquences sur l'activité termitique

Nos observations ont montré que l'activité de l'ensemble de la mésofaune et de la microfaune se trouve largement stimulée par l'existence de cette source d'énergie. En particulier deux espèces de termites prolifèrent :

- il s'agit d'abord de *Nasutitermes* sp. dont le nid est situé dans les arbres et que l'on retrouve sur tous les tas de palmes où il se nourrit au dépens la matière végétale. Malgré son abondance ce termite ne paraît pas avoir d'incidence sur le brassage et le fouissage du sol, mais il contribue à dégrader les matières organiques tombées à la surface du sol

- l'autre espèce est *Ancistrotermes* sp., un termite champignoniste. Il récolte les fibres se trouvant à l'intérieur du pétiole et du rachis des palmes jetées à terre et les transporte dans le sol pour nourrir son champignon. Pour procéder à cette récolte, le termite construit des galeries épigées (avec la terre ramenée du sous-sol) au fur et à mesure de sa progression. C'est

ce que l'on désigne sous le nom de "placage de récolte". Les fibres du rachis et du pétiole sont alors remplacées à volume égal par de la terre (Fig.III.6).

Le volume de la matière végétale ramenée au sol a donc une incidence directe sur le volume de matériau terreux transporté. En supposant que le poids frais du rachis et du pétiole soit de 10 kg (DUFRENE, 1989), on peut estimer le volume de ces organes à environ 10 l. Cela fait donc 10 l de matériau terreux extrait par les termites, soit un volume de 200 l par palmier à raison de 20 feuilles par an. Au bout de 25 ans, on pourrait donc avoir un volume de 5 000 l, soit 5 m<sup>3</sup> de sol transférés par palmier. En estimant la surface intéressée par ce dépôt de matière à 15 m<sup>2</sup>, on obtient 30 cm de sol qui peuvent être extraits en profondeur et redéposés en surface.

Nous avons également vérifié que les termites rebouchent leur galerie en utilisant du matériau terreux des horizons superficiels (ESCHENBRENNER, 1988). Par conséquent, des quantités similaires de sol enrichi en matières organiques sont injectées en profondeur.

Il résulte de tout ce qui précède, qu'un transport de matière considérable se fait de la profondeur vers la surface *et* de la surface vers la profondeur.

### c) Formation d'un horizon épigé

Il apparaît que ce travail de fouissage a des conséquences directes pour la plante et le sol.

En effet le palmier profite immédiatement de cet apport d'un matériau meuble en colonisant les placages de récolte par des racines de niveau II et III faiblement lignifiées, et par des racines de niveau IV hypertrophiées (Fig.III.7). Les placages sont très fragiles et ne résistent pas à la pression imposée par la très forte densité de racines, ils se brisent rapidement. Il peut ainsi se produire un remaniement entre le matériau terreux provenant d'horizons sous-jacents (comme l'atteste la couleur claire des placages) et des résidus organiques plus ou moins décomposés.

Au total, l'apport permanent par les termites de matériau des horizons profonds entraîne une *surélévation* du sol et est à l'origine de la formation d'un *horizon organo-minéral épigé* très meuble. Ce dernier reste largement humide, même en début de saison sèche grâce à sa forte porosité et à sa forte teneur en matière organique. *La prolifération de racines devient si intense qu'elle évoque un mat racinaire analogue à celui d'une prairie et peut atteindre 30 cm d'épaisseur* dans les meilleures conditions. Malgré sa position épigée, cet horizon résiste à l'érosion en raison de sa perméabilité exceptionnelle et de la forte densité racinaire qui permet la fixation du matériau terreux (Fig.III.8).

### d) Récolte des fruits

Quant au régime lui-même, il est coupé à l'aide d'une faucille et tombe sur le sol au niveau du rond. Le poids du régime est de quelques kilogrammes à quelques dizaines de kilogrammes. Par conséquent, ces chutes répétées provoquent un enfoncement de plusieurs centimètres au niveau du rond par rapport à la surface générale du sol.

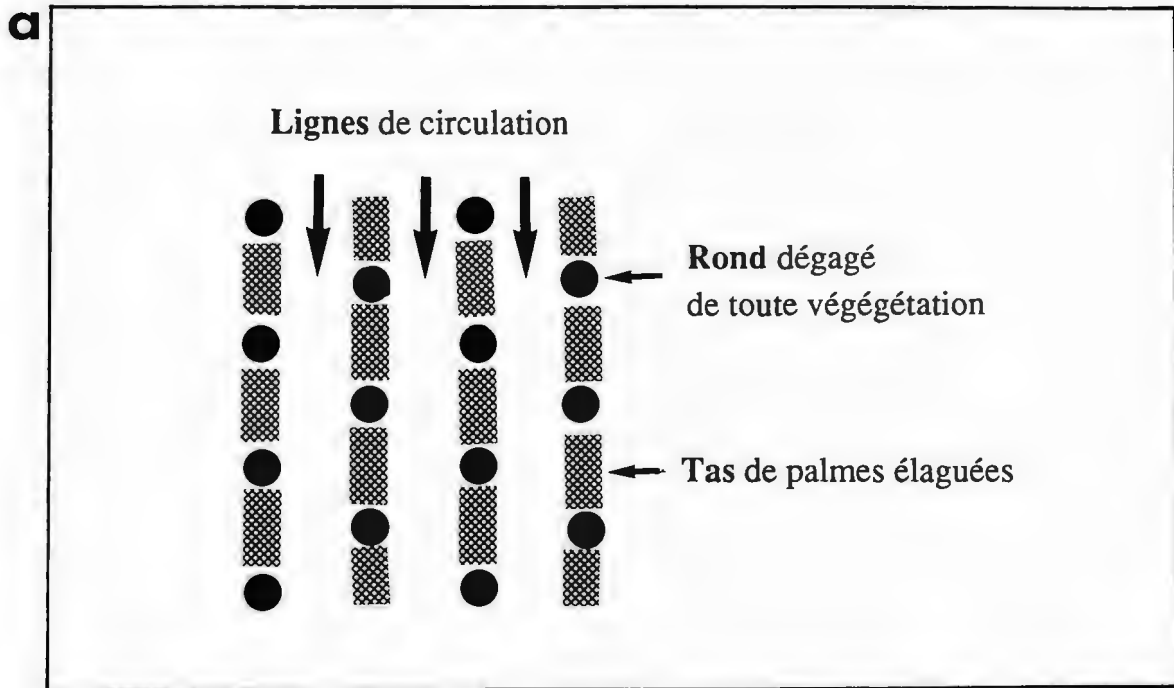


Fig.III.5 - Occupation du sol (a) Représentation schématique et (b) photographie d'un tas de palmes

**a****b**

Fig.III.6 - Placage de récolte du termite *Ancistrotermes* dans le pétiole (a) et le rachis (b) d'une palme jetée sur le "tas"



Fig.III.7 - En degageant le placage de récolte on fait apparaitre un chevelu de racines absorbantes.

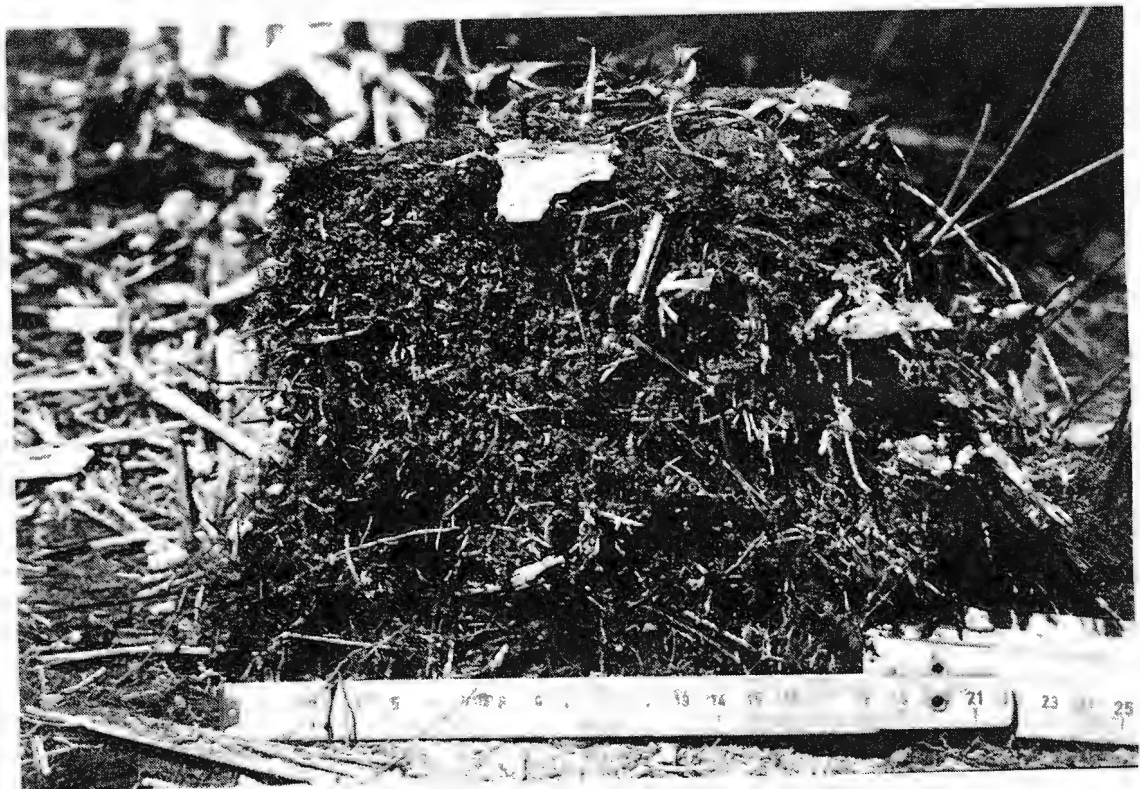


Fig.III.8 - Placages de récoltes successifs colonisés par les racines du palmier (parcelle de 20 ans ) et formant un mat racinaire.



#### 4. Conclusion

De ce qui précède, il apparaît que des pratiques culturelles, liées en particulier à la fertilisation et aux modalités de récolte, entraînent une profonde modification du milieu allant de l'échelle locale à celui du versant.

*A l'échelle du versant*, le sens et certainement l'intensité des écoulements d'eau sont modifiés, donc les transferts d'éléments solubles.

*A l'échelle de l'arbre* il existe trois surfaces élémentaires pour lesquels les histoires énergétique, culturelle et biologique sont très différentes : le *rond*, le *tas de palmes* et la *ligne de circulation*. A l'échelle de temps de 25 années, il est probable que, dans ces sols sableux situés en milieu tropical humide, une différenciation apparaisse au sein de la couverture pédologique. L'évolution doit être analogue à celle observée dans le dispositif dit "des 42 parcelles" de l'INRA Versailles.

*Ainsi, à partir d'un volume pédologique homogène, on aboutit à un milieu pédologique hétérogène mais organisé à l'échelle de l'arbre.*

*Dans le cas de cette plantation de palmiers il est possible de parler d'une sorte de biopédogenèse. Un horizon A0 épigé apparaît en moins de 20 ans.*

### C. MODALITES DE L'ABATTAGE, CONSEQUENCES SUR LE SOL

Dans l'ensemble des études menées récemment, c'est aux *conséquences* des travaux d'*abattage mécanique* que sont attribuées avant tout les baisses de rendement du palmier sur la plantation de Dabou (OLIVIN et DUFOUR, 1985 ; CALIMAN, 1990). Il est donc important d'analyser les différentes phases de l'abattage avant de pouvoir discuter de ses conséquences sur les sols.

L'abattage se fait sur des plantes en pleine végétation, généralement à la fin de la petite saison des pluies (novembre à janvier). Le sol est alors très humide sur toute son épaisseur. On a recours à un tracteur à chenille spécialement équipé qui pousse sur le stipe à une hauteur de 4 m environ (Fig.III.9). Parfois le palmier casse à la base du stipe ; d'autres fois le bulbe est extrait du sol (Fig.III.10). Cependant, *dans tous les cas*, la très grande majorité des racines restent en place n'entraînant qu'une très faible perturbation du sol, contrairement à ce que l'on observe pour un arbre (chablis).

D'après ce que nous avons observé, l'énergie mise en jeu pour faire tomber le palmier provient entièrement de la puissance d'avancement du tracteur et de la *capacité de portance du sol*. Pour déterminer quelles peuvent être les conséquences de l'abattage, il nous paraît nécessaire de faire quelques rappels sur les caractéristiques mécaniques du sol, milieu poreux meuble et hydraté. Puis, nous verrons plus en détail les caractéristiques des forces développées par l'engin d'abattage.



Fig.III.9 - Abattage d'un palmier par poussage à l'aide d'un tracteur à chenilles. A l'arrière plan se trouve une parcelle abattue l'année précédente.





Fig.III.10 - Lors de l'abattage les perturbations du sol restent minimales, que les racines primaires soient extraites (en haut) ou que le stipe casse à sa base (en bas).

## 1. Rappel sur les propriétés mécaniques des sols

Pour analyser ce qui peut se produire au plan mécanique dans le cas des sols de la plantation, nous ferons référence aux travaux de FAURE (1978) sur le comportement des matériaux sablo-argileux.

Les sols ne sont pas sensibles aux effets du compactage, c'est-à-dire ne subissent pas de tassement, tant que la fraction argileuse qu'ils contiennent n'a pas atteint un seuil de teneur en eau. On parle du "seuil de sensibilité au compactage"

Au moment du compactage, la moindre augmentation de la teneur en eau au-delà de ce seuil critique entraîne des variations importantes de leur compacité.

Le seuil de sensibilité au compactage est aussi lié à la nature du matériau argileux, c'est-à-dire à sa constitution minéralogique. La garniture ionique joue un rôle important, notamment les ions monovalents ( $K^+$  par exemple). La matière organique est au contraire un facteur net de diminution de la sensibilité au compactage.

Sur le terrain nous avons constaté que l'abattage se fait dans des conditions d'humidité importante. Il est en outre pratiqué sur des sols dont une partie n'a jamais profité des apports de matières organiques et pour lesquels les apports de KCl ont été considérables.

A ce stade de l'étude, il apparaît que toutes les conditions sont réunies pour obtenir un tassement maximal lors de l'abattage. Mais d'un autre côté, considérer les caractéristiques des sols pour examiner le tassement n'est pas suffisant. Il convient d'analyser avec plus de précision la façon dont on applique les contraintes à l'aide du chenillard.

## 2. Contraintes mécaniques liées à l'abattage

Dans ce domaine, les points suivants apparaissent :

a) - Un véhicule posé sur une surface exerce une pression de contact égale à la charge (masse totale du véhicule) divisée par la surface de contact.

Dans le cas d'un sol, milieu meuble, il y a lieu de considérer l'enfoncement du véhicule qui a pour conséquence d'augmenter la cohésion du sol. C'est la pression de contact qui détermine la profondeur de l'ornière.

Pression = masse / surface --> tassement (ornière)

b) - Il s'exerce aussi une contrainte dans le sol qui se traduit par l'apparition d'isobares de pression, dont la valeur diminue avec la profondeur.

C'est la charge, c'est-à-dire le poids de l'engin, qui conditionne la contrainte : pour une même pression de contact, une plus grande charge induit des isobares à une plus grande profondeur, sans nécessairement changer la profondeur de l'ornière (Fig.III.11) (VILTOX, 1987 ; TAYLOR et BURT, 1987).

c) - Quand le véhicule se déplace, les chenilles exercent, en plus de la pression de contact, une force de cisaillement qui est ajoutée à la force verticale. Il en résulte une force contraire, de direction oblique, supérieure à la charge (Fig.III.12 a et b).

d) - L'abattage par poussage nécessite de vaincre la réaction de l'arbre. Une nouvelle force de cisaillement s'ajoute encore à la charge, donnant naissance à une contrainte oblique, elle-même supérieure à la précédente (Fig.III.12 c).

***D'après tout ce qui précède, il apparaît donc que l'énergie déployée dans les opérations d'abattage se transforme toute entière en une contrainte mécanique exercée sur le sol.***

Les vibrations de l'engin doivent aussi provoquer une augmentation de la cohésion du sol (CALIMAN, 1990). Ce phénomène, difficile à modéliser n'a pas encore fait l'objet d'études quantitatives et n'est donc pas décrit ici.

Charge :	1	2	3
Surface :	1	1	2

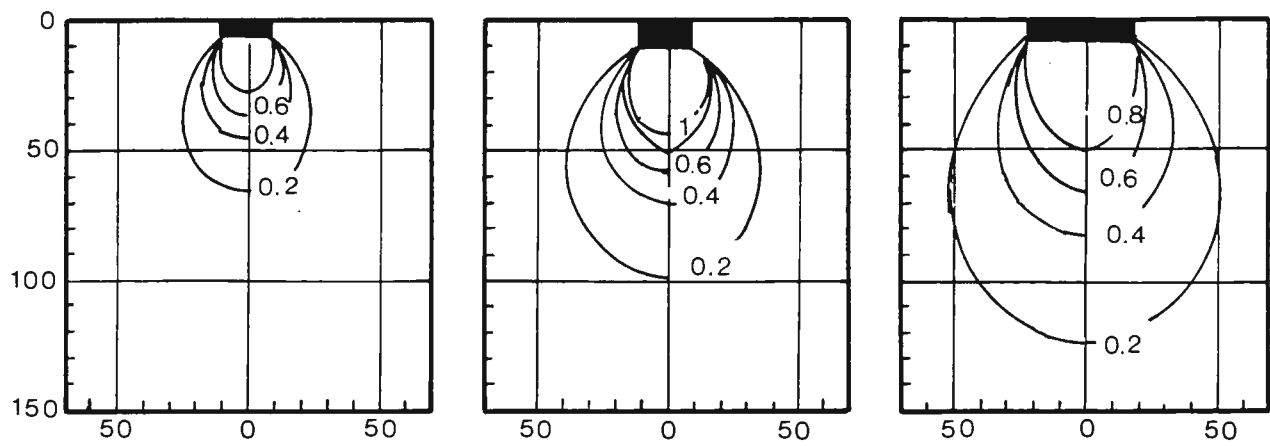
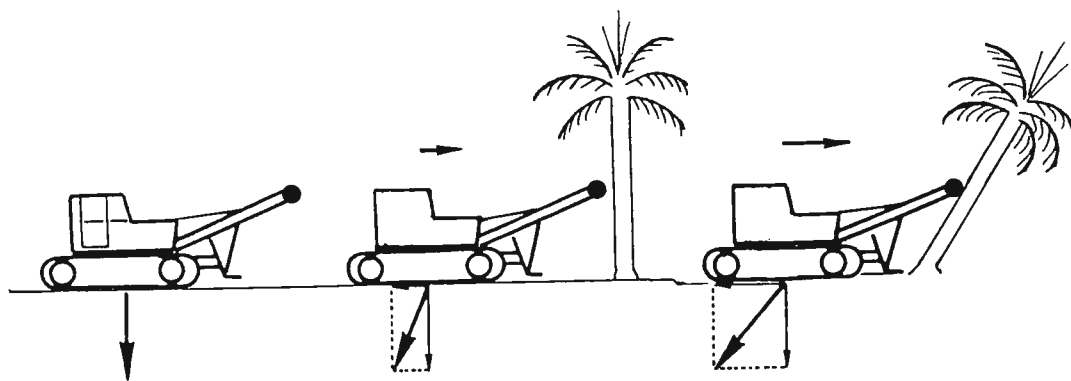


Fig.III.11 - Evolution des isobars de contraintes en fonction de la charge et de la surface de contact (d'après Viltoux, 1987).



Contrainte à l'arrêt      en mouvement      au poussage

Fig.III 12 - Représentation schématique des contraintes exercées sur le sol par l'engin d'abattage à l'arrêt, en marche et lors du poussage

### 3. Conséquences de l'abattage sur les sols

A la fin des opérations d'abattage le sol est défoncé sur 80 à 90 % de la surface. Il faut surtout constater qu'il n'existe aucune organisation géométrique des lignes de passage du chenillard contrairement à ce qui a pu être décrit dans d'autres situations (MANICHON, 1988, COULON, 1989 par exemple). Il n'est donc pas possible de délimiter différentes surfaces élémentaires ayant subi des contraintes mécaniques bien définies.

Les opérations d'abattages, telles qu'elles sont réalisées sur la plantation de Dabou, ne peuvent rester sans conséquences. Surtout il apparaît qu'elles concernent toute la surface de la parcelle. Dans la suite de ce travail, les mesures de volume massiques (inverse de la densité apparente) nous permettront de préciser l'intensité du tassement et la profondeur concernée.

L'abattage ne dure que quelques jours pour une parcelle de 100 ha ; il s'agit ensuite de mettre en place le deuxième cycle de culture.

## D. MISE EN PLACE D'UNE NOUVELLE PLANTATION

A la fin des travaux d'abattage, presque toute la végétation adventice est arrachée, les horizons superficiels détruits et des ornières peuvent atteindre la profondeur de 20 à 30 cm (Fig.III.13). La compaction, quant à elle, doit atteindre des horizons situés à plusieurs décimètres de profondeur.

Les palmiers tombés à terre sont andainés suivant une ligne nord/sud et l'on procède à leur élagage complet. Cet élagage est effectué manuellement et les palmes coupées sont déposées sur le stipes. Cette opération termine de dégager entièrement le sol. Malgré l'accroissement de lumière consécutive, nous avons vérifié que la végétation de pueraria initial ne reprend pas et de nouvelles graines doivent être semées (Fig.III.14).

De nouvelles lignes de plantations sont définies avec un décalage par rapport à l'ancienne ligne. La valeur du décalage ne répond à aucune règle. Les ronds de plantation sont refaits sur les nouvelles lignes et les pousses de palmier installées en pleine terre de façon à éviter la "souche" de l'ancien palmier. La probabilité est donc maximale d'implanter les palmiers dans l'ancienne ligne de circulation.

L'ensemble de la végétation ne reprendra qu'à la fin de la grande saison sèche, après l'arrivée de précipitations suffisantes. Il nous faut donc, maintenant, envisager l'analyse de l'effet de la saison sèche, puis les conséquences des pluies.

### 1. Analyse de l'effet de la saison sèche

La destruction du couvert arborescent et herbacé met à nu le sol, qui est ainsi soumis à l'action directe des éléments du climat. L'effet de celui-ci a été étudié depuis longtemps (VAGELER (1933) in AUBERT, 1960 par exemple).

Cela se traduit d'abord par 100 % du rayonnement solaire qui atteint 90 % de la surface. La mise à nu du sol joue d'abord sur sa température, plus exactement augmente l'amplitude thermique journalière, ainsi que la profondeur et la température maximales atteintes. Cet



Fig.III.13 - Ornière observée à quelques mètres du stipe, à l'endroit où la contrainte est maximale. Notez l'absence de bourrelets sur les côtés de l'ornière.



Fig.III.14 - Après l'abattage la totalité du rayonnement solaire est disponible pour la végétation installée au sol. Pourtant celle-ci ne se développe pas et de nouvelles graines de *Pueraria* devront être semées.

échauffement provoque, bien entendu, une dessiccation importante du sol (en intensité et en profondeur).

Nous n'avons pas mesuré ces différents phénomènes, mais d'après la bibliographie, la température du sol doit dépasser la température ambiante moyenne et doit donc s'élever au-dessus de 30°C. La diminution de viscosité de l'eau du sol consécutive à l'échauffement facilite l'évaporation. Dans ces conditions nous avons mesuré des humidités du sol de l'ordre de 5 %. Les courbes de rétention d'eau établies au laboratoire nous permettent de dire que ces valeurs sont proches de celles obtenues au point de flétrissement permanent des plantes (pF 4,2) dans ces matériaux sablo-argileux.

La grande saison sèche s'achève habituellement trois mois après l'abattage ; mais durant les années 1970, années de sécheresse pendant lesquelles ont été effectués de nombreux abattages, elle a pu durer jusqu'en mai, soit cinq mois.

## 2. Conséquences des pluies

La saison sèche qui suit l'abattage présente toujours un déficit hydrique marqué, mais il n'est pas rare que des événements pluvieux interviennent durant cette même période. Par conséquent, la mise à nu du sol le soumet aussi à l'action des gouttes de pluie.

Du fait de la faible cohésion des matériaux sableux et de la nature orageuse des précipitations, la disjonction des constituants s'opère facilement et donne naissance à une *croûte plasmique* surmontée de sables déliés et brillants sur l'ensemble de la surface. Les mécanismes de cette dégradation ont été décrits par VALENTIN (1985) pour les zones plus arides. Mais, dans des situations de culture, les mêmes mécanismes interviennent malgré les différences de latitude et de climat (VALENTIN et al, 1990 ; POSS et al, 1991)

## 3. Mise en valeur des parcelles de second cycle

L'ensemble de la concession de l'I.R.H.O. n'a pas été mise en valeur dès le début de l'exploitation industrielle. La mise en valeur a commencé par la zone centrale. Dans les années 70, quand il a fallu replanter ces zones, il a été décidé d'exploiter l'ensemble de la concession. Celle-ci a donc été étendue aux zones de savanes environnantes, au nord-est et sud-ouest (Fig.II.15).

C'est la comparaison des rendements obtenus dans des parcelles en premier et en second cycle de culture, avec le même matériel végétal implanté à la même époque, qui a permis de mettre en évidence la baisse des rendements après les opérations d'abattage et de replantation.

Dans les parcelles de second cycle de culture, des essais ont donc été menés visant à augmenter les doses ou à changer la nature des intrants. Malgré ces nouvelles interventions il est apparu qu'il n'était plus possible d'augmenter le rendement. Les diagnostics foliaires ont par ailleurs montré qu'il ne s'agissait pas non plus de carences en oligo-éléments.

***Dans ces conditions, il semble indispensable à présent, de mettre en oeuvre des techniques culturales nouvelles. Ceci ne pourra être fait qu'après avoir mis en évidence la nature des dégradations intervenues au niveau du sol à l'heure actuelle. Tel est l'objet de ce travail.***

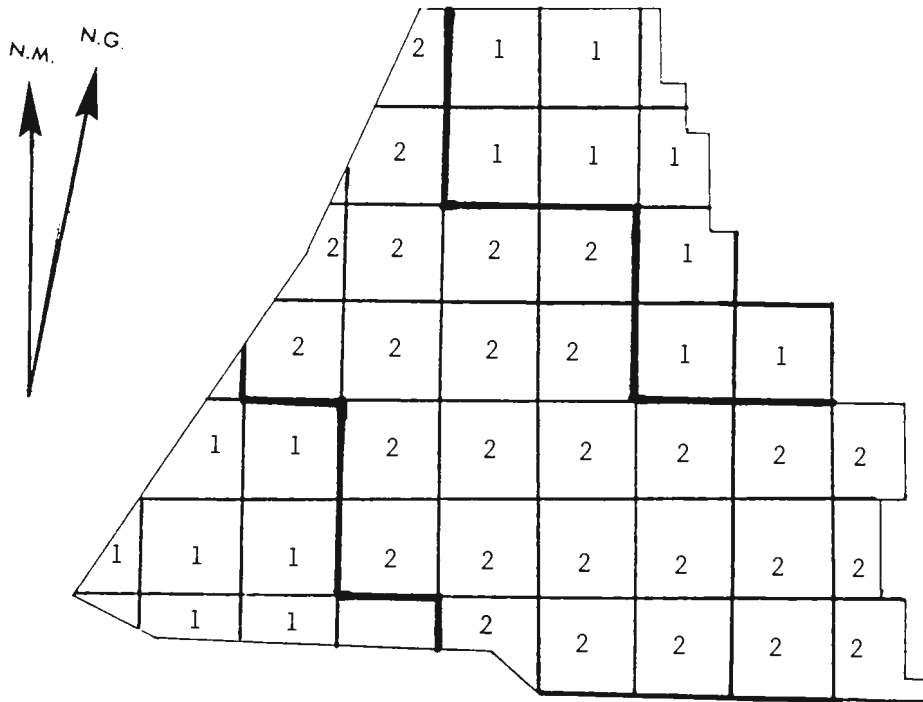


Fig.III.15 - Localisation des parcelles de premier et de second cycle.  
 (1) - Premier cycle de culture (palmiers sur savane)  
 (2) - Second cycle de culture (palmiers sur palmiers).

## CONCLUSION

Il apparaît que la *culture industrielle de palmiers à huile* exerce des *contraintes variées sur le milieu*, qui sont à la fois la *conséquence de pratiques culturales et de la pérennité de l'espèce végétale* cultivée. Nous avons repéré dans les pratiques agricoles de la plantation un *enchaînement d'événements* qui nous permettent d'ores et déjà d'envisager des processus d'évolution conduisant à des modifications dans les caractéristiques des sols.

Pour analyser les effets de ces pratiques à long terme, il nous faut maintenant examiner dans le détail les caractéristiques de la couverture pédologique, en précisant ses lois de distribution. C'est ce que nous allons étudier dans la deuxième partie.





**DEUXIEME PARTIE**

**ORGANISATION ET  
FONCTIONNEMENT**

**DE LA**

**COUVERTURE PEDOLOGIQUE**

*Les chapitres portant sur l'analyse du milieu ont montré que les pratiques culturales étaient susceptibles d'orienter à moyen terme le fonctionnement des sols.*

*Dans l'analyse de la couverture pédologique, il faut avant tout faire la part de ce qui revient aux conditions de mise en place de la couverture elle-même et celles relatives aux modifications de fonctionnement des sols. A partir de là, nous pourrons choisir avec précision des situations pédologiques données, à partir desquelles nous procéderons à des échantillonnages en vue de mesures physiques et chimiques. Ces aspects seront abordés respectivement dans les chapitres IV, V, VI et VII.*

**CHAPITRE IV****CONDITIONS DE MISE EN PLACE  
DE LA****COUVERTURE PEDOLOGIQUE****APPORT DE CRITERES  
GRANULOMETRIQUES**

Dans des sols très peu structurés comme les sols sableux, les changements résultant des conditions de mise en place du matériau parental, ainsi que ceux induits par la pédogénèse ou l'activité anthropique ne peuvent être abordés complètement par l'approche morphologique classique.

L'étude de la couverture pédologique passe par la prise en compte de caractéristiques qui soient mesurables, intrinsèques des sols. Aussi ce sont les variations texturales qui paraissent le mieux susceptibles de mettre en évidence les lois de distribution des sols dans le paysage.

## A. PRESENTATION DES SOLS

Dans le cadre de la plantation il s'agit de mettre en évidence les évolutions pédologiques dues aux techniques culturales. Dans ce but il a fallu comparer entre elles des parcelles de premier et de second cycle, pédologiquement identiques avant mise en culture.

Aucune carte des sols de la plantation n'était disponible. Le préalable indispensable à notre étude a donc été de déterminer quelle est la logique de distribution des sols dans le paysage, afin de pouvoir choisir des situations pédologiquement identiques.

### 1) Echelle régionale

La synthèse cartographique réalisée par ROOSE et CHERROUX (1967) souligne la difficulté qu'il y a de distinguer, dans ces milieux sableux, différents types de sols sur la base de la description du profil. Mais, sur un substrat géologique globalement sablo-argileux, les textures des profils sont variées et évoluent entre en pôle sableux (<10% argile) et un pôle argileux (>40% argile).

Ces différences sont liées à la fois :

- à des phénomènes pédologiques, c'est-à-dire déplacements de particules en relation avec les formes du modelé (textures les plus argileuses sur les pentes supérieures à 10 %, les plus sableuses sur les terrains plats),
- à la stratigraphie : sédimentation lenticulaire d'argile héritée et disposée de façon aléatoire dans le paysage (HUMBEL, 1964).

Aussi, les unités cartographiques que choisirent Roose et Cherroux furent basées sur la texture du profil. Par conséquent, à l'échelle régionale, leur carte pédologique au 1/200 000 intègre des données stratigraphique et géomorphologique.

### 2) Echelle de la plantation

Notre étude préliminaire dans le cadre de la plantation nous a permis de retrouver les variations texturales signalées par Roose et Cherroux. Mais pour comprendre la logique de distribution des sols il était indispensable de procéder à une étude plus fine, localisée à la plantation (3 500 ha situés dans une zone géomorphologique homogène).

En effet, à cette échelle de quelques milliers d'hectares, de nombreux auteurs attribuent les différences constatées à des déplacements de particules en relation avec le modelé (CLAISSE, 1951 ; BERLIER et al, 1956 ; AUBERT, 1958 ; LENEUF, 1958 ; ROOSE, 1981 ; YORO, 1984a et b). Pourtant, CHARREAU (1951, p 5) et CALIMAN (1990, p 23), à partir de critères qualitatifs, attribuent les différences de granulométrie des sols de la région de Dabou à un héritage sédimentaire, en discordance avec le modelé actuel.

Par conséquent ce ne sont pas les critères morphologiques habituellement retenus, mais des critères analytiques concernant le tri granulométrique qui vont nous permettre de préciser l'organisation des sols au sein de la plantation R. Michaux, et de procéder à leur inventaire.

D'une part l'étude de l'homogénéité du tri granulométrique des sables seuls nous permettra de mettre en évidence les éventuels changements de nature du matériau sédimentaire au sein de la couverture pédologique.

D'autre part l'étude de courbes d'iso-valeur de la fraction fine (argiles et limons) nous permettra de vérifier la concordance (ou la discordance) entre l'organisation texturale de la couverture pédologique et le modelé.

La synthèse des résultats permettra de discuter de la mise en place et de l'évolution de la couverture pédologique ainsi que des conséquences sur l'évolution du paysage, dans la région de Dabou.

## B. TRI GRANULOMETRIQUE DES SABLES

### 1. Présentation

L'objet de ce paragraphe est de tester l'homogénéité du matériau sédimentaire dans ce qui est actuellement la partie superficielle du dépôt. Ceci nous permettra de mettre en évidence les différentes zones ou les différentes strates éventuellement superposées ou juxtaposées dans l'enceinte de la plantation, sur lesquelles la couverture pédologique se serait développée de façon différentielle. Nous voulons donc nous servir de l'analyse granulométrique des sables comme d'un outil pour étudier de façon quantitative et par voie statistique le tri granulométrique de la couverture pédologique.

Dans le cas de la région de Dabou, le sédiment est de nature sableuse et présente une faible teneur en limons (rarement plus de 5 %). Le tri granulométrique de la *seule fraction sable (50 à 2000  $\mu\text{m}$ )* peut alors nous permettre de vérifier l'homogénéité du sédiment.

### 2. Matériel et méthode

Des prélèvements ont été effectués sur une centaine de sites répartis dans quinze parcelles différentes (Fig.IV.1).

Sur chaque site, les prélèvements ont été réalisés à la tarière jusqu'à une *profondeur allant de 2 à 4 m*. Dans le premier mètre *un échantillon a été prélevé tous les 10 cm, puis tous les 20 cm dans les mètres suivants*. Ce sont donc *15 à 25 échantillons qui ont été collectés pour chaque site*.

Les échantillons sont séchés à l'étuve à 105°C, puis broyés avec précaution afin de ne pas briser les particules minérales de grande taille. Un tamisage à sec permet de séparer les éléments grossiers (> 2 mm) de la terre fine (< 2 mm).

Dans cette fraction inférieure à 2 mm, il subsiste cependant des agrégats, «assemblage de particules élémentaires dû à l'existence de ciments organiques et/ou minéraux» (AFNOR, 1983). Afin de séparer les particules élémentaires, les ciments organiques ont été détruits lors d'une attaque à l'eau oxygénée (à chaud) d'une masse "M" d'échantillon.

Nous avons choisi M = 20 g.

Après cette attaque, la fraction argile est dispersée à l'aide de l'hexamétaphosphate de sodium. Les agrégats étant détruits, il ne reste plus qu'à séparer les particules élémentaires individualisées.

Un tamisage à 50  $\mu\text{m}$  sous l'eau a permis d'éliminer la fraction fine (argiles et limons) et de récupérer la fraction des sables. Ces derniers ont été séchés à 105°C, puis pesés afin d'obtenir leur masse "S". Par l'observation à la loupe binoculaire, nous avons vérifié que les quartz étaient propres, donc que les agrégats élémentaires ont effectivement été détruits.

Après leur pesée les sables ont été séparés en cinq fractions granulométriques par tamisage à sec, puis pesés à nouveau :

- fraction A = 1000 à 2000  $\mu\text{m}$
- fraction B = 500 à 1000  $\mu\text{m}$
- fraction C = 200 à 500  $\mu\text{m}$
- fraction D = 100 à 200  $\mu\text{m}$
- fraction E = 50 à 100  $\mu\text{m}$

$$A + B + C + D + E = S$$

Pour chaque fraction, les résultats sont arrondis et exprimés en pour cent de la masse de sable. Par conséquent :

$$A + B + C + D + E = 100 \%$$

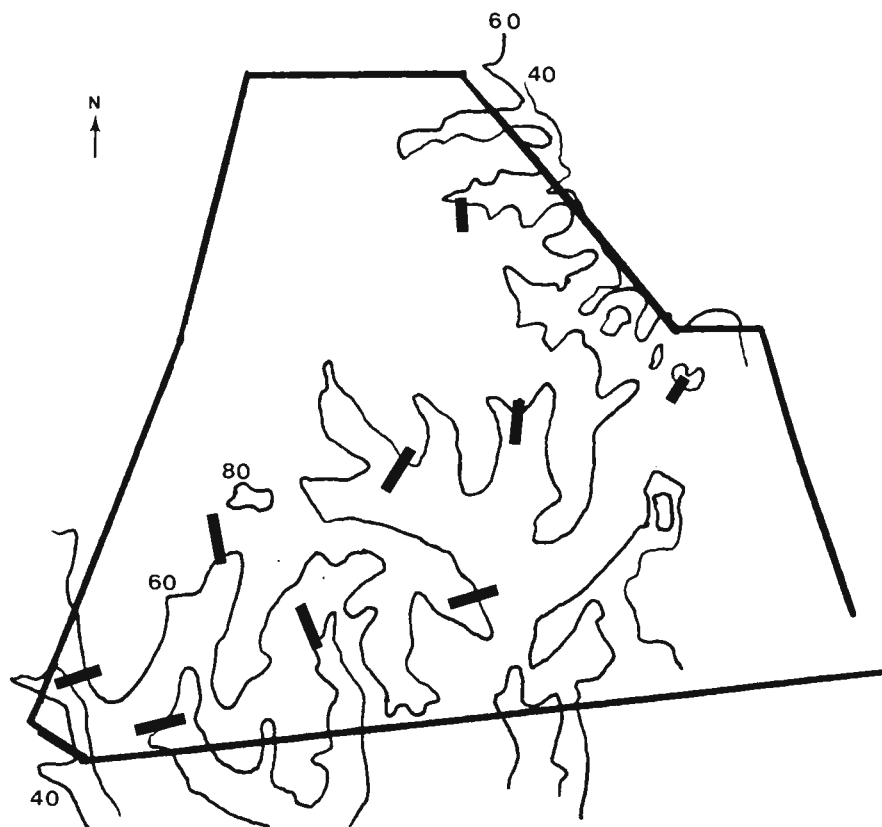


Fig.IV.1 - Une centaine de sites de prélèvement sont répartis le long de différents transects (représentés par un trait épais) au sein de la plantation.

### 3. Résultats

Ils vont concerner l'existence d'éléments grossiers (> 2 mm), l'aptitude à la dispersion, la morphologie des grains de quartz, et la distribution de la taille des sables au plan statistique.

Après séchage et broyage ménagé, le refus au tamis de 2 mm a toujours été inférieur à 1 % et n'est donc pas pris en compte dans les calculs. Il s'agissait de quelques nodules ferrugineux et de grains de quartz de taille millimétrique.

A l'observation à la loupe binoculaire après destruction de la matière organique et dispersion des argiles, il apparaît que les sables sont constitués de quartz transparents, du type "émoussé luisant" peu usés, caractéristiques des transports fluviaux. Ils sont toujours dépourvus de revêtements argileux après le traitement dispersant.

La distribution de la taille des sables a été analysée au plan statistique.

Les analyses de 850 horizons provenant de 40 profils représentatifs de l'ensemble des sites ont été utilisées pour procéder à une analyse des moyennes et des écarts-type autour de cette moyenne pour chacune des fractions A, B, C, D et E définies auparavant (Tableau IV.1).

Il apparaît, que dans la gamme des tailles de 50 à 2000  $\mu\text{m}$ , la répartition des sables est centrée sur la classe **200/500  $\mu\text{m}$** . En outre, il existe autour de cette classe 200/500  $\mu\text{m}$ , une répartition symétrique des deux fractions plus grossières et des deux fractions plus fines.

Les fractions extrêmes sont marginales, surtout la fraction "A" de particules d'une taille de 1000 à 2000  $\mu\text{m}$ .

Tableau IV.1 - Répartition statistique des différentes fractions sableuses

Fraction	50/100	100/200	200/500	500/1000	1000/2000
Moyenne	7 %	21 %	48 %	20 %	3 %
Ecart type	4	4	5	4	3

En ce qui concerne les écarts-type, le tableau IV.1 montre qu'ils sont du même ordre de grandeur pour chacune des fractions granulométriques, soit 3 à 5. En valeur absolue, ils sont donc faibles, mais en valeur relative, ils deviennent importants pour les fractions extrêmes (50 et 100 %). Ils diminuent avec les fractions intermédiaires (20 % pour B et D) et deviennent faibles pour la classe médiane et modale (10 %).

Ajoutons que l'écart type est une mesure statistique de dispersion. Pour une population normalement distribuée, 95 % des individus sont à une distance de plus ou moins deux écarts-type par rapport à la moyenne. Par conséquent, nous avons réalisé l'histogramme de fréquence des cinq fractions sableuses accompagné des barres de comparaisons représentant  $\pm 2$  fois l'écart type (Fig.IV.2). Il apparaît que, même en tenant compte de la dispersion, le classement relatif des différentes fractions reste identique.

Il ressort donc de cet histogramme et de ses barres de comparaison, que le classement des fractions granulométrique se présente ainsi :

$$A \ \& \ E < B \ \& \ D < C$$

*Par conséquent, même si une dispersion autour de la moyenne des fractions sableuses existe, cette dispersion ne remet en aucun cas en cause le tri granulométrique observé au sein de la fraction sableuse.*

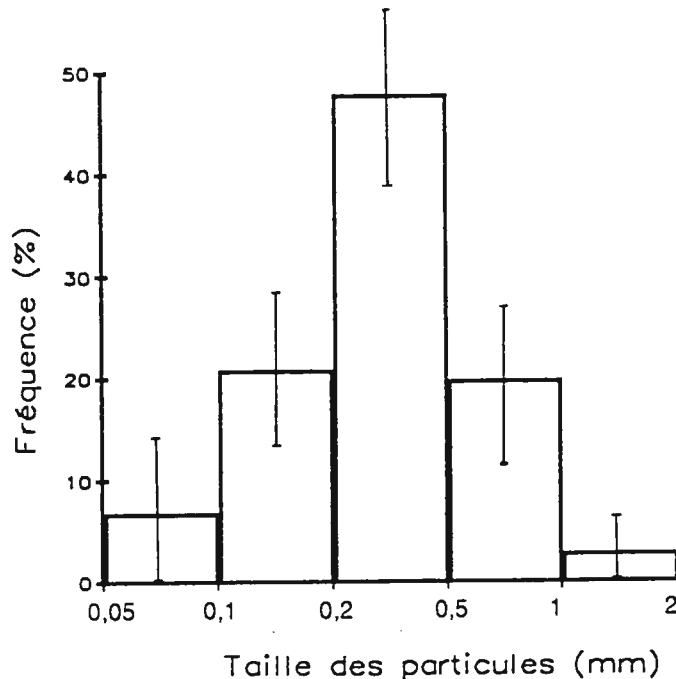


Fig.IV.2 - Histogramme de fréquence des cinq fractions sableuses. Les barres de comparaison représentent deux fois l'écart-type autour de la moyenne.

#### 4. Conclusion

Rappelons que l'objectif de notre travail n'est pas de reconstituer l'historique de la sédimentation, ni de faire une analyse strictement sédimentologique. Notre but est de discuter de la distribution des différentes fractions *dans un cadre pédologique*. Ainsi avons nous choisi un nombre restreint de fractions granulométriques couramment utilisées en pédologie.

Nous avons prélevé des échantillons qui, entre le site le plus haut et le plus bas dans le modelé, correspondent à une dénivelée de 40 m environ. Les sites de prélèvement les plus éloignés sont distants de 8 km (A2 avec I3 ou G6). *Dans ce cadre, il ressort des résultats obtenus précédemment que le matériau que nous avons étudié présente un tri granulométrique homogène : les cinq fractions sableuses étudiées ont la même importance relative dans tous les sites et tous les horizons.*

*Par conséquent, à l'échelle de la plantation et sur l'épaisseur étudiée, il existe nettement une homogénéité du tri granulométrique du squelette de la couverture pédologique.*

Dans ce même domaine, les teneurs en fraction fine ( $< 50 \mu\text{m}$ ) passent de 1 à 4. Il nous faut maintenant mettre en évidence la logique de distribution de la fraction fine au sein du modelé.



## C. VARIABILITE DE LA TENEUR ET DE LA REPARTITION EN FRACTION FINE : PRESENTATION DES COURBES D'ISO-VALEURS EN FRACTION FINE

La quantité et la localisation de la fraction fine déterminent, en effet, les propriétés mécaniques et hydrodynamiques du sol. *La connaissance de la distribution de la fraction fine est la condition nécessaire pour procéder à l'inventaire des sols de la plantation.*

Dans ce milieu riche en quartz et pauvre en minéraux secondaires, nous ne pensons pas que les néoformations aient pu être importantes (CHAUVEL, 1977 ; FAUCK, 1970). Seuls les phénomènes de transport peuvent participer à la différenciation granulométrique du milieu. Ainsi, les courbes d'isovaleurs de la fraction fine vont nous permettre également d'appréhender le *déplacement* des particules argileuses.

### 1. Protocole d'étude et présentation des résultats

Les *prélèvements* ont été *ordonnés le long de transects* en allant du point le plus haut *de l'interfluve jusqu'au talweg* et en suivant la ligne de plus grande pente *tous les 25 m*.

Les analyses ont été effectuées comme indiqué dans le paragraphe précédent. Après la pesée des sables, la teneur en fraction fine a été obtenue en retranchant la masse de sable S de la masse de départ M :  $FF = M - S$ .

Le résultat est exprimé en pourcentage de la masse de départ, arrondi au pour cent près, de telle manière que :  $100 = FF + S$ .

En reliant tous les points appartenant à la même **classe granulométrique**, on a établi les courbes d'iso-valeur en fraction fine le long du transect. En outre, pour synthétiser **l'ensemble des résultats**, les courbes d'isovaleurs de teneur en fraction fine ont été établies pour un **versant type**.

A cet effet, **les mesures ont été effectuées sur quatre transects** situés en : A2-14/B2-11, E3-24/34, F2-01/02/03 et G6-01/11.

### 2. Présentation du versant type et des courbes d'iso-valeur

Le modelé du versant type est présenté Figure IV.3.

Les quatre transects traversent un modelé similaire caractéristique de la zone sud de la plantation, à savoir :

- un interfluve légèrement convexe avec des pentes comprises entre 0 et 3 %,
- un versant au profil convexe à l'amont qui devient concave dans la partie la plus avale, pente maximale de 8 à 10 %,
- un talweg à fond plat, large de quelques mètres à quelques décimètres. Ces talwegs sont souvent appelés "vallées sèches" (ROOSE et CHERROUX, 1966), car ils ne présentent aucune dynamique hydrologique permanente. Leur fonction est malgré tout celui d'un axe de drainage élémentaire. Aussi avons nous décidé de privilégier ce dernier aspect et d'utiliser plutôt le terme de "**bas-fond**" préférentiellement à vallée sèche (RAUNET, 1985).

L'étude sur les quatre transects a montré que *la distribution de la fraction fine dans les profils allait toujours dans le même sens, pour des positions topographiques similaires*. Ainsi, lorsqu'on observe un accroissement ou une diminution de la teneur en fraction fine dans une position donnée, cet accroissement ou cette diminution est observée dans tous les cas.

Cependant, *suivant le transect et la position au sein du même transect, l'intensité des phénomènes peut varier*. On constate, par exemple, qu'un appauvrissement ou un enrichissement peut se produire à des profondeurs différentes, ou à des distances différentes en partant du sommet.

A partir des quatre transects étudiés, nous avons alors élaboré un transect type qui est le fruit de toutes les mesures réalisées. Il s'agit donc d'un *document synthétique* qui a pour but, à ce stade de l'étude, de *mettre en évidence les processus* intervenant dans la différenciation pédologique.

### 3. Définition du versant type (Fig.IV.4)

La principale caractéristique des versants réside dans la présence d'un *gradient vertical croissant* allant d'une texture sableuse (S) à une texture sablo-argileuse (SA) puis argilo-sableuse (AS). Ce gradient peut être observé dans tous les versants.

Seul le bas-fond présente une organisation texturale différente. Dans ce cas il existe aussi un gradient vertical, mais la texture est d'abord argileuse (A) ou argilo-sableuse (AS), puis sablo-argileuse (SA) et sableuse (S), avant de redevenir sablo-argileuse (SA) et argilo-sableuse (AS).

Les épaisseurs de ces horizons texturaux sont très différentes suivant le transect et la position dans le transect.

L'horizon sableux (S) superficiel peut avoir de quelques décimètres à plus d'un mètre, mais parfois il peut également disparaître laissant affleurer l'horizon sablo-argileux (SA). Dans la partie aval du versant, cet horizon devient généralement plus épais qu'il ne l'était sur le reste du versant. Il peut aussi disparaître dans le talweg au profit d'horizons plus riches en fraction fine.

De même, l'horizon sablo-argileux (SA) présente des épaisseurs variables allant de quelques décimètres à 2 m. Il est toujours présent au sein du profil et peut affleurer à la surface : par disparition de l'horizon sableux (S) dans la partie amont du versant, ou par recouvrement de cet horizon sableux (S) dans la partie aval. De la même manière, il peut se situer en position supérieure ou inférieure par rapport à l'horizon argilo-sableux (AS).

L'horizon argilo-sableux (AS) est alors situé sous l'horizon sablo-argileux (SA) et nous ne l'avons jamais traversé (profondeur maximale de prélèvement = 4 m) ou bien il affleure dans le talweg sur une épaisseur de quelques dizaines de centimètre jusqu'à plus de 4 m (F2-03).

### 4. Conclusion

L'observation des courbes d'isovaleur permet de diviser le transect en deux domaines très distincts en fonction du type d'organisation texturale :

- un premier domaine, où la teneur en fraction fine est faible dans l'horizon de surface, mais augmente avec la profondeur. Il s'agit là de l'organisation qui est habituelle pour les sols ferrallitiques de l'Afrique de l'Ouest.

- un second domaine, où la teneur en fraction fine est importante dès la surface et où elle diminue parfois avec la profondeur.

Le premier domaine pédologique est localisé sur les versants, le deuxième domaine est situé dans les bas-fonds.

*La prise en compte du modelé permet donc d'appréhender la distribution des sols dans le paysage. Pour cela il est indispensable de localiser tous les axes de drainage, y compris les talwegs "secondaires".*

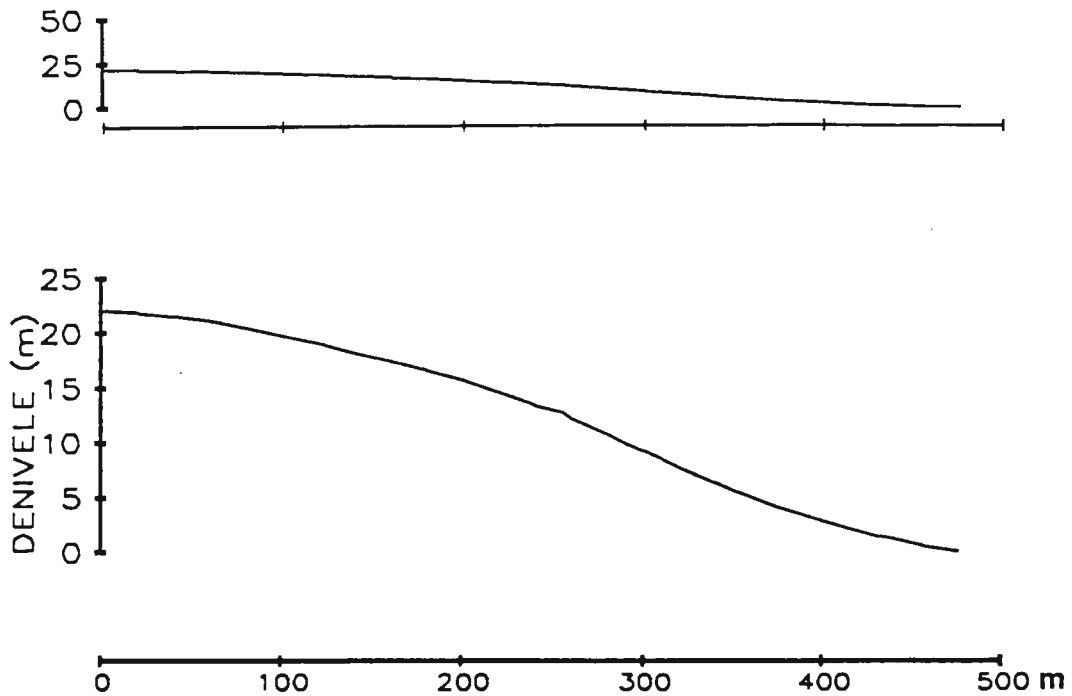


Fig.IV.3 - Représentation du profil du versant type en haut ; en bas le dénivéle a été exagéré afin de faire ressortir la forme convexo-concave du versant.

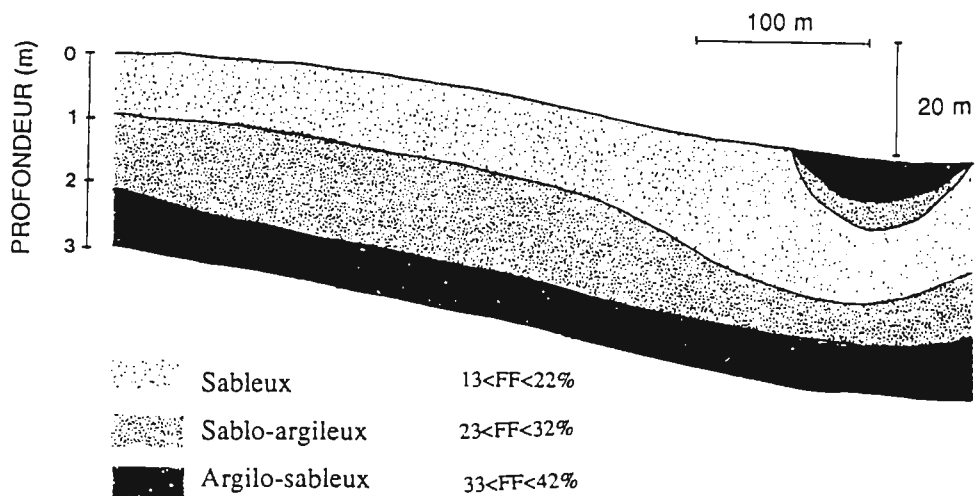


Fig.IV.4 - Courbes d'isovaleur en fraction fine (argile + limons) du versant type.

**Au total, deux domaines pédologiques doivent être considérés :**

- les versants dont les horizons de surface ont un caractère sableux,
- les talwegs, ou bas-fonds, où les horizons de surface présentent un caractère argileux.

## D. SYNTHÈSE : MISE EN PLACE DES SOLS ET ÉVOLUTION DU PAYSAGE

De l'ensemble des résultats qui viennent d'être exposés concernant le squelette et la fraction fine, nous pouvons tirer plusieurs conclusions concernant les modalités de différenciations de la couverture pédologique.

### 1. Importance de la circulation de l'eau et son rôle dans le transport des particules

Nos mesures sur le tri granulométrique des sables ont clairement montré que les différences texturales observées sur la plantation au sein de la couverture pédologique ne peuvent constituer un héritage sédimentaire.

La couverture pédologique doit être considérée comme formée d'un mélange binaire de **sables grossiers homogènes** et d'**argile**, cette dernière étant *en proportion variable*.

Les proportions sables/argile évoluent verticalement et latéralement de façon ordonnée. Deux cas de figures doivent être envisagés :

- les **versants** pour lesquels la teneur en argile augmente régulièrement avec la profondeur, mais ne dépasse pas 40 %

- les **talwegs** dans lesquels la teneur en fraction fine (argile + limons) atteint au moins 40 % dès la surface et peut dépasser les 80 % dans certains cas. Sous ces horizons enrichis en fraction fine se retrouve l'organisation texturale des versants à savoir un horizon sableux et un nouvel enrichissement en fraction fine avec la profondeur.

Nous en concluons qu'il existe *deux modes de répartition de la fraction fine* :

- l'un fait intervenir le remplissage de l'espace poral du squelette en profondeur dans le profil, et provoque une accumulation relative de sable dans les horizons les plus superficiels

- l'autre est de toute autre nature ; il apparaît être le résultat d'un transport de particules à la surface du sol par érosion superficielle ainsi que par piégeage des particules issues des tronçons situés plus à l'amont.

Il ressort de ce qui précède que, **dans les deux cas**, le vecteur du transport des particules ne peut être que l'eau.

Il est très important de noter, que l'**absence de concrétions ferrugineuses** indique néanmoins qu'il s'agit d'un **milieu drainant**. L'infiltrabilité des sols peut être, de façon très temporaire insuffisante au moment des précipitations de forte intensité, mais toute l'eau est en définitive évacuée hors du profil.

### 2. Conséquences sur la couverture pédologique

Nous avons déjà signalé qu'aucune étude sur la distribution des sols dans le paysage n'a été effectuée au sein de la zone dite "savane de Dabou" présentant pourtant un modelé différent de la zone forestière environnante. Il faut néanmoins signaler les analyses granulométriques réalisées par LENEUF (1958), dans une plantation d'hévéa de Toupah, qui indiquent des teneurs en argile identiques à celles de la plantation de Dabou. Leneuf mesure en particulier des valeurs élevées de teneur en argile dans les bas-fonds.

*De l'ensemble de nos observations nous pouvons conclure que l'évolution du sol dans cette région se fait de façon verticale et aussi latérale.* Alors que les sols de la zone forestière

présente une dynamique principalement verticale (ROOSE, 1981 ; YORO, 1984a et b par exemple).

La couverture pédologique est un continuum. Il n'existe pas de cloisonnement d'origine sédimentaire aboutissant à des évolutions pédologiques divergentes.

*A l'échelle de la plantation, on peut donc parler d'un "système-sol" (PEDRO, 1989).*

*La maille d'organisation de la couverture pédologique correspond au paysage formé par le versant convexo-concave et le bas-fond qui lui est associé\*.*

## CONCLUSION

Des variations stratigraphiques existent au sein des sables tertiaires mais, au sein de la plantation R. Michaux, celles-ci ne peuvent expliquer les évolutions texturales observées.

Les courbes de teneur en fraction fine nous permettent de dire que l'évolution du système pédologique s'est effectuée de haut en bas sous l'influence des transports de particules grâce à la dynamique de l'eau. L'évolution de la teneur en fractions fines s'est traduite par une fermeture de la porosité vers le bas du profil, du fait d'un remplissage par des particules solides colloïdales. Cette fermeture a provoqué des déplacements obliques d'eau, et certainement de particules, vers le talweg.

La couverture pédologique s'est organisée autour du demi interfluve, et son évolution a été fonction des conditions pédohydriques.

*Le paysage a ainsi acquis un aspect voisin de celui qui caractérise la zone soudano-guinéenne : savane arbustive, longues pentes à versant quasi-rectiligne et faible dénivelés, colmatage argilo-sableux du bas-fond.*

On peut d'ores et déjà dire, que tout ce qui peut modifier la circulation de l'eau dans les sols peut influencer sur l'évolution de la couverture pédologique à moyen et peut-être même à long terme.

---

\* Parler de maille suppose que chaque individu est indépendant des autres. Dans ce cas, il faut constater que le bas fond est dépendant des deux versants qui le surplombent et l'étude pédologique doit être menée en tenant compte de l'ensemble du bassin versant élémentaire. Mais, si le bas fond est important dans la compréhension du fonctionnement pédologique du milieu, il est marginal pour expliquer les rendements à l'échelle de la plantation. L'étude le long d'un versant est donc suffisante pour atteindre nos objectifs.



**CHAPITRE V****ANALYSE DE LA VEGETATION  
EN TANT QU'INDICATEUR  
DU FONCTIONNEMENT  
DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE**

Nous avons vu précédemment que l'organisation de la couverture pédologique se fait de façon ordonnée dans le paysage, et l'on peut y définir trois grands domaines : amont et aval du versant, et bas-fond.

Ceci étant, il nous faut, dans la caractérisation des sols, prendre en compte non seulement des aspects pédologiques généraux, mais aussi certaines données relatives au fonctionnement des sols à l'échelle plus locale qui conditionnent le rendement du palmier. Nous allons montrer comment la végétation spontanée constitue un critère d'évaluation des caractéristiques fonctionnelles du sol à l'échelle décamétrique.

## SITUATION DU PROBLEME

Les mesures de rendement disponibles au sein de la plantation sont des moyennes calculées sur des blocs kilométriques (100 ha), pouvant recouvrir plusieurs unités de modelé. Les blocs ont été séparés *a priori* en deux groupes distincts suivant leur histoire culturale : premier ou second cycle de culture (BOURGUET, 1980).

Les rendements des blocs de second cycle étant inférieurs de 30 % à ceux du premier cycle, cette séparation a pour conséquence d'attribuer les baisses constatées aux opérations d'abattage et replantation (CALIMAN et al, 1987).

Mais il n'est pas évident *a priori* que les blocs soient homogènes : homogènement favorables en premier cycle, homogènement dégradés en second cycle. Par conséquent il nous a paru indispensable de vérifier si les dégradations concernaient uniquement les parcelles de second cycle, et si toutes les parcelles de second cycle étaient uniformément dégradées.

*Pour repérer les zones dégradées à l'échelle du palmier ou même de l'unité de modelé, les résultats de rendement ne peuvent être utilisés (voir plus haut), pas plus que l'aspect des palmiers eux mêmes (voir chapitre II, paragraphe C). La végétation adventice, et ses modifications à différentes échelles de temps et d'espace, peuvent alors constituer d'excellents révélateurs des modifications intervenant au sein de la couverture pédologique.*

## A. METHODE SUIVIE

A première vue, l'hétérogénéité de la végétation donne une impression de complexité, car des changements interviennent à de nombreuses échelles, depuis les milliers d'hectares jusqu'au mètre carré. Par conséquent, il est nécessaire d'introduire une hiérarchie dans la description de l'organisation de la végétation et de limiter nos observations aux situations qui apportent le plus d'informations.

### 1. Prise en compte du microclimat

Avant tout, pour pouvoir mettre en évidence la part que prend le sol dans les évolutions du milieu, il est important de comparer des situations similaires du point de vue du palmier. Rappelons en effet que celui-ci induit un microclimat (plus frais et humide) sous la couronne de palmes, et améliore la circulation de l'eau dans le sol grâce à son imposant système racinaire.

Nous avons donc choisi de faire nos *observations sur les blocs où les palmiers ont plus de dix ans et assurent une couverture totale du sol.*



## 2. Observations suivant le modelé

Nous avons montré au chapitre précédent que la couverture pédologique est organisée dans le paysage en fonction du modelé. C'est suivant cette logique que nous avons caractérisé le sol.

## 3. Comparaison des situations en première et second cycle de culture

Nous avons repris cette distinction entre situations de premier et second cycle. ***Mais la parcelle ou le bloc ne constituent pas la maille d'organisation du paysage.***

Afin de pouvoir mettre en évidence les dégradations apparues au sein de la plantation nous allons ***décrire et comparer des versants*** en premier et en second cycle de culture.

## B. CHOIX D'UNE PLANTE INDICATRICE

Le raisonnement suivi a été celui d'un phytoécologue dont le principe est de choisir une plante dont la présence est fortement liée au caractère étudié. Dans notre cas, le caractère étudié est la dégradation des conditions édaphiques pour le palmier, mais certainement pour toute la végétation comme le signale DUFOR et OLIVIN (1985). Il s'agissait d'orienter notre choix sur une plante apportant le maximum d'informations sur l'évolution floristique globale (palmier inclu).

Nous avons constaté la présence, ***en toute saison et sur tous les points de la plantation***, de la fougère *Nephrolepis sp.* comme ***épiphyte sur le stipe de tous les palmiers, sans aucune exception***. Cette fougère est donc parfaitement adaptée au climat qui règne sous la couronne de palmes de ***l'ensemble de la plantation***.

Mais *Nephrolepis* peut s'implanter au sol. Sa présence est alors associée à un bon développement du couvert herbacé. A l'inverse, son ***absence au sol*** est associée à un ***faible développement de la végétation herbacée***.

***Ainsi, l'absence de Nephrolepis au sol pourrait être indicatrice d'une dégradation notable des conditions pédologiques, sous un climat et un microclimat toujours identiques.***

\*\*\*\*\*

Etant donné ce qui précède, la distribution des fougères a été étudiée en partant du sommet jusqu'au bas-fond de parcelles en premier et en second cycle de culture âgées de plus de 10 ans.

## C. RESULTATS

### 1. Distribution générale des fougères

Quelle que soit la situation, on constate que la présence ou l'absence de fougère, correspond à ***des surfaces "homogènes"*** de quelques centaines de mètres carrés à quelques hectares.

*Le passage d'un type de surface à l'autre est brutal*, puisqu'il se fait sur une distance comprise entre un et trois ou quatre palmiers (10 à 30m).

## 2. Distribution des fougères en premier cycle

Les fougères sont *présentes sur l'ensemble du versant excepté quelques plages de taille réduite dans les parties amonts*.

- a) Lorsque la fougère se développe, il existe deux modalités d'apparition :
- soit elle apparaît partout, c'est-à-dire sur le tas de palmes et la ligne de circulation (Fig.V.1),
  - soit la fougère n'apparaît que sur le tas de palmes (Fig.V.2).

Nous avons constaté que la situation "*présence de fougères sur la ligne de circulation, absence sur le tas de palmes*" *n'existe jamais*.

- b) Il existe des surfaces dépourvues de fougères, sur la ligne et le tas de palmes (Fig.V.3).

Dans *les bas-fonds* les fougères sont *toujours nombreuses*.

## 3. Distribution en second cycle

Le *versant est entièrement dépourvu* de fougères aussi bien dans la partie aval que la partie amont (Fig.V.4). En revanche, *le bas-fond est envahi* par les fougères (sur la ligne de circulation et le tas de palmes).

# D. DISCUSSION

## 1. Hétérogénéité des sols de la plantation

Jusqu'à présent la plantation était considéré comme un milieu homogène où les parcelles se distinguaient uniquement par leur passé cultural. Mais nous avons vu au chapitre précédent qu'il est indispensable de distinguer les versants (parties aval et amont), des bas-fonds.

A présent il apparaît qu'il faut tenir compte non seulement de l'organisation textural, mais aussi des caractéristiques fonctionnelles vis-à-vis de la végétation.

La répartition des fougères tend à montrer qu'*en première plantation, le versant n'est pas homogène* du point de vue des conditions pédologiques, puisque l'on peut distinguer trois situations :

1. les fougères recouvrent intégralement le sol
2. les fougères recouvrent seulement les tas de palmes
3. les fougères sont totalement absentes (cette zone correspond à 10 à 20 % de la surface).

Le cas 1 correspond à toute la partie aval du versant. Les cas 2 et 3 ne se retrouvent qu'en amont (le cas 3 ne représentant toujours qu'une faible surface de l'amont).

*Le versant de deuxième génération est homogène*, puisqu'il ne montre jamais de fougères. Les bas-fonds sont également homogènes, présentant des fougères, indépendamment du cycle du culture.

Il est ainsi possible de définir différentes situations en fonction du caractère plus ou moins limitant ou dégradé du sol. Ainsi, *en allant du milieu le plus propice* à la végétation *vers le milieu le plus limitant*, nous avons :

1. le bas-fond dans toutes les situations
2. l'aval en première plantation, avec toute la surface couverte par la fougère
3. l'amont de première plantation où la couverture est hétérogène (10 à 20 % de la surface dépourvue de fougères)
4. le versant, amont et aval, de deuxième génération.

Par rapport aux situations que nous avons définies au chapitre précédent (différenciation texturale), nous avons pu repérer différents cas de figure, plus ou moins limitants pour la végétation. Cette distinction va nous permettre de raisonner l'implantation des fosses pédologiques.

## **2. Signification de l'indicateur phytoécologique.**

Pour expliquer les baisses de rendement, et le mauvais développement de la végétation adventice, nous avons vu que l'IRHO a exclu le facteur phytopathologique ainsi que les carences minérales. En revanche notre analyse (première partie) nous a permis de montrer que le stress hydrique peut être à l'origine de ces phénomènes.

Pourtant le climat est le même sur l'ensemble de la plantation (3 500 ha à très faible altitude), alors que la dégradation floristique ne se déclare que sur une partie de la plantation. Il est bien connu, que la végétation est très sensible au climat ; mais aussi au pédoclimat, c'est-à-dire au « climat interne du sol », caractérisé par ses variations de température et d'état hydrique.

Dans le cadre de la plantation, sous un climat général identique, le climat du sol est sous la dépendance :

- de la position dans le modelé,
- des caractéristiques de l'espace poral.

Ainsi les sols de bas-fonds permettent l'installation des fougères et un bon développement de la plante de couverture dans les deux situations culturales.

En revanche, sur les sols de versant, l'organisation de l'espace poral peut être variable suivant les contraintes subies par le sol.

*A ce stade de notre étude nous pouvons formuler l'hypothèse d'une évolution physique des sols ayant pour conséquence une moindre disponibilité de l'eau. In fine les conditions édaphiques deviennent défavorables pour les végétaux (y compris le palmier), on peut parler d'une dégradation.*



Fig. V.1 - Fougères sur l'ensemble de la surface (tas de palmes et lignes de circulation) au cours du premier cycle de culture.



Fig. V.2 - Présence de fougères limitée au tas de palmes au cours du premier cycle de culture.



Fig. V.3 - Absence totale de fougères sur le sol en premier cycle de culture, mais présence de fougères sur les stipes.



Fig. V.4 - Absence totale de fougères sur le sol en second cycle de culture.

## CONCLUSION

*Des données précédentes, nous concluons en définitive que ni l'étude "pédogénétique", ni les distinctions de nature agronomique relatives au changement de cycle de culture ne peuvent à elles seules suffire pour décrire correctement le milieu édaphique.*

Si l'on considère que la présence de fougères est un bon indicateur de l'évolution du milieu, nous en concluons que *les versants de premier cycle sont hétérogènes*. Si la plus grande partie du versant et les bas-fonds semblent favorables au développement de la végétation, il existe des zones de faible superficie, localisées et parfaitement délimitées où les conditions sont très défavorables.

Des données précédentes nous en concluons aussi que, *du premier au deuxième cycle de culture, la dégradation du milieu apparaît non seulement importante, mais surtout généralisée.*

---

## CHAPITRE VI

# SITUATION ET CARACTERISATION DES PROFILS PEDOLOGIQUES

Au cours des chapitres IV et V, nous avons proposé des hypothèses afin de reconstituer les conditions de mise en place de la couverture pédologique. Nous avons également pu utiliser la végétation en tant qu'indicateur possible de son fonctionnement actuel.

Dans ce chapitre, ces éléments vont nous permettre de choisir des situations représentatives, et de procéder à la description de profils pédologiques dans les situations ainsi définies.

## INTRODUCTION

Notre travail d'analyse du milieu a débuté par une étude des sols sur des échantillons prélevés à la tarière (une centaines de sites). Puis nous avons repéré des situations représentatives de l'évolution du milieu, en particulier grâce à la végétation spontanée. A partir de là, nous avons sélectionné quatre toposéquences sur lesquelles des fosses ont été décrites et des analyses chimiques, physiques et physico-chimiques ont été effectuées.

Seuls les résultats provenant des profils creusés sur les deux toposéquences ***les plus représentatives des stades d'évolution*** vont être présentées dans ce mémoire.

Nous avons donc sélectionné (Fig.VI.1) :

- un versant qui est situé dans les parcelles B2-11, A2-14/13. Il s'agit d'un premier cycle de culture dont les palmiers ont été plantés après défriche de la savane, en 1969.
- un autre versant qui est situé dans les parcelles F2-01/02/03. Il s'agit de parcelles en second cycle de culture, dont les palmiers ont été plantés en 1975, après abattage mécanique d'une précédente culture de palmiers.

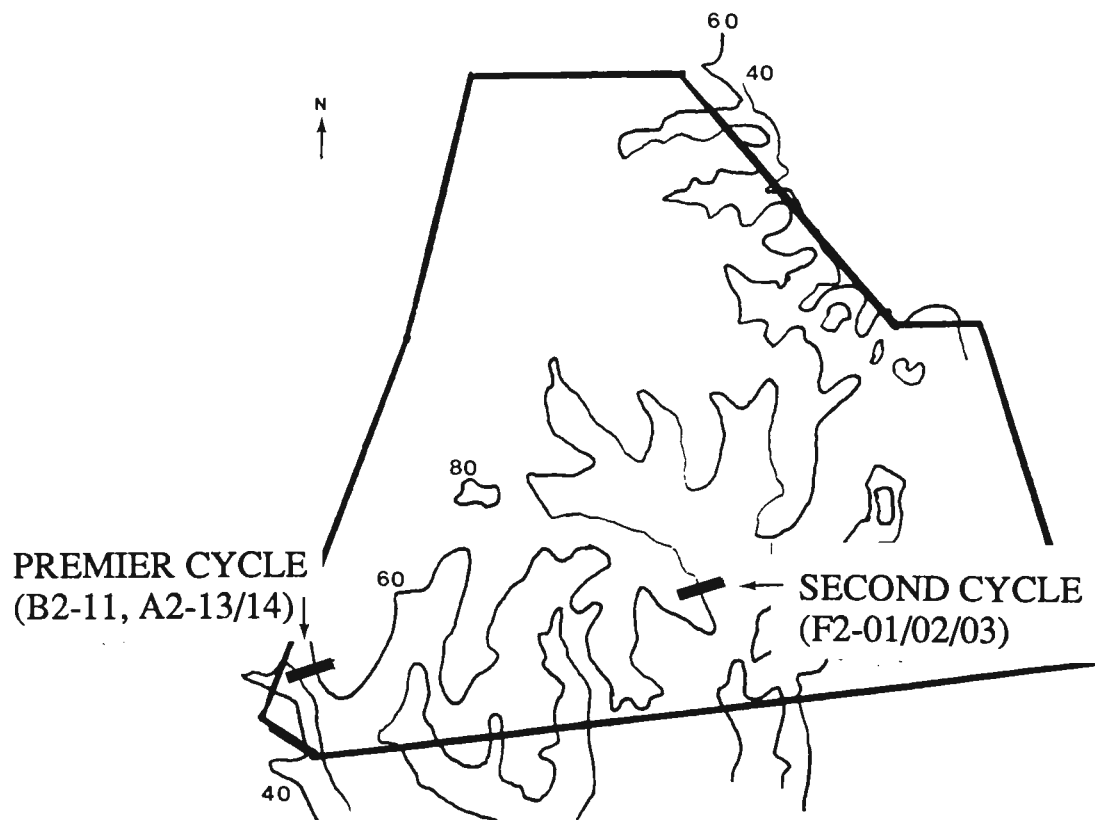


Fig.VI.1 - Localisation des deux versants étudiés au sein de la plantation et du modelé.



## A. CONTEXTE TEXTURAL ET PEDOCLIMATIQUE

Les prélèvements ont été effectués comme indiqué au chapitre IV. Les horizons texturaux que nous avons définis sont les suivants :

- sableux (S) : fraction fine comprise entre 10\* et 22 %
- sablo-argileux (SA) : fraction fine comprise entre 23 et 32 %
- argilo-sableux (AS) : fraction fine comprise entre 33 et 42 %\*\*.

### 1. Versant de premier cycle (Fig.VI.2)

Un gradient de texture vertical est observé sur l'ensemble du versant, mais l'épaisseur des horizons n'est pas constante le long de ce versant. L'horizon sableux (S) de surface présente en particulier un épaissement à l'amont de la partie convexe, un amincissement à l'aval de la partie convexe, et à nouveau un important approfondissement (plus de 1,50 m) dans la partie concave.

L'horizon sablo-argileux (SA) a une épaisseur à peu près constante de 2 m. Par conséquent, la profondeur d'apparition de l'horizon argilo-sableux (AS) varie dans le même sens que l'épaisseur de l'horizon sableux (S) et se situe aux environs de 3 m.

Le versant est couvert de fougères sauf au milieu de la partie convexe. Rappelons que les limites de ces zones sont nettes, puisqu'en une dizaine de mètres on passe d'un sol quasiment nu à un sol couvert d'une végétation très dense.

### 2. Versant de second cycle (Fig.VI.3)

Le gradient vertical est respecté, mais les variations d'épaisseur ne sont pas identiques à celles du versant précédent.

L'horizon sableux de surface se termine en biseau vers le bas de la partie convexe du versant. Il réapparaît dans la partie concave où il devient très profond (plus de 1,50 m).

L'horizon sablo-argileux (SA) présente une épaisseur de 1,50 m qui tend nettement à diminuer lorsque cet horizon devient affleurant (70 cm d'épaisseur environ). Par conséquent l'horizon argilo-sableux (AS) est proche de la surface ; il se situe souvent à moins de 2 m de profondeur et même à moins d'un mètre vers le bas de la partie convexe de ce versant.

Rappelons qu'il n'y a aucune fougère sur ce transect, ni sur l'ensemble de ce versant.

### 3. Discussion

Les deux versants ont une organisation texturale similaire : le gradient textural vertical (enrichissement en fraction fine avec la profondeur) est observé dans les deux cas, ainsi que l'approfondissement de l'horizon sableux en bas de versant et un colmatage argilo-sableux (non représenté) du bas-fond.

En revanche l'intensité du phénomène n'est pas la même sur les deux versants. On observe ainsi un moindre développement des horizons sableux et sablo-argileux sur le versant de second cycle. Il sera nécessaire d'implanter les fosses d'observation et de comparer des sites où les profils texturaux sont identiques.

---

\* Les résultats inférieurs à 10 % sont exceptionnels et il n'a pas été nécessaire de constituer une classe spécifique.

\*\* Les résultats supérieurs à 42 % n'existent pas sur le versant.

## B. LOCALISATION DES PROFILS

Rappelons que l'objectif de ce travail s'inscrit dans un cadre géographique et temporel bien déterminé. Il s'agit de mettre en évidence la part que peut prendre le sol dans les baisses de rendement qui interviennent *à l'échelle de la plantation, en passant du premier au second cycle de culture.*

Le choix des sites d'études a été effectué pour atteindre au mieux cet objectif.

### 1. Au sein du versant (Fig.VI.4)

Nous avons procédé à l'ouverture d'une fosse d'observation dans chacune des unités du modelé, à savoir :

- Haut de versant (H),
- Mi-versant (M),
- Bas de versant (B).

Les deux cycles de culture ayant été pris en compte, nous avons donc les fosses :

- 1H, 1M, 1B en premier cycle
- 2H, 2M, 2B en second cycle

Afin de déterminer l'origine de la dégradation pédoclimatique pouvant parfois intervenir dès le premier cycle de culture, une fosse supplémentaire a été installée à mi-versant du premier cycle. La nomenclature utilisée pour ce site est : 1M $\underline{n}$  (premier cycle, mi-versant, sol  $\underline{n}$ u).

La limite des zones avec et sans fougères étant rapide, il faut remarquer que la fosse 1M $\underline{n}$  (mi-versant, sol nu) est située 15 m à l'amont de 1M (mi-versant avec fougères).

### 2. Par rapport à l'arbre

Nous avons signalé au chapitre III que les techniques culturales entraînent l'apparition de trois compartiments pédologiques à l'échelle de l'arbre. Ces compartiments correspondent en surface au rond, au tas et à la ligne de passage, chacun subissant des contraintes et une histoire culturelle différentes.

Afin de décrire l'impact des opérations d'abattage-replantation, nous avons décidé d'implanter nos *profils sous le tas de palmes*. Cette zone ne subit en effet aucune contrainte mécanique et un apport minimal de fertilisants en cours d'exploitation.

Pourtant, en second cycle, et même éventuellement en premier cycle de culture, l'absence de fougères indique clairement que ce volume pédologique peut malgré tout subir d'importantes dégradations. *Il faut noter que l'actuel tas de palme en second cycle, correspond à l'ancienne ligne de circulation lorsque la parcelle était en premier cycle de culture.*

La comparaison des différentes situations au travers de l'organisation pédologique *sous le tas de palmes* nous permettra de mettre en évidence les caractéristiques de la dégradation et les mécanismes qui en sont à l'origine.

Cette localisation permet aussi de prendre en compte l'activité biologique qui est un facteur d'organisation extrêmement important en milieu tropical, et dont la disparition caractérise les parcelles de second cycle.

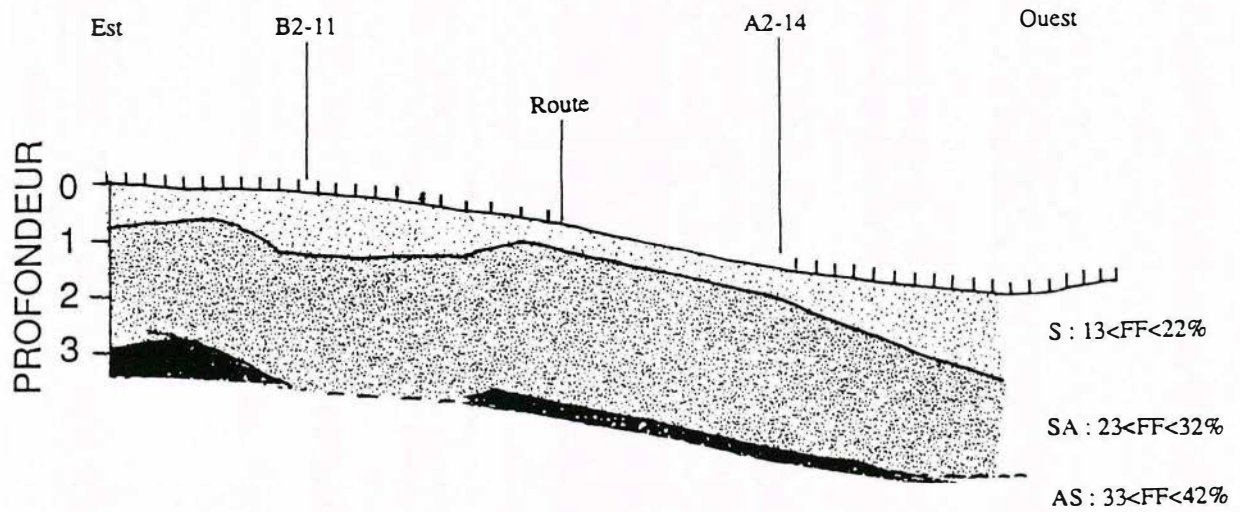


Fig.VI.2 - Courbes d'isovaleurs en fraction fine et localisation des fougères (symbolisées par les traits verticaux millimétriques) sur le versant de premier cycle étudié. Une route sépare les blocs A2 et B2. Les prélèvements sont effectués tous les trois palmiers, soit environ 24 m (3 x 7,80 m).

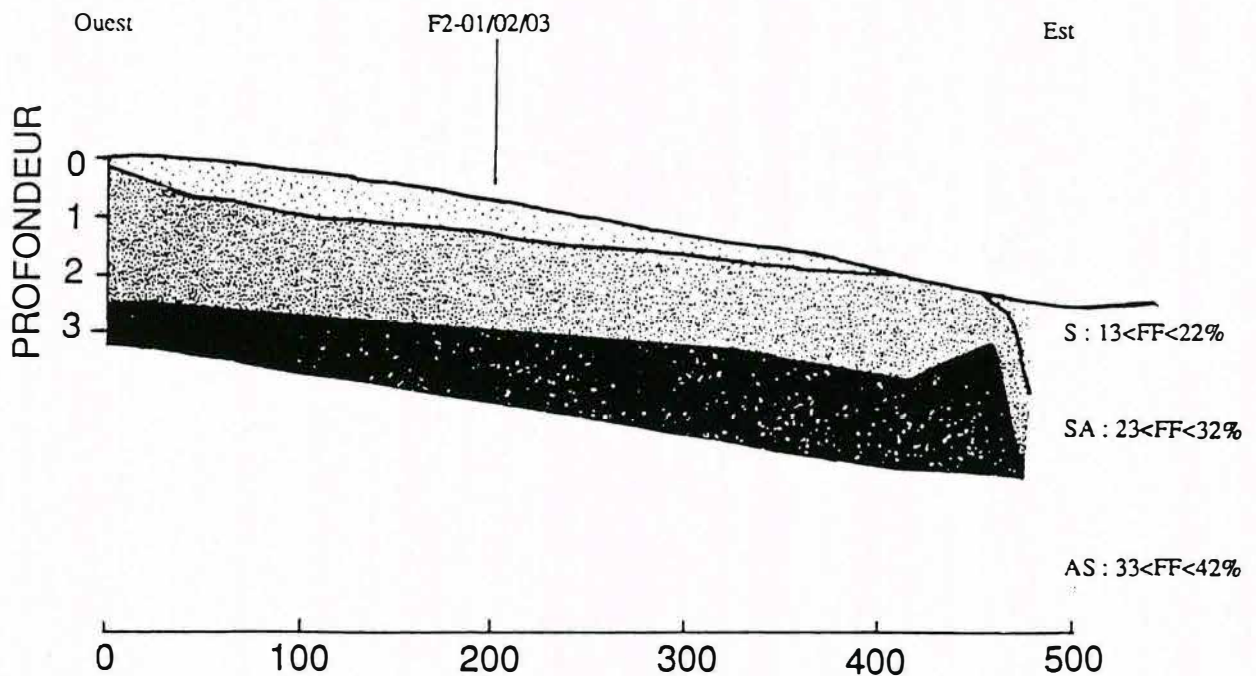


Fig.VI.3 - Courbes d'isovaleur en fraction fine pour le versant de second cycle étudié. Rappelons qu'il y absence de fougères sur l'ensemble du versant.

*Les réorganisations de surface* (croûtes plasmiques, figures d'érosion), qui apparaissent *sur le rond et la ligne* peuvent être un indice de dégradations plus profondes (CASENAVE et VALENTIN, 1989 ; FRITSCH et al., 1990), et seront également décrites.

Dans les paragraphes suivants, nous ne présenterons que la *synthèse des observations* pour les différentes unités de modelé des deux cycles de culture. A cet effet les sols de haut et mi-versant (1H et 1M, ainsi que 2H et 2M) seront traités ensemble. *Nous avons vérifié par ailleurs la généralité des observations présentées ici.*

## C. VERSANT DE PREMIER CYCLE DE CULTURE

Le versant étant hétérogène du point de vue modelé et végétation spontanée, trois situations ont été distinguées :

- le versant convexe avec fougères (1H et 1M)
- le bas de versant concave avec fougères (1B)
- le versant convexe sans fougère (1Mn)

### 1) Partie convexe avec fougère : fosses 1H et 1M (Fig.VI.5, 1M)

#### Caractéristiques de surface

Un micro-horizon sableux constitué de grains de quartz propres, brillants et déliés, surmonte un microhorizon plasmique. Ce dernier est continu sur le rond où il ne présente aucune porosité biologique. Sur la ligne de circulation, des touffes de végétation et des pores biologiques (fourmis et vers de terre) le rendent discontinu.

#### Horizon A<sub>0</sub>

L'horizon épigé d'origine biologique a une épaisseur de 20 à 30 cm. La densité de racines de niveau II, III est telle que l'on peut parler d'un "mat racinaire" similaire à celui que l'on observe sous une prairie. La structure est principalement particulaire, composée de grains de quartz déliés et brillants. Entre les volumes particulaires, les agrégats grumeleux grossiers sont très cohérents.

Cet horizon, de couleur gris foncé (10 YR 3/1), contient essentiellement des débris végétaux encore intacts.

#### Horizon A<sub>1</sub>

Au dessous de l'horizon épigé, on atteint la partie fortement minérale du sol. Le haut de cet horizon correspond à la surface du sol lors de la mise en culture. Aussi, entre 0 et 10 cm la quantité de racines diminue nettement, la texture sablo-argileuse du sol confère à l'horizon une structure continue, à sous-structure polyédrique fine à grossière. Les grains de quartz brillants et déliés sont situés préférentiellement entre ces éléments structuraux, d'une cohésion assez importante.

La couleur reste identique, gris foncé, sans qu'il soit possible de distinguer des débris végétaux identifiables. Il s'agit d'un horizon A1.

#### Horizon A<sub>R</sub>

Entre 10 et 25/35 cm se situe la strate de racines primaires qui distingue cet horizon du précédent. Il correspond à un volume largement remanié par les racines, nous l'avons donc nommé AR.

Si l'on ne considère que la partie pédologique de cet horizon (à l'exclusion des racines) les caractères principaux restent identiques à ceux de l'horizon A1 (texture, couleur, cohésion, etc...).

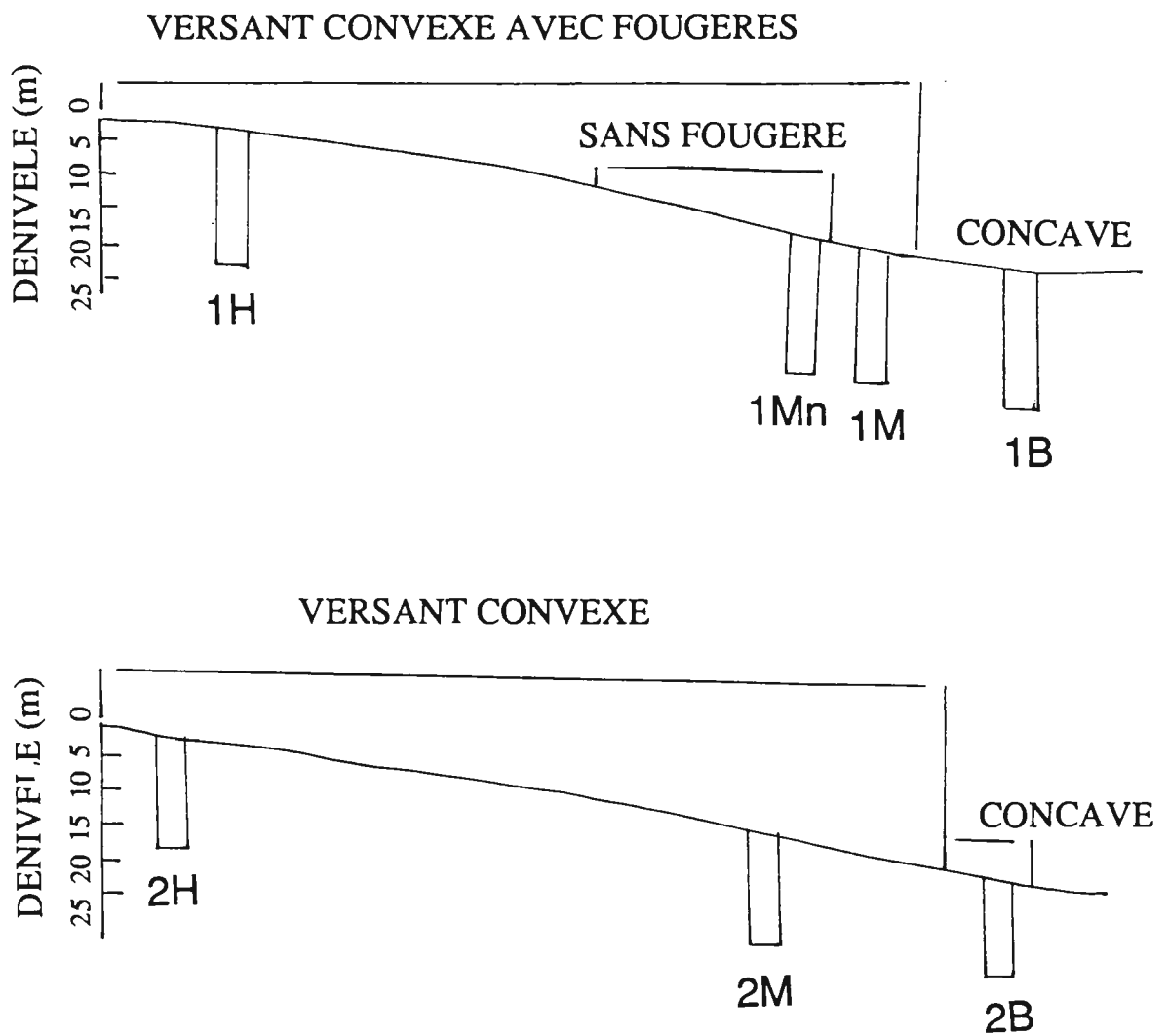


Fig.VI.4 - Localisation des fosses au sein des versants de premier (en haut) et de second (en bas) cycle de culture du palmier. La longueur des deux versants est identique : 500 m.

### Horizons A<sub>12</sub> et B

L'épaisseur de l'horizon A<sub>12</sub> est de 40 cm en haut de versant alors qu'à mi-versant le même horizon a un développement de 100 cm. La transition avec l'horizon B se fait sur une vingtaine de centimètres en haut de versant, elle est nette à mi-versant. Par conséquent l'horizon B apparaît à environ 1 mètre de profondeur en haut de versant, et seulement à 1,30 mètre à mi-versant.

La structure est toujours massive. Au fur et à mesure que l'on descend dans le profil les débits polyédriques sub-anguleux sont de plus en plus grossiers et cohérents.

Avec l'augmentation de la profondeur et de la teneur en argile, on note aussi l'impression de fraîcheur de ces agrégats de la sous-structure.

## 2. Partie convexe sans fougères : fosse 1Mn (Fig.VI.5 - 1Mn)

La croûte plasmique continue est devenue affleurante. Les grains de quartz ont subi un déplacement et s'accumulent sur les reliefs du terrain en aval, (en particulier les tas de palmes). Sur la ligne de circulation, il apparaît de mini-marches d'escalier (1 à 2 cm), et des racines de niveau II, III et IV émergent du sol sur quelques centimètres.

L'horizon épigé est quasi-inexistant, de même que le mat racinaire.

L'horizon A<sub>0</sub> a une structure grumeleuse grossière nette juxtaposée à une structure polyédrique sub-anguleuse grossière. Il présente une couleur brun grisâtre foncé (10 YR 3/2), et une épaisseur de 10 cm.

L'horizon AR est à structure continue, de couleur brun grisâtre foncé (10 YR 3/2) et d'une épaisseur de 10 à 20 cm. Il existe des sables brillants et déliés répartis dans la masse.

L'horizon A<sub>12</sub> de couleur brun foncé (10 YR 3/3) est très peu épais puisqu'il ne dépasse pas 30 cm. Il présente des taches plus claires (brun jaunâtre foncé, 10 YR 4/4). La cohésion estimée au couteau est grande puisqu'il est impossible de faire pénétrer entièrement la lame d'un couteau.

Le sommet de l'horizon B se situe à environ 60 cm de profondeur. Il présente une couleur brun jaunâtre foncé qui passe à jaune brunâtre (10 YR 6/6) vers 1 m de profondeur. Il est aussi très cohérent.

## 3. Partie concave : fosse 1B (Fig.VI.5 - 1B)

Les réorganisations sont identiques à celles de la partie convexe : un microhorizon sableux qui surmonte un microhorizon plasmique.

L'horizon épigé A<sub>0</sub> présente un développement moindre avec seulement 5 à 10 cm d'épaisseur.

L'horizon A<sub>1</sub> présente aussi une épaisseur de 5 cm. Il est de couleur noire (10 YR 0/2), et tache fortement les doigts. Cet horizon est peu cohérent mais friable. Nous avons observé, sur la face du profil, que cet horizon reste humide même en fin de saison sèche.

L'horizon AR présente un développement plus important (30 cm) qu'à l'amont du versant. La structure est continue à sous-structure polyédrique sub-anguleuse grossière, très fragile et friable.

Sa couleur est noire (10 YR 0/2).

L'horizon A<sub>12</sub> présente une structure et une couleur identiques à l'horizon AR. Il se distingue de l'horizon précédent par l'absence de racines de niveau I.

La couleur noire se retrouve jusqu'à 80 cm de profondeur, puis il apparaît une transition de 20 cm environ. La base de l'horizon A<sub>12</sub> se trouve donc vers 1 m de profondeur.

Un horizon éluvié (E) apparaît de 100 à 150 cm. L'accumulation relative de quartz propres et brillants donne une couleur brun foncé (10YR 3/3). Des bandes plus colorées et argileuses apparaissent par endroit.

De 150 à 180 cm, malgré l'augmentation de la teneur en argile, la couleur reste brun foncé (10 YR 3/3), et la structure continue .

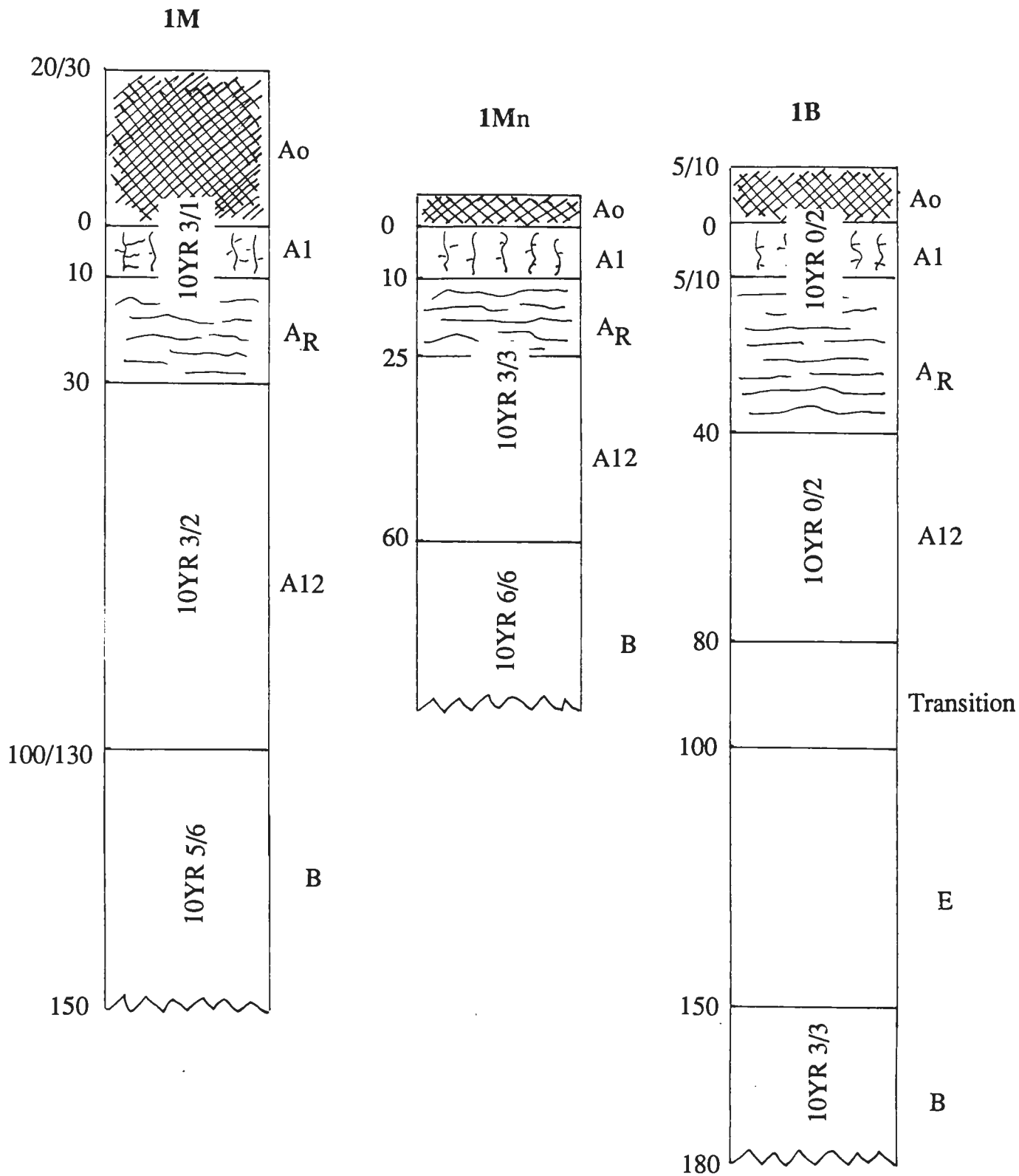


Fig. VI.5 - Représentation schématique des profils de premier cycle de culture.

## D. VERSANT DE SECOND CYCLE DE CULTURE

Le versant étant totalement dépourvu de fougères, seules deux situations ont été distinguées :

- le versant convexe
- le bas de versant concave et sableux

### 1. Partie convexe : fosses 2H et 2M (Fig.VI.6 - 2M)

On note les faits suivants :

- un microhorizon sableux, comprenant parfois des vésicules (air piégé), surmonté d'une croûte plasmique
- pas de figure d'érosion, mais sur l'ensemble du versant les débris organiques et les sables déliés recouvrent le sol s'organisent en réseaux (lignes anastomosées), qui suivent le sens de la pente.

Horizon A0 épigé quasi-inexistant, pas de mat racinaire.

L'horizon A1, d'une épaisseur de 10 cm, contient peu de racines de niveau III ou IV. Il subsiste des grains de quartz déliés, mais la structure est continue et très massive. La sous-structure est absente, donnant l'impression d'une prise en masse\*. Cet horizon est extrêmement cohérent. La couleur est gris foncé (10 YR 3/1).

L'horizon AR présente une structure continue très massive sans donner toutefois l'impression de structure "fondue" caractéristique de l'horizon précédent. Cet horizon est très cohérent et de couleur brun grisâtre foncé (10 YR 3/2). L'épaisseur est variable de 10 à 20 cm.

L'horizon A12, de couleur brun grisâtre foncé (10 YR 3/2), présente une épaisseur de 20 à 40 cm. La structure y est continue à débit polyédrique sub-anguleux grossier. Les éléments structuraux sont cohérents mais friables à l'état sec. La cohésion du sol rend difficile la pénétration du couteau.

Sur une épaisseur de 20 à 30 cm, entre les horizons A12 et B on observe une zone de transition. Elle est marquée par une imbrication des deux horizons, de forme ondulée.

L'horizon B apparaît vers 80 cm de profondeur. Le fond matriciel est de couleur brun jaunâtre foncé à brun jaunâtre. Il existe de nombreuses traînées noires pour la plupart sub-verticales. Les autres peuvent prendre n'importe quelle direction et sont parfois anastomosées.

Ces traînées sont de forme et de taille variées. Parfois il s'agit de cylindres noirs aux limites nettes et de diamètre de quelques millimètres (anciennes racines bouchées). Il peut aussi s'agir de volumes centimétriques aux limites peu nettes qui évoquent des zones d'écoulement préférentiel de solutions chargées en matières organiques.

### 2. Bas de pente : fosse 2B (Fig.VI.6 - 2M)

L'organisation de surface est similaire à celle de la zone convexe.

L'horizon A0 épigé est quasiment absent

L'horizon A1 a une épaisseur de 15 cm. La structure est continue et traversée par un réseau de sables déliés et brillants organisés en lignes anastomosées. Entre ces lignes se trouvent des concentrations plasmiques compactes qui résistent à l'écrasement. La couleur de ces agrégats est noire (10 YR 0/2).

L'horizon AR d'une épaisseur de 20 cm, est aussi de couleur noire. La structure est continue à tendance particulaire. Il reste peu de quartz déliés, mais en revanche, il faut noter beaucoup de galeries de termites d'une couleur jaune brunâtre (10 YR 6/4 à 6/6).

L'horizon A12 est marqué par l'augmentation de la cohésion et la couleur brun grisâtre foncé jusqu'à 1 m de profondeur environ.

De 10 à 150 cm se développe un horizon éluvié (E) d'une structure particulaire et de faible cohésion.

---

\* Si l'on tire sur une racine, son épiderme reste accroché à la phase minérale du sol. Il ne vient que le faisceau central conducteur.



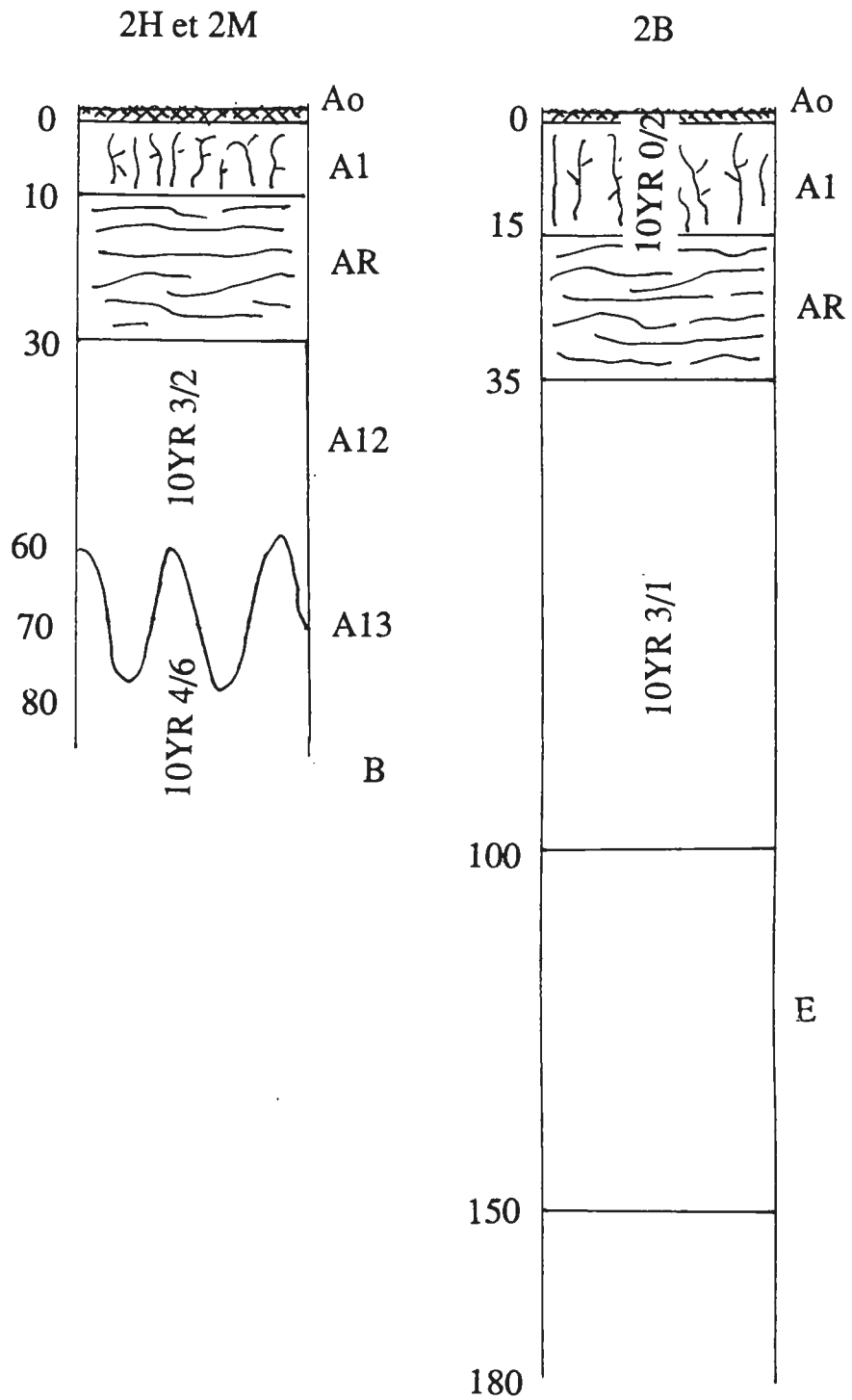


Fig. VI.6 - Représentation schématique des profils de second cycle de culture.

## E. SYNTHÈSE ET DISCUSSION

Il s'agit de dégager les traits communs des profils, de mettre en évidence les caractères qui changent avec le second cycle de culture et de faire des hypothèses sur le fonctionnement pédologique.

### Organisations de surface

Il existe dans toutes les situations une *pellicule plasmique*, parfois surmontée d'un microhorizon sableux. Il s'agit là d'une dégradation de l'organisation superficielle du sol, sous l'*impact des gouttes de pluie*.

En premier cycle de culture avec fougères, les sables déliés sont restés en place, il s'agit d'une croûte structurale (CASENAVE et VALENTIN, 1990). En second cycle, et même en premier cycle de culture sans fougères, les sables sont entraînés en même temps que les débris organiques vers l'aval, laissant apparaître la croûte plasmique, il s'agit alors d'une croûte d'érosion, indiquant l'*existence de ruissellement*.

Il faut noter que la croûte plasmique est permanente sur le rond (l'activité biologique ne la détruit pas), ce qui est observé habituellement dans des conditions beaucoup plus sahéniennes (c'est-à-dire avec un très faible couvert végétal). On y observe parfois une prolifération d'algues, preuve qu'il existe de l'eau libre en surface à certaines périodes ; rappelons que 20 % des précipitations circulent le long du stipe avant d'arriver au sol et qu'elles ne peuvent s'infiltrer du fait de la croûte plasmique.

### Horizon épigé, A0

Il présente un développement d'environ 20 à 30 cm sous le tas de palmes des parcelles de premier cycle avec fougères.

En revanche, il est quasi-inexistant dans les parcelles de second cycle et les sites sans fougères de premier cycle. *Malgré des apports de matières organiques identiques, les conditions ne sont plus réunies pour que l'horizon épigé se forme*. En particulier, nous avons noté la faiblesse, en nombre et en volume, de placages de récoltes d'Ancistrotermes.

Par conséquent, il semble que la seule présence d'une source d'énergie ne soit pas suffisante pour permettre un développement optimum de l'activité de la mésofaune.

### Horizon A1

D'une épaisseur de 10 à 15 cm, il est d'une couleur grise sur le versant, et noire dans la partie concave. Il est assez meuble en premier cycle (avec ou sans fougères), mais devient *très cohérent, avec une faible porosité visible à l'oeil, en second cycle*.

### Horizon AR

Il correspond au volume traversé par les racines primaires. Ces racines, d'un diamètre centimétrique et d'une forte capacité de pénétration, provoquent l'apparition d'unités structurales elles-aussi centimétriques.

*Aucune différence n'existe entre les situations de premier et second cycle.*

### Horizon A12

Cet horizon se distingue du précédent par la disparition des racines primaires, et la densité des racines de niveau III et IV y est inférieure à celle de l'horizon A1. Du fait de la disparition des racines, et malgré l'augmentation de la teneur en argile, la structure de cet horizon est continue. Il faut noter que son épaisseur peut être variable le long d'un même versant.

*En passant du premier cycle de culture avec fougères, au premier cycle sans fougères et au second cycle, l'épaisseur de cet horizon diminue (il passe de 100 à 30 cm), et sa cohésion augmente fortement.*

Ceci signifie que la reconstitution du stock de matière organique n'est plus possible, ou bien que le stock disponible a été épuisé. Dans tous les cas de figure, le changement pédoclimatique est aussi associé à une diminution du stock organique des sols.

### Horizon E

Il n'apparaît que dans la partie concave du versant, au-dessus du talweg et confirme l'existence d'importantes circulations d'eau dans cette position topographique.

## CONCLUSION

Aucun caractère morphologique ne permet de distinguer les parcelles de premier et de second cycle de culture. En revanche, il est clair qu'il existe bien deux types de situations pédologiques.

Dans les sols de premier cycle de culture, l'absence d'entraînement du microhorizon sableux et de traces d'érosion, indiquent que l'infiltrabilité est suffisante. *Le développement des horizons A est très important* (jusqu'à 1,50 m le long du versant) grâce à l'existence d'un horizon épigé et d'incorporation en profondeur de la matière organique. Dans ces horizons A, malgré une structure continue, la cohésion reste faible.

Dans les sites de premier cycle sans fougères et les parcelles de second cycle de culture on observe un entraînement du microhorizon sableux et l'apparition de figures d'érosion. Nous en déduisons que l'infiltrabilité diminue sur le rond et la ligne, soit 80 % de la surface. Le développement des horizons A est beaucoup moins important, aussi bien du fait de la disparition de l'horizon épigé, que par une moindre extension en profondeur. Enfin ces horizons A présentent une importante augmentation de la cohésion estimée au couteau, et ceci dès la surface en second cycle de culture.

En l'absence d'un caractère morphologique particulier, ce sont des données analytiques relatives à la constitution (teneur en matières organiques), ou aux conditions physico-chimiques (pH, saturation du complexe), qui vont nous permettre de caractériser quantitativement les différentes situations pédoclimatiques.



## CHAPITRE VII

### CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

### ET PHYSIQUES

### DES PROFILS PEDOLOGIQUES

Les données morphologiques classiques n'ayant pas permis de mettre en évidence les changements résultant de la pédogénèse ou de l'action anthropique, il s'agit ici de caractériser les sols au travers de leur ambiance physico-chimique et par leurs comportements physiques. Les déterminations ont été faites sur des échantillons provenant des différents horizons pédologiques précédemment décrits. Les mesures physiques ont été effectuées *sur le terrain*, au moment de la description des profils.

## INTRODUCTION

Sur certains profils décrits au chapitre précédent, ***bien identifiés et représentatifs au sens des processus*** (plutôt qu'au sens statistique), notre objectif est à présent d'analyser l'ensemble de leurs caractéristiques.

Nous pourrons ainsi mettre en évidence les modifications intervenues au sein de la couverture pédologique et préciser en quoi consistent les dégradations.

## A. CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES

Les analyses ont été effectuées sur une aliquote d'un échantillon de plusieurs kilogrammes. Ce dernier est constitué de prélèvements effectués sur l'ensemble de l'épaisseur de chaque horizon.

Les mesures de teneur en matières organiques ont été réalisées avec une méthode utilisant un flux d'oxygène disponible à l'INRA de Versailles. Les autres analyses ont été faites au Laboratoire du CIRAD Montpellier en utilisant les méthodes suivantes :

- granulométrie : dispersion au cobaltihexamine<sup>\*</sup>, sédimentation et prélèvement à la pipette ;
- CEC et cations échangeables : méthode au chlorure de cobaltihexamine, c'est-à-dire réalisée au pH du sol (AFNOR, 1985) ;
- pH eau et KCl : mesure effectuée en suspension, le rapport masse de solide/masse de liquide est de 1/2,5.

### 1. Mi-versant

#### a) Présentation

Les résultats sont donnés pour les trois situations les plus représentatives de mi-versant avec dans l'ordre : premier cycle **avec** fougères (1M), premier cycle **sans** fougères (1Mn) et second cycle (2M). Ils ont été représentés de deux manières :

- dans un tableau général qui donne les résultats horizon par horizon (Tableau VII.1)
- sur différents graphiques où les résultats sont représentés en fonction de la profondeur. En effet, nous avons vu précédemment que le développement des horizons n'est pas le même (A12 en particulier), dans les différentes situations. Cela n'est pas sans conséquence, quant au **bilan** à l'échelle du volume exploré par l'arbre.

---

\* nous avons vérifié à la loupe binoculaire que cette méthode de dispersion est adaptée à ces sols, c'est-à-dire qu'il ne subsiste pas de pseudosables ou de pseudolimons.

Tableau VII.1 - Analyses physicochimiques des sols de mi-pente

		Argile %	M.O. ‰	CEC még/100g	Ca+Mg még/100g	K+Na még/100g	Saturat. %	Al még/100g	pH eau	pH KCl
A <sub>1</sub>	1M	10.5	23.6	4.33	4.07	0.21	99	0.07	4.9	4.5
	1Mn	9.4	17.4	2.95	2.60	0.27	97	0.07	4.8	4.2
	2M	11.1	11.8	1.48	0.54	0.11	37	0.75	5.0	3.9
A <sub>R</sub>	1M	10.8	11.3	1.37	0.72	0.21	68	0.50	4.7	4.1
	1Mn	9.3	9.4	1.22	0.40	0.21	50	0.54	4.7	4.1
	2M	16.7	7.6	1.26	0.13	0.14	21	0.89	4.4	4.2
A <sub>12</sub>	1M	16.1	7.1	0.94	0.25	0.11	38	0.53	4.8	4.3
	1Mn	13.3	6.3	0.98	0.23	0.21	45	0.60	4.7	4.3
	2M	16.5	6.8	1.07	0.16	0.11	25	0.75	4.3	4.2
B	1M	19.3	4.8	1.01	0.13	0.12	25	0.75	4.1	3.9
	1Mn	20.6	4.6	0.90	0.13	0.16	32	0.58	4.6	4.3
	2M	18.1	4.2	0.88	0.12	0.10	25	0.55	4.4	4.3

## b) Résultats

- Quels que soient les sols, les teneurs en argiles croissent de haut en bas des profils, mais restent faibles (10 à 20 %). Elles apparaissent similaires d'un sol à l'autre, excepté l'horizon A<sub>R</sub> du profil de second cycle, un peu plus argileux que les horizons A<sub>R</sub> de premier cycle.

- Les teneurs en matières organiques sont toujours faibles et aux alentours de 1 %, sauf en premier cycle de culture (1M et 1Mn) dans l'horizon A<sub>1</sub>. De plus, elles diminuent de haut en bas du profil (Fig. VII.1a). Elles décroissent aussi de 1M à 1Mn et 2M pour les horizons A<sub>1</sub> et A<sub>R</sub>. Dans les horizons A<sub>12</sub> et B les teneurs sont identiques.

- La capacité d'échange cationique (CEC) est elle aussi faible, au voisinage de 1 még/100 g (Fig. VII.1b). Les maxima sont atteints dans l'horizon A<sub>1</sub>. En second cycle de culture, maximum et minimum sont très proches : 1,5 et 1 még environ.

- L'évolution de la somme des cations échangeables Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> est proche de celle de la CEC, avec une diminution du haut vers le bas du profil (Fig. VII.1c). Au niveau de l'horizon A<sub>1</sub> une baisse est observée en passant de 1M à 1Mn jusqu'à 2M. Le différentiel se réduit au fur et à mesure que l'on se rapproche des horizons B pour lesquels les teneurs sont identiques, environ 0,5 még/100 g.

- Les teneurs en potassium et sodium échangeables sont faibles dans l'ensemble des situations (Fig. VII.1d). Il est important de noter que le profil de premier cycle **sans** fougères (1Mn) est systématiquement plus riche en ces deux cations. De plus, dans les horizons A<sub>12</sub> et B du profil 1Mn, les teneurs en ions potassium et sodium échangeables sont similaires ou supérieures à celles en calcium et magnésium échangeables.

- Les taux de saturation du complexe d'échange des profils de premier cycle de culture sont nettement supérieurs à ceux du profil de second cycle, pour l'ensemble des horizons A (Fig.VII.1e).

Pour le profil de premier cycle avec fougères (1M), le taux de saturation évolue avec la teneur en calcium et magnésium échangeables. Si le profil de premier cycle sans fougères (1Mn) présente des taux de saturation identiques, cela est dû aux *plus fortes teneurs en potassium et sodium échangeables* dans les horizons A12 et B.

En second cycle de culture (2M), le taux de saturation très faible observé sur l'ensemble du profil (25 % environ) est égal à la valeur limite atteinte dans l'horizon B de toutes les situations.

- La teneur en aluminium échangeable et son évolution en profondeur distingue là aussi les profils de premier et second cycle (Fig.VII.1f).

En premier cycle, les teneurs sont quasiment nulles dans l'horizon A1 et augmentent brusquement dans l'horizon AR pour se stabiliser aux alentours de 0,5 méq. En second cycle de culture, la forte teneur déjà atteinte en A1 (0,75 méq) augmente encore en AR (0,89 méq), puis diminue rapidement pour atteindre dans l'horizon B une valeur proche de 0,5 méq. En premier cycle, les plus fortes teneurs en aluminium échangeables sont observées en profondeur, en second cycle elles sont observées près de la surface.

Les valeurs de pH eau étant comprises entre 4,5 et 5, il n'apparaît pas de variation significative ou ordonnée. Les variations de  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  sont en général liées aux teneurs en aluminium échangeables et comprises entre 3,9 et 4,3.

## 2. Bas de pente (Tableau VII.2)

Tableau VII.2 - Analyses physicochimiques des sols de bas de pente

		Argile	M.O.	CEC	Ca+Mg	K+Na	Saturat.	Al	pH	pH
		%	‰	méq/100g	méq/100g	méq/100g	%	méq/100g	eau	KCl
A <sub>1</sub>	1B	22.5	34.6	1.54	0.57	0.20	50	1.01	4.1	3.8
	2B	9.1	15.1	2.05	1.40	0.14	75	0.37	4.4	3.9
A <sub>R</sub>	1B	10.3	20.4	1.75	1.13	0.20	76	0.42	4.9	4.1
	2B	8.7	11.3	1.43	0.35	0.08	30	0.84	4.6	
A <sub>12</sub>	1B	13.4	18.8	1.44	0.64	0.19	58	0.61	4.7	4.1
	2B	18.3	8.4	1.34	0.34	0.13	35	0.76	4.4	4.1
E	1B	10.9	5.5	0.80	0.43	0.23	81	0.30	5.0	4.3
	2B	13.3	4.0	1.03	0.27	0.08	34	0.57	4.5	4.2
B	1B	18.1	8.7	1.27	0.57	0.16	58	0.48	4.9	4.3

Il faut remarquer que l'horizon A1 est plus argileux en premier cycle (1B) qu'en second cycle (2B). Si l'on compare ces sols à ceux de mi-pente, il est clair qu'ils sont plus organiques, leur CEC plus élevée jusqu'à l'horizon B, et leur teneur en calcium et magnésium échangeable également plus élevée.



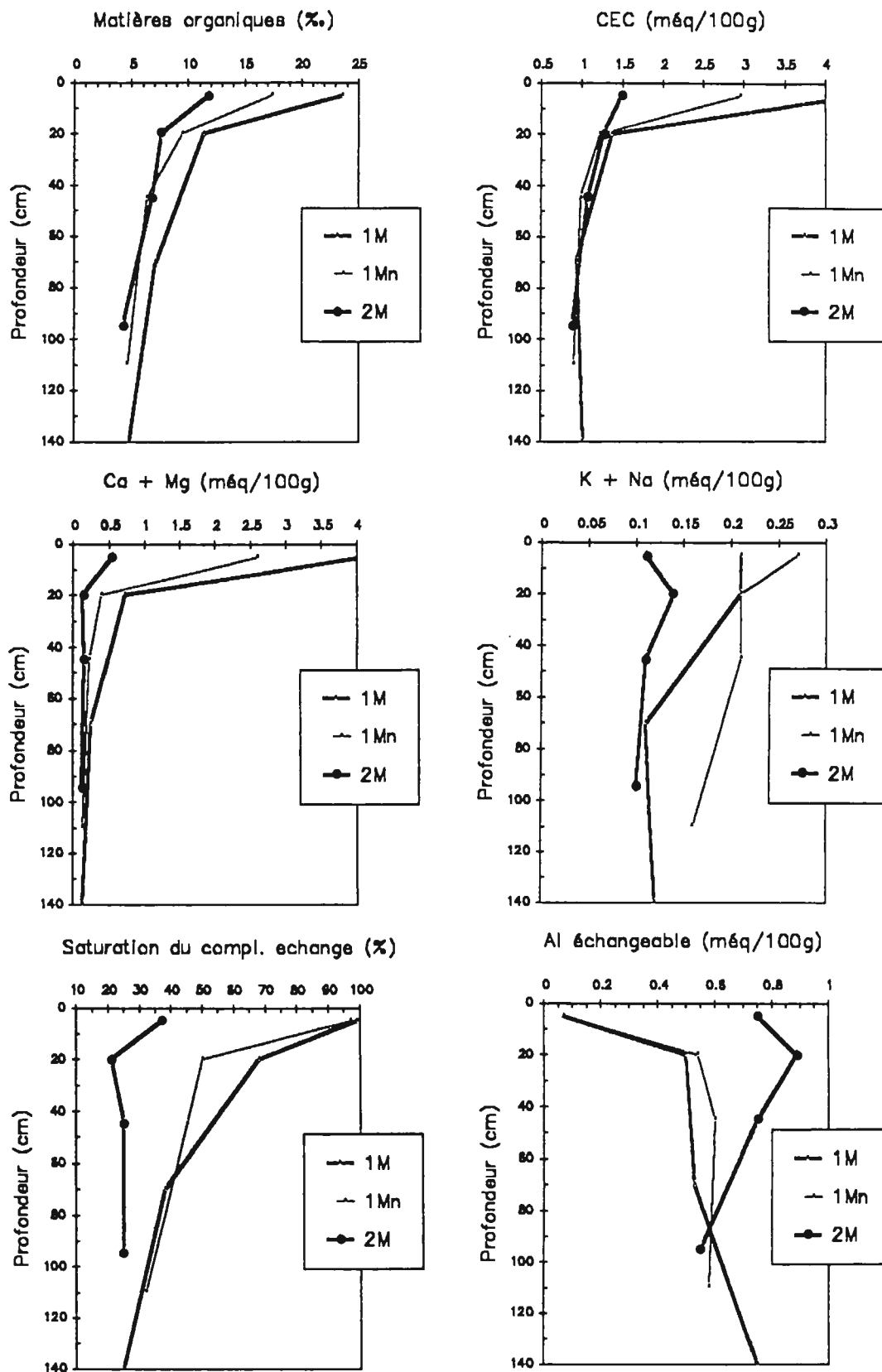


Fig.VII.1 - Teneur en matière organique et principales caractéristiques physicochimiques des trois situations type de mi-versant (premier cycle avec (1M) et sans fougères (1Mn) et deuxième cycle (2M) de culture).

Le taux de saturation est donc plus élevé qu'à mi-pente, mais *la différence entre le premier et le second cycle de culture est conservé sur l'ensemble du profil.*

### 3. Discussion

Au total, il ressort de l'ensemble de ces données que les sols étudiés sont tous acides, leur pH avoisinant 4,5.

Leur capacité d'échange en cations dépend de la teneur en matière organique. Ceci explique que des horizons sableux puissent présenter une CEC plus élevée que des horizons argilo-sableux.

La saturation du complexe d'échange distingue les profils de premier et de second cycle de culture. En premier cycle, la saturation est de 100 % dans l'horizon A1, et la désaturation caractérise les horizons profonds du profil. En second cycle de culture, on observe une forte désaturation *sur l'ensemble du profil* (25 %).

Les teneurs en aluminium échangeable permettent également de distinguer les profils de premier et de second cycle :

- en premier cycle de culture, il n'y a pas d'aluminium échangeable dans l'horizon A1, et seulement 0,5 à 0,6 méq pour le reste du profil ;
- en second cycle de culture, on note 0,8 méq dans les horizons A, où la densité de racines est maximale.

Enfin, il faut noter les fortes teneurs en potassium et en sodium échangeables (ions monovalents et dispersants), du profil 1Mn par rapport au profil 1M\*. Il est clair que l'ambiance physicochimiques au sein de deux profils est différente.

*Si l'on veut distinguer les profils de premier et de second cycle, il apparaît clairement, que la saturation du complexe d'échange et la teneur en aluminium échangeable sont des caractères extrêmement discriminants.*

## B. ANALYSES DE LA PHASE PLASMIQUE : ARGILES ET OXYDES

Nous reviendrons sur ce point dans le chapitre traitant de l'organisation du sol et de la phase argileuse, en particulier grâce aux photos réalisées au MET. Les diagrammes de rayons X réalisés sur les argiles extraites des différents horizons des sites étudiés, indiquent que l'argile est de type kaolinite. Il s'agit d'une kaolinite très désordonnée puisqu'elle présente des bandes de diffraction très larges. On note la présence de goethite et d'hématite. On ne note pas de différence en fonction du cycle de culture et de la position dans le versant.

La phase minérale de ces sols est donc principalement composée de quartz et de kaolinite. Par conséquent, leur masse volumique est proche de 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

---

\* Rappelons que les deux profils sont distants de seulement 15 m, mais que les conditions pédoclimatiques sont très différentes d'un site à l'autre.

## C. PROFILS HYDRIQUES

*Sur les trois situations types de mi-versant*, nous avons réalisé des mesures d'humidité après le début et vers la fin de la saison sèche, c'est-à-dire en janvier et mars. Ces données vont nous permettre de discuter de chacun des horizons en tant que réservoir d'eau pour l'activité biologique.

### 1. Matériels et méthodes

Les profils hydriques ont été effectués sans prendre en compte l'horizon épigé. Dans tous les cas, la profondeur "0" est celle où débute l'horizon A12.

Un prélèvement a été fait à la tarière tous les 10 cm dans le premier mètre, puis tous les 20 cm dans le mètre suivant. Les prélèvements ont été pesés avant et après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Les résultats ont été rapportés en cm<sup>3</sup> d'eau par gramme de solide.

Ajoutons que les profils hydriques ont été établis deux années successives et qu'ils ont donné des résultats identiques (pour chaque point de mesure la différence entre les deux années était inférieure à 1% d'humidité pondérale). Nous avons aussi vérifié sur une dizaine de sites que le contenu en eau évoluait de façon analogue dans des situations de même type (premier ou second cycle de culture).

### 2. Résultats

#### a) Premier cycle mi-versant (1M)

La Figure VII.2a présente les profils hydriques de début et de fin de saison sèche. On constate un écart systématique, et *constant*, entre les deux périodes.

Dans l'horizon 0/10 cm (A1), l'écart entre les deux mesures correspond à un volume de 0,08 cm<sup>3</sup>/g. L'écart diminue dans l'horizon AR, puis se maintient sur l'ensemble du profil à environ 0,02 cm<sup>3</sup>/g.

Un écart existe entre le haut et le bas du profil, qui subsiste en fin de saison sèche.

A moins d'un mètre de profondeur, le volume occupé par l'eau varie de 0,06 à 0,08 cm<sup>3</sup>/g jusqu'à 80 cm, puis il augmente brusquement pour atteindre 0,12 cm<sup>3</sup>/g à 110/120 cm. Le volume décroît à nouveau pour se stabiliser à 0,09 cm<sup>3</sup>/g à partir de 150 cm.

#### b) Premier cycle mi-versant, absence de fougères (1Mn)

Dans l'horizon 0/10 cm, le volume d'eau restitué est de 0,05 cm<sup>3</sup>/g, tandis que dans l'horizon AR, ce volume est quasiment nul, puis il est de 0,01 cm<sup>3</sup>/g jusqu'à 1 m de profondeur, et aux environs de 0,02 cm<sup>3</sup>/g de 1 à 2 m.

Le volume poral occupé par l'eau en fin de saison sèche est de 0,07 cm<sup>3</sup>/g jusqu'à 50/60 cm. Il augmente pour atteindre 0,09 à 0,08 cm<sup>3</sup>/g dans le reste du profil.

Les profils hydriques de fin et de début de saison sèche présentent le caractère parallèle qu'ils avaient précédemment mais la distance (volume d'eau) est moins importante (Fig. VII.2b).

### c) Second cycle mi-versant (2M)

Dans l'horizon 0/10 cm, le volume d'eau restitué est d'environ 0,03 cm<sup>3</sup>/g puis il devient quasiment nul jusqu'à 60 cm de profondeur. A partir de 80/90 cm, les deux profils redeviennent parallèles et la différence représente un volume de 0,02 à 0,03 cm<sup>3</sup>/g.

Le volume occupé par l'eau en fin de saison sèche est aux alentours de 0,08 cm<sup>3</sup>/g jusqu'à 140 cm avec un maximum de 0,11 cm<sup>3</sup>/g en AR. A partir de 140 cm, cette valeur augmente régulièrement pour atteindre à nouveau 0,12 cm<sup>3</sup>/g à 2 m de profondeur.

Dans le premier mètre, le volume d'eau restitué par les différents horizons au cours de la saison sèche est presque nul. Ce volume augmente rapidement dans les horizons inférieurs, jusqu'à deux mètres de profondeur (Fig.VII.2c). Les deux courbes ne présentent plus le caractère parallèle qu'elles avaient en premier cycle de culture.

## 3. Discussion

Dans les horizons où des mesures ont été effectuées, l'écart entre les deux courbes permet d'évaluer *la quantité d'eau extraite de l'horizon au cours de la saison sèche*.

Des profils hydriques précédents, il apparaît que, dans le site *avec fougères*, l'extraction d'eau affecte l'ensemble du profil de façon homogène. La quantité d'eau extraite (voire disponible pour les plantes) est donc maximale. Notre calcul sous le tas de palmes donne 90 mm d'eau.

Les deux autres situations marquent une diminution importante de la quantité d'eau extraite : 50 à 70 % de la hauteur précédente.

Néanmoins, dans les deux situations *sans fougère* une distinction doit être faite entre le premier et le second cycle de culture. En premier cycle, l'eau est extraite de façon homogène sur l'ensemble du profil. En second cycle, la teneur en eau du volume pédologique entre 10 et 70 cm ne change pas, alors que la teneur des horizons sous-jacents présente des variations plus importantes qu'en premier cycle de culture (dégradé ou non). De ces profils de rétention d'eau il est possible d'obtenir des informations sur le spectre poral des sols.

*En premier cycle de culture, le système poral de la couverture pédologique semble homogène le long d'un profil. En revanche, il existe des hétérogénéités spatiales puisqu'au moins deux types de situations présentant des volumes poraux différents (1M et 1Mn) ont été reconnues.*

*Les transformations liées à l'abattage et à la replantation ont modifié la distribution verticale du système poral des sols en seconde génération. Dans certains horizons la teneur en eau ne varie plus au cours de la saison sèche, pourtant il s'agit d'horizons contenant d'importantes quantités de racines absorbantes.*

dA ce stade de la discussion il est important de signaler qu'il peut y avoir des transferts d'eau des horizons sous-jacents vers les horizons supérieurs. Par conséquent, même si l'humidité des horizons supérieurs ne varie pas au cours de la saison sèche, il peut quand même y avoir restitution d'eau à la plante dans ces horizons. Les remontées sont le fait de forces capillaires et se font à des vitesses qui ne semblent pas permettre une alimentation hydrique optimale du palmier (cf. chapitre II).

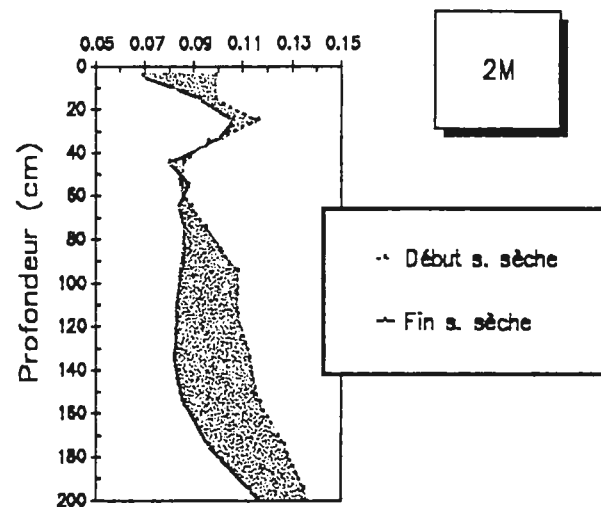
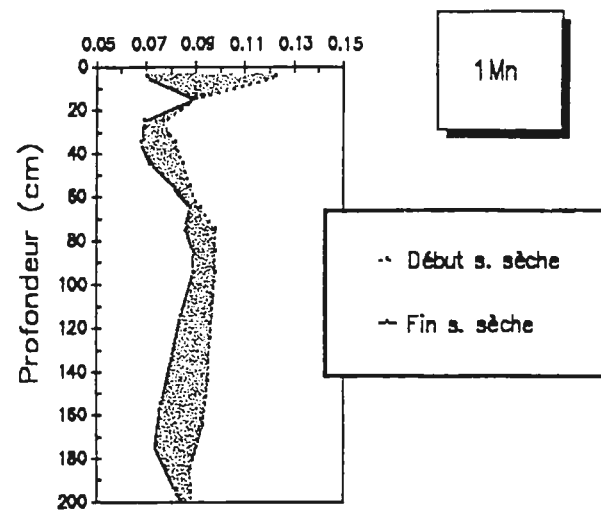
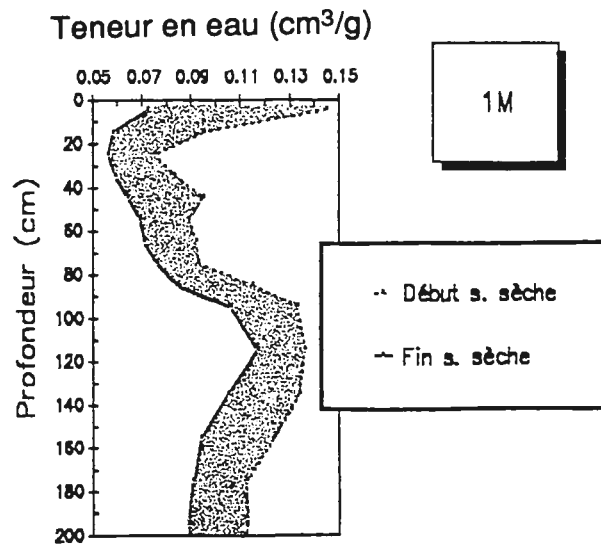


Fig.VII.2 - Evolution de la teneur en eau au cours de la saison sèche dans les trois situations type de mi-versant (premier cycle avec (1M) et sans fougères (1Mn) et deuxième cycle (2M) de culture).

Afin d'établir un bilan quantitatif, une étude hydrodynamique poussée pourrait être faite à l'échelle d'un ou deux bassins versants sur quelques années. Mais dans le cadre de ce mémoire les résultats obtenus, représentatifs des situations de mi-versant, sont une base suffisante de discussion.

## D. PROFILS DE VOLUME MASSIQUE

Nous venons de *supposer* une évolution du spectre poral à la suite des opérations d'abattage-replantation aussi bien qu'en premier cycle de culture. Afin de mesurer effectivement le volume poral nous avons procédé à des mesures de volume apparent *sur les profils en place* à l'aide d'un densitomètre à membrane (mesure sur 1 litre de sol environ).

Il est habituel d'exprimer les résultats de ces mesures en masse volumique ( $\text{g}/\text{cm}^3$  ou  $\text{t}/\text{m}^3$ ) ; on parle alors de densité apparente. Mais notre objectif est de rendre compte de l'*évolution d'un volume*, le volume poral. Les résultats ont donc été *exprimé en volume massique* ( $\text{cm}^3/\text{g}$  ou  $\text{m}^3/\text{t}$ ), inverse de la densité apparente.

*Si le solide présente une masse volumique (densité réelle) constante, la différence entre deux mesures de volume massique ( $\text{cm}^3/\text{g}$  ou  $\text{m}^3/\text{t}$ ) traduit l'évolution du seul volume poral.*

Les mesures de volume massique ont été effectuées sur les profils de mi-versant : 1M, 1Mn et 2M.

### 1. Résultats

En premier cycle de culture avec fougères (1M), le volume massique dépasse  $0,9 \text{ cm}^3/\text{g}$  en A1, atteint  $0,75$  en AR, puis se stabilise aux environs de  $0,67$  sur le reste du profil (Fig.VII.3a).

En premier cycle sans fougères (1Mn), le volume massique décroît par rapport au sol précédent. Il est de  $0,8 \text{ cm}^3/\text{g}$  environ en A1, il est de  $0,72$  en AR et diminue régulièrement pour atteindre  $0,64$  à plus d'un mètre de profondeur (Fig.VII.3b).

En second cycle (2M), le volume massique est faible en A1 puisqu'il est inférieur à  $0,70 \text{ cm}^3/\text{g}$  (Fig.VII.3c). En AR il remonte à  $0,75 \text{ cm}^3/\text{g}$  avant de décroître à nouveau fortement pour atteindre la valeur minimum de  $0,64 \text{ cm}^3/\text{g}$  entre 30 et 50 cm de profondeur. Dans l'horizon 60/70 cm (horizon de transition) le volume massique atteint un nouveau maximum supérieur à  $0,65 \text{ cm}^3/\text{g}$  pour décroître régulièrement et atteindre la valeur de  $0,64 \text{ cm}^3/\text{g}$  à 120 cm de profondeur.

### 2. Discussion

En *premier cycle de culture* (Fig.VII.4a), les profils de volume massique ont un aspect similaire, à savoir une forte porosité dans les horizons A1 et AR qui présentent la plus forte densité racinaire. Dans les horizons sous-jacents, le volume massique décroît lentement pour atteindre une valeur limite à partir de 80/90 cm de profondeur.

*En premier cycle de culture on observe une diminution de porosité avec la profondeur. Les volumes massiques sont systématiquement supérieurs en 1M par rapport à 1Mn, excepté dans l'horizon AR où les valeurs sont identiques.*

En *second cycle de culture*, l'évolution de la porosité avec la profondeur est très différente. La comparaison avec le profil 1M fait ressortir les faits suivants (Fig. VII.4b) :

- la perte de porosité en A1 est très forte (supérieure à 0,20 cm<sup>3</sup>/g)
- en AR (10-20 cm) *les valeurs sont similaires*,
- entre 20 et 60 cm la perte de porosité est sensible (0,06 cm<sup>3</sup>/g)
- en-dessous de 70 cm les valeurs de porosité évoluent parallèlement, mais les valeurs de 2M sont toujours inférieures à celles de 1M.

La comparaison avec le profil 1Mn le premier cycle dégradé (Fig. VII.4c) fait apparaître une valeur de porosité en surface plus faible en 2M (excepté l'horizon AR), et des valeurs identiques à partir de 70 cm de profondeur.

*En second cycle de culture, 15 années après les opérations d'abattage et de replantation, une diminution de porosité importante en surface qui s'atténue avec la profondeur est encore mesurable. Seul l'horizon AR où circulent les racines de niveau I (10-20 cm), présente des valeurs de porosité identiques à celles des parcelles de premier cycle. Ces racines ont protégé cet horizon du tassement ou bien même ont pu recréer la porosité de départ.*

## CONCLUSION

Tous les sols de la plantation présentent les caractéristiques des sols ferrallitiques, c'est-à-dire qu'ils sont pauvres chimiquement, acides, désaturés, à faible capacité d'échange en cations.

Les résultats qui précèdent montrent que l'on peut observer une dégradation des sols du point de vue physique et physico-chimique au sein des parcelles de premier cycle de culture.

*Le sol 1M est le plus riche chimiquement, poreux en surface il possède une réserve en eau maximale sur l'ensemble du profil.*

*Le sol 1Mn est riche et poreux en surface, mais on observe une fermeture de la porosité en profondeur et sur l'ensemble du profil, la restitution d'eau reste faible. La teneur en K et Na échangeables est plus forte que sur le site précédent.*

*En second cycle de culture la dégradation est profonde et affecte tous les horizons : diminution de teneur en matière organique, en cations échangeables (même le potassium ne marque plus), augmentation de la teneur en aluminium échangeable. De plus cette dégradation affecte profondément l'aptitude du sol à restituer de l'eau.*

Au total il apparaît des caractéristiques propres aux dégradations de premier et de second cycle de culture.

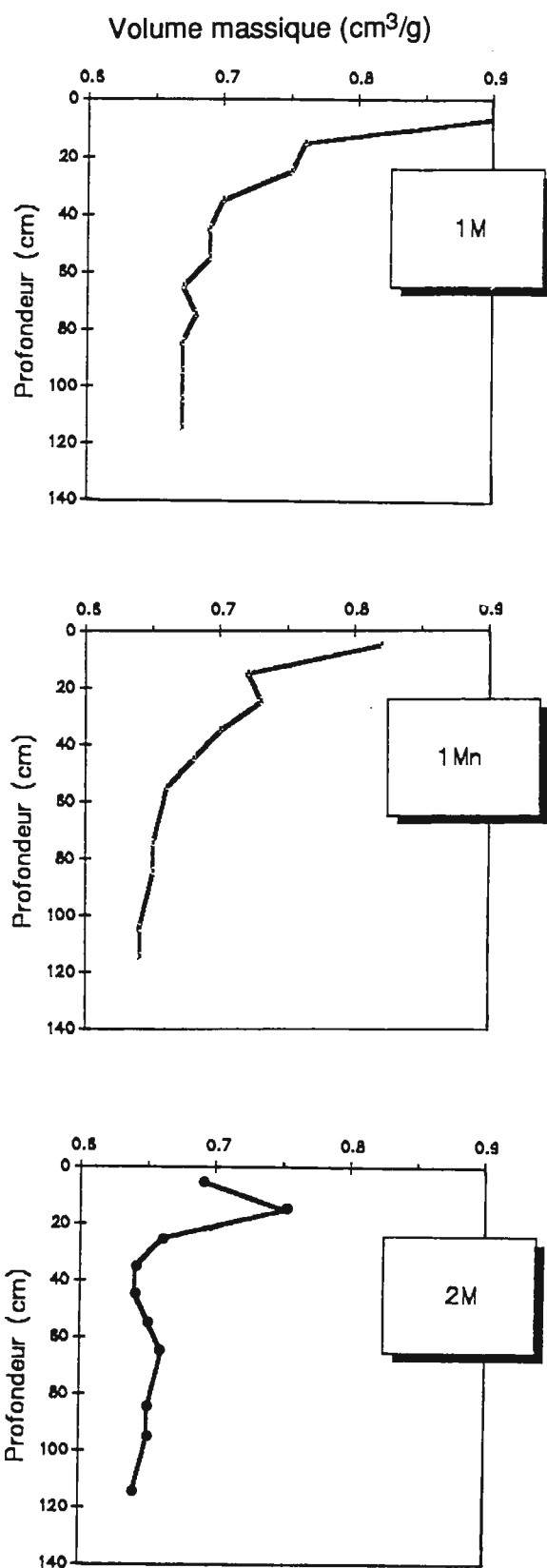


Fig.VII.3 - Volumes massiques ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) mesurés au densitomètre dans les trois situations type de mi-versant : 1M (premier cycle avec fougères), 1Mn (premier cycle sans fougères) et 2M (second cycle de culture).



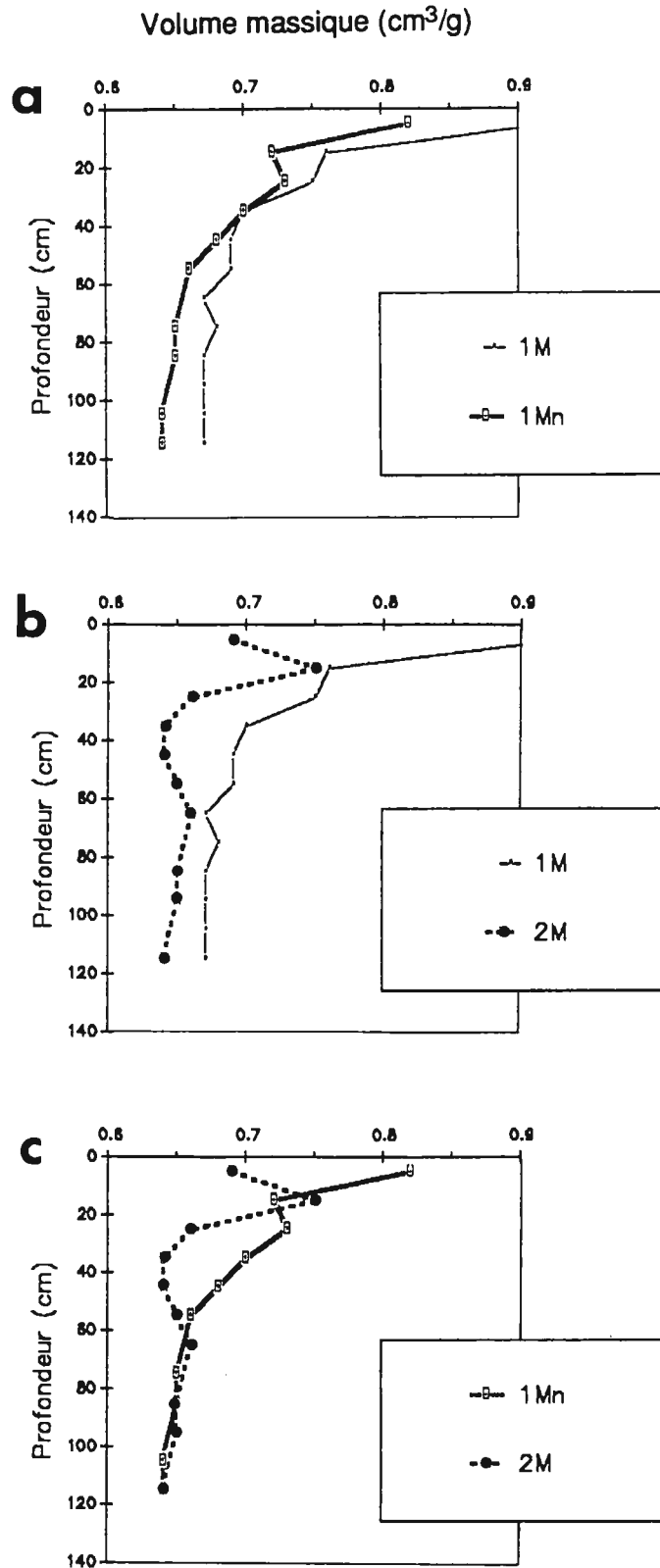


Fig.VII.4 - Comparaison des volumes massiques mesurés au densitomètre : (a) premier cycle avec et sans fougères, (b) premier cycle avec fougères et second cycle et (c) premier cycle sans fougères et second cycle de culture.



**TROISIEME PARTIE**

**ANALYSE DE L'EVOLUTION**

**DES CARACTERISTIQUES**

**PHYSIQUES**

**DES SOLS**

*Après avoir décrit dans les deux premières parties le milieu sous ses différents aspects, ainsi que l'organisation et le fonctionnement de la couverture pédologique, nous allons analyser dans cette troisième partie le processus d'évolution des sols.*

*A cet effet nous étudierons, dans les chapitres VIII et IX, les changements du spectre poral à partir de mesures physiques effectuées sur des échantillons non remaniés. Le chapitre X sera consacré à la description des changements d'organisation intervenant au sein de la phase solide.*

## CHAPITRE VIII

# ANALYSE DU SPECTRE PORAL DES SOLS

Nous allons étudier l'évolution des caractéristiques physiques des sols à travers la description de l'espace poral, depuis la maille d'hétérogénéité la plus grande jusqu'à l'arrangement des particules argileuses elles-mêmes.

A cet effet, plusieurs méthodes sont nécessaires pour analyser les différents compartiments de l'espace poral. Nous utiliserons successivement les mesures de rétention en eau pour les pores de taille micrométrique (1 à 50  $\mu\text{m}$ ), et l'injection de mercure, essentiellement pour les pores inférieurs à 1  $\mu\text{m}$ .

## INTRODUCTION

Des différences de volume poral ont pu être mesurées entre les différentes situations pédologiques (1M, 1Mn, 2M). Par ailleurs des différences d'évolution dans les teneurs en eau nous ont permis de *supposer* une évolution du *spectre poral*, c'est-à-dire de la *distribution de la taille des pores*.

Il s'agit à présent de mettre en évidence cette évolution physique au travers des mesures concernant le spectre poral. A cet effet, nous utiliserons les différentes techniques de mesure actuellement disponibles.

Les profils étudiés sont toujours ceux des trois situations pédoclimatiques de mi-versant, à savoir : 1M (premier cycle avec fougères), 1Mn (premier cycle sans fougères) et 2M (deuxième cycle).

## A. MATERIEL ET METHODES

### 1. Volume massique de mottes

Les mottes dont il est question ont été préparées de la façon suivante :

- des blocs de 1000 cm<sup>3</sup> ont été prélevés sous la strate de racines primaires. Ils ont été conservés à leur humidité de départ
- au laboratoire, des fragments ont été extraits des blocs et taillés en forme de cylindre (3 cm de diamètre et 1 à 2 cm de hauteur). Nous avons ainsi veillé à ne pas favoriser les parties les plus cohérentes des horizons meubles.

Le volume préparé est appelé une "motte".

Le volume apparent de la motte a été déduit de la mesure de la poussée d'Archimède dans le pétrole (norme AFNOR, en préparation). Le résultat a été exprimé en volume massique (cm<sup>3</sup>/g), afin que les résultats obtenus puissent être comparés aux mesures de volume apparent et de teneurs en eau déjà effectuées.

Les résultats des mesures ont été arrondies au 1/100 cm<sup>3</sup>/g.

### 2. Utilisation des courbes de rétention d'eau

Les mottes ont été soumises à différentes contraintes hydriques à l'aide de l'appareil de RICHARDS (1941) pour 1 MPa ou, pour 0,1 MPa et 3,2 kPa, en utilisant le dispositif mis au point par TESSIER et BERRIER (1979). Après cinq à sept jours l'équilibre a été atteint.

Aux différentes contraintes hydriques, la teneur en eau a été déterminée par référence à un chauffage à 105°C pendant 48 heures. La masse volumique de l'eau pouvant être considérée comme égale à 1, la masse d'eau a pu être traduite en volume.

Pour chaque mesure nous avons effectué trois répétitions ; si le coefficient de variation sur ces mesures était supérieur à 5 %, deux mesures supplémentaires étaient effectuées.

Au total tous les résultats ayant présenté des coefficients de variation compris entre 0 et 5 %, il ne nous a pas paru nécessaire de les représenter sur les graphiques.

Soulignons que les volumes massiques d'eau peuvent être additionnés ou soustraits du volume apparent de la motte ou du volume apparent du sol mesuré au densitomètre. On a ainsi :

$$\frac{V}{M_s} - \frac{V_w}{M_s} = \frac{V_a}{M_s}$$

où  $V/M_s$ ,  $V_w/M_s$  et  $V_a/M_s$  sont respectivement les volumes massiques du matériau, de l'eau et de l'air au sein d'un échantillon quelconque. Par commodité, on utilisera  $V$ ,  $V_w$  et  $V_a$  comme symboles pour les trois volumes massiques.

Rappelons aussi que, sur la base de la loi de Laplace, et en fonction de la pression pneumatique appliquée dans l'appareil de Richards, on fixe le rayon de courbure des ménisques à l'interface solide/liquide/gaz. Il est ainsi possible d'établir une relation entre la pression pneumatique appliquée et la taille maximale des pores remplis d'eau d'après l'équation de Laplace-Jurin.

Le tableau VIII.1 donne, pour différentes pressions pneumatiques et différents modes d'expression, la taille maximale des pores remplis d'eau.

Tableau VIII.1

Pression gazeuse appliquée kPa	pF	Taille maximale des pores remplis d'eau (mm)
1	1	150
3,2	1,5	50
10	2	15
100	3	1,5
1000	4	0,15

Les contenus en eau à différentes valeurs de potentiel vont donc nous permettre d'analyser les compartiments du volume poral, pour une gamme de pores où la rétention de l'eau est avant tout assurée par des forces capillaires. *Les résultats seront présentés sous forme de profils afin de pouvoir suivre l'évolution avec la profondeur, dans les différentes classes de pores considérées.*

En outre, les trois situations pédoclimatiques décrites précédemment seront comparées entre elles.

### 3. Courbes d'injection de mercure

Les courbes de rétention en eau établies auparavant ne comportent pas suffisamment de points pour décrire dans le détail l'espace poral ménagé entre les particules d'argile. A cet effet nous avons utilisé l'intrusion de mercure.

Les mesures ont été réalisées sur un volume d'un centimètre cube prélevé sur une motte, préalablement séchée à 105°C, durant 24 heures. Le volume pris en compte étant dix fois plus

petit que celui des mottes, la taille de l'échantillon est parfaitement adaptée à la mesure des pores micrométriques à nanométriques.

Les résultats seront exprimés dans le même système de référence que précédemment, c'est-à-dire en volume massique ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

## **B. ANALYSE DE LA POROSITE D'ECHANTILLONS DE DIFFERENTES TAILLES**

Nous comparerons les mesures faites au densitomètre ( $1000 \text{ cm}^3$ ), à celles obtenues sur mottes ( $10 \text{ cm}^3$ ), respectivement sur des échantillons secs et soumis à une contrainte de 1 MPa.

### **1. Résultats**

Dans la situation la plus favorable pour l'activité biologique (premier cycle avec fougères, 1M), une différence constante de  $0,04 \text{ cm}^3/\text{g}$  environ est observée entre les deux types de mesures (Fig.VIII.1a). Le volume apparent des mottes est, lui aussi, relativement constant sur la partie du profil examinée.

En premier cycle sans fougères (1Mn), l'écart observé entre les deux types de mesures est de l'ordre de  $0,03 \text{ cm}^3/\text{g}$  (Fig.VIII.1b). Le volume poral des mottes diminue avec la profondeur pour passer de  $0,63 \text{ cm}^3/\text{g}$  (35 cm) à  $0,61 \text{ cm}^3/\text{g}$  (125 cm).

En second cycle (2M), il existe toujours une différence entre les deux types de mesures, mais celle-ci n'est plus constante (Fig.VIII.1c). Ainsi les différences les plus faibles sont observées à 30/40 et 110/120 cm, et la différence la plus forte à 60/70 cm.

Le volume massique apparent des mottes est très stable sur l'ensemble du profil ( $0,61 \text{ cm}^3/\text{g}$ ).

### **2. Discussion**

L'analyse se fera en comparant les trois situations pédoclimatiques et en faisant ressortir les changements intervenant lorsque l'on passe du premier au second cycle de culture.

#### **a) Mesure sur motte**

Tout d'abord, il est important de signaler que la porosité sur motte ne permet en aucun cas de prendre en compte l'ensemble de la porosité.

Même pour le profil 2M, dont nous avons mis en évidence le compactage, il subsiste une différence entre la mesure sur motte et au densitomètre. Nous verrons dans la suite de ce travail sur quelle base ce résultat peut-être interprété.

#### **b) Hétérogénéité du milieu en premier cycle**

En premier cycle, avec et sans fougères (1M et 1Mn), les courbes sont similaires jusqu'à 40/50 cm de profondeur (Fig.VIII.2a). Au-delà, on constate une perte de porosité significative dans 1Mn, aussi bien sur mottes qu'au densitomètre à membrane. A 80/90 cm, la courbe obtenue sur motte en 1M se superpose à celle obtenue au densitomètre en 1Mn.



Les changements qui interviennent éventuellement dans l'espace poral des profils de premier cycle de culture apparaissent uniquement à partir d'une certaine profondeur, mais concernent les deux échelles d'organisation.

### c) Intensité des phénomènes de réorganisation

Pour discuter de la réorganisation du sol, nous nous appuyerons sur les changements de volume poral intervenant le premier cycle de culture le plus favorable (1M), et le second cycle de culture (Fig.VIII.2b).

En second cycle, le volume poral au densitomètre devient identique au volume poral sur mottes de premier cycle. Soulignons que les deux sols étant de granulométrie similaire, les différences observées ne peuvent résulter que de *l'organisation* du sol. Nous sommes donc amenés à considérer qu'il faut partir d'un volume cent fois plus important en second cycle (1000 cm<sup>3</sup>) pour obtenir un volume apparent identique à celui d'une motte de premier cycle.

Consécutivement aux opérations d'abattage et de replantation, la maille d'hétérogénéité de la porosité la plus grossière a considérablement diminué.

### d) Impact des opérations d'abattage et de replantation

La figure VIII.2c fait ressortir les changements intervenant entre la situation *la moins favorable* de premier cycle (1Mn) et celle de second cycle (2M).

Les volumes apparents au densitomètre sont similaires au-delà de 60 cm de profondeur. Le volume apparent mesuré sur motte ne devient identique qu'à plus de 120 cm de profondeur.

Malgré une similitude d'organisation de certains horizons à l'échelle du litre, il subsiste à l'échelle de la motte des différences sur la majorité du profil.

## 3. Conclusions

*Dans ce type de sols sableux, il apparaît systématiquement une différence entre le volume poral des mottes et celui mesuré au densitomètre à membrane.* Malgré l'absence de structure visible à l'oeil, l'échelle de caractérisation nécessaire pour atteindre la porosité du sol est au moins de l'ordre du décimètre ou du litre.

La dégradation pédoclimatique (disparition de fougères) en premier et second cycle de culture est associée à une évolution de l'espace poral dont les caractéristiques ne sont pas identiques :

- en premier cycle, *la diminution de porosité n'apparaît qu'au-delà d'une certaine profondeur,*

- *suite aux opérations d'abattage-replantation, la diminution de porosité existe sur l'ensemble du profil, les plus grandes différences étant mesurées dans les horizons les plus superficiels (de la surface jusqu'à plus de 50 cm de profondeur).*

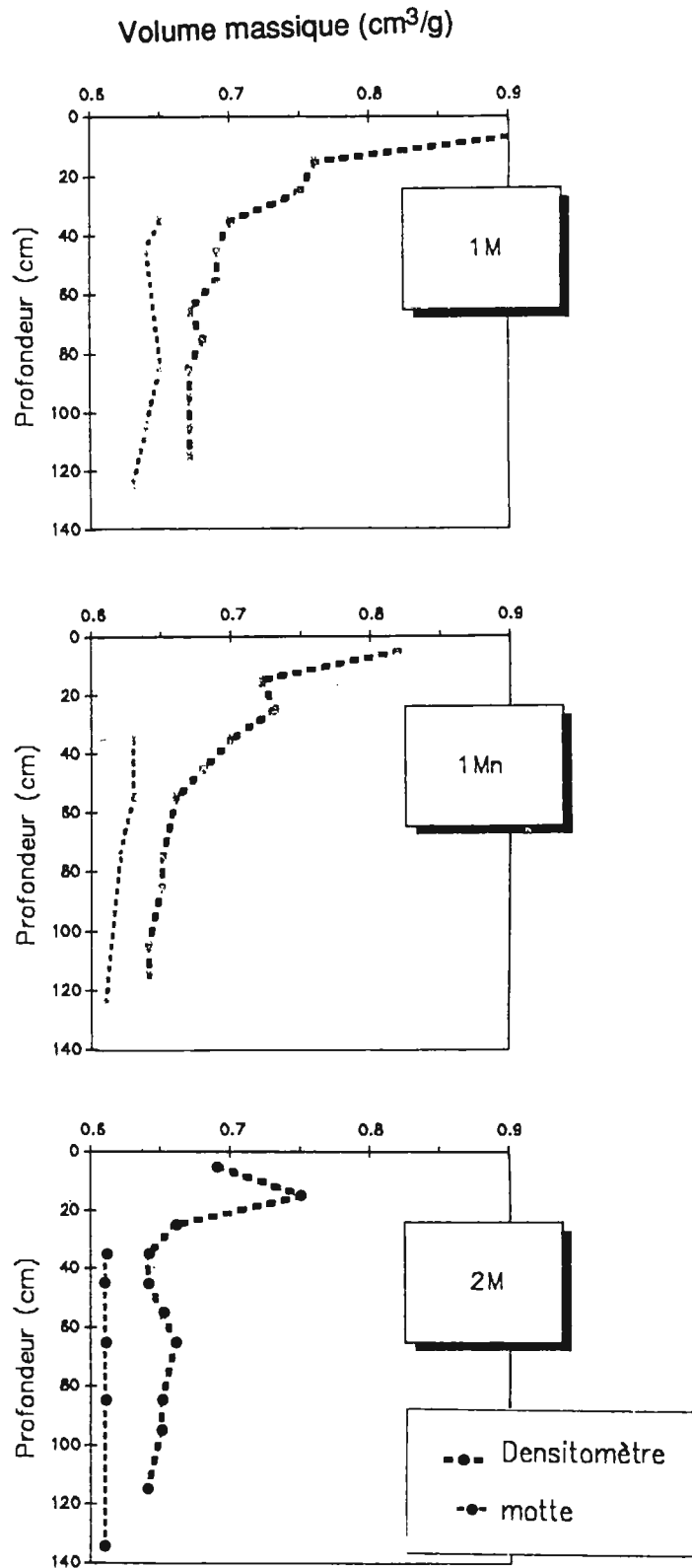


Fig.VIII.1 - Volumes massiques (cm<sup>3</sup>/g) obtenus sur mottes (10 cm<sup>3</sup>) et au densitomètre (1000 cm<sup>3</sup>) dans les situations type de mi-versant (premier cycle avec et sans fougères, et second cycle).

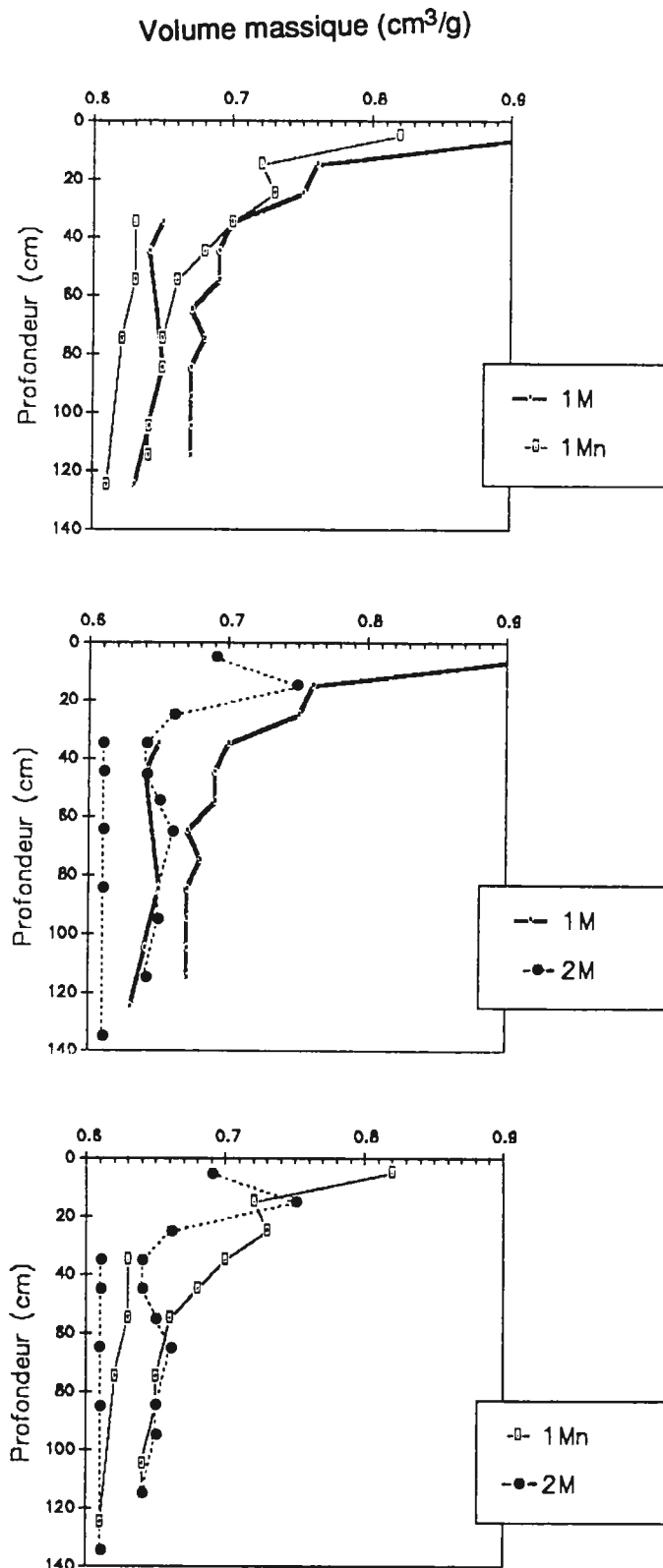


Fig.VIII.2 - Comparaison des volumes massiques (cm<sup>3</sup>/g) obtenus sur mottes (10 cm<sup>3</sup>) et au densitometre (1000 cm<sup>3</sup>) pour les situations type de mi-versant (premier cycle avec et sans fougères, et second cycle).

## C. ANALYSE DES COURBES DE RETENTION D'EAU EN TERME DE SPECTRE PORAL

Les courbes ont été établies pour les trois situations de mi-versant déjà étudiées.

Nous nous intéresserons à l'aspect fonctionnel de la porosité vis-à-vis de l'alimentation hydrique de la plante et de la circulation d'eau.

La circulation rapide de l'eau se fait par les pores d'un rayon équivalent supérieurs à 50  $\mu\text{m}$ . Pour déterminer le volume de ce compartiment poral, des mottes (10  $\text{cm}^3$ ) ont été soumises à une contrainte pneumatique de 3,2 kPa. Dans ce cas :  $V_a \text{ v} - V_w$ .

Daans les pores inférieurs à 50  $\mu\text{m}$  l'eau est retenue par capillarité et participe à l'alimentation hydrique du palmier en saison sèche. Nous avons décidé de séparer ce compartiment en deux parties

- les pores inférieurs à 1  $\mu\text{m}$  qui ont principalement pour origine l'arrangement des particules argileuses. L'échantillon est soumis à une contrainte de 100 kPa, le volume poral est déduit de la masse d'eau retenue :  $V_w = M_w$ .

- les pores compris entre 1 et 50  $\mu\text{m}$  qui vont constituer le réservoir d'eau facilement utilisable. Leur volume est déduit de la différence entre les masses d'eau retenues à 3,2 et 100 kPa.

Nous allons étudier, successivement, la contribution de chacune des classes de pores au volume poral total des mottes. Les résultats sont présentés sous forme de profils de volumes massiques.

### 1. Pores supérieurs à 50 $\mu\text{m}$ (Fig.VIII.3)

Il s'agit, sur les mottes, du volume poral *occupé par l'air à 3,2 kPa ( $V_a$ )*.

1M : dans le premier mètre, les valeurs sont comprises entre 0,11 et 0,12  $\text{cm}^3/\text{g}$ , puis atteignent 0,10  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 120/130 cm.

1Mn : la valeur de 0,11  $\text{cm}^3/\text{g}$  est atteinte jusqu'à 50/60 cm puis diminue pour atteindre 0,09  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 70/80 cm et 0,07  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 120/130 cm.

2M : dans le premier mètre cette classe de pores occupe un volume qui n'est que de 0,09  $\text{cm}^3/\text{g}$ . Cette valeur diminue pour atteindre 0,07  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 130/140 cm de profondeur.

On constate que le volume poral occupé par l'air diminue de 1M à 1Mn puis 2M, c'est-à-dire du milieu le plus favorable au milieu le plus défavorable.

Dans la situation intermédiaire, 1Mn, la diminution du volume poral affecte essentiellement les horizons profonds.

### 2. Pores de 1 à 50 $\mu\text{m}$ (Fig.VIII.4)

Ce sont les pores *vidés de leur contenu en eau de 3,2 kPa à 100 kPa*.

1M : dans le premier mètre, le volume de cette classe de pores est de 0,07  $\text{cm}^3/\text{g}$  et atteint 0,05  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 120/130 cm.

1Mn : le volume de cette classe est de 0,06  $\text{cm}^3$  sur l'ensemble du profil.

2M : le volume varie entre 0,06 et 0,07  $\text{cm}^3/\text{g}$  suivant les profondeurs.

Pour l'ensemble des situations, le volume occupé par cette gamme de pores est à peu près identique.

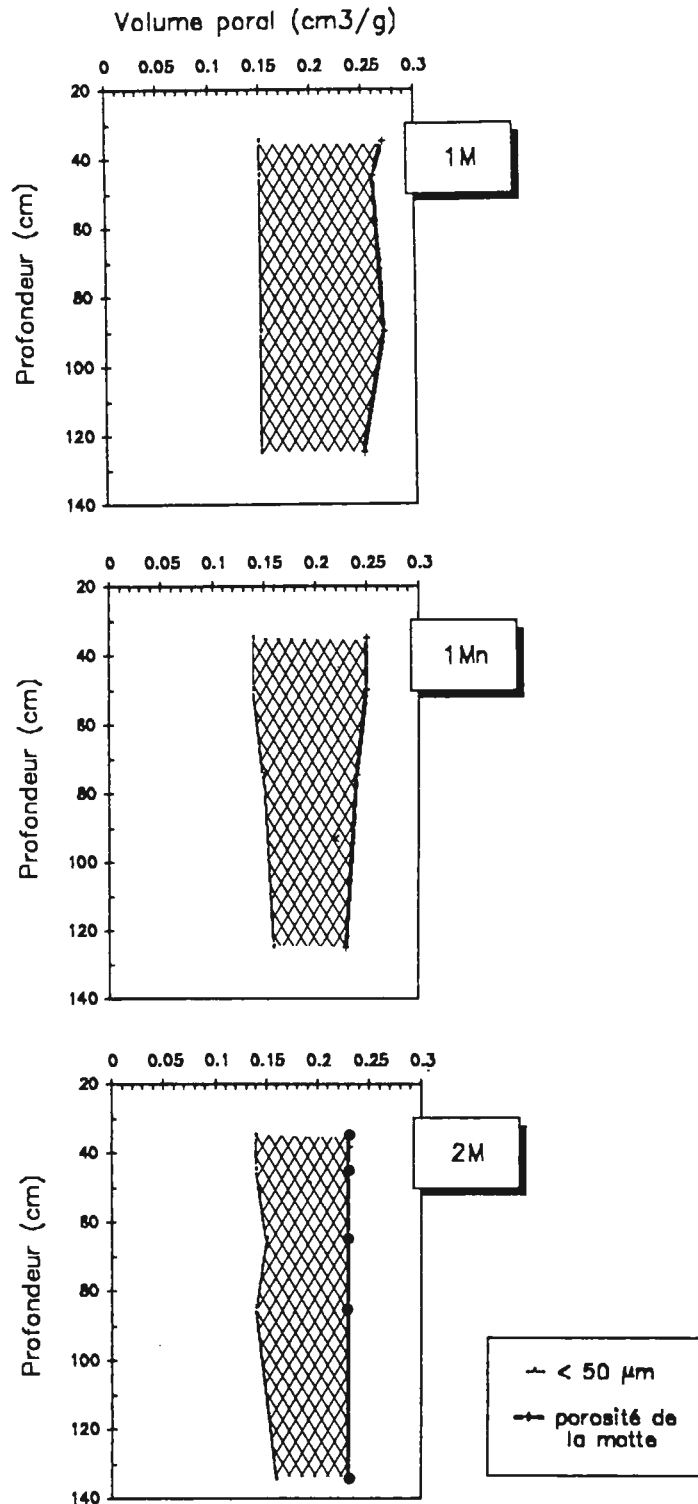


Fig.VIII.3 - Volume poral total des mottes et volume d'air à une contrainte de 3,2 kPa ( $pF=1,5$ ) pour les trois situations type de mi-versant (premier cycle avec et sans fougères, et second cycle de culture). Seuls les pores dont le rayon équivalent est inférieur à 50  $\mu\text{m}$  sont remplis d'eau.

### 3. Pores inférieurs à 1 $\mu\text{m}$ (Fig.VIII.4)

Ils sont déduits du *volume massique d'eau retenu à 100 kPa*.

1M : le volume occupé, 0,08  $\text{cm}^3/\text{g}$ , est constant sur le profil jusqu'à 80/90 cm de profondeur, et atteint 0,10  $\text{cm}^3/\text{g}$  à 120/130 cm.

1Mn : les volumes occupés augmentent régulièrement le long du profil de 0,08  $\text{cm}^3/\text{g}$  (30/40 cm) à 0,10  $\text{cm}^3/\text{g}$  (120/130 cm).

2M : le volume occupé est de 0,06  $\text{cm}^3/\text{g}$  jusqu'à 50 cm puis passe à 0,08  $\text{cm}^3/\text{g}$  au-delà.

*La rétention de l'eau aux fortes contraintes ( $> pF=3$ ) est plus importante dans les situations de premier cycle de culture.*

Dans tous les cas, cette rétention augmente avec la profondeur.

### 4. Discussion

a) *L'analyse des différents compartiments du volume poral montre d'abord que ce sont les pores les plus grossiers, occupés par l'air ( $> 50 \mu\text{m}$ ), qui permettent de distinguer le mieux les différentes situations.* On passe d'un volume poral moyen ( $V_a$ ) de 0,12  $\text{cm}^3/\text{g}$  dans la situation la plus favorable (1M), à 0,10  $\text{cm}^3/\text{g}$  en 1Mn et 0,09  $\text{cm}^3/\text{g}$  dans la situation la plus dégradée (2M).

Une diminution analogue apparaît aussi avec la profondeur comme, par exemple, en 1Mn, où à 120/130 cm, le volume massique n'est plus que de 0,07  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

b) Les résultats montrent que les pores de 1 à 50  $\mu\text{m}$  assurent environ 50 % de la rétention de l'eau par les forces capillaires. Par conséquent le volume de la porosité inférieure à 1  $\mu\text{m}$  (occupée par l'eau à  $pF \geq 3$ ) n'est guère différent dans les trois situations étudiées.

*Dans toutes les situations, le volume d'eau retenu par capillarité (pores inférieurs à 50  $\mu\text{m}$ ) est quasi identique. Il ne permet pas de distinguer les profils entre eux. Ceci reste vrai même si l'on distingue la classe des pores inférieurs ou supérieurs à 1  $\mu\text{m}$ .*

Il faut enfin rappeler ici, qu'une différence de 0,01  $\text{cm}^3/\text{g}$  est équivalente à une différence de 0,01  $\text{m}^3/\text{t}$ , soit 10 l/t. Par conséquent, si l'on considère un volume d'un mètre d'épaisseur sous la strate de racines primaires, c'est un volume poral de 20 l qui a disparu, accompagné d'un abaissement de 2 cm de la surface.

### 5. Conclusion

A l'échelle des mottes la porosité de rétention de l'eau prend des valeurs très proches dans toutes les situations, aux environs de 0,15  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

Dans les sols sablo-argileux que nous avons étudiés, *les différentes situations se distinguent avant tout par le volume des pores d'une taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$ .* Ce volume représente, suivant les profils et les horizons, 0,09 à 0,12  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

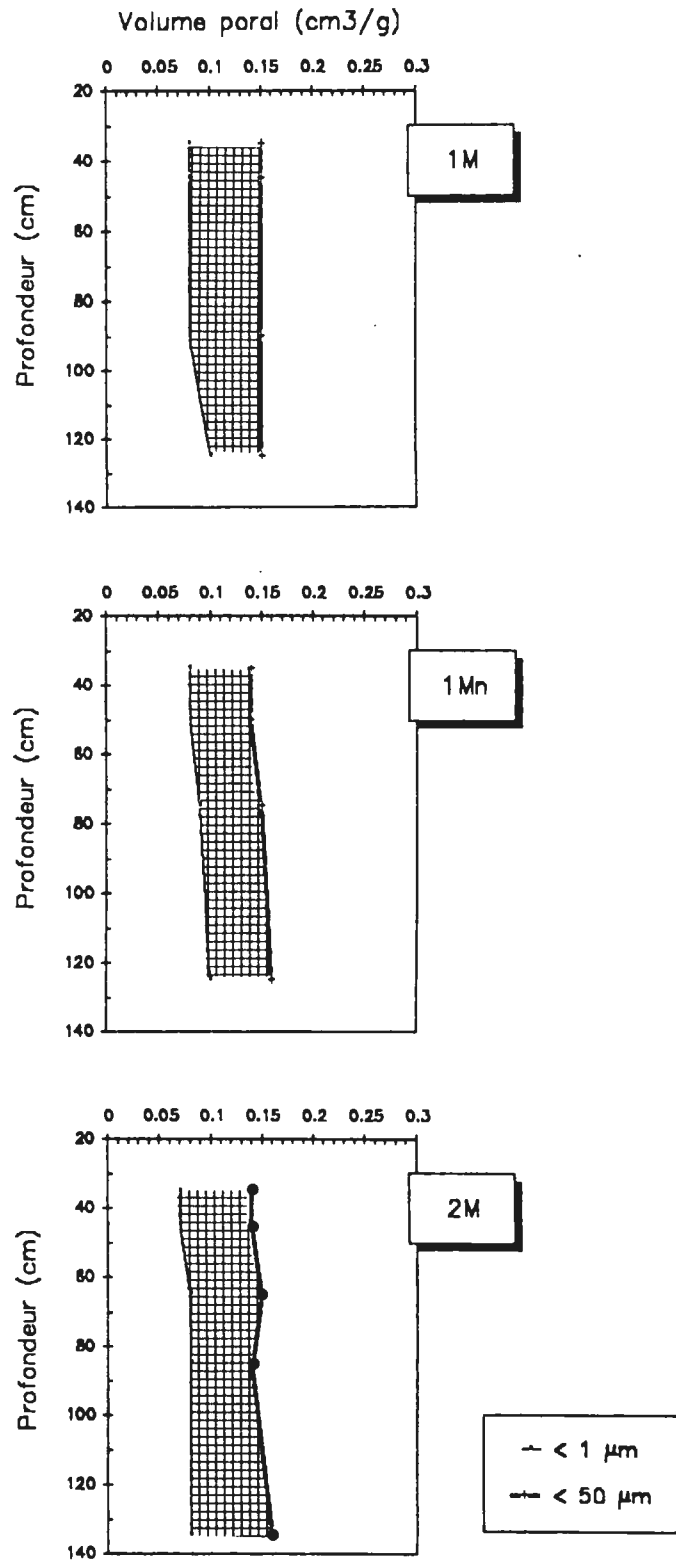


Fig.VIII.4 - Volume poral occupé par l'eau à 3,2 kPa ( $pF=1,5$ ) et 100 kPa ( $pF=3$ ) dans les trois situations type de mi-versant (premier cycle avec et sans fougères, et second cycle de culture). La différence entre les deux courbes permet d'obtenir le volume occupé par les pores ayant un rayon équivalent compris entre 1 et 50  $\mu m$ .

## D. ETUDE DU SPECTRE PORAL DE LA PHASE PLASMIQUE

Les profils porosimétriques que nous venons d'étudier indiquent que la dégradation physique affecte d'abord la gamme des pores les plus grands. Il s'agit maintenant de voir si le matériau à l'échelle de l'organisation des particules d'argile est également affecté. A cet effet, nous allons utiliser la porosimétrie à mercure sur les échantillons suivants :

- au sommet de l'horizon A12 (45 cm de profondeur) dans les trois situations 1M, 1Mn et 2M. C'est à cette profondeur que le phénomène de compaction est le plus important pour le profil 2M.

- à la base de l'horizon A12 pour les profils 1M et 2M (respectivement 90 et 65 cm).

Les situations seront présentées successivement et les résultats seront donnés sous la forme de courbes de volume poral massique cumulé ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

### 1. Résultats

Il est important de noter que les échantillons utilisés pour effectuer cette mesure ont un volume de l'ordre de grandeur du centimètre cube. Par conséquent les volumes mesurés pour les pores les plus grands ne sont pas immédiatement comparables à ceux qui sont mesurés sur motte à l'aide des courbes de rétention d'eau. En revanche il est possible de comparer les différents échantillons sur cette base.

#### a) Sommet de l'horizon A12 (1M, 1Mn, 2M) (Fig.VIII.5a)

La courbe du volume poral cumulé montre que la porosité de ces échantillons est de type bimodale : il existe une porosité inférieure à  $0,05 \mu\text{m}$  et une porosité supérieure à  $10 \mu\text{m}$ . Par comparaison, le volume occupé par les pores de taille intermédiaire est moindre. Nous discuterons principalement des pores les plus petits qui correspondent à l'arrangement des particules argileuses comme l'ont montré de nombreux auteurs (FIES, 1984 ; BRUAND, 1985 ; BRUAND et al., 1990 par exemple). Nous nomerons cette porosité "intercristallite".

Entre deux mesures, plus la pente de la courbe est forte, plus le volume occupé par cette gamme de pores est important. Par conséquent, dans la situation de référence (1M, premier cycle avec fougères) les pores intercristallites sont de taille plus étalée qu'en premier cycle sans fougères (1Mn). En second cycle de culture (2M) la taille modale des pores intercristallites est encore plus petite qu'en 1Mn.

Pour toutes les situations le volume cumulé à  $10 \mu\text{m}$  est identique.

Pour la porosité de grande taille il apparaît que la pente la plus forte et le volume le plus important sont observés en premier cycle de culture (1M), la pente la plus faible en second cycle de culture (2M).

#### b) Base de l'horizon A12 (Fig.VIII.5b)

On observe également une porosité de type bimodale.

En second cycle de culture (2M) les pores intercristallites sont mieux triés (spectre moins étalé) et sont de plus petite taille qu'en premier cycle de culture (1M) ; de plus ils occupent un volume plus important.



### c) Evolution avec la profondeur

En premier cycle aussi bien qu'en second on note une faible évolution en passant du sommet à la base de l'horizon A12.

## 2. Interprétation

Aux deux profondeurs étudiées, le passage de premier en second cycle est marqué par une *diminution de la taille* des pores intercrystallites, parallèlement à une *augmentation du volume* intercrystallite.

Cette différence indique qu'il apparaît une réorganisation de la porosité vers des pores *de plus en plus petits*, dont le volume cumulé devient de plus en plus important. Ainsi, le passage du premier au second cycle de culture est caractérisé par une distribution moins étalée du spectre poral.

La différence de volume poral intercrystallite entre les deux situations pourrait s'expliquer par une différence de teneur en argile. Mais les teneurs en argile des échantillons ne sont pas connus avec précision et l'hétérogénéité dans la teneur en argile au sein même d'un horizon est importante. Par conséquent il n'est actuellement pas possible d'attribuer la différence observée à une différence texturale ou à un changement du volume poral intercrystallite.

En revanche il apparaît que ces changements d'organisation aux niveaux les plus fins de l'organisation s'accompagnent d'un changement de statut organique (Fig.VI.5 et 6, Tab.VII.1 et 2). Des observations au microscope électronique nous permettront de préciser les relations qui existent entre les changements de la porosité intercrystallites et les changements de statut organique.

## 3. Conclusion

*Les évolutions pédoclimatiques, associées ou non à des contraintes mécaniques, correspondent aussi à des changements aux niveaux les plus fins de l'organisation, à savoir : l'arrangement des cristallites d'argile.*

On peut d'ores et déjà envisager les conséquences de ces changements au niveau de la cohésion du sol à l'échelle micro et macroscopique.

## CONCLUSION

*Dans les sols sablo-argileux de la plantation, les changements de volume poral étudiés sont d'abord le fait de la disparition des pores de taille  $> 50 \mu\text{m}$  ( $V_a$ ).*

En revanche, le volume des pores de taille inférieure ( $V_w$ ) ne sont pas, en première approximation, affectés par le processus de dégradation physique. Il est important de noter

que les rétentions d'eau obtenues au laboratoire et sur le terrain peuvent pourtant être très différentes. Nous verrons dans la suite de ce travail sur quelle base ce fait peut être interprété.

Enfin, la porosimétrie à mercure révèle *une réorganisation de l'espace poral intercrystallite* allant dans le sens d'un resserrement du spectre autour de pores de plus petite taille. Ce phénomène indique que les transformations intervenant au fil des cycles de culture concernent aussi les niveaux les plus fins d'organisation du sol.

---

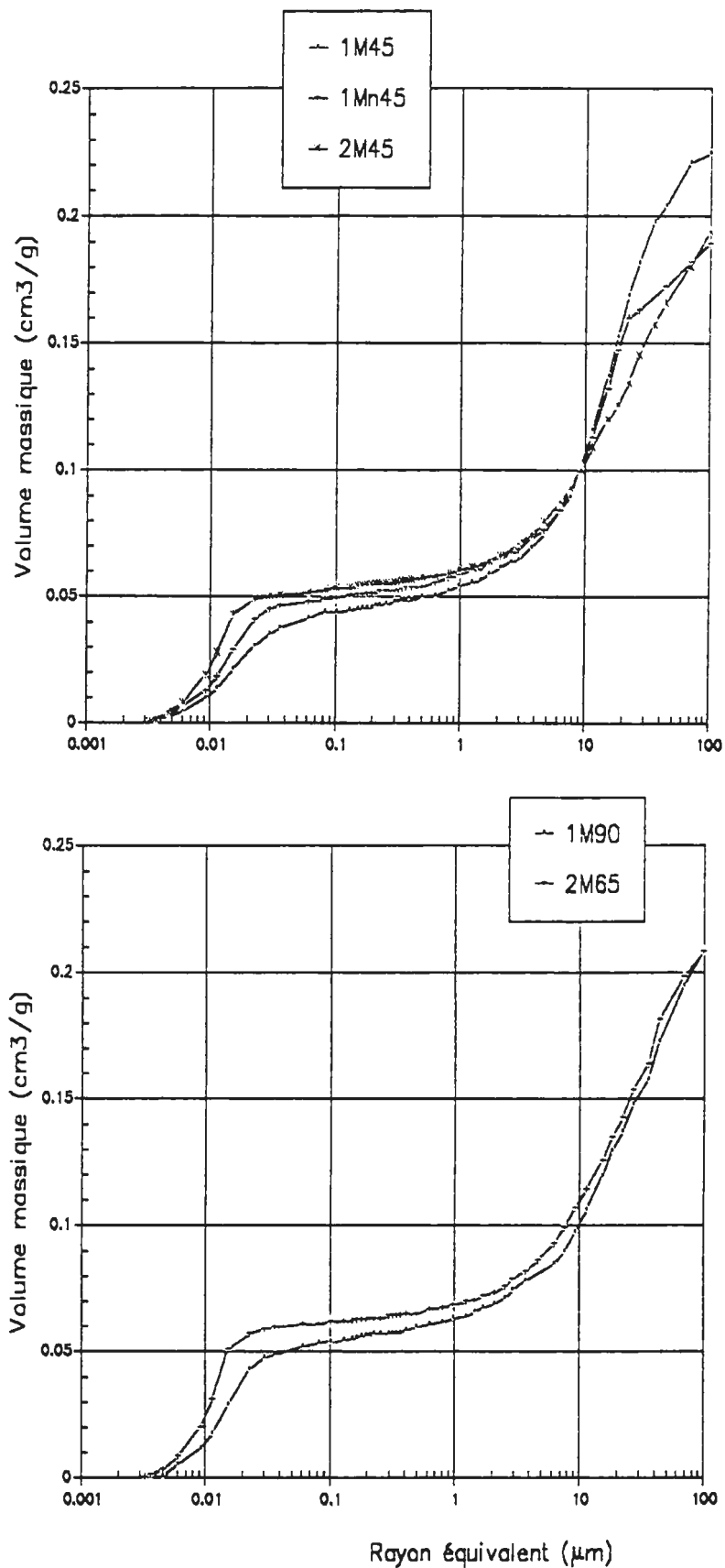


Fig.VIII.5 - Courbes de volume poral cumulé obtenues par injection de mercure dans les trois situations pédoclimatiques de mi-pente (1M, 1Mn, 2M); (a) au sommet de l'horizon A<sub>12</sub> (45 cm), (b) à la base de cet horizon (90 cm en 1M, 60 cm en 2M).



**CHAPITRE IX****ETUDE DU SPECTRE PORAL  
PAR LES  
OBSERVATIONS MORPHOLOGIQUES**

Les données figurant dans le chapitre précédent ont indiqué que la dégradation physique affecte d'abord les pores de taille millimétrique.

Il s'agit dans ce chapitre, de décrire cette gamme de pores. A cet effet, nous avons développé un ensemble méthodologique qui est basé sur l'observation directe de l'échantillon, et l'analyse quantitative de l'image obtenue de la porosité.

## INTRODUCTION

L'objectif de ce chapitre est de décrire, sous différents aspects, le système poral du sol dans la gamme des tailles de pores supérieures à 50  $\mu\text{m}$ . En science du sol, cette description *ne peut être* réalisée par les courbes de rétention d'eau et passe habituellement par l'étude des propriétés de transfert dans le sol. Cette méthode comporte pourtant de nombreux inconvénients, liés en particulier à l'hétérogénéité du milieu (présence d'un niveau colmaté, effets de bordure, ...).

Ainsi, pour décrire le volume et le spectre poral, et en particulier l'hétérogénéité de distribution de la forme et de la taille des pores, nous avons utilisé un logiciel d'analyse d'image. Celui-ci nous a permis de mesurer et caractériser l'espace poral sur la base d'observations morphologiques, pour des surfaces importantes par rapport aux objets mesurés (pores de plus de 50  $\mu\text{m}$ ).

Ce travail a débuté par une mise au point méthodologique complète : saisie de l'image, adaptation du logiciel à notre objectif (mesures de longueurs et de surfaces en particulier), enfin un étalonnage permettant de transformer les nombres de pixels en valeur dans des systèmes d'unité appropriés. Les résultats ainsi obtenus peuvent alors être mis en relation avec les mesures physiques effectuées sur l'objet en trois dimensions.

## A. OBTENTION DE L'IMAGE

### 1. Préparation de l'échantillon

Des blocs de sol non remanié, orientés verticalement, d'environ 10 cm de côté ont été prélevés dans différents horizons des profils de mi-versant, puis mis à sécher à l'air durant plusieurs jours. Après passage à l'étuve à 40°C, ils ont été inclus, sous une pression de 5 kPa, avec une résine polyester contenant un produit fluorescent (Uvitex, Ciba-Geigy) (MURPHY et al., 1977).

Lorsque la résine a été parfaitement indurée, une plaquette de quelques millimètres d'épaisseur a été découpée à l'aide d'une scie diamantée. Une face de la plaquette a été aplanie et polie à l'aide d'une meule.

Nous appellerons cette plaquette "*lame polie*". Sa dimension finale est d'environ 5 x 8 cm. Une lame polie par horizon a été réalisée.

### 2. Saisie de l'image

Notre objectif est d'obtenir une image de la porosité de l'échantillon. A cet effet la lame polie est placée dans une boîte noire contenant deux lampes de 6 watts à rayonnement UV (365 nm). Une caméra est placée à la verticale de la lame, la distance entre les deux déterminera le grossissement de l'image (Fig.IX.1). Dans ces conditions, seule la *lumière visible réémise* par la résine est captée par la caméra. Celle-ci donne une *image de la porosité* de l'échantillon occupée par la résine avec une résolution de *512 x 512 pixels* (\*).

---

\* Rappelons que "pixel" est l'abréviation de l'expression anglaise "picture elements".

L'image saisie est visualisée sur un moniteur après avoir été analysée par un logiciel (Visilog 3.6 de la société Noésis). Elle apparaît sur le moniteur, non pas en couleur, mais "en noir et blanc". En effet, pour chacun des 260 000 pixels de l'image, le logiciel attribue une valeur de gris comprise entre 1 et 255 en fonction de l'intensité du signal lumineux. Le pixel de valeur 1 apparaît blanc, celui de valeur 255 apparaît noir.

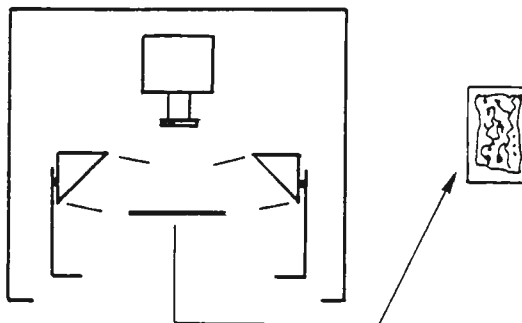


Fig.IX.1 - Saisie de l'image de la porosité d'une lame polie sous lumière UV à l'intérieur d'une boîte noire.

### 3. Seuillage

Il s'agit d'une opération importante, car elle détermine la qualité de l'image qui sera utilisée pour effectuer les mesures.

Si la lame polie était un plan parfait (absence d'épaisseur), les pixels de l'image ne pourraient prendre que deux valeurs : 1 (blanc) pour les pores et 255 (noir) pour la phase solide. Mais l'épaisseur de la lame joue un rôle sur l'intensité de la lumière réémise. Ainsi, la résine qui recouvre un quartz pris dans la masse réémet moins de lumière qu'un pore qui traverse l'épaisseur de la lame (Fig.IX.2a). L'image de cette lame est composée de pixels prenant donc différentes valeurs de gris.

Pour obtenir une image binaire, il a été nécessaire de choisir une valeur seuil de gris : les pixels d'une valeur inférieure ou supérieure à ce seuil prenant respectivement la valeur 1 (blanc = pore), ou 255 (noir = solide). Le logiciel ne permettant pas une mesure de la fréquence de distribution des 255 niveaux de gris, le niveau de seuillage a dû être choisi en *comparant l'image à l'écran et l'objet lui-même*. Pour pallier cette approximation il faut signaler que le grossissement choisi permet de reproduire l'image de chaque pore avec un nombre suffisamment grands de pixels (plusieurs dizaines à plusieurs centaines), minimisant ainsi l'incidence du seuillage sur l'aspect de l'image finale.

Nous avons pris comme valeur seuil, le niveau "20" dans l'ensemble de nos mesures (Fig.IX.2b).

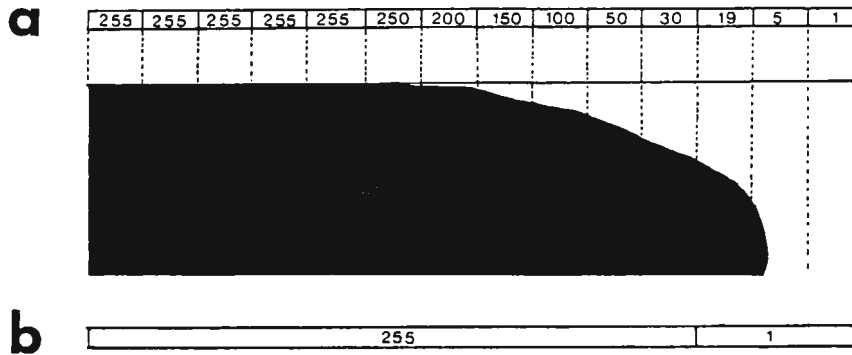


Fig.IX.2 - L'opération de seuillage permet d'obtenir une image binaire de la lame polie, les pixels prenant la valeur 1 (pore) ou 255 (solide).

#### 4. Nettoyage

Le pixel n'est pas un point au sens mathématique. Avec le matériel utilisé le pixel est un rectangle dont le rapport longueur/largeur est d'environ 1,5. L'image-écran est formé par la juxtaposition de ces pixels (512 en ordonné et en abscisse) disposés suivant une maille hexagonale (COSTER et CHERMANT, 1989, p98)..

Le rapport d'agrandissement détermine la surface représentée par un pixel. Dans notre étude, la surface du champ étudié est de 10 x 15 mm, le pixel correspond alors à un rectangle de 20 x 30  $\mu\text{m}$ , soit une surface de 600  $\mu\text{m}^2$ .

Notre objectif est l'étude des pores d'une taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$ . A l'aide d'une opération appelée "érosion-reconstruction" nous avons éliminé les cellules(\*) trop petites. Cette opération a éliminé toutes les cellules d'une taille inférieure à 8 pixels (4 800  $\mu\text{m}^2$ ).

## B. CARACTERISTIQUES GLOBALES DE LA POROSITE

Pour chacun des horizons suivants, nous avons fabriqué une lame polie :

- premier cycle avec fougères (1M) : 45, 90 et 125 cm
- premier cycle sans fougères (1Mn) : 45, 75 et 125 cm
- second cycle (2M) : 45, 65 et 125 cm

Sur chaque lame polie, nous avons procédé à la saisie de six images de 10 x 15 mm, que nous avons seuillées et mises sous forme binaire (ces images sont présentés en annexe). Notre objectif a été de mesurer la surface et le périmètre de la porosité sur les champs saisis.

Dans un premier temps, le logiciel a été utilisé pour donner une *mesure globale* de la porosité de l'image saisie. Sur chaque lame polie *six mesures* ont été réalisées, pour lesquelles nous avons calculé *la moyenne et l'écart-type* à la moyenne. Ce dernier a permis de caractériser l'hétérogénéité au sein de la lame polie.

\* cellule : ensemble de pixels qui forment l'image d'un pore.



## 1. Aire porale surfacique

L'image de la porosité est en deux dimensions, on ne mesure plus un volume poral mais une aire porale exprimée en pour cent de la surface totale examinée :  $\text{cm}^2$  de pore/ $\text{cm}^2$  de matériau) x 100, ou  $\text{mm}^2/\text{cm}^2$ . Les résultats sont présentés au tableau IX.1 :

Tableau IX.1

Aire porale surfacique moyenne en  $\text{mm}^2/\text{cm}^2$  (et coefficient de variation) des lames polies étudiées

	1M	(CV)	1Mn	(CV)	2M	(CV)
45 cm	10.3	47%	8.2	46%	4.2	33%
Intermédiaire	25.8	42%	7.1	0%	5.0	26%
125 cm	10.8	79%	7.3	48%	4.9	22%

En premier cycle avec fougères (1M), l'aire porale est identique à 45 et 125 cm (environ  $10 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ ), et présente une valeur très nettement supérieure à 90 cm de profondeur ( $25 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ ).

- En premier cycle sans fougères (1Mn), l'aire porale est plus faible : de  $8 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$  à 45 cm, elle passe à  $7 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$  dans les horizons sous-jacents.

- En second cycle (2M), l'aire porale est encore plus faible, environ  $5 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ . Il faut noter, que le minimum est atteint dans le premier horizon avec une valeur de  $4,2 \text{ mm}^2/\text{cm}^2$ .

Au total, la surface porale suit la même évolution que le volume poral (Fig.VIII.1). Les situations peuvent donc être classées comme précédemment (par ordre décroissant) :

$$1M > 1Mn > 2M$$

On peut d'ores et déjà affirmer que cette mesure est en accord avec les données relatives à la porosité sur motte et cylindre.

D'un autre côté, la valeur de l'écart-type permet de montrer l'hétérogénéité de la porosité au sein des lames : l'écart-type est supérieur à 40 % en premier cycle (avec un maximum de 79 %) et comprise entre 22 et 33 % en second cycle.

*Il est très important de noter, que les valeurs d'aire porale moyenne définissent très mal les situations de premier cycle. Il existe de grandes différences au sein des lames, même à 125 cm de profondeur. L'écart-type plus faible, autour de moyennes elles-mêmes plus faibles en second cycle, permet de dire que les lames sont nettement plus homogènes, surtout lorsqu'on descend dans le profil.*

## 2. Périmètre poral

### a) Présentation

A porosité identique, le sol peut présenter des organisations très différentes que nous avons cherché à analyser. La figure IX.3 permet de comparer trois cellules d'aire et de périmètre

identiques 2 à 2. Les cellules U et V ont un périmètre similaire, mais des surfaces très différentes. En revanche, V et W ont des aires identiques mais des périmètres différents.

Il ressort clairement de cette figure que l'on peut aisément distinguer différentes situations sur la base de la valeur de l'aire porale *et* du périmètre poral.

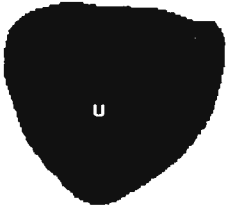


	Aire (pixels)	Périmètre (pixels)	
	U	6 900	300
	V	2 500	280
	W	2 500	400

Fig.IX.3 - Mesures de l'aire et du périmètre pour trois cellules d'aspects différents.

#### b) Résultats (\*)

Les données relatives à la longueur du périmètre poral spécifique (moyenne des six champs ramené à l'unité de surface) sont présentées dans le tableau IX.2 :

Tableau IX.2  
Périmètre poral moyen en  $\text{cm}/\text{cm}^2$  des lames polies étudiées

	1M	1Mn	2M
45 cm	26	19	11
Intermédiaire	51	17	14
125 cm	20	17	14

\* La mesure du périmètre pose un certain nombre de problèmes dans le cas d'images digitalisées. Pour limiter les erreurs nous l'avons recalculé à l'aide des mesures d'intercepts à 0, 60 et 120° (BRESSON, comm. orale).

En 1M le périmètre est toujours **supérieur à 20 cm/cm<sup>2</sup>**, en 1Mn il est proche de **17 cm/cm<sup>2</sup>** et en 2M il est toujours **inférieur à 15 cm/cm<sup>2</sup>**.

Les trois situations pédoclimatiques se distinguent nettement. et elles peuvent donc être classées par ordre décroissant :

$$1M > 1Mn > 2M$$

et cela à toutes les profondeurs. Nous retrouvons là, le classement établi à l'aide de la mesure de l'aire porale.

*L'évolution pédoclimatique correspond non seulement à une diminution du volume poral, mais aussi à une diminution des interfaces solide/porosité (rappelons qu'il s'agit de mesures concernant les pores d'une taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$ ).*

Il est difficile de comparer les différentes situations puisque l'aire (A) et le périmètre poral (p) varient simultanément. Afin d'éviter ce problème nous avons procédé au calcul d'un indice de forme.

### 3. Indice de forme

#### a) Présentation

La forme des pores est couramment considérée comme un indicateur de l'organisation de la phase solide, on parle de vides "d'entassement" ou fentes "de retrait" par exemple. La forme des pores peut alors être attribuée par rapport à une charte de référence (Ringrose-Voase et Bullock, 1984 par exemple).

Afin de décrire de façon objective et quantitative l'évolution de la forme des pores, nous avons utilisé les mesures d'aire et de périmètre pour calculer un indice de forme (sans dimension) :  $I = p^2/A$ .

Pour simplifier la lecture de cet indice, un facteur correctif de  $4\pi$  peut-être utilisé tel que l'indice soit égal à 1 pour un cercle :  $I = p^2/(4\pi A)$  (Sera, 1982, p336). Plus la forme s'éloigne du cercle (plus grande surface possible pour un périmètre donné), plus l'indice de forme augmente (Fig.IX.4).

Nous nommerons *compacte* une forme dont l'indice est proche de 1. Lorsque la valeur de l'indice augmentera, nous parlerons de forme de plus en plus *digitée*.

#### b) Résultats

Les indices de forme ont été calculés directement à partir des mesures exprimées en pixel. on obtient ainsi des valeurs comparables à celles des cellule de référence de la figure X.4.

Les résultats sont présentés tableau IX.3.

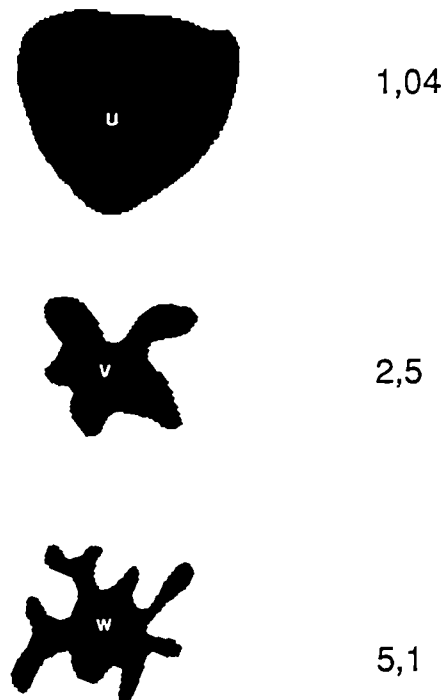


Fig.IX.4 - Indice de forme pour trois cellules différentes.

Tableau IX.3

Indice de forme moyen (et coefficient de variation) des horizons étudiés

	1M	(CV)	1Mn	(CV)	2M	(CV)
45 cm	6.0	40%	4.1	26%	2.6	23%
Intermédiaire	9.4	27%	4.2	8%	3.8	18%
125 cm	2.7	56%	3.9	30%	2.7	20%

Tout d'abord, la valeur de l'indice moyen diminue du premier cycle avec fougères (1M), au premier cycle sans fougères (1Mn) et au second cycle.

L'évolution de l'indice est différente au sein de chacun des trois profils.

1M : la valeur déjà forte à 45 cm augmente encore à 90 cm de profondeur mais diminue très nettement à 125 cm

1Mn : l'indice de forme est très constant sur l'ensemble du profil

2M : le plus faible indice est atteint dans l'horizon 45 cm, il est même légèrement inférieur à l'indice obtenu à 125 cm.

L'écart-type autour de la moyenne permet aussi de caractériser l'hétérogénéité de la forme des pores :

- 1M : la plus forte valeur de l'écart-type est obtenue à 125 cm de profondeur (56 %)
- 2M : les écarts-type sont plus faibles, aux alentours de 20 %.

*Par conséquent, il existe très nettement une évolution de la forme des pores de taille millimétrique dans les différents profils. Il est possible de classer les situations, par ordre d'indice de forme décroissant, soit :  $1M > 1Mn > 2M$ .*

#### 4. Discussion

Nous avons regroupé au tableau IX.4, les valeurs de l'aire porale, du périmètre poral et de l'indice de forme provenant des horizons situés à 45 cm de profondeur.

Tableau IX.4

Aire et périmètre poral, et indice de forme des trois situations pédoclimatiques (horizons 40/50 cm)

	Aire mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	Périmètre cm/cm <sup>2</sup>	Indice de forme
1M	10.3	26	6.0
1Mn	8.2	19	4.1
2M	4.2	11	2.6

Les résultats indiquent que l'aire porale surfacique et le périmètre surfacique des pores décroissent de 1M à 1Mn et 2M. Ce résultat n'était pas évident a priori puisqu'il est physiquement possible que l'aire croisse pendant que le périmètre décroît ou réciproquement. Il existe donc un changement de forme des pores qui deviennent de moins en *moins digités* ou de moins en *moins rugueux* de 1M en 2M.

*Depuis le profil 1M jusqu'à 2M, tous les paramètres utilisés pour décrire l'espace poral du sol vont dans le sens de la dégradation du système poral. L'analyse d'image, comme les mesures physiques, permet de repérer deux stades de dégradation des sols de la plantation : 1Mn et 2M.*

Dans le paragraphe qui suit, c'est aux conséquences de l'opération d'abattage-replantation que nous allons nous intéresser plus particulièrement, en comparant 1M et 2M.

## C. ETUDE DU SPECTRE PORAL

Les mesures ont été effectuées à partir des images obtenues sur les horizons 40/50 cm des profils 1M et 2M (parcelle de premier et de second cycle, à mi-versant) afin de décrire les dégradations dues aux travaux d'abattage et de replantation. Cet horizon 40/50 cm est celui où la différence de volume massique est la plus importante entre le premier et le second cycle.

### 1. Matériels et méthodes

Nous avons repris, pour les deux profils, l'image de chacun des six champs. Par une opération appelée "labélisation", chaque cellule a été reconnue individuellement. Il faut à présent classer ces pores par taille afin de pouvoir décrire le spectre poral.

Pour mesurer la taille d'un pore on passe habituellement par le rayon équivalent qui est facile à déterminer expérimentalement lorsqu'il existe un phénomène de capillarité (voir le chapitre précédent). Lorsque ce phénomène n'existe plus (pores supérieurs à environ 50  $\mu\text{m}$ ) il peut-être intéressant d'utiliser un autre paramètre pour décrire la taille du pore.

Nous avons décidé de caractériser chaque pore par la surface qu'il occupe. Du point de vue mathématique une surface remplit les conditions nécessaire pour être utilisée comme une taille (SERA, 1982) et la mesure faite par le logiciel ne comporte pas d'erreur ni d'approximation.

Dans le cadre de ce travail d'analyse d'image nous nommerons *taille du pore* son *aire porale*. Six classes porales ont été choisies :

- pores inférieurs 0,03  $\text{mm}^2$  (moins de 50 pixels)
- pores de 0,03 à 0,06  $\text{mm}^2$  (50 à 100 pixels)
- pores de 0,06 à 0,12  $\text{mm}^2$  (100 à 200 pixels)
- pores de 0,12 à 0,25  $\text{mm}^2$  (200-400 pixels)
- pores de 0,25 à 0,50  $\text{mm}^2$  (400-800 pixels)
- pores supérieurs à 0,50  $\text{mm}^2$  (plus de 800 pixels)

Rappelons que chaque pore est caractérisé par son aire et son périmètre, qui donnent l'indice de forme. On a compté pour chaque classe le nombre de pores qui la compose, l'aire occupée et le périmètre développé. Enfin, l'indice de forme moyen pour chaque classe a été calculé.

### 2. Nombre de pores et aire porale

Les résultats de ces deux mesures sont présentés figure IX.5 et dans le tableau IX.5. En abscisse figure chacune des classes, et en ordonnée l'aire occupée par chaque classe. Le nombre de cellules composant chaque classe a été indiqué sur les diagrammes.

Tableau IX.5 - Nombre de pores et aire porale pour chacune des tailles de pore.

		Taille de pores (mm <sup>2</sup> )					
		<0.03	0.03/0.06	0.06/0.12	0.12/0.25	0.25/0.50	>0.5
Nombre de pores	1M	1181	314	142	72	44	24
	2M	601	167	91	35	21	2
% du total	1M	66	18	8	4	2.5	1.5
	2M	66	18	10	4	2	0.2
Aire porale (mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	1M	1.83	1.44	1.32	1.34	1.59	3.00
	2M	0.93	0.76	0.85	0.61	0.71	0.13
% du total	1M	17	14	13	13	15	28
	2M	23	19	21	15	18	3

#### a) Premier cycle

Les pores de la première classe (inférieurs à 0.03 mm<sup>2</sup>) représentent, en nombre, les deux tiers de l'ensemble des pores. En surface ils ne représentent qu'un sixième (17 %) de la porosité. A l'opposé, les pores supérieurs à 0,50 mm<sup>2</sup> (24 au total) ne représentent que 1 % des pores, mais 30 % de l'aire porale totale.

Pour les classes intermédiaires, on peut signaler que le nombre de pores diminue de moitié à chaque fois que l'on change de catégorie. Mais l'aire occupée par chaque classe (sauf celle des grands pores) est sensiblement identique, aux alentours de 1,5 mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>.

#### b) Second cycle

Les pores les plus petits (inférieurs à 0.03 mm<sup>2</sup>) représentent les deux-tiers des pores, et ils occupent un quart (23 %) de la surface porale. Les pores de grande taille ont quasiment disparu : il n'existe plus que deux pores d'une taille supérieure à 0,50 mm<sup>2</sup>, et la surface qu'ils occupent est négligeable. Pour les pores d'une taille intermédiaire, la surface totale occupée par chaque catégorie est proche de 0,7 mm<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>.

#### c) Discussion

*Les pores les plus grands (taille supérieure à 0,50 mm<sup>2</sup>) qui représentent 30 % de la surface porale en premier cycle de culture, ont presque entièrement disparu en second cycle, où ils n'occupent plus qu'une surface négligeable.*

Le nombre et l'aire des pores de toutes les autres classes diminuent systématiquement de moitié, en passant du premier au second cycle.

### 3. Périmètre poral

#### a) Résultats (Tab.IX.6 et Fig.IX.6)

Tableau IX.6 -

		Taille de pores (mm <sup>2</sup> )					
		<0.03	0.03/0.06	0.06/0.12	0.12/0.25	0.25/0.50	>0.5
Périmètre (cm/cm <sup>2</sup> )	1M	7.2	4.1	3.0	2.5	2.6	3.6
	2M	3.5	2.1	1.7	1.1	1	0.1
% du total	1M	31	18	13	11	11	16
	2M	37	22	18	12	11	1

Les pores de les plus petits développent au total le plus grand périmètre. Pour le premier et le second cycle on obtient respectivement 7 et 3,5 cm/cm<sup>2</sup>.

Le périmètre développé par les deux classes suivantes (0,03 à 0,12 mm<sup>2</sup>) diminue régulièrement.

Pour les classes 0,12/0,25 et 0,25/0,50 mm<sup>2</sup>, le périmètre poral est stable, et il prend respectivement, pour le profil 1M et 2M, les valeurs 2,5 et 1 cm/cm<sup>2</sup>.

En premier cycle, les 24 pores d'une taille supérieure à 0,50 mm<sup>2</sup> développent un périmètre de 4 cm/cm<sup>2</sup>, soit 16 % du total. En second cycle, ces pores ont disparu et le périmètre développé est proche de 0.

Pour cette catégorie des pores les plus grands (>0,50 mm<sup>2</sup>), le périmètre devient quasiment nul en second cycle.

#### b) Discussion

Tous d'abord si l'on décrit l'évolution du périmètre poral des différentes classes de pores, dans les deux situations on constate que :

- ce sont les pores les plus petits qui développent le plus grand périmètre par unité de surface. Ceci est en accord avec le grand nombre de pores que l'on retrouve dans cette classe,
- pour les pores des trois classes suivantes (pores d'une taille de 0,03 à 0,25 mm<sup>2</sup>), le périmètre par unité de surface diminue faiblement alors le nombre de pores est à chaque fois divisé par 2.

Pour les pores les plus grands (> 0,25 mm<sup>2</sup>) la situation diffère d'un cycle de culture à l'autre :

- en premier cycle, on constate une augmentation du périmètre par unité de surface, augmentation très marquée pour la catégorie des pores supérieurs à 0,50 mm<sup>2</sup>. Rappelons que cette classe ne compte que 24 individus, alors que la classe des pores compris entre 0,03 et 0,06 mm<sup>2</sup>, qui développe un périmètre poral par unité de surface sensiblement identique, compte 314 individus, soit 13 fois plus ;
- en second cycle de culture on constate que la diminution de valeur du périmètre poral par unité de surface se poursuit. *Ce périmètre par unité de surface devient même quasiment nul pour la classe des pores les plus grands, qui ne compte plus que deux cellules.*



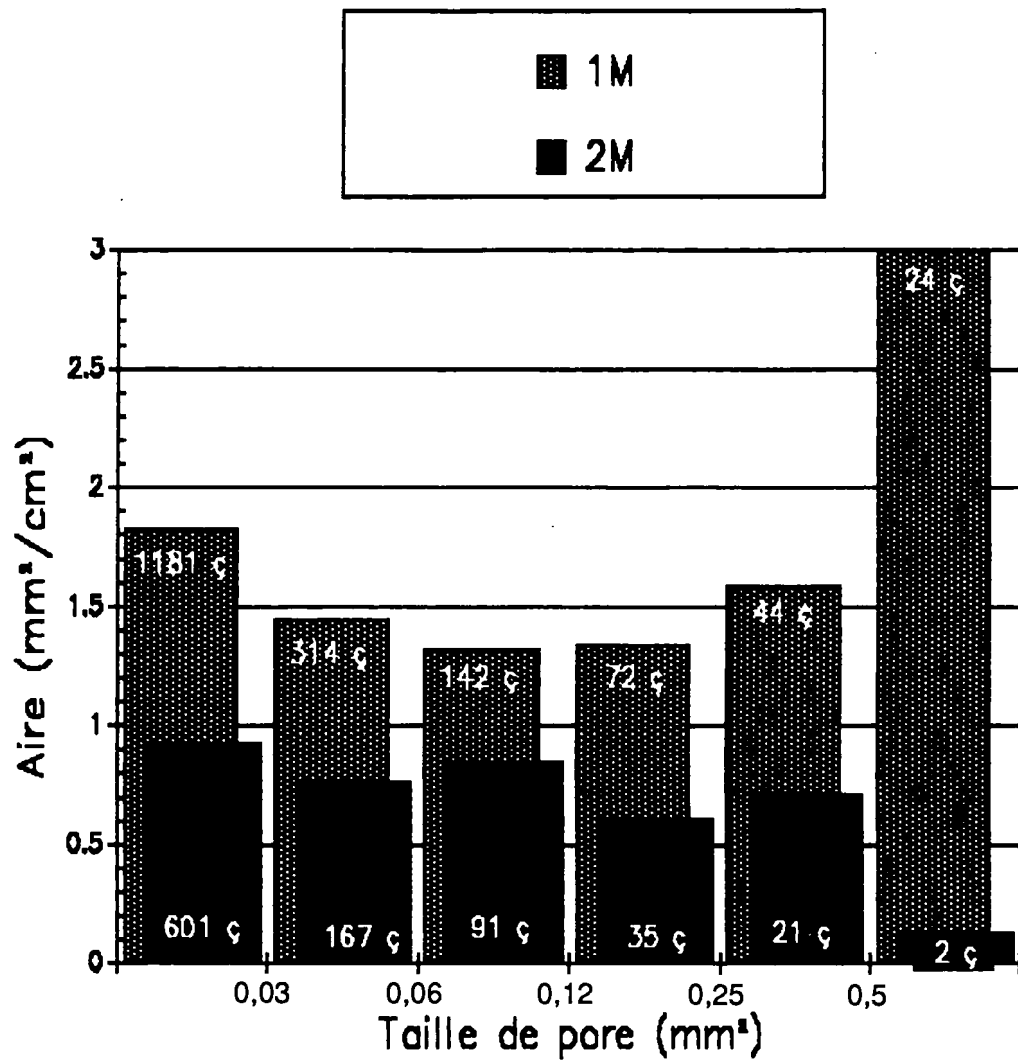


Fig.IX.5 - Nombre de pores (ç) et aire porale pour les différentes classe de pore (taille exprimée en mm<sup>2</sup>), en premier (1M) et en second (2M) cycle de culture.

Enfin, si l'on compare globalement les deux situations, il apparaît qu'en second cycle de culture les valeurs sont systématiquement inférieures de moitié par rapport au premier cycle de culture.

#### 4. Indice de forme

##### a) Résultats (Fig.IX.7)

Dans la situation 1M l'indice de forme évolue entre une valeur proche de 2 (pour la classe des pores inférieurs à  $0,05 \text{ mm}^2$ ) et une valeur de 13 (pour la classe des pores supérieurs à  $0,50 \text{ mm}^2$ ). Il faut noter qu'il s'agit là d'une valeur moyenne et qu'il existe plusieurs pores ayant un indice de forme supérieur à "20".

Pour la situation 2M l'indice évolue entre une valeur proche de 1 (pour la classe des pores inférieurs à  $0,05 \text{ mm}^2$ ), et une valeur proche de 5 (pour la classe des pores entre  $0,25$  et  $0,50 \text{ mm}^2$ ). Nous n'avons pas représenté l'indice de forme des deux pores supérieurs à  $0,50 \text{ mm}^2$  car ils représentent une partie négligeable de la porosité, mais signalons que leur indice de forme est pour tous les deux de "13" environ.

##### b) Discussion

Rappelons qu'un indice de forme de 1 est obtenu pour le cercle et que cet indice est supérieur pour tous les autres cas de figure. Cet indice est sans dimension et permet de comparer effectivement la forme de pores ayant des tailles différentes.

Du fait de la forme strictement rectangulaire du pixel l'indice obtenu pour les pores d'une taille inférieure à  $0,05 \text{ mm}^2$  ne traduit pas fidèlement la forme des pores dont il est l'image. Pour les autres catégories il faut constater que, là aussi, on observe une valeur systématiquement inférieure en 2M par rapport à 1M.

Pour la classe des plus grands pores on constate une augmentation importante de l'indice (valeurs supérieures à 10), par conséquent une augmentation du périmètre plus importante que l'augmentation de l'aire. Nous avons vérifié sur l'image de la porosité qu'il n'existe pas de fentes de retrait, mais qu'il s'agit de pores de plus en plus digités. Par conséquent, les plus grands pores (en terme d'aire) observés, sont des pores digités qui vont assurer une continuité de la porosité en trois dimensions.

#### 5. Conclusion

En passant de 1M à 2M c'est dans l'horizon 40/50 cm que la diminution du volume occupé par les pores supérieurs à  $50 \mu\text{m}$  est la plus grande (chapitre VIII).

*Entre 1M et 2M l'évolution de l'espace poral peut être caractérisée globalement par la diminution de moitié du nombre de pores, de l'aire porale et du périmètre poral pour chaque classe de pores. Mais surtout, il faut constater la disparition quasi totale de la classe des pores les plus grands, ceux qui jouent le rôle principal pour le transfert de la solution du sol et permettent la circulation des racines et des animaux de la mésofaune.*

Parallèlement, la forme des pores change quand on passe de 1M en 2M, avec une diminution systématique de l'indice de forme. La rugosité diminue avec la dégradation physique et la classe des pores  $> 0,25 \text{ mm}^2$  est la plus touchée.

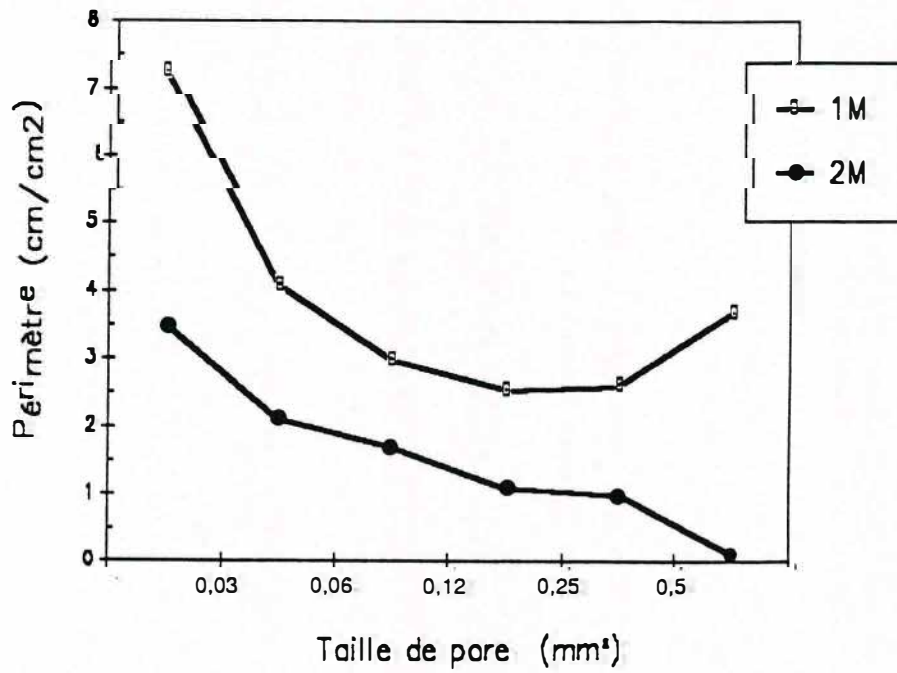


Fig.IX.6 - Périmètre poral développé par les classes de pore en premier (1M) et en second (2M) cycle de culture, à 45 cm de profondeur.

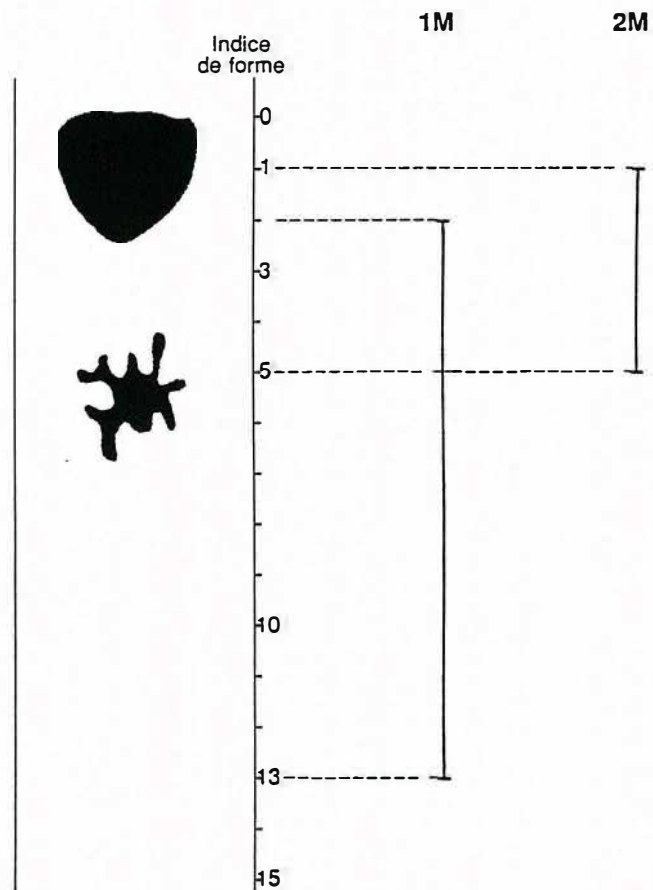


Fig.IX.7 - Spectre d'indice de forme pour l'ensemble des classes de pore en premier (1M) et en second (2M) cycle de culture, à 45 cm de profondeur.

## D. DISCUSSION

Trois aspects seront traités successivement : la signification des mesures, la relation entre la porosité du sol et la surface développée par les pores et l'origine des pores.

### 1. Signification des mesures d'aire porale

Il est nécessaire de comparer les données physiques du chapitre VIII aux données de l'analyse d'image. Rappelons que les mesures de rétention d'eau indiquaient une diminution du volume poral en passant de 1M, à 1Mn et 2M.

Les mesures de l'aire des pores vont en tous points dans le même sens que les mesures physiques. Il existe une diminution de l'aire porale entre 1M et 1Mn, et une diminution encore plus importante entre 1M et 2M.

Si la diminution du volume poral massique est de 25 % entre 1M et 2M à 45 cm de profondeur, la diminution d'aire porale surfacique est de 60 % dans les mêmes conditions. Il est clair qu'il n'est pas possible de faire une extrapolation *directe* entre la caractérisation suivant un plan d'un objet en trois dimensions, et l'objet lui-même. En revanche, malgré tous les inconvénients dûs au passage en deux dimensions, l'analyse d'image nous permet de *mesurer* effectivement l'évolution des pores inaccessibles par d'autres méthodes (rétention d'eau ou porosimétrie à mercure) et de comparer différents horizons sur cette base.

*L'analyse d'image nous permet surtout d'appréhender l'homogénéité d'un horizon et de préciser l'organisation spatiale du réseau poral.*

Ainsi nous avons vu que la diminution de l'aire porale surfacique est accompagnée d'une diminution de l'hétérogénéité dans la répartition de cette porosité : il n'existe plus de zones très poreuses constituant les chemins préférentiels d'écoulement. L'apparition de ruissellement malgré une faible évolution du volume poral peut ainsi être expliqué dans les situations dégradées.

### 2. Périmètre poral et surface des pores du sol

Bien que les mesures de périmètre poral n'aient que rarement été effectuées jusqu'à présent (JONGERIUS et al., 1972 ; MURPHY, 1978 ; RINGROSE-VOASE and BULLOCK, 1984 ; SINGH et al., 1991), cette mesure apparaît un critère extrêmement intéressant pour caractériser un sol. A cette notion de périmètre pour un plan peut être associée la notion de surface dans l'étude des solides divisés comme les argiles, mais aussi d'autres milieux poreux, en particulier le sol. Cette surface conditionne en effet les possibilités d'échange avec les surfaces absorbantes des racines. Il est d'ailleurs courant d'évoquer la surface racinaire développée par une plante (CALLOT et al., 1982), sans que la surface disponible du sol ait vraiment été mesurée jusqu'à présent.

*Le périmètre poral est donc une expression de la surface disponible pour les racines. Il devient possible de comparer différents sols entre-eux sur cette base. De plus, la valeur du périmètre poral de différents horizons au sein d'un même profil renseigne, à partir de lames polies, sur le volume du sol explorable et exploitable par les racines.*

### 3. Indice de forme et origine des pores

La mesure du périmètre poral nous permet de calculer un indice dont la valeur est fonction de la forme du pore.

Nous avons représenté les cellules V et W des (Fig.IX.3 et 4) qui ont respectivement un indice de forme de 2,5 et 5,1. Malgré une aire identique le périmètre du pore W est de 40 %. On peut donc dire qu'à taille (surface) de pore identique, l'interface avec le solide est plus grande pour W.

Ceci signifie que le solide qui est l'origine du pore W est plus divisé ou discontinu que le solide qui est à l'origine du pore V.

Dans le cas des horizons 40/50 cm des profils 1M et 2M les constituants sont identiques (16 % d'argile et moins de 1% de matière organique). Pourtant on observe une diminution de l'indice de forme qui est considérable (de 13 à 5 en passant de 1M à 2M pour la classe des plus grands pores existant), donc une augmentation de la *continuité du matériau*.

De plus le nombre de pores n'est pas constant en passant de 1M à 2M, mais il diminue de moitié (de même que l'aire porale). Par conséquent l'augmentation de continuité du matériau est encore renforcée.

*La porosité n'est que le volume complémentaire résultant de l'arrangement des constituants solides. Par conséquent l'évolution de la forme des pores nous permet de mettre aussi en évidence une évolution de l'organisation du solide.*

En passant d'un premier à un second cycle de culture la continuité de la phase solide est augmentée de façon considérable. La forme plus compacte des pores évoque alors des vacuoles dont la continuité est faible. Ceci est en accord avec les observations de terrain qui indiquent l'apparition d'un ruissellement.

## CONCLUSION

Les mesures physiques indiquaient une évolution de l'espace poral concernant principalement les pores d'une taille supérieure à 50  $\mu\text{m}$ . Il apparaît que cette évolution correspond à de profonds changements du système poral des sols.

En effet, en passant d'une situation pédoclimatique à une autre (1M, 1Mn et 2M), il s'avère que toutes les caractéristiques étudiées viennent à l'appui d'une dégradation du milieu. Il s'agit du nombre de pores qui est diminué de moitié, de même que l'aire et le périmètre poral. L'indice de forme, quant à lui, indique une évolution vers des formes plus compactes.

*Au total, la dégradation pédoclimatique est associée à une augmentation de la continuité de la phase solide.*

*Enfin, il faut constater qu'il existe une caractéristique spécifique de l'évolution suite aux opérations d'abattage-replantation : la disparition des plus grands pores.*

Ces différents aspects seront resitués et intégrés à l'ensemble des résultats dans la discussion générale qui fait l'objet de la quatrième partie.



## CHAPITRE X

### ORGANISATION DU SOL

#### A L'ECHELLE DES CONSTITUANTS

Il ressort du chapitre VIII et IX que les caractéristiques de l'espace poral évoluent de façon significative en passant d'une situation pédoclimatique à une autre. Mais l'espace poral n'est que le volume complémentaire à l'arrangement de la phase solide.

Il s'agit de montrer ici comment l'organisation de la phase solide est à l'origine des caractéristiques de l'espace poral, depuis l'échelle millimétrique jusqu'à l'échelle nanométrique.

## INTRODUCTION

Les mesures d'espace poral ont été effectuées à différentes échelles (du millimètre au nanomètre) à l'aide de plusieurs méthodes d'investigation. Pour visualiser l'organisation de la phase solide, aux mêmes échelles, nous avons utilisé différentes techniques d'observations.

Les observations à faible grossissement sur lame mince ont été privilégiées puisque les changements les plus importants concernent les pores de quelques centaines de micromètres. Des observations effectuées au MEB (en trois dimensions), viendront en complément. L'organisation des cristallites d'argiles a été décrite à partir d'observations effectuées au MET.

Notre objectif est avant tout de faire ressortir les conséquences des opérations d'abattage et de replantation. Dans ce chapitre nous allons comparer l'organisation des échantillons de premier et de second cycle de culture, dans l'horizon 40/50 cm. C'est dans cet horizon que la perte de porosité globale est la plus importante (Fig.VII. ), et que nous avons effectué des mesures à l'aide de l'analyse d'image (chapite IX - C).

## A. ETUDE DE L'ORGANISATION SABLE/ARGILE

L'évolution du spectre des pores supérieurs à 50  $\mu\text{m}$  est dû à des changements dans l'organisation de la phase solide. Nous avons dit que celle-ci est constituée principalement d'un mélange binaire de sable grossiers et d'argile kaolinitique. Le grossissement et le mode d'éclairage devront être adaptés à ce type d'échantillons.

### 1. Mise au point d'une méthode d'investigation

A partir des lames polies utilisées au chapitre précédent, des lames minces ont été confectionnées selon la technique mise au point par GUILLORE (1980). Elles ont été observées à l'aide d'une loupe binoculaire, appareil le plus adapté pour les objets de taille millimétrique.

Les sols à fortes teneur en quartz se prêtent mal aux descriptions micromorphologiques : les quartz ramenés à une épaisseur de 30  $\mu\text{m}$  sont transparents et ne peuvent être distingués des pores (particulièrement si les pores et les quartz ont la même dimension). Par conséquent, nous avons développé une méthode originale qui permet de faire apparaître *distinctement* les vides, les quartz et le plasma (HARTMANN et al., à paraître).

Cette méthode utilise la lumière UV en épiscopie pour faire apparaître les pores, et la lumière transmise pour distinguer, au sein de la phase solide, les quartz et les vides.

Au total les vides apparaissent en bleu, les quartz en noir et la plasma en ocre-jaune (suivant les teneurs en matières organiques et en oxydes).

### 2. Organisation à l'échelle millimétrique

La figure 1 présente, sur la partie gauche, les observations effectuées sur l'échantillon de premier cycle (1M) ; et sur la partie droite, les observations réalisées sur l'échantillon de second cycle (2M), dans l'horizon 40/50 cm.



En a et b les lames ont été éclairées uniquement à l'aide de lampes UV faisant ressortir les caractéristiques de la porosité.

En c et d nous observons les mêmes champs : afin de pouvoir distinguer les quartz et le plasma, une lumière naturelle en diascopie a été ajoutée à l'UV en épiscopie.

#### **a - Premier cycle de culture (Fig. X.1, photos a et c)**

La porosité est constituée de vides d'entassement entre des particules de tailles différentes (photo a, lumière UV). Il s'agit de vides polyconcaves et d'autres pores aux formes beaucoup plus complexes avec de nombreuses digitations. Cette porosité est répartie sur l'ensemble de la lame. Il existe des plages de quelques centaines de micromètres carrés sans aucune porosité.

L'utilisation de la lumière naturelle en diascopie (photo c), permet de localiser les constituants de la phase solide. Les plages sans porosité correspondent à quelques particules de quartz de grande taille. Les grains de quartz, d'une taille de 100 à 500  $\mu\text{m}$ , sont juxtaposés à des microagrégats plasmiques d'une taille inférieure à 100  $\mu\text{m}$ . Ces microagrégats sont souvent associés en amas qui présentent une porosité d'entassement.

Il s'agit d'une *organisation aggloméroplasmique* (\*) (BREWER, 1964).

#### **b - Second cycle de culture (Fig. X.1, photos b et d)**

La porosité (photo b) est constituée de fentes et de chenaux. Les fentes présentent des extrémités biseautées, des changements de direction anguleux et leurs bords sont partiellement ajustés. Certaines s'étendent sur plusieurs millimètres. Les chenaux sont plus larges (plus de 100  $\mu\text{m}$ ), et présentent parfois de renflements circulaires. Au total la porosité est beaucoup moins digitée, les plages de grande taille dépourvues de porosité sont importantes en nombre, et en surface totale.

L'utilisation de la lumière naturelle met en évidence une *microstructure intertextuelle à porphyrosquelique* (\*\*) (BREWER, 1964). Les particules de quartz sont partiellement ou entièrement enrobées dans un plasma dense et continu. Au sein de ce plasma la porosité est constituée uniquement par les fentes de retrait évoquées plus haut.

Il est très important de noter que les surfaces sans porosité ne sont plus des particules de quartz de grande taille, mais des plages argileuses séparées par ces fentes de retrait.

#### **c - Conséquences au plan hydrodynamique**

A partir des mesures effectuées au chapitre précédent et de nos observations, il est clair que la porosité de ces sols est largement interconnectée en premier cycle de culture. La forme digitée des pores et leur grand nombre proviennent de la division de la phase solide. Ce grand nombre de pores et cette forme digitée permettent une très grande continuité de l'espace poral.

En second cycle de culture il est apparu une diminution du nombre de pores et de leur rugosité.

De plus, l'observation sur lame mince nous a permis de constater que la porosité est constituée en partie par des fentes de retrait. Ces fentes sont apparues au moment du séchage de l'échantillon en vue de son inclusion. Par conséquent, celles-ci n'existent pas lorsque le sol est en place, rendant la phase plasmique encore plus continue. L'autre partie de la porosité est

\* on peut aussi parler de structure énaulique (BULLOCK et al.)

\*\* ou microstructure chitonique à porphyrique (BULLOCK et al.)

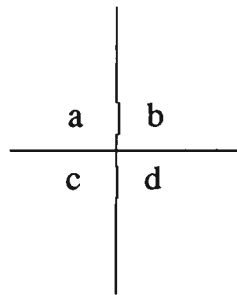
Figure X.1 - Comparaison du premier (a et c), et du second cycle (b et d) de culture, à partir d'observation sur lames minces.

Photos du haut (a et b) comparaison de l'espace poral par utilisation de la lumière UV, et photos du bas (c et d), comparaison de l'espace poral et des constituants de la phase solide.

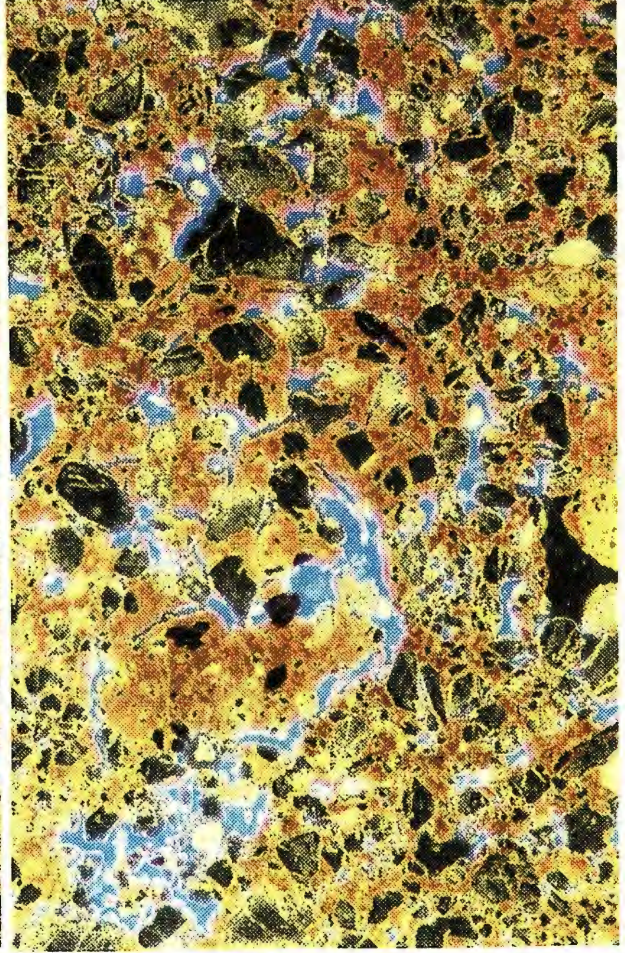
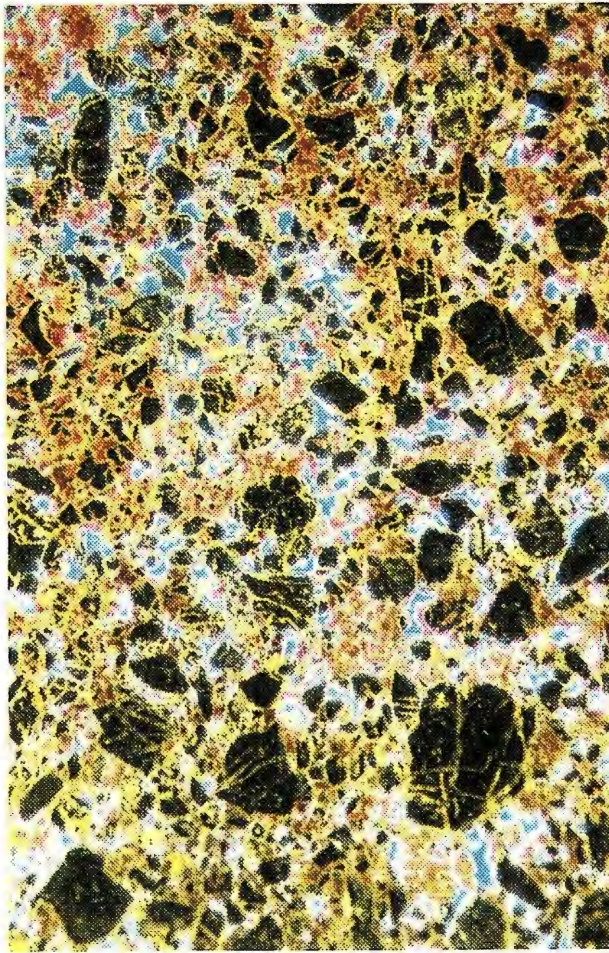
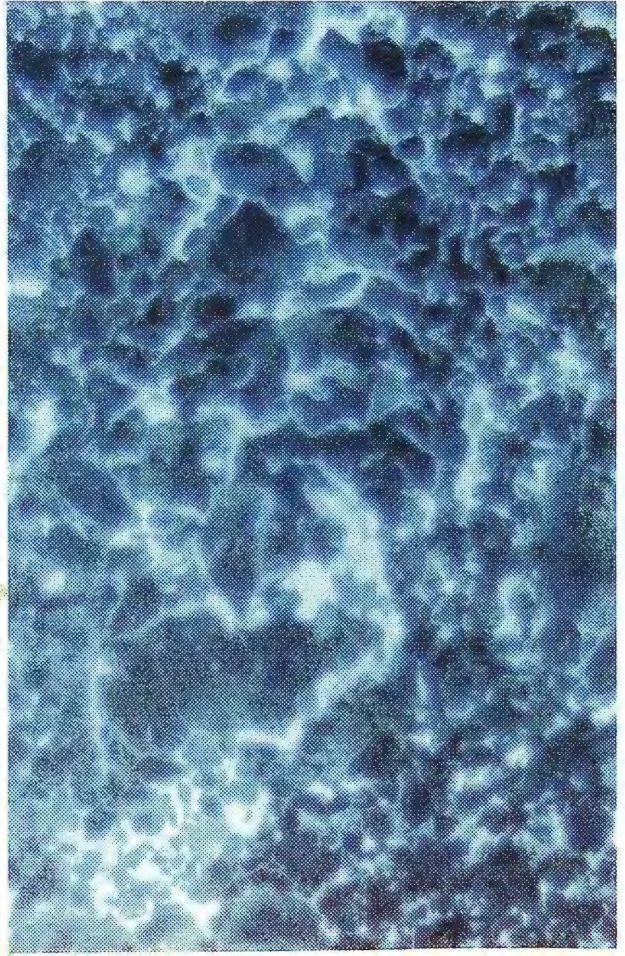
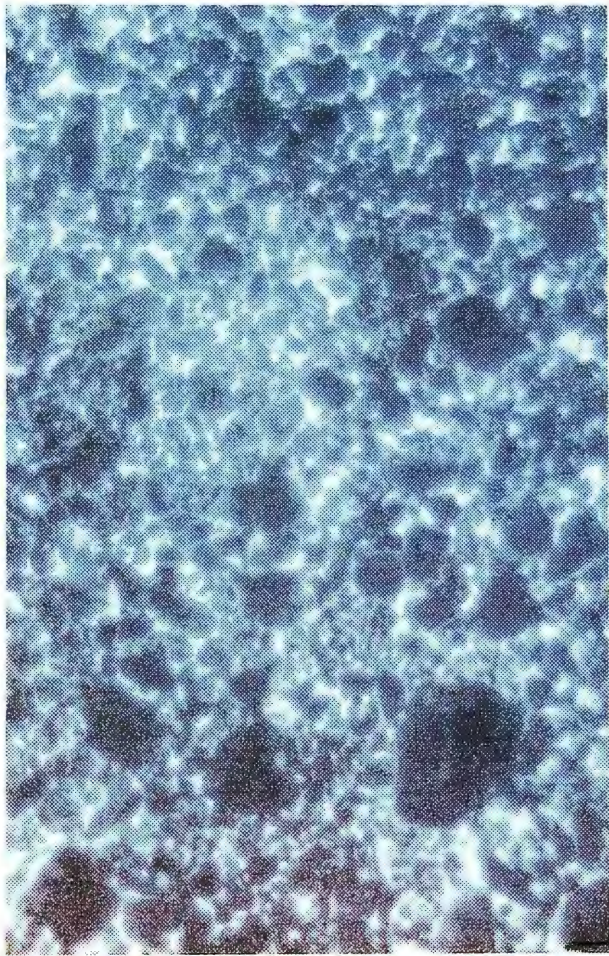
En bleu: la porosité.

En noir : les quartz.

En orangé : le plasma (argile, matière organique et oxydes)



1 cm = 700  $\mu\text{m}$





constituée de chenaux éloignés les uns des autres, avec une faible probabilité qu'une connexité intervienne.

*Au total, la continuité du spectre poral est rendue médiocre par la disparition des plus grands pores, l'existence de chenaux mal interconnectés, et l'augmentation de la continuité de la phase solide.*

### 3. Relation squelette/plasma

La figure X.2 présente sur la partie gauche les observations réalisées sur le sol de premier cycle (1M), sur la partie droite le second cycle (2M).

Dans le sol de premier cycle non dégradé, le plasma (argile associée à la matière organique et aux oxydes) se présente sous forme de microagrégats d'un diamètre de 50  $\mu\text{m}$  environ. Ces agrégats sont très bien individualisés, et juxtaposés aux grains du squelette. *Les contacts interagrégats et agrégats-grains de quartz, ne concernent que des surfaces très limitées.* Il faut noter aussi que les quartz sont souvent fissurés ou cariés.

Dans la situation dégradée les microagrégats ont disparu : les quartz sont enrobés dans l'argile. Nous avons noté que la phase plasmique était toujours plus claire que dans les lames de premier cycle de culture. Des fentes de retrait sont visibles à différentes échelles (Fig.X.2, en bas).

La figure X.3 permet de voir en trois dimensions, et à une autre échelle, l'organisation des constituants dans une situation dégradée. Ces photos confirment la présence de fentes de retrait. Elles mettent aussi en évidence l'existence d'un grand nombre de pores circulaires d'un rayon de 10  $\mu\text{m}$  environ, qui peuvent provenir de l'activité biologique (en bas, à gauche).

En X.3 b et d, l'enlèvement d'un grain de quartz sous la loupe binoculaire a permis de voir la réorganisation du plasma à son contact. La surface de contact est importante, et l'argile présente l'empreinte de la surface du grain de quartz. Il semble qu'une contrainte mécanique ait été exercée, le plasma ayant dépassé la limite de plasticité.

### 4. Discussion

Rappelons tout d'abord que les échantillons ont été séchés avant imprégnation, leur organisation peut s'en trouver modifiée.

En premier cycle les microagrégats sont juxtaposés aux grains de quartz, nous en concluons que le retrait ne doit concerner que les unités plasmiques de petite dimensions (50  $\mu\text{m}$ ). Ce retrait doit donc être limité dans l'espace, et ne pas affecter le matériau dans sa globalité.

En revanche, dans l'échantillon du sol ayant subi les opérations d'abattage et de replantation, l'existence de fente de retrait est une indication de la continuité à grande distance de la phase plasmique. Puisque le plasma n'est plus juxtaposé au squelette mais enrobe les grains de quartz, *la continuité de la phase solide devient très grande.*

#### a - Conséquences au plan mécanique

L'étude directe de l'organisation permet de discuter de la cohésion du sol.

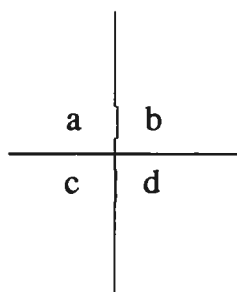
Dans la situation non dégradée, l'argile étant microagrégée, les surfaces de contact étant faibles, *la cohésion du matériau est faible*, même si la dessiccation est forte.

Figure X.2 - Comparaison du premier (a et c), et du second cycle (b et d) de culture, à partir d'observation sur lames minces. Mise en évidence de la structure micro-agrégée en premier cycle, et de l'enrobage du squelette par le plasma après les opérations d'abattage et de replantation.

En bleu: la porosité.

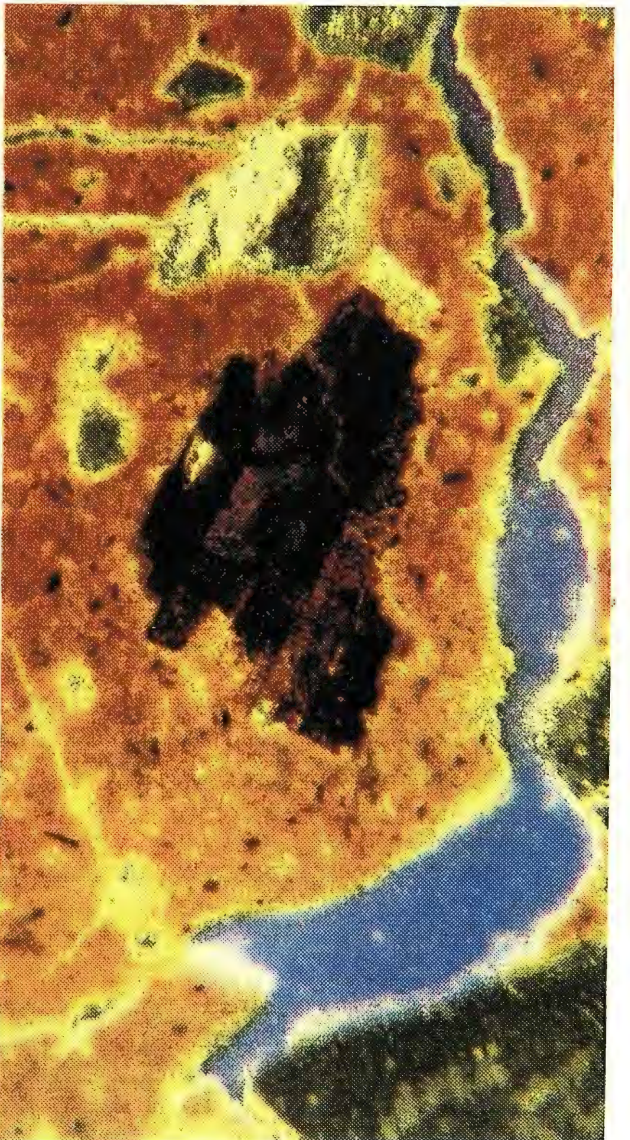
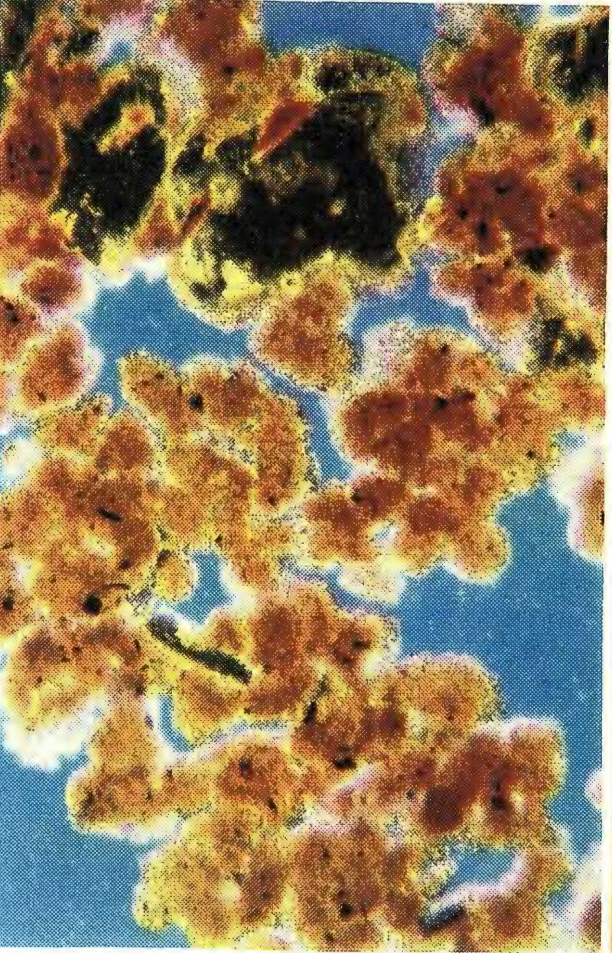
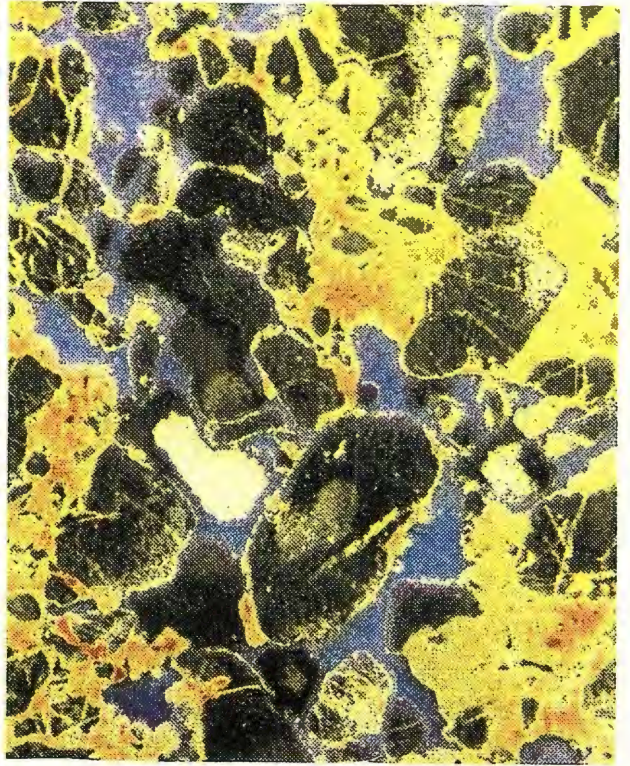
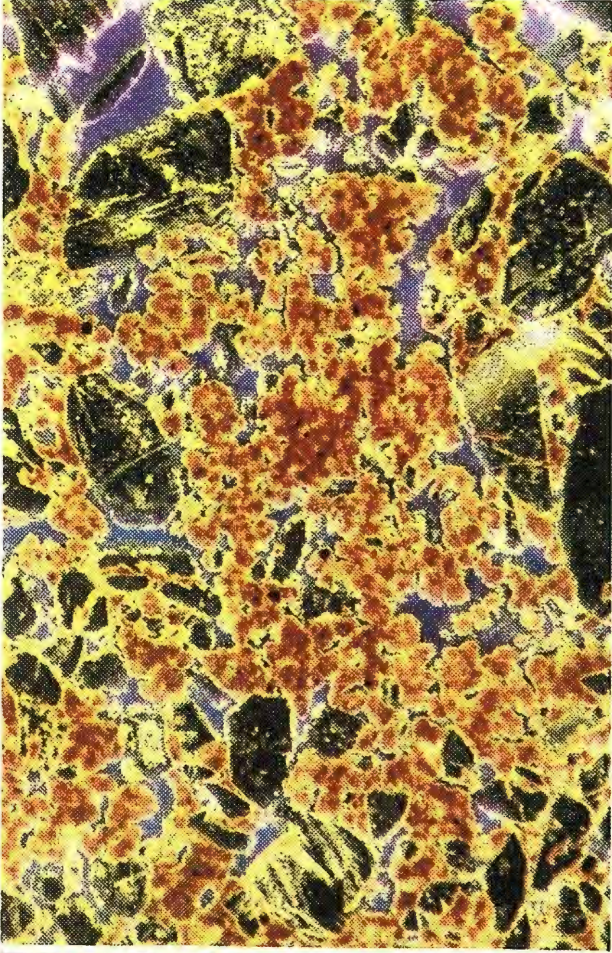
En noir : les quartz.

En orangé : le plasma (argile, matière organique et oxydes)



**En haut** : 1 cm = 250  $\mu\text{m}$

**En bas** : 1 cm = 70  $\mu\text{m}$







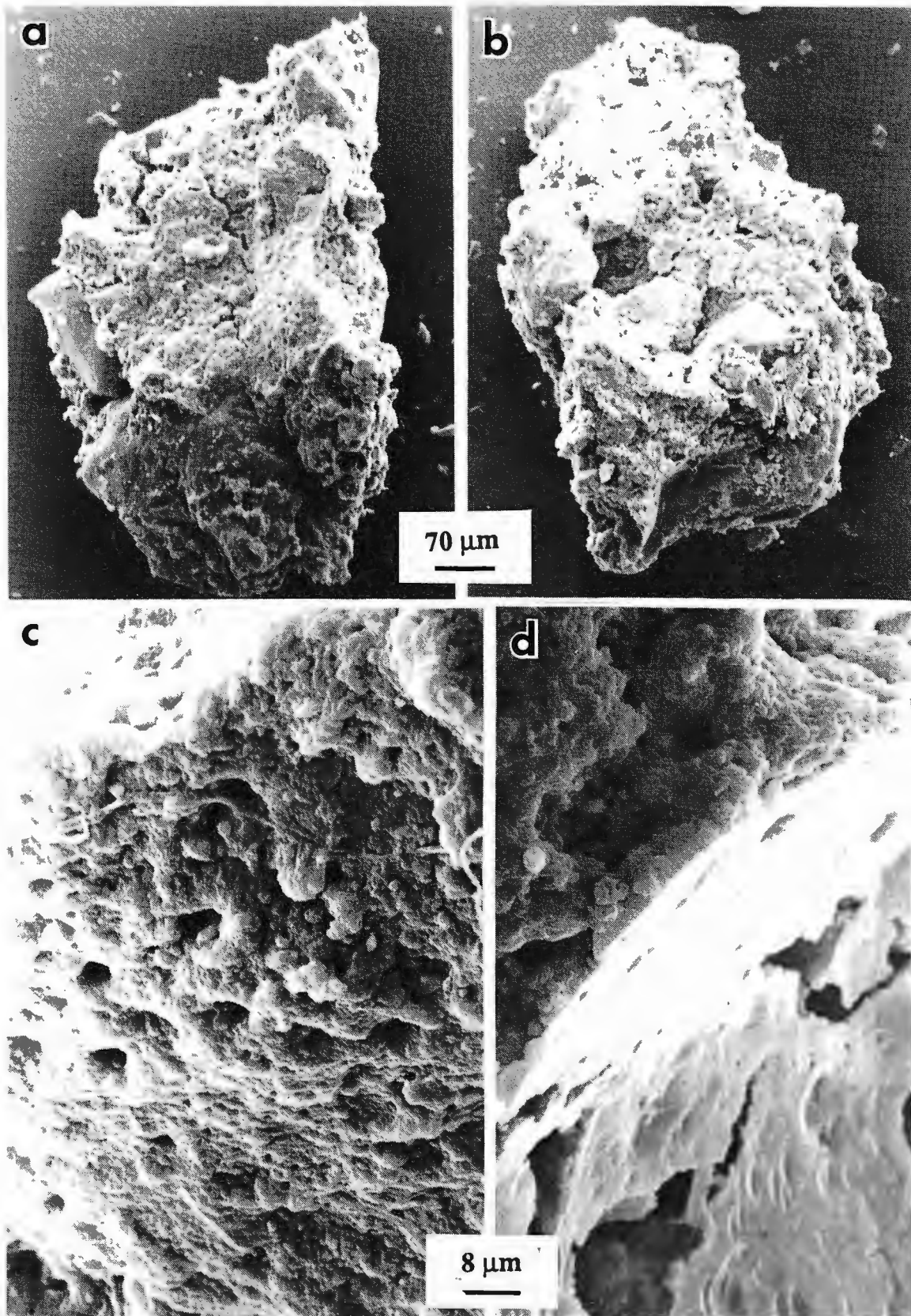


Fig.X.3 - En second cycle de culture, observation au MEB de l'organisation squelette/plasma. La porosité est composée de fentes de retraits apparues au séchage (a) et de nombreux pores d'environ 10 µm de diamètre (c). Si l'on dégage un grain de quartz du plasma, son empreinte reste très nettement visible (b et d).

Au contraire, *dans la situation dégradée, la phase solide étant continue, la cohésion est grande. Elle va augmenter avec le niveau de dessiccation*, d'où la nécessité d'utiliser un marteau pour le rompre et prélever des échantillons.

### **b - Conséquences au plan hydrodynamique**

La continuité de la phase solide a pour corollaire la discontinuité de l'espace poral.

En premier cycle de culture, la juxtaposition de particules, en majorité supérieures à 50  $\mu\text{m}$ , confère au matériau une grande continuité de l'espace poral. Même au milieu des assemblages de microagrégats il subsiste une "macro" porosité. La grande continuité de l'espace poral est en accord avec l'absence de ruissellement observé sur le terrain. De plus, la forme polyconcave des pores, en particulier au milieu des amas de microagrégats plasmiques, permet la rétention d'une eau qui sera facilement utilisable par les racines absorbantes qui progressent dans les pores d'une taille de quelques centaines de micromètres.

*Après abattage et replantation il subsiste encore des vides de grande taille, mais il est clair que leur continuité macroscopique n'est plus assurée. La porosité utile pour la circulation de la solution du sol tend à se rapprocher de la porosité de l'argile (0,1 à 1  $\mu\text{m}$ ). Dans ce cas de figure, même avec des gradients de potentiels considérables, les vitesses de circulation de l'eau ne peuvent être qu'extrêmement faibles. Les horizons en question sont donc largement imperméables, favorisant le ruissellement.*

## **B. ETUDE DE L'ORGANISATION DE LA PHASE PLASMIQUE**

### **1. Préparation des échantillons**

Sous la loupe binoculaire, des fragments de sections polie ou de lame mince ont été prélevés au sein de la phase plasmique non remaniée. Ces fragments ont été réinclus dans la résine de Spurr suivant le protocole développé par TESSIER (1984). Des coupes ont été effectuées à l'ultramicrotome équipé d'un couteau de diamant. Les observations ont été réalisées avec le microscope STEM 420 Philips.

### **2. Résultats**

La figure X.4 présente sur la partie gauche l'organisation du plasma en premier cycle de culture, en second cycle sur la partie de droite. Les photos du haut proviennent de l'horizon à 45 cm, celle du bas de l'horizon à 125 cm.

Sur ces photos les pores occupés par la résine apparaissent en blanc, la phase solide silicatée (les argiles) en noir ou gris très foncé, tandis que la matière organique apparaît en gris clair.

Dans les deux horizons de premier cycle l'argile apparaît "engluée" dans la matière organique. A 45 cm, l'essentiel de la porosité paraît remplie par cette matière organique. A 125 cm des pores sont à nouveau visibles.

En second cycle de culture la phase minérale est beaucoup plus dense que précédemment. De ce fait les distances moyennes interparticules argileuses sont plus faibles. Des pores non remplis par la matière organique sont visibles à 45 cm, ils sont encore plus nombreux à 125 cm.

Au sein des échantillons nous avons constaté la présence d'argiles micacées (10 A). Des cristaux de KCl ont aussi été observés.

### 3. Discussion

Les observations réalisées au MET permettent de compléter l'interprétation des courbes d'injection de mercure en terme d'organisation, et de localisation de la matière organique dans ce type de sols. En effet, cette dernière peut occuper la plus grande partie de l'espace poral intercrystallite dans la situation de départ, et contribuer à augmenter la taille des pores. Une grande cohérence existe entre les deux méthodes.

La présence de ce type de matière organique contribue à l'augmentation de la CEC et, comme le montre les mesures de rétention d'eau, à l'hydratation dans le domaine des potentiels de l'ordre de - 0,1 à 1 MPa.

Son rôle sur la formation des micro-agrégats plasmiques (dont nous avons vu l'intérêt sur le comportement hydrodynamique), est à préciser plus complètement, mais il est clair que cette matière organique doit favoriser leur stabilité.

*L'important n'est pas la teneur en matière organique, mais sa localisation et ainsi le rôle qu'elle peut jouer au plan macroscopique.*

*A contrario*, dans la situation dégradée toutes les données montrent que le statut organique change à tous les points de vue, et à toutes les échelles.

### CONCLUSION

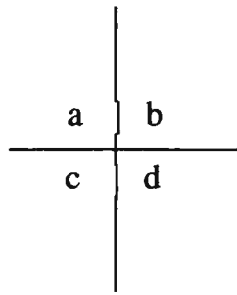
Les mesures de volume poral nous avaient indiqué l'origine de la dégradation. Les observations nous permettent en plus de montrer l'origine des changements de comportement.

*La dégradation physique est essentiellement due à des modifications du sol à l'échelle plasmique.*

*Ces modifications ne sont pas visibles à l'observation du profil mais transforment considérablement le comportement mécanique (résistance à la pénétration par exemple) et les propriétés de transfert du matériau.*

---

Fig.X.4 - Observation au MET de l'organisation au sein de la phase plasmique. En premier cycle de culture l'argile est "engluée" dans la matière organique (couleur gris foncé sur les photos), alors qu'en second cycle elle a largement disparue aux deux profondeurs.



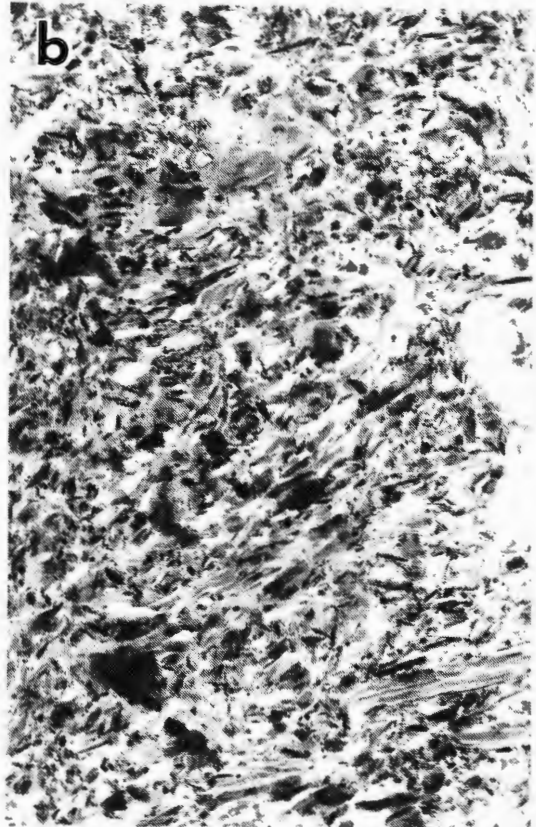
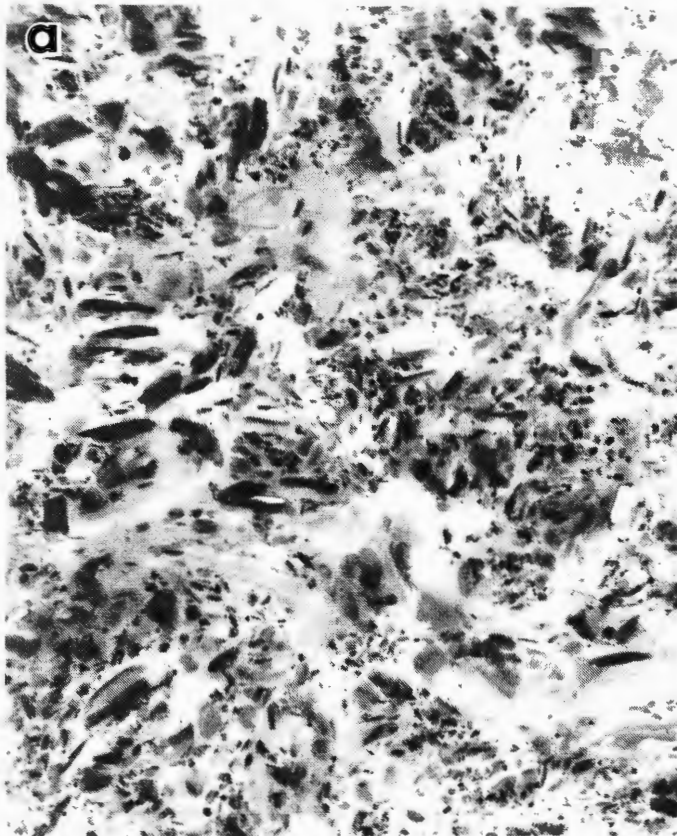
Premier cycle de culture à gauche (a et c), second cycle à droite (b et d).

A 45 cm de profondeur en haut (a et b), à 125 cm en bas (c et d).

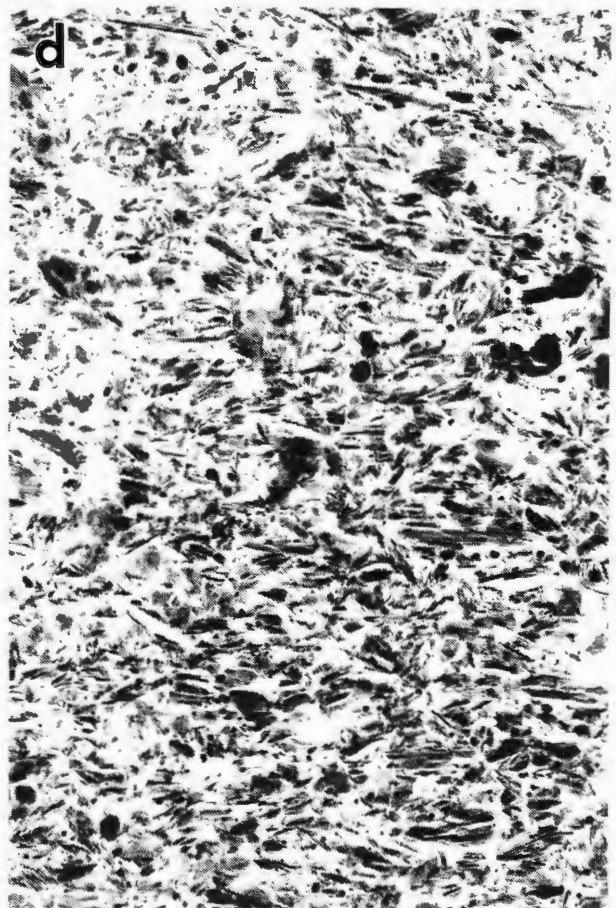
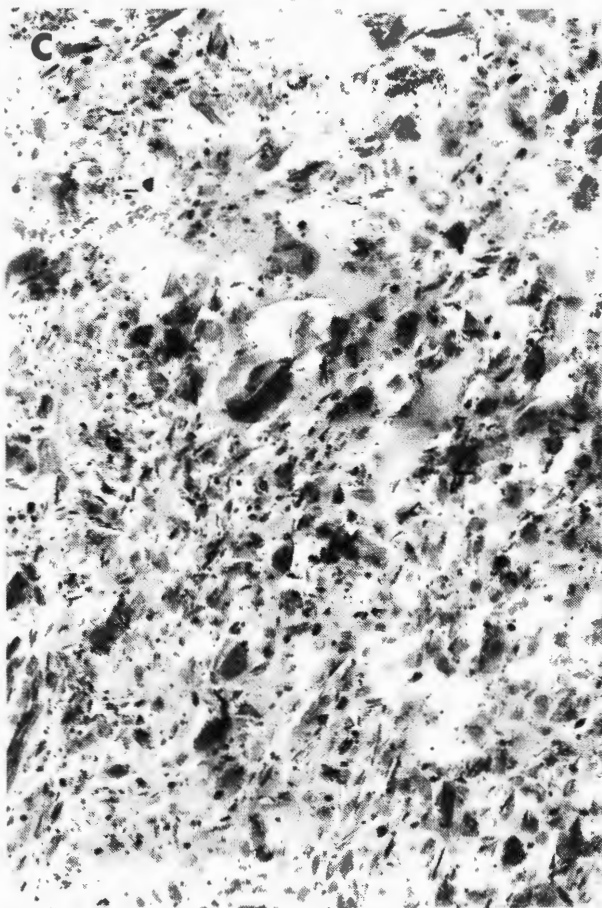
$$1 \text{ cm} = 0,7 \mu\text{m}$$

1M

2M



45  
cm



125  
cm

0,7  $\mu\text{m}$

---



**QUATRIEME PARTIE**

**SYNTHESE GENERALE**

**DES RESULTATS**

*Dans cette synthèse, nous nous proposons de montrer l'originalité de la région de Dabou au plan pédologique, d'établir des conclusions au plan des facteurs mis en jeu par les pratiques, d'en tirer les leçons sur le concept de sol sablo-argileux, ainsi que de conclure sur les modifications éventuelles des pratiques pour mieux gérer le milieu.*



**CHAPITRE XI****ORIGINALITE DES  
CONDITIONS PEDOGENETIQUES  
DE LA REGION DE DABOU**

Les observations que nous avons réalisées sur la géomorphologie, le réseau hydrographique et l'organisation texturale nous permettent de décrire les processus de mise en place de la couverture pédologique sur l'ensemble des sables tertiaires du sud de la Côte d'Ivoire. Dans un deuxième temps, nous mettrons en évidence les spécificités de la région de Dabou.

## A. EVOLUTION PEDOGENETIQUE SUR LES SABLES TERTIAIRES DE BASSE COTE D'IVOIRE

### 1. Conditions de mise en place du sédiment

La couverture pédologique de Basse Côte d'Ivoire s'est développée sur un matériau sablo-argileux d'origine détritique. Il s'agit au départ d'un matériau ferrallitique, allochtone, constitué essentiellement de quartz, de kaolinite et d'oxydes.

Les conditions de mise en place ont été de type hydraulique. Nous en déduisons que la texture du matériau, (c'est-à-dire la taille, la forme et la proportion des constituants), a joué un rôle déterminant sur l'organisation et les propriétés du matériau (CHRETIEN, 1986).

La composition granulométrique du dépôt tertiaire montre qu'il est filtrant et pauvre chimiquement. Dans les conditions climatiques du sud de la Côte d'Ivoire, il est globalement exopercolatif.

### 2. Processus de transfert et redistribution des constituants sous forêt

Sous forêt, ROOSE (1980, p433) a montré que le transport des particules par les eaux de drainage est considérable. Ainsi, à Adiopodoumé, ce sont des dizaines de kilogrammes par hectare et par an qui quittent le paysage et rejoignent la lagune. Selon RAUNET (1985), en période humide, le dépôt sablo-argileux est le siège d'une nappe qui subit des fluctuations verticales, et qui s'écoule latéralement. Ces écoulements sont à l'origine de deux phénomènes :

- le "lavage", soutirage sélectif des cristallites de kaolinite
- et le "fluage", déstabilisation et mobilisation du volume dans lequel circule la nappe.

Au total, le départ de matières solides entraîne la formation d'une dépression qui va évoluer au cours du temps en un bas-fond de plus en plus important\*. Après un certain temps, le bas-fond peut avoir plusieurs centaines de mètres de largeur, un profil nettement horizontal et un cours d'eau marqué (Fig.XI.1).

Le paysage résultant des processus géochimiques de transfert de matière en zone forestière est un ensemble de collines convexes ("demi-oranges"), à pentes fortes, d'un dénivelé allant jusqu'à 50 m, séparées par des bas-fonds plats et enfoncés (ROOSE et CHERROUX, 1968).

*Sur ce modelé, la pédogénèse a conduit à un gradient textural vertical de l'argile similaire dans toutes les positions topographiques (YORO, 1984).*

La végétation naturelle (climacique) de ce milieu est la forêt sempervirente.

---

\* Humbel (1964) a montré qu'il existe des dépressions fermées en bordure des plateaux qui sont associées à des phénomènes de sous-tirage.

## B. CAS DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE DE LA REGION DE DABOU

L'existence d'une savane à l'ouest de Dabou est depuis longtemps singulière au sein de l'ensemble lithologique des sables tertiaires. Nous allons montrer comment la région de Dabou se distingue à d'autres points de vue, en particulier par l'organisation des sols dans le paysage.

### 1. Processus géochimiques

Les relevés pluviométriques effectués sur la plantation nous ont permis de voir que le milieu est bien **globalement** exopercolatif (1830 - 1250 mm). Mais il est arrivé à deux reprises, au cours des 40 ans de mesure, qu'un déficit se produise à l'échelle de l'année (1947 et 1983). De plus, les variations interannuelles de pluviométrie sont telles que, durant la même période, quatre années (1958, 1976, 1981 et 1982) ont présenté un déficit hydrique durant neuf mois successifs. Ceci conduit à l'apparition d'un climat spécifique de type soudano-guinéen à deux saisons : une petite saison des pluies et une grande saison sèche. Ces années là, le climat est donc en faveur d'une élimination géochimique moins intense des cations alcalins et alcalino-terreux, donc des conditions de dispersion du plasma (et d'accumulation relative du squelette) moins prononcée.

*Même si le milieu reste globalement exopercolatif dans la région de Dabou, il est clair que, certaines années, il pourra devenir nettement confinant.*

L'évacuation de matières solides vers la lagune étant moins intense, la région de Dabou est aussi caractérisée par l'existence d'un plateau de plusieurs dizaines de kilomètres carrés, dominant le paysage environnant. Il est festonné sur le pourtour et faiblement entaillé par des talwegs peu profonds (30 m de dénivellé en moyenne), qui descendent en pente douce. Les versants sont convexes à l'amont, concaves à leur base ; la largeur des bas-fonds n'excède pas quelques dizaines de mètres et ils ne présentent aucun cours d'eau.

*Dans ce contexte géomorphologique, la couverture pédologique est hétérogène et organisée. Sur les versants, l'horizon superficiel sableux s'approfondit à mesure que l'on s'approche du bas-fond, dont les sols sont systématiquement argilo-sableux (\*) (Fig.XI.2).*

### 2. Problème de la savane de Dabou

Jusqu'à présent, la région de Dabou a été caractérisée par la présence d'une savane\*\*, inhabituelle dans cette zone sub-équatoriale humide à forêt sempervirente.

Si l'origine paléoclimatique de cette savane est bien établie, aucun facteur limitant n'a pu être mis en évidence qui puisse expliquer son maintien jusqu'à une époque récente. Ce maintien a donc été attribué à l'activité anthropique, en particulier aux brûlis réalisés par les populations autochtones depuis des siècles (LENEUF et AUBERT, 1956 ; POMEL, 1979).

---

\* des analyses granulométriques réalisées par Leneuf (1958), dans une plantation d'hévéa de Toupah, indiquent des teneurs en argile identiques à celles de la plantation de Dabou.

\*\* aujourd'hui entièrement remplacée par les plantations de palmiers à huile, d'hévéa ou d'ananas.

Sans négliger ce dernier aspect, il ressort clairement de notre analyse, que la région de Dabou se distingue non seulement par sa végétation, mais surtout par son modelé et la nature de son réseau hydrographique.

En particulier, on notera que le volume de matériau présent à une altitude supérieure à 80 ou 100 m est considérablement supérieur à ce que l'on observe dans le milieu environnant. *C'est à l'échelle de centaines de milliers d'années que de telles différences sont apparues.* Le réseau hydrographique, vecteur de l'évacuation, reflète les mêmes différences.

*Au total, la région de Dabou est caractérisée par un modelé, un réseau hydrographique et une organisation des sols dans le paysage, propres au milieu soudano-guinéen.*

*Le fonctionnement hydrodynamique de ce milieu, associé aux conditions climatiques actuelles, font que la disponibilité de l'eau est le premier facteur limitant du rendement de biomasse. Ce facteur explique très largement la présence de la savane, comme le montre la figure XI.3.*

La savane est un milieu de vie moins hostile pour l'Homme que la forêt. Après les derniers changements climatiques qui ont provoqué la réapparition de la forêt, il est probable que l'activité anthropique se soit maintenue préférentiellement en zone de savane, et non de forêt.

Par conséquent, la présence humaine a pu être induite par la présence d'une savane mais n'en serait pas à l'origine.

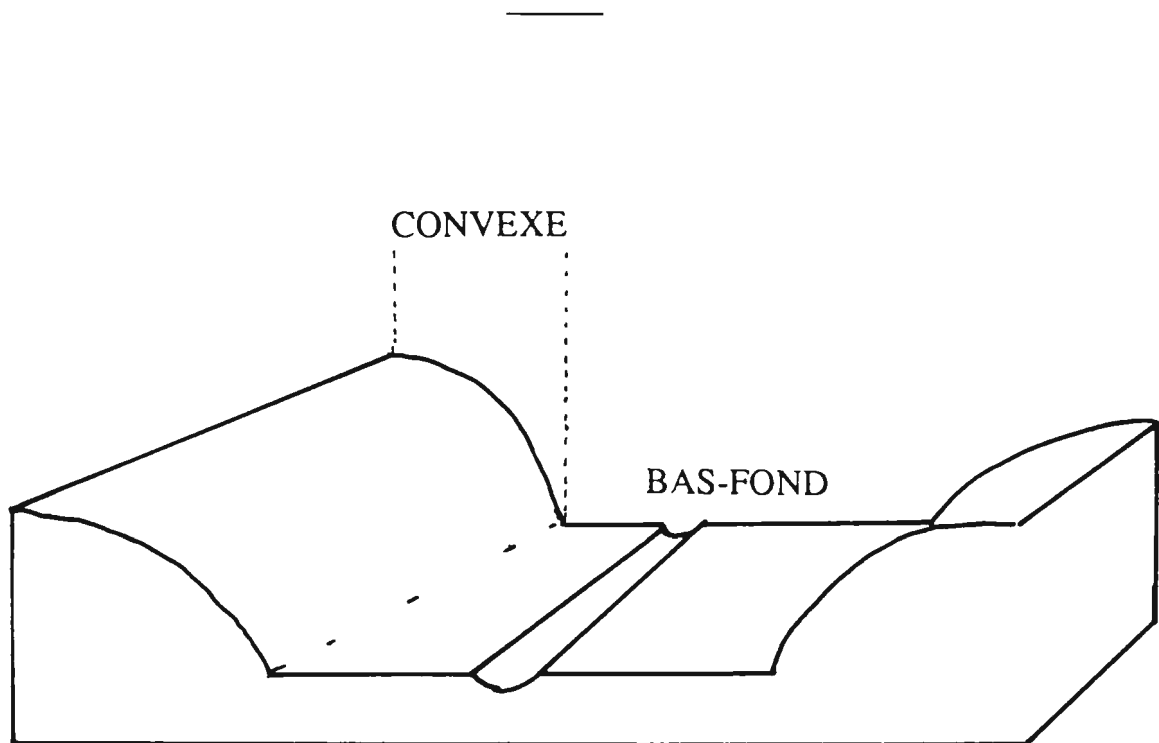


Fig.XI.1 - Représentation schématique de la géomorphologie en zone forestière en Basse Côte d'Ivoire.

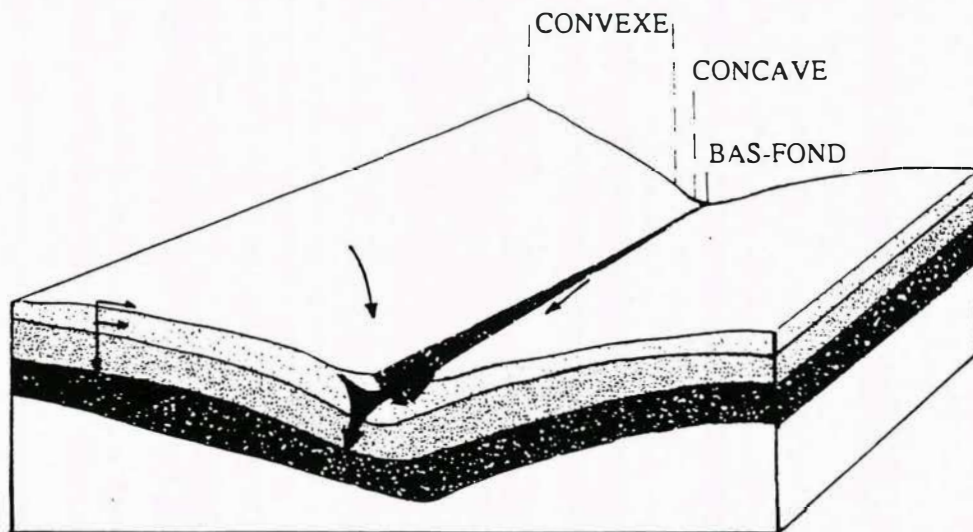


Fig.XI.2 - Représentation schématique de la géomorphologie et de la couverture pédologique de la zone de savane de Dabou.

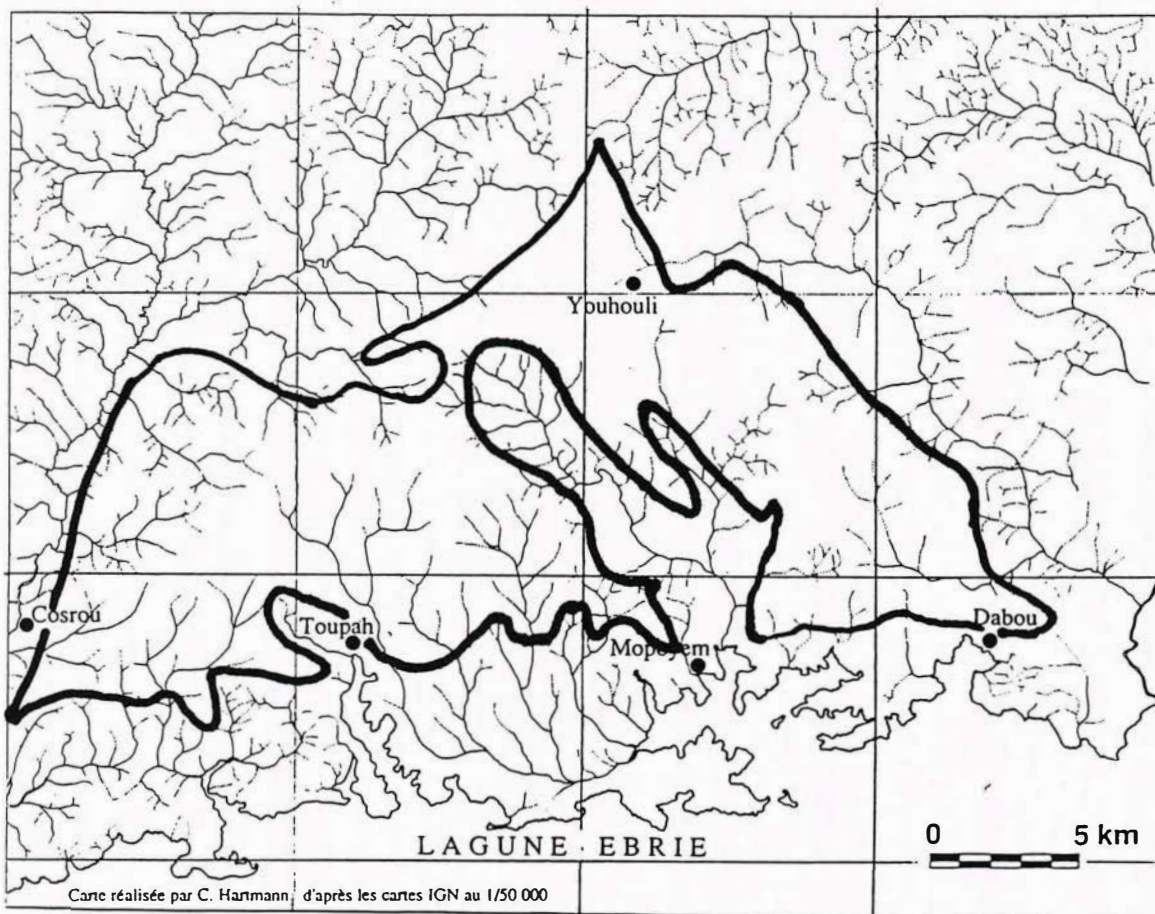


Fig.XI.3 - Délimitation de la zone de savane dans la région de Dabou et relation avec le réseau hydrographique.



**CHAPITRE XII****FACTEURS D'EVOLUTION DES SOLS  
SABLO-ARGILEUX SOUS PLANTATION  
INDUSTRIELLE DE PALMIERS A HUILE**

Il s'agit dans ce chapitre d'analyser les changements induits par les pratiques agricoles, au plan des phénomènes et à celui des mécanismes mis en jeu. Ces derniers sont en effet à la base des changements des propriétés des sols.

## INTRODUCTION

Il ne subsiste de la savane que quelques lambeaux très disséminés qui n'ont pas permis une étude détaillée. Dans ce travail la situation de départ est représentée par une parcelle plantée depuis 20 ans après défrichage de la savane. Malgré tout, pour pouvoir discuter de l'évolution des sols après mise en place de la palmeraie industrielle, nous utiliserons les observations que nous avons effectuées sur les reliques de savane.

Nous allons analyser successivement le rôle des grands types de facteurs intervenant sur les sols et qui participent à l'amélioration ou à la dégradation du milieu. Nous présenterons successivement :

- le rôle de l'activité biologique en relation avec la plantation de palmiers,
- l'action de l'ion  $K^+$  qui provient de l'apport régulier de fertilisants,
- l'action des diverses contraintes qui s'exercent au cours des opérations d'abattage et de replantation.

Cette analyse va nous permettre de conclure en mettant en évidence les particularités des sols à caractère sableux.

## A. AMELIORATION : ROLE DE L'ACTIVITE BIOLOGIQUE EN 1<sup>ER</sup> CYCLE

Mettre en place une plantation industrielle de palmiers consiste à installer une plante pérenne arborescente sur plusieurs milliers d'hectares. Les conditions écologiques deviennent celles d'une forêt à différents points de vue :

- sous les couronnes de palmiers règne un climat plus frais, plus humide et plus stable (au cours de l'année) que le climat ambiant ;
- l'apport de matière organique épigée dépasse les 10 t/ha/an.

*Le microclimat qui règne sous les couronnes de palmiers et dans le sol tendent à être de type forestier. Grâce à l'apport d'une source d'énergie carbonée les conditions sont réunies pour que l'activité biologique animale se développe au maximum.*

### 1. Circulation de l'eau

Nous avons montré que la faune, par son activité dans le sol est à l'origine du creusement de galeries et de l'extraction de terre. Nous avons évoqué dans le chapitre III l'activité des termites qui conduit à l'accumulation et à la fixation des placages de récolte par les racines. Il existe aussi de nombreuses autres espèces qui participent à cette activité de fouissage, en particulier les fourmis et les vers de terre.

Cette faune creuse des galeries de taille millimétrique à centimétrique qui débouchent à la surface et constituent des chemins préférentiels d'écoulement de l'eau au sein de la couverture pédologique. Les racines secondaires du palmier, verticales et à forte capacité de pénétration, contribuent elles aussi à la création de chemins préférentiels d'écoulement, y compris dans des horizons à faible porosité (Fig.XII.1).



En blanc : la porosité

En noir : la phase solide

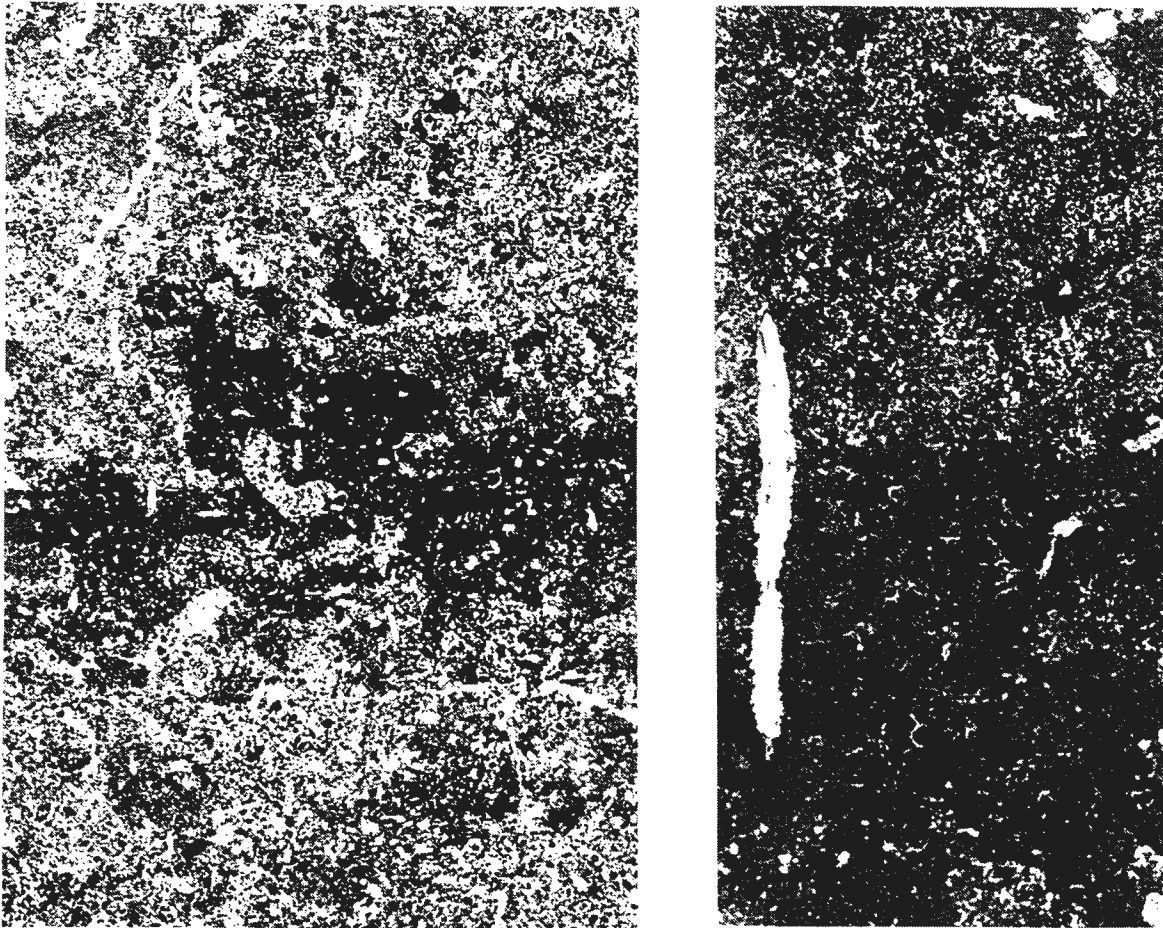


Fig.XII.1 - L'activité biologique, végétale et animale, est à l'origine de chemins préférentiels d'écoulement de l'eau au sein de la couverture pédologique. Sur les photogrammes ci-dessus la porosité est en blanc, les deux horizons sont situés à un mètre de profondeur. A gauche une galerie traverse un horizon d'accumulation d'argile, à droite une racine de niveau II perfore véritablement un horizon argilo-sableux à faible porosité.

Les mesures de volume apparent sur motte et au densitomètre nous ont permis de mesurer le volume poral concerné.

*Le changement de pédoclimat a favorisé le développement de la faune du sol. L'activité de creusement de cette dernière et l'augmentation du nombre de racines dû au développement des palmiers favorisent les écoulements d'eau au sein de la couverture pédologique. Ceci a pour conséquence d'accentuer encore le caractère humide et forestier du pédoclimat (\*).*

---

\* le pédoclimat est le climat du sol caractérisé en particulier par la température et l'état hydrique.

## 2. Réorganisation des constituants

Cette activité de *creusement* de la faune est accompagnée d'un *transfert* considérable de matière. Ainsi la *matière minérale* est amenée préférentiellement en surface ; tandis que la *matière organique* (issu majoritairement des palmes) est au contraire incorporée au sol et permet un approfondissement du profil pédologique.

Ces transferts sont eux-mêmes associés à une réorganisation des constituants à toutes les échelles : à l'échelle macroscopique (Fig.XII.1) ; à l'échelle microscopique où apparaissent des microagrégats d'une cinquantaine de micromètres de diamètre (Fig.X.2 à gauche) ; et même à l'échelle ultramicroscopique puisque dans ces microagrégats les cristallites de kaolinite sont littéralement "englués" par les matières organiques humifiées (Fig.X.4).

*L'activité de creusement s'accompagne du transfert et de la réorganisation des constituants du sol. Cette réorganisation se produit à toutes les échelles : depuis le profil où l'on assiste à l'apparition d'un horizon A0, jusqu'à la microagrégation du plasma qui se juxtapose aux grains du squelette, et enfin l'organisation du plasma lui-même est changée.*

## 3. Ambiance physico-chimique

En zone tropicale humide l'appauvrissement géochimique est particulièrement intense mais peut-être contrebalancé par deux mécanismes d'origine biologique :

- le dépôt en surface de matières minérales que nous venons d'évoquer,
- *la mobilisation dite "biologique"* (JUSTE, 1965), c'est-à-dire l'extraction sur plusieurs mètres de profondeur d'éléments minéraux par les palmiers, leur concentration dans la plante, et leur restitution à la surface du sol après humification et minéralisation des palmes élaguées.

Dans ce milieu pauvres l'accroissement d'activité biologique change le bilan du cycle biogéochimique des éléments minéraux. Avant mise en culture de la savane BERLIER et al. (1956) et LENEUF (1958) signalent des teneurs en Ca+Mg échangeables de 1 à 1,8 méq/100g. Après 20 ans de culture du palmier) nous avons mesuré une teneur de 4 méq/100g (Tab.VII.2). L'augmentation de l'activité biologique permet une accumulation en surface du calcium et du magnésium qui saturent alors 95 % des sites d'échange (Fig.VII.1). Un phénomène identique a été signalé par TOUTAIN (1984) dans le cas de sols bruns acides.

Cette accumulation est rendue d'autant plus facile que l'incorporation de matière organique permet une augmentation considérable de la capacité d'échange cationique de ces sols.

*En résumé, le développement de l'activité biologique (végétale et animale) permet un enrichissement minéral en surface par mobilisation biologique puis par fixation sur les sites d'échanges qui ont augmenté parallèlement aux teneurs en matière organique.*



Fig.XII.2 - L'activité de creusement et de fouissage concerne de nombreux animaux, en particulier les vers de terre (V), et surtout les fourmis (F). Les transferts et les réorganisations se font à différentes profondeurs et sous différentes formes.



#### 4. Conclusion

*Il résulte de l'ensemble des processus biologiques que nous venons d'exposer un approfondissement du profil pédologique par le développement des horizons A. Le cycle biogéochimique permet un enrichissement en surface, le milieu devient particulière, mais stable physiquement. Il favorise la circulation rapide des fluides (air et eau) et, compte tenu de la texture du matériau, la réserve en eau est maximale.*

*Toutes les conditions sont réunies pour favoriser la production de biomasse, le recyclage des éléments minéraux et la stabilité de la couverture pédologique (Fig.XII.3). Nous en concluons que la première phase de mise en culture de la palmeraie constitue une amélioration du milieu par rapport à la savane initiale.*

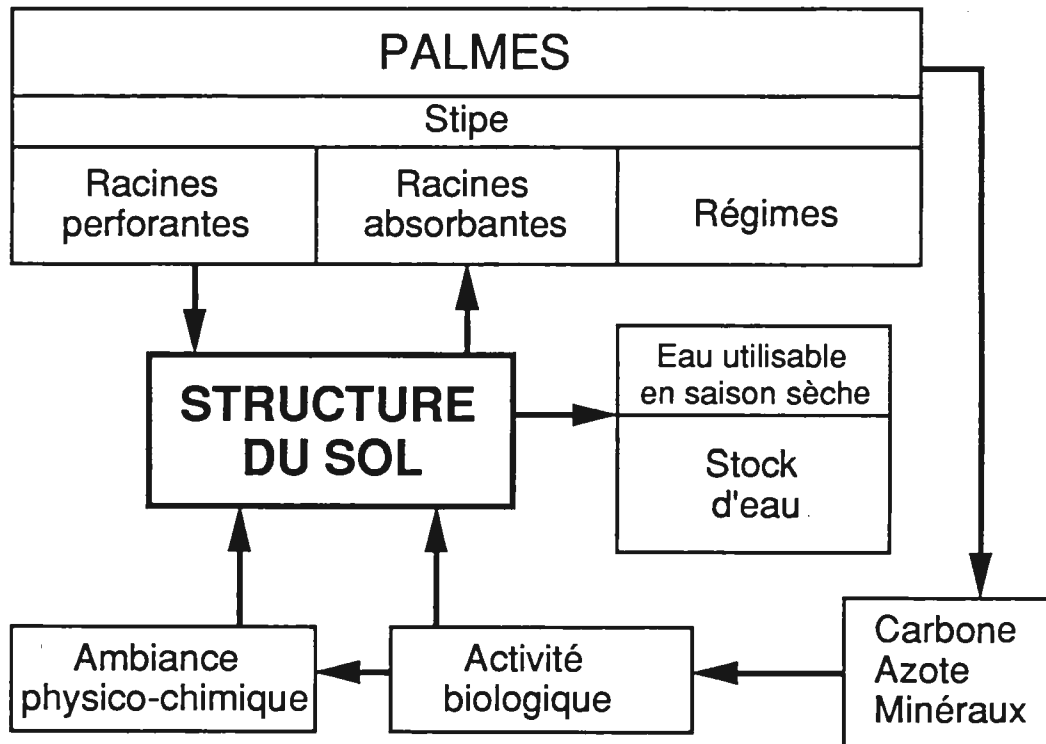


Fig.XII.3 - Grâce à la structure microagrégée, la réserve en eau est importante, de même que le développement des racines absorbantes. Les stress hydriques sont rares et le rendement est maximal.



## B. FACTEURS DE DEGRADATION PHYSIQUE DES SOLS

Dans le cadre de ce travail nous avons mis en évidence deux types de dégradations aux caractéristiques distinctes. L'une peut apparaître dès le premier cycle de culture, l'autre est spécifique aux parcelles de second cycle (après les opérations d'abattage et de replantation).

### 1. Action physicochimique de l'ion potassium

#### a) Analyse de la situation

Dans la région de Dabou le potassium est un facteur limitant de la production pour le palmier. Son apport a permis le développement de cette plante et, en définitive, la création d'un milieu "sol" extrêmement favorable à l'activité biologique (animale et végétale). Ce milieu favorable d'un point de vue chimique et physique résulte d'un équilibre entre activité biologique et ambiance physicochimique comme le montre la figure XII.3.

Si l'on considère, à ce niveau de la discussion, le sol comme un réservoir pour les ions échangeables, les engrais participent à l'équilibre physicochimique qui règne au sein de la couverture pédologique. Dans ce cas, il faut constater que les quantités de chlorure de potassium apportées (300 kg/ha/an) sont du même ordre de grandeur que l'ensemble des restitutions minérales par les palmes (400 kg/ha/an \*).

*Les apports de KCl sont considérables par rapport aux quantités minérales mise en jeu dans le cycle biogéochimique naturel. Au cours du temps ces apports peuvent transformer l'ambiance physico-chimique de ces sols.*

Au bout de vingt ans, dans certaines situations particulières (sur la partie convexe du versant, là où les sols sont les moins profonds ; à l'aval des fossés de drainage où ruissellent des solutions évacuées par ces fossés), une augmentation de la teneur en K échangeable sur l'ensemble du profil peut être constatée, même sous le tas de palmes où il n'y a pourtant pas d'apports potassiques. Cette augmentation est plus importante à la base du profil (où les solutions percolantes rencontrent l'horizon argilo-sableux moins poreux) : on y mesure presque un doublement des teneurs en K et Na échangeables, phénomène similaire à celui décrit par OUVRY (1985) sur colonnes de percolation au laboratoire.

*On assiste alors à un enchaînement de phénomènes se propageant de la base vers le sommet du profil.*

#### b) Conséquence des apports de KCl

La conséquence principale de ce changement de l'ambiance physico-chimique est la *densification* du milieu, avec modification du spectre poral. La diminution du volume poral est observée aussi bien au densitomètre (taille de pore centimétrique), que sur mottes (taille de pore millimétrique).

*Une réorganisation du matériau intervient à différentes échelles (Fig. VIII.2).*

Cette réorganisation de l'espace poral s'estompe au fur et à mesure que l'on approche de la surface du sol (Fig.VII.2.a). En revanche, on vérifie que la teneur en matière organique

---

\* 10t ms/ha/an de palmes contenant 4 % de minéraux.

diminue légèrement dans les horizons superficiels, par rapport à la situation de départ (1Mn par rapport à 1M, tableaux VII.1 et 2).

*Les changements mesurés dans le volume poral intercrystallites permettent d'affirmer que la réorganisation du sol intervient aussi aux échelles les plus fines (nanométrique) de l'organisation (Fig.VIII.5).*

Cette transformation du statut organique concourt sans doute aussi à l'instabilisation du sol. CHENU (1985) a en effet montré l'importance de la matière organique intercrystallite sur la stabilité de la structure de sols à kaolinite.

Les mesures de teneur en eau effectuées sur le terrain en début et en fin de saison sèche indiquent une disponibilité moindre de l'eau (Fig.VII.2). Les mesures effectuées sur mottes après une semaine de mise à l'équilibre au laboratoire indiquent pourtant des volumes similaires à ceux de la situation de départ (Fig.VIII.4).

*In situ la reconstitution de la réserve ne se fait pas aussi bien qu'on pourrait l'espérer. Ceci signifie que la porosité assurant l'écoulement rapide de l'eau a disparu ou n'est plus en continuité suffisante.*

### c) Conclusion

*L'apport intensif et répété de chlorure de potassium transforme les conditions physicochimique au sein de la couverture pédologique. La stabilité de la structure microagrégée du plasma diminue et l'on constate une diminution du volume occupé par les pores supérieurs à 50  $\mu\text{m}$ , ceux qui permettent la circulation rapide de l'eau et l'installation de racines absorbantes.*

*Ce changement se répercute alors sur l'ensemble du fonctionnement du sol et l'on assiste à l'apparition de ruissellement et d'érosion, et à une diminution de l'épaisseur du profil pédologique. Il y a dégradation des conditions pédologiques et diminution des rendements (Fig.XII.4).*

## 2. Contraintes exercées durant les opération d'abattage et de replanta-tion

### a) Introduction

Notre étude de la couverture pédologique a été faite quinze ans après la mise en place de la parcelle de seconde génération. Nous nous sommes donc placés dans des conditions où le palmier assure à nouveau la couverture du sol et où les apports organiques sont identiques à ceux de la situation de départ. Toutes choses étant égales par ailleurs, nous aurions dû retrouver le milieu "forestier" de premier cycle. Pourtant, il ressort de l'ensemble de nos mesures, que le milieu est dégradé a différents points de vue.

*Il s'agit ici de mettre en évidence les raisons pour lesquelles l'installation d'une couverture arborescente pérenne de palmiers après les opérations d'abattage et de replantation n'a pas permis une évolution similaire à celle d'une première plantation sur savane.*



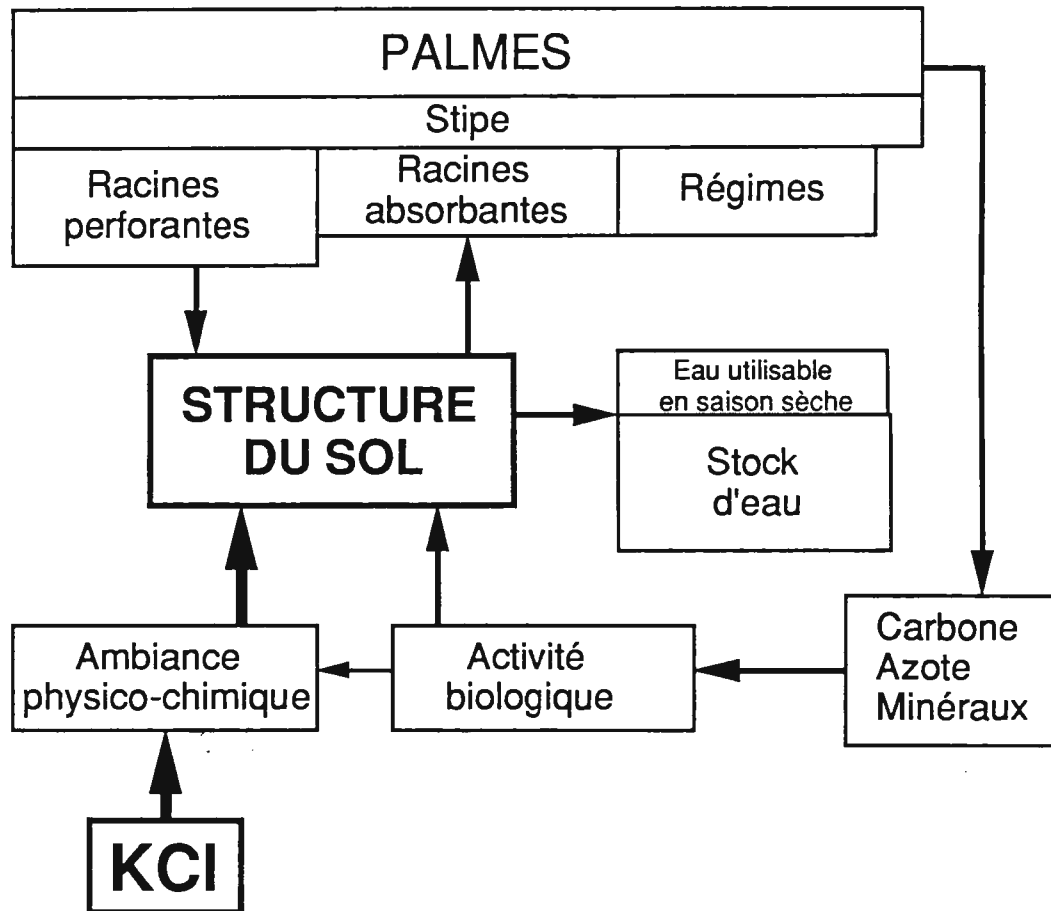


Fig.XII.4 - L'apport massif de KCl agit directement sur la structure et minimise l'action de l'activité biologique sur l'ambiance physicochimique. Les surfaces d'échange du sol et du palmier sont réduites, de même que la réserve en eau. Des stress hydriques occasionnels réduisent le rendement des plantations âgées.

Rappelons tout d'abord que les opérations d'abattage et de replantation ont soumis un sol déjà fragilisé par 25 années d'apports de KCl :

- à des contraintes mécaniques durant quelques minutes (du fait de l'engin d'abattage) qui ne sont pas limitées aux zones d'ornières (sous les chenilles, Fig.III.13) mais qui se répercutent sur l'ensemble de la parcelle (Fig.III.14) ;
- de façon répétée à l'énergie cinétique des gouttes de pluies qui provoque l'apparition d'une croûte plasmique laquelle réduit considérablement l'infiltrabilité du sol (VALENTIN, 1985) ;
- à une contrainte climatique (dessiccation) durant plusieurs mois qui provoque nécessairement un réarrangement au niveau des cristallites d'argile (TESSIER, 1984) dans tout le volume ayant subi la dessiccation. Cette dessiccation a aussi pu transformer les conditions d'évolution et de minéralisation de la matière organique.

## b) Dégradation de l'activité biologique

Quinze ans après l'installation des palmiers, on vérifie, à l'aide des mesures de volume massique, que les racines de niveau I (horizontales) et II (verticales) ont bien recréé une porosité. En effet, le volume massique de l'horizon A<sub>R</sub> est similaire à celui qu'il était avant les opérations d'abattage-replantation (Fig.VII.4), et il existe toujours une différence entre les mesures sur mottes et les mesures au densitomètre (Fig.VIII.1).

Mais il faut bien constater que la compacité du sol a, malgré tout, augmenté sur l'ensemble du profil (Fig.VII.4) et que l'activité termitique (mesurée par l'épaisseur de l'horizon A<sub>0</sub>) a été considérablement réduite. La baisse de porosité la plus importante concerne l'horizon A<sub>1</sub> même sous le tas de palmes, c'est-à-dire là où l'activité biologique est la plus importante.

Les mesures de teneur en eau, en début et en fin de saison sèche, montrent que la disponibilité de l'eau sur 50 cm d'épaisseur est nulle (Fig.VII.2), alors que les mesures effectuées sur mottes, après une semaine de mise à l'équilibre, indiquent que les volumes poraux sont toujours similaires à ceux de la situation de départ (Fig.VIII.4). Ainsi, *durant la saison sèche*, la réserve en eau disponible pour l'activité biologique (animale et végétale) est devenue quasiment nulle dans le premier mètre.

*Le sol n'assure plus le rôle de réservoir que l'on a constaté en premier cycle, le pédoclimat n'est plus alors de type forestier (frais et humide), mais il reflète les conditions soudano-guinéennes ambiantes. L'eau redevient un facteur limitant de la production de biomasse. Dans ces conditions, malgré des apports organiques similaires, l'activité biologique (animale et végétale) se transforme.*

Les signes les plus visibles sont la disparition de la fougère *Néphrolepsis* sp, une diminution de la couverture du *Puéraria* (DUFOUR et OLIVIN, 1985), et une disparition du termite *Ancistrotermes*\* dans les parcelles concernées.

## c) Evolution du spectre poral

En l'absence de l'activité de creusement de la faune du sol, le volume massique passe de 0,69 à 0,64 cm<sup>3</sup>/g (la densité apparente de 1,45 à 1,56), soit une diminution de porosité de 15 % environ (Fig.VII.4).

Cette diminution n'affecte pas la porosité de rétention capillaire (Fig.VIII.4). C'est la diminution de 30 % de la porosité assurant l'écoulement gravitaire de l'eau (pores supérieurs à 50 μm), qui explique l'augmentation de compacité (Fig.VIII.3). L'analyse d'image nous a permis de décrire les caractéristiques de cette diminution de porosité. Toutes les classes de pores (> 50 μm) sont affectés par une diminution de moitié du nombre de pores. Surtout la disparition des pores les plus grands (taille supérieure à 0,5 mm<sup>2</sup>) qui constituaient les chemins préférentiels d'écoulement des fluides dans la situation de départ, est à l'origine de profonds changements de propriétés du milieu sol.

*Au total, on assiste à une augmentation de la compacité du matériau du fait de la disparition des pores de 0,1 à plusieurs millimètres. Le volume poral assurant la rétention*

---

\* les termites sont capables de creuser de profondes galeries pour trouver l'eau qui leur est nécessaire. Mais dans le cadre de la plantation la nappe se trouve à environ 60 m sous le niveau des points les plus bas. Pour les termites il est donc plus "économique" de chercher un sol plus favorable à quelque distance que de creuser de telles galeries.

*capillaire de l'eau existe, mais il n'est plus accessible du fait d'une mauvaise interconnexion des pores.*

#### **d) Evolution de l'organisation des constituants**

Si l'activité de creusement de la faune diminue, il est évident que le transfert et la réorganisation des constituants vont évoluer de façon similaire.

On constate que la matière organique n'est plus incorporée en profondeur, ni même en surface, pour constituer l'horizon  $A_0$  : le développement des horizons A est inférieur à 1 m.

D'un autre côté, on vérifie que *les micro-agrégats plasmiques ont disparu* (Fig.X.1 et 2). La phase plasmique est devenue continue et assure l'enrobage des grains du squelette. Au sein de cette phase plasmique, on assiste aussi à la disparition des matières organiques humifiées (Fig.X.4) et à un réarrangement des cristallites. Ce réarrangement entraîne une réorganisation du matériau à longue distance d'où l'apparition de fentes de retrait millimétriques après séchage (Fig.X.2 et 3).

L'organisation du sol n'est plus particulière, mais devient massive à toutes les échelles, se rapprochant de celle d'un grès, ou même d'un béton. L'augmentation de la cohésion est alors la caractéristique la plus évidente du matériau (CALIMAN, 1990). Mais il faut surtout constater que la continuité de la porosité n'est plus assurée que par les pores intercristallites (quelques dizaines à centaines de nanomètres).

*L'augmentation de la compacité correspond à un changement d'organisation des constituants. Le plasma n'est plus juxtaposé au squelette, mais il en assure l'enrobage. Au sein de ce plasma, l'augmentation des surface de contact intercristallites augmente considérablement les forces de cohésion à grande distance.*

#### **e) Changement d'ambiance physico-chimique**

Enfin, la diminution de l'activité biologique a également des conséquences sur l'ambiance physicochimique.

Cela est dû avant tout aux changements dans les modalités de transformation, de transfert et d'incorporation au sein de la couverture pédologique des éléments minéraux stockés dans les matières organiques (palmer en particulier).

De plus, nous avons vu que les apports massifs de chlorure de potassium, durant des décennies, pouvaient entraîner une dégradation progressive débutant à la base du profil ; l'activité biologique localisée au sommet du profil préservait cet horizon. Avec la disparition de l'activité biologique, il est clair que la dégradation des conditions physicochimiques peut alors concerner l'ensemble du profil.

*Dans l'horizon  $A_1$ , contenant le plus de racines absorbantes, la capacité d'échange diminue de 66 % du fait de la disparition de la matière organique, et la saturation par les cations alcalino terreux n'est plus que 37 % (99 % dans la situation de départ, Tab.VII.1).*

*La teneur en aluminium échangeable a été multipliée par dix, indiquant une très nette aluminisation du milieu.*

*Le potassium et le sodium prennent de l'importance dans la composition du complexe d'échange puisqu'ils représentent maintenant 17 % des bases échangeables (contre 5 à 10 % dans la situation de départ). Pourtant, il faut constater que la teneur en  $K^+$  n'est que de 0,11 méq/100 g, ce qui constitue une diminution de moitié par rapport à la situation de départ, malgré des apports de chlorure de potassium toujours aussi importants.*

Les faibles teneurs en calcium et en magnésium échangeables sont la conséquence d'une mobilisation biologique elle aussi considérablement ralentie.

***La diminution de l'activité biologique a d'importantes répercussions sur le cycle biogéochimique : on assiste à un appauvrissement (en calcium par exemple), et à une aluminisation du milieu.***

#### f) Conclusion

Ainsi, dans les sols sablo-argileux de la plantation Robert Michaux, l'application simultanée de contraintes physicochimique, mécanique et hydrique, aboutit à transformer l'organisation des constituants à toutes les échelles. Il en résulte, *in fine*, un changement dans les processus de fonctionnement bio-géochimique.

Le milieu devient imperméable, cohérent, acide, voire phytotoxique. Tous les facteurs sont réunis pour maintenir une faible production de biomasse (Fig.XII.5).

***Il est important de noter que toutes les conditions sont aussi réunies pour assurer une grande stabilité physique de la couverture pédologique.*** La croûte plasmique, "figée" par la dessiccation et l'absence d'activité biologique, protège le sol de l'érosion, malgré l'augmentation de ruissellement. L'augmentation de la continuité de la phase solide au sein du profil concourt, lui aussi, à diminuer les risques d'érosion. Enfin, malgré la disparition de la matière organique, la stabilité de la nouvelle organisation plasmique est assurée par le réarrangement des cristallites allant dans le sens d'une augmentation des surface de contact, et probablement par la présence d'Al<sup>3+</sup>.

***Les contraintes appliquées ont entraîné un changement de l'organisation (structure) de la couverture pédologique. Cette nouvelle organisation, par un effet de réactions en chaîne, transforme radicalement le fonctionnement des sols. Les nouvelles conditions limitent la production de biomasse, il s'agit d'une dégradation du milieu au plan agronomique (Fig.XII.5).***

La grande stabilité de la nouvelle organisation de la couverture pédologique, en particulier vis à vis de l'activité biologique, pose alors le problème de la réversibilité, ou de l'irréversibilité de ces dégradations (qui ne sont plus seulement physiques). Afin de pouvoir discuter de cette question dans le prochain chapitre il est d'abord nécessaire d'utiliser l'ensemble de nos résultats pour mieux comprendre les mécanismes de structuration des sols sablo-argileux.

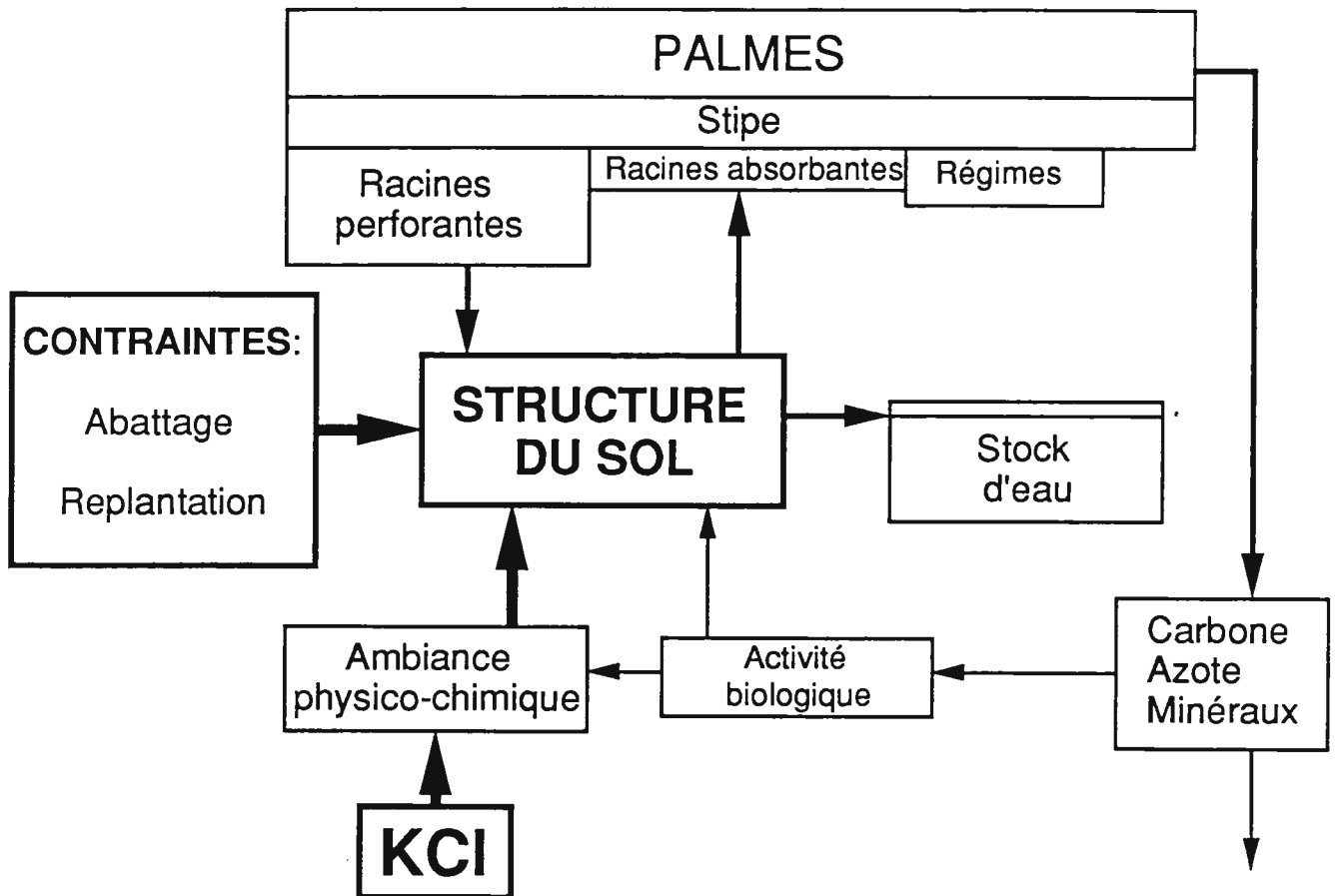


Fig.XII.5 - La structure est devenue massive sous l'effet des contraintes exercées par les techniques culturales. En particulier le nombre de racines absorbantes a considérablement diminué, de même que la réserve en eau durant la saison sèche. Le stress hydrique se prolonge durant une grande partie de l'année et le rendement du palmier s'en trouve affecté, sans que la production de biomasse ne diminue dans les mêmes proportions.

#### D. MISE EN EVIDENCE ET CARACTERISATION DE L'EVOLUTION PHYSIQUE DES SOLS A CARACTERE SABLEUX

L'existence d'une structure conditionne le comportement d'un sol. Pour apprécier les potentialités de ce dernier, la connaissance et la description de sa structure sont une nécessité. Il en est de même pour déterminer les conditions de conservation ou de réhabilitation de ces potentialités.

De l'ensemble de nos résultats, il est donc indispensable de tirer un certain nombre de leçons concernant les sols à caractère sableux, afin de pouvoir discuter de leur mise en valeur agricole.

Contrairement à la texture, la notion de structure ne possède pas de définition universellement reconnue (COLLEUILLE, 1990). La notion de structure fait parfois référence aux caractéristiques du volume poral, parfois à l'arrangement des constituants, ou même à la stabilité de l'arrangement.

## 1. Prise en compte de l'espace poral

L'espace poral étant plus facile à *quantifier* (et parce qu'il détermine en partie les propriétés hydrodynamiques), c'est souvent la mesure de l'évolution du volume poral qui sert à décrire l'évolution de la structure (LAWRENCE, 1977 ; MACKIE-DAWSON et al., 1989).

Si l'on examine la composition en volume des différentes phases d'un sol sablo-argileux, il est clair que les pores supérieurs à 1  $\mu\text{m}$  ne représentent qu'une très faible part du volume total (solide et pores) (Fig.XII.6). Ainsi, dans ce type de milieu, même une compaction importante n'entraîne pas de grande variation de densité (COULON 1989 ; CALIMAN, 1990).

*De plus, le volume poral assurant la rétention capillaire de l'eau (pores de 1 à 50  $\mu\text{m}$ ), ne représente que 30 % de l'ensemble du volume des pores supérieurs à 1  $\mu\text{m}$ . Cela signifie que les méthodes basées sur les mesures de rétention capillaire de l'eau ne sont pas adaptées pour décrire les changements intervenant dans des matériaux sablo-argileux. Pour analyser le spectre poral de cette gamme de pores, l'analyse d'image se révèle alors un moyen de mesure performant. L'utilisation de sections polies, plus faciles à obtenir que les lames minces, permet d'obtenir un grand nombre d'images et de procéder à une étude au plan statistique.*

Notons qu'un pore, ou son image en deux dimensions, peut alors être défini par son périmètre ou par sa surface suivant le but de l'étude.

## 2. Prise en compte de l'organisation des constituants

Contrairement à la porosité, l'étude de l'organisation des constituants est le plus souvent qualitative.

Un sol à caractère sableux est un édifice au sein duquel la fraction grossière constitue l'essentiel de la masse et du volume de solide. L'organisation de ses constituants a été envisagée essentiellement sous l'aspect du remplissage ou de l'enrobage des grains de quartz par la fraction fine (KHEYRABI et MONNIER, 1968 ; FIES, 1971 ; MULLINS et PANAYIOTOPOULOS, 1984, SHIEL et al., 1988). Certains auteurs ont montré l'incidence des conditions de mise en place, du tri granulométrique et de la forme des grains du squelette (CHRETIEN, 1986), ou de la quantité de matière organique (MACKEAGUE et GUERTIN, 1982) sur l'organisation.

Ces descriptions ont été effectuées sur des matériaux dont l'histoire a été reconstituée au laboratoire. Les conditions expérimentales ne tiennent pas compte des éléments qui interviennent en milieu naturel.

*De nos observations d'un matériau sablo-argileux naturel il ressort qu'il faut également prendre en compte dans des sols sablo-argileux une organisation micro-agrégée du plasma, comme cela a déjà été fait dans les sols à forte teneur en plasma (CHAUVEL, 1977 ; MULLER, 1980). Dans notre cas le modèle d'enrobage ne correspond en effet qu'à une seule situation dans le milieu naturel : la situation la plus dégradée.*

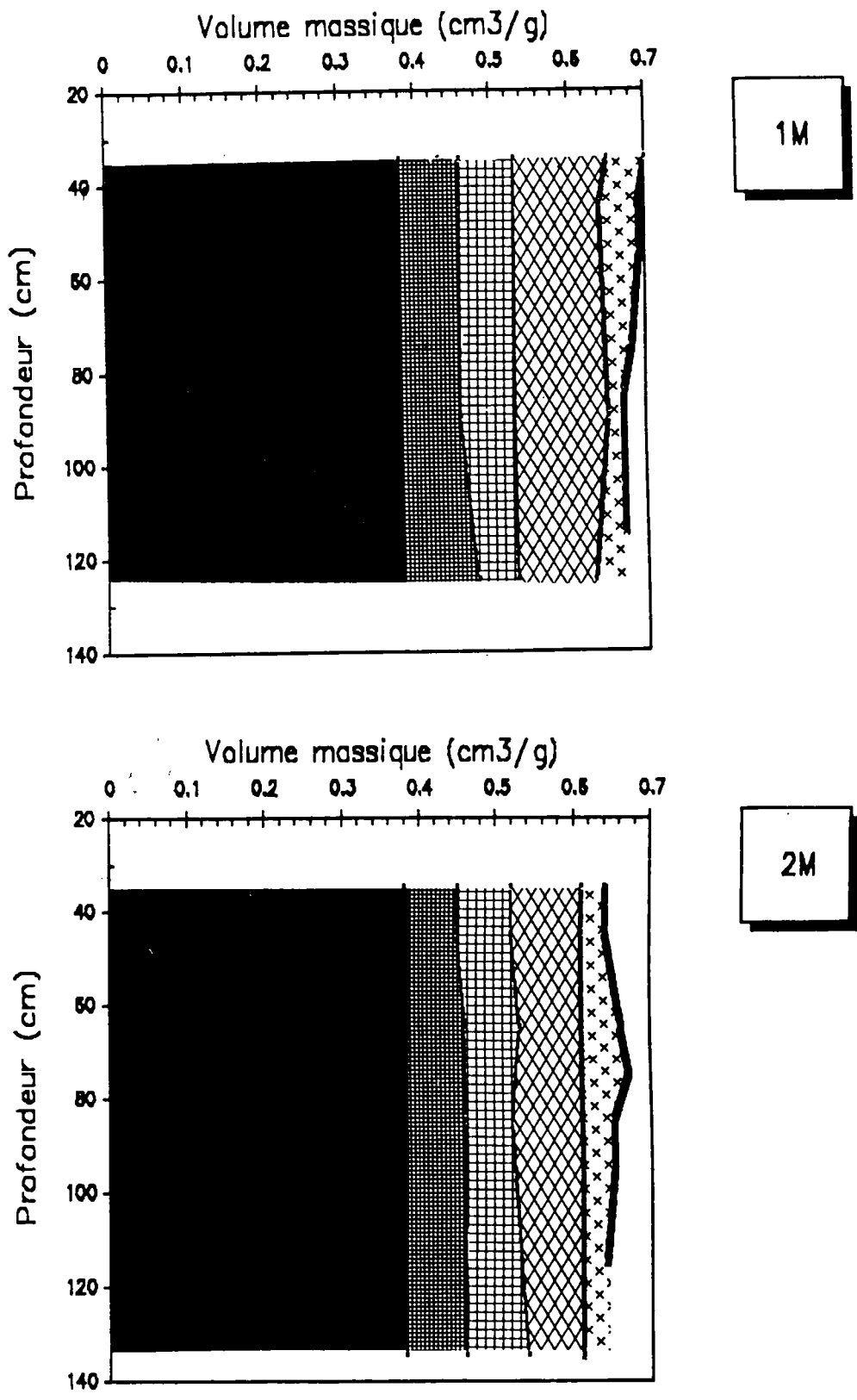


Fig.XII.6 - Profil de volume massique dans les deux états physiques extrêmes : favorable en haut, dégradé en bas. De gauche à droite ont été représenté : le solide (en noir) le volume poral inférieur à 1 μm, le volume poral compris entre 1 et 50 μm (rétention capillaire, eau utilisable par les plantes), le volume poral supérieur à 50 μm mesuré sur motte (avant dernière courbe) et au densitomètre (dernière courbe à droite).

### 3. Prise en compte des forces de cohésion

Dans un sol, la stabilité de la structure est d'abord assurée par les forces de cohésion à l'échelle moléculaire. Ces forces de cohésion n'interviennent de façon significative que si les surfaces concernées sont suffisamment grandes. Le sol sablo-argileux est un mélange de grains de quartz, développant une très faible surface ( $\sim 0,1 \text{ m}^2/\text{g}$ ), et une argile très fine développant l'essentiel de la surface ( $\sim 100 \text{ m}^2/\text{g}$ ).

*L'organisation d'un système sablo-argileux dépend avant tout de l'organisation de l'argile.*

*Sa cohésion est alors en relation avec les surfaces de contacts développées entre les fractions fine et grossière.*

*Pour comprendre les changements d'organisation d'un sol sableux, il est donc indispensable de s'intéresser à la fraction fine qui développe l'essentiel des charges de surface.*

Dans notre cas, il apparaît deux cas de figure extrêmes :

- le premier correspond à la présence d'une structure microagrégée de l'argile dont le liant est la matière organique. On retrouve, comme avec le fer, une structure micropédique caractéristique des sols ferrallitiques. A l'échelle millimétrique le milieu est particulaire ou fragmentaire.

- le second cas correspond à l'enrobage des grains du squelette par l'argile. Les forces de cohésion assurent alors l'existence d'un solide rendu continu et rigide par l'agglomération des grains du squelette. A l'échelle millimétrique, la structure est continue ou massive.

### 4. Discussion

Il ressort de l'ensemble de nos résultats que la connaissance de la texture (proportions pondérales des constituants classés par taille) ne peut, à elle seule, permettre de connaître la structure et les comportements d'un sol où domine la fraction grossière. Dans ces sols, les surfaces développées par la fraction fine sont toujours supérieures (environ 100 fois) à celles développées par les éléments grossiers. Par conséquent, ce sont les caractéristiques de la fraction fine qui vont conditionner l'existence d'une structure, donc des comportements du sol.

Ainsi, des sols sablo-argileux ayant la même composition texturale, peuvent présenter aussi bien une structure particulaire qu'une structure massive, et donc avoir des comportements opposés :

- la structure particulaire correspond à un milieu faiblement cohérent, la cohésion macroscopique étant principalement assurée par les forces capillaires inter particules, microagrégats ou grains de quartz (Mc KENNA-NEUMAN et NICKLING, 1989). La discontinuité de la phase solide implique bien évidemment une grande *continuité* de l'espace poral (permettant une distribution homogène de l'eau et des racines), mais implique aussi un développement considérable des surfaces d'échanges entre le sol, la solution du sol et les racines.

- La structure massive induit la cohésion maximale du milieu. Le volume poral évolue peu (15 %), mais la continuité de l'espace poral est seulement assurée par les pores intercrystallites (l'infiltration ne se fait plus que par quelques chemins préférentiels et s'accompagne de ruissellement). Les surfaces d'échange se sont considérablement réduites.



*Pour passer d'une structure à l'autre, il est clair qu'il faut intervenir au niveau des forces de cohésion de l'argile. A ce niveau, l'ambiance physicochimique et la teneur en matière organique sont déterminantes dans ce type de sol. En effet, si les surfaces développées par l'argile sont énormes par rapport au quartz, dans l'absolu un sol sablo-argileux à kaolinite ne présente qu'une faible quantité de charges (1 méq/100 g) vis-à-vis de la concentration des solutions.*

*Les forces de cohésion peuvent en même temps être vaincues par une action mécanique (compaction, énergie cinétique des gouttes de pluie), ou même par la dessiccation (MULLINS et PANAYIOTOPOULOS, 1984).*

*Il faut considérer la dégradation des sols sableux comme le passage d'un matériau à porosité continue à un matériau à phase solide continue.*

Dans ce dernier cas, le sol acquiert les caractéristiques *hydrodynamiques* et *mécaniques* d'un matériau *argileux*. En revanche il ne présente pas la spécificité de ces matériaux, à savoir la réapparition d'une structure discontinue grâce aux phénomènes de gonflement-retrait. En effet, la présence de grains de quartz rigides et d'une faible proportion d'argile ne permettent pas l'apparition de fissures de taille suffisante.

*Seule l'activité biologique, associée à un changement de l'ambiance physicochimique, est susceptible de contribuer à améliorer la structure.*

## CONCLUSION

Il s'agissait dans ce chapitre de montrer quels sont les principaux facteurs d'évolution des sols au sein d'une plantation industrielle de palmiers à huile, dans le contexte des sols sablo-argileux ferrallitiques de la savane de Dabou, à l'échelle de temps de 2 cycles de cultures, tels qu'ils résultent de notre analyse.

De l'ensemble de nos résultats il ressort que les facteurs d'évolutions sont multiples. Il s'agit tout d'abord de l'activité biologique végétale *et* animale, puis de l'ensemble des techniques mises en oeuvre pour assurer la production.

Il apparait surtout que tous ces facteurs sont en *interaction* : la plantation consitue un *écosystème cultivé ou agrosystème*. Les éléments de cet agrosystème sont *liés* par des relations qui peuvent être des flux de matière (\*), ou d'énergie (\*\*). Il peut même arriver qu'un élément agisse sur lui-même, on parle de *rétroaction* (\*\*\*) .

Le sol doit être considéré comme un élément de ce système. En effet : l'évolution des conditions pédologiques transforme les facteurs qui sont à l'origine même de cette évolution.

Dans ces sols sablo-argileux ferrallitiques à faible capacité d'échange et faible capacité de structuration, l'évolution de premier cycle dûe à l'activité biologique est lente et réversible ; l'évolution de second cycle est rapide et pourrait être difficilement réversible.

---

\* le palmier apporte des matières organiques au sol, celui-ci restitue des éléments minéraux.

\*\* contraintes mécaniques ou hydriques exercées sur le sol par les racines.

\*\*\* en premier cycle de culture le palmier améliore la circulation de l'eau au sein de la couverture pédologique, ceci agissant favorablement sur son propre fonctionnement, et ainsi de suite ; on parle alors de rétroaction positive.



**CHAPITRE XIII****CONTRIBUTION A UNE GESTION  
CONSERVATIVE  
DE L'AGROSYSTEME**

Le but de ce chapitre est de définir les conditions d'une agriculture plus conservative, c'est-à-dire « *qui tend à maintenir l'intégrité de l'outil de production qu'est le sol, de manière à assurer une production optimale dans des conditions bioclimatiques données et sans négliger l'apport d'intrants* » (S. HENIN et G. PEDRO).

## INTRODUCTION

Maintenir l'outil de production qu'est le sol signifie en particulier que celui-ci doit rester capable d'alimenter les plantes en eau et en éléments minéraux.

L'alimentation correcte en eau passe par une organisation du sol qui permette à la fois :

- l'infiltration, le stockage et la restitution de l'eau des précipitations,
- le développement maximal des racines absorbantes.

L'alimentation minérale ne peut être assurée correctement que si les éléments minéraux solubilisés sont retenus par le sol. Dans les sols ferrallitiques (argile de type "kaolinite") la capacité d'échange cationique est faible, *a fortiori* si la fraction sableuse est dominante et si le pH est bas. Nos résultats ont montré seule la matière organique est capable d'augmenter la CEC de ces sols(\*).

Sur la base de nos résultats *scientifiques* il s'agit à présent de passer au conseil *technique* en vue d'une gestion conservatrice.

## A. LA GESTION DU SOL A L'ECHELLE DE L'ARBRE

Dans ces sols à caractère sableux seule l'activité biologique est susceptible de permettre l'incorporation de matière organique, la réorganisation des constituants (argile et sable) et enfin la mobilisation et la redistribution des éléments minéraux.

### 1. Epannage de matière organique

*Les palmes* constituent la source d'énergie pour la mésofaune qui procède au fouissage et au creusement de galeries.

*Le tas de palmes* agit comme un mulch qui protège le sol de l'impact des gouttes de pluie, stocke l'eau de façon temporaire et limite ultérieurement l'évaporation du sol. Il améliore le pédoclimat dans un sens favorable à l'activité biologique (animale et végétale) mais ne concerne que 20 % de la surface.

*Aussi préconisons-nous de créer un mulch de matière organique étendu sur la plus grande surface possible.*

*L'effet produit par le tas de palmes ne peut plus être obtenu si celles-ci sont dispersées.*

---

\* rappelons que dans la situation de référence (1M) les horizons sablo-argileux superficiels qui sont les plus organiques ont une CEC plus importante que les horizons argileux sous-jacents.

*Il est alors possible d'utiliser d'autres matières organiques.* Les résidus de régimes, ou rafles, sont habituellement incinérées et non restituées au sol. Ces résidus pourraient aussi être épandus dans les interlignes et augmenter considérablement la surface de mulch.

L'épandage de rafles devrait alors permettre un développement de l'activité biologique et une amélioration du statut organique des sols. Par un effet de réaction en chaîne décrit au chapitre précédent on devrait aboutir à une structure plus discontinue, donc une porosité plus continue, et au total d'améliorer les transferts d'eau et d'éléments minéraux serait améliorés (pas de perte hors de l'agrosystème).

## 2. Apports fertilisants

Sur la plantation de Dabou ces apports sont surtout constitués de KCl.

S'ils permettent tout d'abord le démarrage de la culture, *par la suite il faut raisonner la fertilisation en fonction de la CEC du sol* (donc de la texture et du statut organique) et de *l'évolution des conditions physico-chimiques* (saturation par  $K^+$  ou  $Al^{+++}$ ). Mais, *dans toutes les situations, une fertilisation calcique accompagnant la fertilisation potassique s'impose à long terme.*

Pour que le sol puisse servir de réservoir à potassium il est donc indispensable d'avoir non seulement la CEC la plus importante possible mais il faut aussi qu'il existe une porosité permettant l'infiltration des solutions de KCl et le développement de racines absorbantes. Il faut donc éviter les croûtes de surface et obtenir une bonne continuité de la porosité par la création d'un mulch.

De plus, les sols ferrallitiques sont caractérisés par leur pauvreté chimique. Sous culture de palmier on observe une importante mobilisation biologique des éléments minéraux grâce à un système racinaire très développé. La restitution, et la réincorporation de ces éléments à travers l'épandage des résidus organiques est donc aussi une façon de préserver la durabilité de l'écosystème.

*Au total le suivi d'un ensemble de paramètres (CEC, saturation de la capacité d'échange, pH, etc...) doit permettre de mieux raisonner la fertilisation.*

## B. TECHNIQUES CULTURALES SUR LA PLANTATION

Pour maintenir l'activité biologique il est indispensable de lui fournir non seulement de l'énergie (carbone de la matière végétale) mais aussi de l'eau. Or la région de Dabou est marquée par l'existence d'irrégularité importante de la pluviosité, une circulation d'eau verticale mais aussi *latérale*. Par conséquent les techniques utilisées doivent viser à minimiser le ruissellement et favoriser l'infiltration.

Les ronds dégagés de toute végétation au pied du palmier favorisent le ruissellement, mais leur importance économique justifie leur maintien.

En revanche, la technique qui consiste à créer des lignes de palmier suivant une direction toujours nord/sud devrait être aménagée. Les palmiers pourraient être implantés suivant les courbes de niveaux, leur plantation en triangle équilatéral favorisant alors l'interception des eaux de ruissellement.

De même, le réseau de fossés de drainage qui borde les blocs kilométriques devrait subir un aménagement afin de limiter l'évacuation trop rapide hors de la plantation (lorsque le fossé est dans le sens de la pente par exemple).

## C. TECHNIQUES D'ABATTAGE ET DE REPLANTATION

Il faut protéger le sol des contraintes mécaniques qui transforment le spectre poral par la disparition des pores les plus gros, et des contraintes hydriques qui provoquent un réarrangement des particules plasmiques et une diminution de l'activité de la mésofaune.

L'abattage devrait donc se faire le moins de contraintes possible, l'abattage à la tronçonneuse, par exemple, pourrait être envisagé.

Afin de limiter les contraintes hydriques et les dégradations de surface dues à l'impact des gouttes de pluie, *une couverture du sol durant la saison sèche s'impose*. Il faudrait donc stimuler l'installation du pueraria *avant l'abattage* (apport d'engrais azotés et de calcium par exemple) et veiller à ce qu'il continue à se maintenir *après* l'abattage.

## D. REHABILITATION DES PARCELLES DEGRADÉES

Nous avons vu au chapitre précédent que la dégradation des sols débute par un changement d'organisation des constituants (passer de la structure continue à une structure microagrégée) qui se répercute sur l'ensemble du fonctionnement : hydrique, biologique et physico-chimique.

*C'est donc à l'échelle des constituants qu'il est indispensable d'agir.*

Pour obtenir une organisation favorable des constituants et une ambiance physico-chimique favorable à la stabilité de cette organisation, il est indispensable d'avoir une activité de la mésofaune qui soit importante (fouissage). Par conséquent il faut qu'elle trouve de l'eau et une source d'énergie.

Les apports organiques en premier et en second cycle de culture sont similaires : le carbone n'est pas le facteur limitant au développement de la mésofaune. En revanche, il ressort de nos résultats que dans certains horizons l'eau n'est plus disponible durant la saison sèche. Il est donc indispensable d'augmenter la quantité d'eau stockée dans le sol en diminuant le

ruissellement et l'évaporation : *il faut favoriser les écoulements verticaux et limiter les écoulements latéraux.*

*L'épendage de rafles* devrait permettre d'améliorer la gestion de l'eau de pluies, donc de transformer le pédoclimat (climat du sol) et mettre en route en ensemble d'actions et d'interactions favorables à l'activité biologique animale et végétale.

Il semble indispensable de limiter de façon drastique les apports de KCl puisque l'ion potassium ne marque plus sur la capacité d'échange (teneur inférieure en 2M par rapport à 1M alors que les apports ont duré 15 ans de plus). Il faut aussi agir sur l'ambiance physico-chimique par des apports calciques qui permettront de remonter le pH, augmenter la saturation de la CEC et diminuer la teneur en AL échangeable.

## CONCLUSION

*Dans un milieu, pauvre chimiquement et fragile physiquement, les potentialités agronomiques ne peuvent s'exprimer pleinement et avoir une pérennité dans le temps que si l'on maîtrise l'ensemble des processus d'évolution de la couverture pédologique.*

Dans la région de Dabou cette maîtrise passe en particulier par le développement puis le maintien d'une activité biologique, végétale et animale, qui transforme l'organisation des constituants à différentes échelles, les transferts d'eau et d'éléments minéraux, donc l'ambiance physico-chimique.

---





## **CONCLUSION GENERALE**

---

Le but de ce travail était d'analyser les changements des propriétés des sols sablo-argileux de la région de Dabou en Côte d'Ivoire, afin d'en décrire les mécanismes d'évolution en relation notamment avec la fertilité physique sous palmeraie à huile.

La démarche suivie a consisté tout d'abord à définir le cadre général d'évolution des sols aux plans géographique, climatique, géologique et géomorphologique.

Notre étude visait à comprendre la mise en place de la couverture pédologique et la distribution des sols dans le paysage. A cet effet, nous nous sommes appuyés sur des critères granulométriques. A l'échelle de la plantation, nous avons utilisé la végétation adventice comme indicateur du fonctionnement.

Notre analyse nous a conduit ensuite à rechercher l'impact d'une plante pérenne, le palmier à huile, sur la couverture pédologique, en envisageant les aspects physiques, physico-chimiques et biologiques.

Sur le terrain, nous avons considéré des situations différentes par leur position dans les versants et par leur histoire culturelle. Les changements observés dans le fonctionnement ont été relatifs à la dynamique de l'eau et à l'activité biologique.

La voie suivie pour examiner les modifications intervenant à différentes échelles de l'organisation des sols a consisté à analyser le volume poral total, le spectre poral et à décrire l'arrangement des constituants de l'échelle décimétrique à nanométrique. A cet effet, nous avons utilisé les courbes de rétention d'eau et d'injection de mercure. Nous avons mis au point une méthode d'étude des pores assurant l'écoulement rapide des fluides et révélant l'action de la faune ; cette approche est basée sur l'analyse quantitative de l'image de la porosité de sections polies.

La synthèse générale des résultats a eu pour objet de montrer, dans les différentes situations étudiées, les liens qui existent entre les principaux facteurs d'évolution du milieu, à savoir les aspects biologiques (activité biologique et statut de la matière organique), biogéochimiques (en relation notamment avec l'apport d'intrants) et enfin, énergétiques (dessiccation et contraintes mécaniques au sens large).

Les résultats obtenus montrent la contribution des différents mécanismes d'évolution des sols sous palmeraie à huile et leur impact sur la couverture pédologique, le comportement physique et l'organisation des sols et enfin, sur l'écosystème du palmier à huile.

## LA COUVERTURE DE LA REGION DE DABOU

Bien que Dabou se trouve à 5° de latitude nord, l'analyse du climat de la région montre l'existence d'un déficit hydrique durant parfois neuf mois de l'année. Ceci nous a conduit à classer cette zone comme marginale par rapport aux conditions hydriques du sud de la Côte d'Ivoire.

Le réseau hydrographique et la géomorphologie confirment le caractère azonale de cette région appelée "Savane de Dabou".

*Bien que la savane ait disparu, nous avons montré que les cartes topographiques et hydrographiques permettent de retrouver les limites de cette région.*

Dans cet ensemble, la couverture pédologique est, elle aussi, différente du reste des sols développés sur sables tertiaires. Les sols sont sableux sur les versants et systématiquement plus argileux dans les bas-fonds.

*Notre étude a aussi montré que le tri granulométrique des sables est similaire dans toutes les positions topographiques. Donc, dans le matériau sableux statistiquement homogène, c'est la distribution de la fraction fine qui est variable et qui est à l'origine des différenciations pédologiques.*

Il ne s'agit pas d'une différenciation lithologique héritée.

Contrairement aux zones de forêt, un gradient textural vertical est observé le long des versants avec approfondissement de l'horizon sableux dans la partie concave du versant et accumulation d'argile en position de bas-fond.

*On peut donc dire que la couverture pédologique est, dans la zone considérée, en équilibre avec des conditions de milieu de type soudano-guinéen. Il est clair que ces sols sont à la marge du domaine ferrallitique.*

## COMPORTEMENT ET ORGANISATION DES SOLS SABLO-ARGILEUX ET CONSEQUENCES

Dans le cadre de l'évolution pédologique définie auparavant, nous avons décrit des situations, identiques par la position dans la toposéquence, mais différentes par leur passé cultural. Nous avons été amené à comparer un premier et un second cycle de culture. Pour le premier cycle, deux situations ont été distinguées, l'une dégradée, l'autre non dégradée.

Ces trois situations ne se différenciant par aucun trait morphologique original, nous avons procédé à des mesures de volume poral et de contenu en eau. Tout d'abord, le changement de volume poral ne dépasse pas 15 %.

En revanche les mesures de rétention d'eau réalisées *in situ* indiquent une modification considérable du comportement des sols au cours de la saison sèche, depuis la situation de départ jusqu'à la situation la plus dégradée. Le volume d'eau disponible est maximal dans les sols non dégradés et devient quasi nul dans la situation la plus dégradée. Les courbes de rétention d'eau réalisées au laboratoire n'indiquant pas de différence entre les situations et il est apparu que *seule la porosité assurant l'écoulement de l'eau gravitaire (pores supérieurs à 50  $\mu\text{m}$ ) a été affectée.*

Dans ce cas de figure, l'analyse d'image indique que les pores dont la surface est supérieure à  $0,5 \text{ mm}^2$  ont disparu. Pour les pores d'une taille inférieure à  $0,5 \text{ mm}^2$ , leur nombre est réduit de moitié.

*L'interprétation de ces données a conduit à montrer que la dégradation physique est essentiellement un processus d'augmentation de la continuité de la phase solide et de diminution de la continuité de l'espace poral. Ceci va de pair avec la diminution des surfaces d'échange entre le sol, la solution du sol et les racines.*

Au total, malgré une faible diminution du volume poral, la dégradation physique a des conséquences multiples, notamment sur la circulation de l'eau au sein de la couverture pédologique. En parallèle, l'augmentation de la cohésion, et la disparition des pores permettant le développement des racines absorbantes, diminuent considérablement l'exploitation du sol par les êtres vivants.

## PRATIQUES CULTURALES ET EVOLUTION DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE

Il s'agissait de savoir comment l'implantation d'une palmeraie industrielle, en relation notamment avec les pratiques culturelles dans leur ensemble, pouvait avoir un impact sur la couverture pédologique.

La caractéristique principale du palmier réside dans l'importance de son système racinaire. Lorsque le développement de la plante est optimal, on constate que la circulation verticale de l'eau est améliorée. Les apports de matières organiques sous culture de palmiers à huile étant similaires à ceux d'une forêt, et non d'une savane, ils font "exploser" l'activité biologique et permettent la réorganisation du matériau à différentes échelles.

A l'échelle du profil, sous le tas de palmes, se forme un horizon organo-minéral épigé ; à l'échelle nanométrique la matière organique humifiée joue le rôle de liant entre les cristallites d'argiles.

*La structure est alors micro-agrégée et caractéristique des sols ferrallitiques. Les micro-agrégats d'argile sont totalement dissociés du squelette (constituants d'une taille supérieure à  $50 \mu\text{m}$ ).*

Au cours du premier cycle de culture, une dégradation des caractéristiques physiques des sols peut affecter préférentiellement la base des profils pédologiques, niveau d'accumulation du plasma et de fermeture de la porosité. Les apports répétés de KCl, ayant modifié l'ambiance physico-chimique et diminué la stabilité de l'organisation pédologique de ces horizons.

*Dans ce milieu faiblement tamponné (il ne contient qu'une faible proportion de kaolinite, à faible capacité d'échange), surtout en l'absence de matières organiques, on met en évidence dans certaines situations un effet spécifique du potassium sur la dégradation physique.*

Le potassium jouerait un rôle dispersant analogue en quelque sorte à celui du sodium dans des sols à caractère sodique.

Ce sont surtout les opérations d'abattage et de replantation qui provoquent, brutalement, les dégradations les plus importantes.

*Notre analyse montre que les niveaux d'énergie mis en jeu par l'abattage (poussage), puis par l'exposition du sol nu aux agents du climat (soleil et pluie), sont sans commune mesure avec ceux qui ont été imposés par l'histoire énergétique antérieure.*

En second cycle de culture, l'activité biologique sous toutes ses formes (animale et végétale), est considérablement réduite. La réorganisation du matériau, assurée par l'activité biologique en premier cycle, n'est plus possible. On assiste à une évolution du sol à toutes les échelles puisque l'horizon épigé disparaît de même que la matière organique entre les cristallites d'argiles.

*La structure micro-agrégée a disparu, et le plasma assure l'enrobage du squelette. Dans ce cas le sol ne peut plus assurer l'alimentation hydrique et minérale des palmiers.*

On constate une aluminisation très nette des horizons superficiels, et l'augmentation des quantités d'intrants n'a plus d'effet sur les rendements.

\*\*\*\*\*

Au total, dans un milieu pauvre chimiquement, faiblement tamponné, physiquement fragile, macroscopiquement peu différencié et structuré, les pratiques culturales, en agissant simultanément sur plusieurs facteurs peuvent contribuer à déstabiliser l'équilibre précaire qui existe entre tous les éléments du milieu. Une gestion conservatrice du milieu est indispensable pour maintenir, et même améliorer, la production de biomasse.

*Lors de la mise en valeur agricole, la synergie, qui existe entre les principaux facteurs du milieu (biologique, chimique, physique et énergétique), implique la prise en compte du système naturel dans son intégralité. Dans ce système, le sol peut alors être le révélateur de la qualité de la gestion du milieu.*

---



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (1983). Analyse granulométrique par sédimentation. X 31-107. 15 p.
- AFNOR (1985). Détermination de la capacité d'échange cationique et des cations échangeables. X 31-130. 12 p.
- AUBERT G. (1960). Influence des divers types de végétation sur les caractères et l'évolution des sols en régions équatoriales et subéquatoriales ainsi que leurs bordures tropicales semi-humides. U.N.E.S.C.O., Travaux du colloque d'Abidjan, 1959, pp 41-47.
- AUBERT G.(1958). Visite des plantations de la S.A.P.H. en basse Côte-d'Ivoire. ORSTOM, Paris, multigr. 3 p.
- BERLIER Y., DABIN B., LENEUF N. (1956). Comparaison physique, chimique et microbiologique entre les sols de forêt et de savane sur les sables tertiaires de la Basse Côte d'Ivoire. VI<sup>e</sup> Congrès de la S.I.S.S., PARIS, 499-502.
- BERNHARD-REVERSAT F. (1975). Recherche sur les cycles biogéochimiques des éléments minéraux majeurs en milieu forestier sub-équatorial (Côte d'Ivoire). Thèse Univ Paris-Sud, Orsay, 108 p.
- BOURGUET M. (1980) Productions comparée extensions - replantation. IRHO, Montpellier, multigr., 30 p.
- BRAUNACK M.V. (1986). The residual effects of tracked vehicles on soil surface properties. Journal of terramechanics. Vol. 23 (1) : 37-50.
- BREWER R. (1964). Fabric and mineral analysis of soil. John Wiley & Sons, New York.
- BRUAND A. (1985). Contribution à l'étude de la dynamique de l'organisation de matériaux gonflants. Application à un matériau provenant d'un sol argilo-limoneux de l'Auxerrois. Thèse Univ. Paris VII, 227 p.
- BRUAND A., BRAUDEAU E. et FRITSCH E (1990). Evolution de la géométrie de l'espace poral des sols lors du passage du domaine ferrallitique au domaine ferrugineux et hydromorphe. Exemple du bassin de Booro Borotou (Côte d'Ivoire). ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide : 137-145.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G., TURSINA T. et BABEL U. (1985). Handbook for soil thin section description. Waine Research Pub. (U.K.), 152 p.
- CALIMAN J.P. (1990). Dégradation de propriétés physiques conditionnant la fertilité des sols sous culture du palmier à huile en Côte d'Ivoire. Essai de correction. Thèse Univ. Dijon, 219p.
- CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C. et SALSAC L. (1983). Mieux comprendre les interactions sol-racine. Incidence sur la nutrition minérale. Coll. INRA, 325 p.
- CASENAVE A., VALENTIN C. (1989). Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, Coll. Didactiques, 229 p.
- CHARREAU C. (1951). Comparaison des sols de savane et de forêt dans la région de Dabou. ORSTOM, Paris, multigr. 5 p.

CHAUVEL A. (1977). Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance (Sénégal). ORSTOM, coll. Travaux et Documents, n°62, 532 p.

CHENU C. (1985). Etude expérimentale des interactions argiles-polysaccharides neutres. Contribution à la connaissance des phénomènes d'agrégation d'origine biologique dans les sols. Thèse Univ. Paris VII, 198 p.

CHRETIEN J. (1986). Rôle du squelette dans l'organisation des sols. Conséquences sur les caractéristiques de l'espace poral des sols sur arènes et sur terrasses fluviales. Thèse Univ. Dijon, coll. INRA, 412 p.

CIRAD (1989). A.T.P. fonctionnement hydrique racinaire en sols dégradés, premier rapport d'avancement. Premiers résultats concernant l'étude du système racinaire du palmier à huile sur sol dégradé. CIRAD, Montpellier, multigr. 4 p.

CLAISSE C. (1951). Travail sur les tations de l'I.R.H.O. à Dabou et Lamé. ORSTOM, Paris, multigr. 17 p.

COLLEUILLE H. (1990). Note sur le concept de structure et d'agrégat du sol. Revue bibliographique. Analyse critique. Méthode de caractérisation pédo-hydrique : originalité, perspectives d'étude. ORSTOM, Paris, multigr. 22 p.

COSTER M. et CHERMANT J.L. (1989). Précis d'analyse d'image. Presses du CNRS. 560p.

COULON E. (1988). Conséquences du tassement sur l'organisation de l'espace poral des sols sableux. Contribution à la connaissance des mécanismes de compactage. Thèse Univ. d'Orléans, coll. INRA, 242 p.

DUFOUR O. (1983). Note sur les replantations. IRHO, Montpellier, multigr., 18 p.

DUFOUR O., FRERE J.L., CALIMAN J.P. et HORNUS P. (1988). Présentation d'une méthode simplifiée de prévision de la production d'une plantation de palmiers à huile à partir de la climatologie. Oléagineux, 43 (7) : 271-278.

DUFOUR O., OLIVIN J. (1985). Evolution des sols de la plantation de palmiers à huile sur savane. Oléagineux, 40 (3) : 113-124.

DUFRENE E. (1989). Photosynthèse, consommation en eau et modélisation de la production chez le palmier à huile (*Elaeis guineensis Jacq.*). Thèse Univ. Paris-Orsay, 156 p.

ESCHENBRENNER V. (1988). Les glébules de Côte d'Ivoire. Nature et origine en milieu ferrallitique. Modalités de leur concentration. Rôle des termites. ORSTOM. Coll. Travaux et Documents Microédités, n° 39, 282 p.

FAUCK R. (1971). Contribution à l'étude des sols des régions tropicales. Les sols rouges sur sable et sur grès d'Afrique Occidentale. Thèse Univ. Strasbourg, 377 p.

FAURE A. (1978). Comportement des sols au compactage : rôle de l'argile et conséquences sur l'arrangement des grains. Thèse Univ. Scientifique et Médicale de Grenoble, 179 p.

FIES J.C. (1971). Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols. Ann. Agron., 22 (6) : 655-685.

FIES J.C. (1984). Analyse de la répartition du volume des pores dans les assemblages argile-squelette : comparaison entre un modèle d'espace poral textural et les données fournies par la porosimétrie à mercure. Agronomie, 4 (9) : 891-899.



FRITSCH E., VALENTIN C., MOREL B. et LEBLOND P. (1990). La couverture pédologique : interactions avec les roches, le modelé et les formes de dégradation superficielles. ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane humide : 31-57.

GUILLAUMET J.L. et ADJANOHOUN E. (1971). La végétation *in* le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM n° 50.

GUILLORE P. (1980). Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces. I.N.A. P.G., multigr., 22 p.

HARTMANN C., TESSIER D. et WILDING L.P. (à paraître). Use of both transmitted light and U.V. reflectance as a technique for studying thin sections. Example of a sandy soil. Soil Sci. Soc. of Am. J.

HIRSCH P.J. (1980). Relations entre l'appareil végétatif et la production chez le palmier à huile en Côte-d'Ivoire. Oléagineux, 35 (5) : 233-237.

HIRSCH. P.J. (1978). Angle de divergence des feuilles du palmier à huile : Mesures et conséquences possibles. Oléagineux, 33 (3) : 109-111.

HUMBEL F.X. (1964). Etude de quelques dépressions circulaires à la surface d'un plateau sédimentaire de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., II (3) : 27-42.

HUMBEL F.X. (1974). La compacité des sols ferrallitiques du Cameroun : une zonalité dans ce milieu en relation avec la dessiccation saisonnière. ORSTOM., sér. Pédol., XII (1) : 73-101.

IRHO (1989). Rapport d'activité ; palmier à huile. Oléagineux, 44 (4) :27-71.

JAMAGNE M. 1973). Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du nord de la France. Thèse Fac. Scie. Agronomiques, Gembloux, 445 p.

JONGERIUS A., SCHOONDERBEEK D., JAGER A. et KOWALINSKI S. (1972) Electro-optical porosity investigation by mean of Quantimet-B equipment. Géoderma, 7 (3/4) : 177-198.

JUSTE C. (1966). 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., 17 (3) : 251-341.

KHEYRABI D. et MONNIER G. (1968). Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur leur stabilité structurale. Ann. Agron., 19 : 129-152.

KILASARA M. (1990). Evolution actuelle des sols de la couverture ferrallitique du secteur de Muheza (Tanzanie). Origine et conséquences. Thèse Univ. Paris VI, 354 p.

LAWRENCE G.P. (1977). Measurement of pore sizes in fine-textured soils : A review of existing techniques. J. of Soil Sci., 28 : 527-540.

LENEUF N, AUBERT G. (1956). Sur l'origine des savanes de la Basse Côte d'Ivoire. C. R. Acad. Sci., 243 : 859-860.

LENEUF N. (1955). Sols de la plantation d'hévéas "C.F.C.O.A." et des essais hévéas des savanes de Dabou et Cosrou (résultats analytiques). ORSTOM, Paris, multigr., 3 p.

LENEUF N. (1958). Etude analytique comparée de sols des plantations d'hévéa de la SAPH. à Bongo et Toupah. ORSTOM Paris, multigr., 6 p.

MACKEAGUE J.A., GUERTIN R.K. (1982). Fabrics of some canadian soils in relation to particle size and other factors. *Soil Science*, Vol. 133 (2) : 87-102.

MACKENNA-NEUMAN C. and NICKLING W.G. (1989). A theoretical and wind tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind. *Can. J. Soil Sci.* **69** : 79-96.

MACKIE-DAWSON L.A., MULLINS C.E., FITZPATRICK E.A. and COURT M.N. (1989). Seasonal changes in the structure of clay soils in relation to soil management and crop type. I. Effects of crop rotation at Cruden Bay, NE Scotland. *J. of Soil Sci.*, **40** : 269-281.

MANICHON H. (1988). Compactage, décompactage du sol et systèmes de culture. *C. R. Acad. Agric. Fr.*, **74** (1) : 43-54.

MOREAU R. (1983). Evolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **XX** (4) : 311-325.

MULLER J.P. (1980). Microstructure et comportement d'un sol ferrallitique du nord de la zone cacaoyère au Cameroun -incidences pratiques.

MULLINS C.E. and PANAYIOTOPOULOS K.P. (1984). Compaction and shrinkage of sands and sand-kaolin mixtures. *Soil & Tillage Research*, **4** : 191-198.

MURPHY C.P. (1978). Pore space variability in a sub-surface horizon of two soils. *J. of Soil Sci.*, **29** : 156-166

MURPHY C.P., BULLOCK P. et TURNER R.H. (1977). The measurement and characterization of voids in soil thin section by image analysis. Part I: principles and techniques. *J. Soil Sci.*, **28** (3) : 498-508.

NGUYEN H. V., OLIVIN J. et OCHS R. (1984). Sols à palmiers à huile et à cocotiers en Afrique de l'Ouest. *Oléagineux*, **39** (3) : 117-126

OLIVIN J., OCHS R. (1978). Propriétés hydriques des sols et alimentation en eau des oléagineux pérennes en Afrique de l'ouest. *Oléagineux*, **33** (1) : 1-12.

OLLAGNIER M., OLIVIN J. (1984). Effet de la nutrition sur la production. Progrès génétiques et effets de la nutrition sur la qualité de l'huile de palme. *Oléagineux*, **39** (7) : 349-368.

OUVRY J.F. (1985). Etude expérimentale de la dynamique du potassium sur deux sols tropicaux. Thèse de Docteur Ingénieur, ENSA Montpellier, 254 p.

PEDRO G. (1989). L'approche spatiale en pédologie. Fondement de la connaissance des sols dans le milieu naturel. *Réflexions liminaires. Science du Sol*, **27** (4) : 287-300.

PERALTA F., VASQUEZ O., RICHARDSON D.L., ALVARADO A. et BORNEMISZA E. (1985). Effect of some soil physical characteristics on yield, growth and nutrition of the oil palm in Costa Rica. *Oléagineux*, **40** (8-9) : 423-430.

PIERI C. (1989). Fertilité des terres de savane. CIRAD-IRAT 444 p.

POMEL R. (1979). Géographie physique de la basse Côte-d'Ivoire. Thèse Univ. Caen, 558 p.

POSS R., PLEUVRET C. et SARAGONI H. (1990). Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les terres de Barre (Togo méridional). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, **XXV** (4) : 405-415.

RAUNET M. (1985). Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. *L'agronomie tropicale*, 40 (3) : 181-201.

REY H., OCHS R., OLIVIN J. et QUENCEY P. (1989). Bilan d'eau de la culture du palmier à huile en milieu tropical humide. Rapport final de l'ATP "influence à l'échelle régionale des couvertures pédologiques et végétales sur les bilans hydriques et minéraux". Doc. multigr. 450p.

RICHARDS L.A. (1941). A pressure-membrane extraction apparatus for soil solution. *Soil Sci.*, 51 : 377-386.

RINGROSE-VOASE A.J. and BULLOCK P. (1984). The automatic recognition and measurement of soil pore types by image analysis and computer programs. *J. of Soil Sci.*, 35 673-684.

ROOSE E. (1980). Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Etude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées. Thèse Univ. d'Orléans, 587 p.

ROOSE E., CHEROUX M. (1966). Les sols du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV (2) : 51-92.

ROUGERIE G. (1960). Le façonnement actuel en Côte d'Ivoire. *Mèm. I.F.A.N.*, 58 : 479-486.

RUER P. (1968). Contribution à l'étude du système racinaire du palmier à huile. Thèse Univ. Paris, 117 p.

SERA J. (1982). Image analysis and mathematical morphology. Vol 1 et 2. Academic Press, London.

SHIEL R.S., ADEY M.A. and SHANNON J.B. (1988). The macroporosity of artificial aggregates of varying texture. *J. of Soil Sci.* 39 : 629-638.

SINGH P., KANWAR R.S. and THOMPSON M.L. (1990). Measurement and characterization of macropores by using Autocad and automatic image analysis. *J. of Environmental Quality*, 20 (1) : 289-294

TARDY Y. (1986). Le cycle de l'eau. Climat, paléoclimats et géochimie globale. Masson, 338 p.

TAYLOR J.H., BURT E.C. (1987). Total axle load effects on soil compaction. *Journal of terramechanics*, 24 (3) : 179-186.

TESSIER D. (1984). Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation. Thèse Doctorat d'Etat, Univ. Paris VII, 361 p.

TESSIER D., BERRIER J. (1978). Utilisation de la microscopie électronique à balayage dans l'étude des sols. Observation de sols humides soumis à différents pF. *Science du Sol*, 1 : 67-82.

TOUTAIN F. (1984). Biologie des sols. AFES, Livre Jubilaire du Cinquantenaire, 253-272.

TRAN THANH-CANH. (1972). Etude comparative des sols sous forêt et sous hévéa sur sables tertiaires à l'Anguededou. Rapport de stage, ORSTOM Adiopodoumé, 157 p.

VALENTIN C. (1985). Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques Agadez - République du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau. ORSTOM, coll. Etudes et Thèses. 253 p.

VALENTIN C., CHEVALLIER P., FRITSCH E. et JANEAU J.L. (1990). Le fonctionnement hydrodynamique aux échelles ponctuelles. ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Structure et fonctionnement hydro-pédologique d'un petit bassin versant de savane humide : 147-163.

VITLOX O. (1985). Compaction des sols. Colloque international : le travail du sol. Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat (Gembloux), 1-7.

YONG R.N. (1984). Track-soil interaction. Journal of terramechanics. Vol. 21 (2) : 133-152.

YORO G. (1984a). Caractéristiques morpho-pédologiques des types de paysages sur sables tertiaires dans la région du sud-est (Bonoua). ORSTOM, Adiopodoumé, multigr., 18 p.

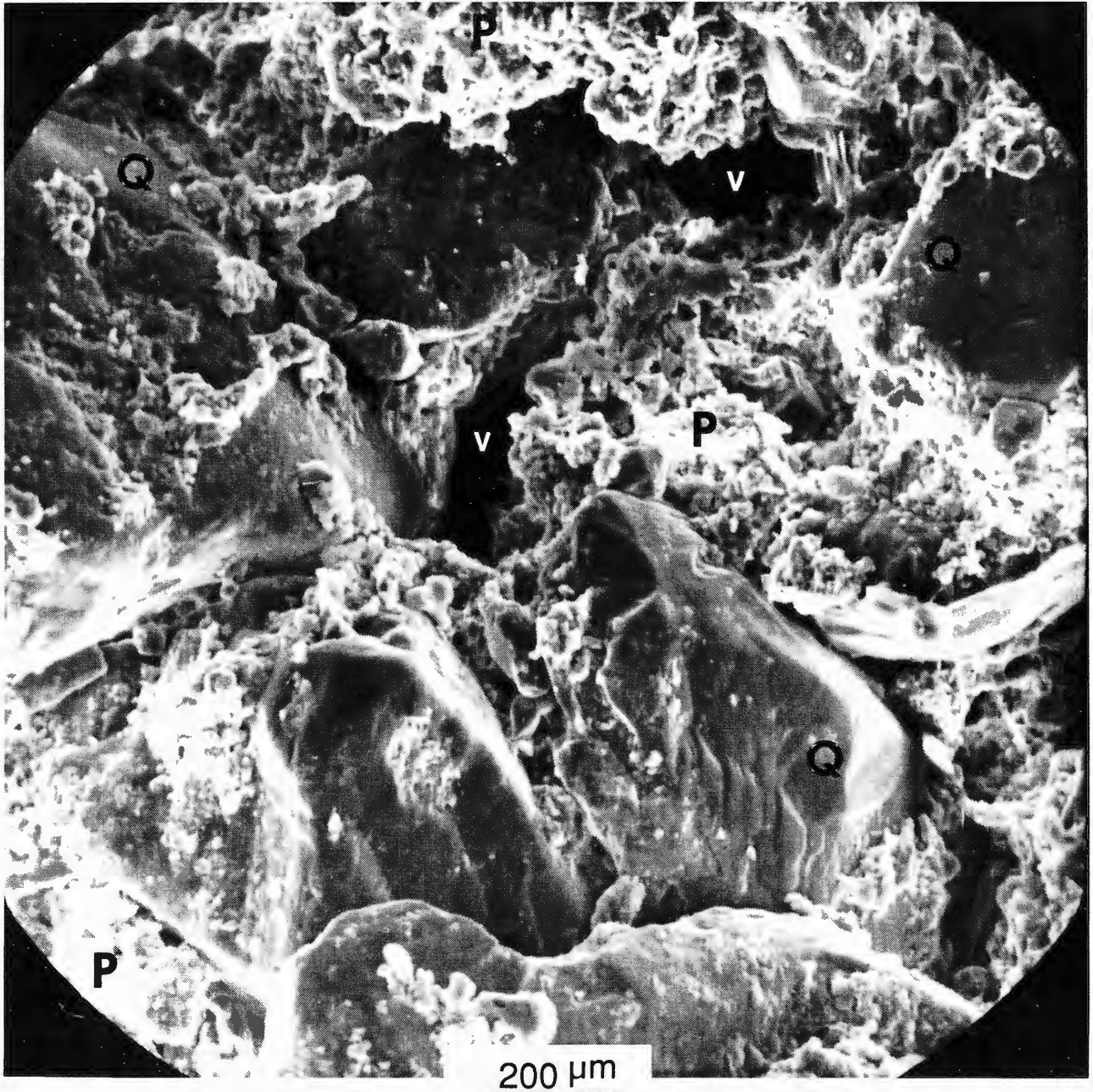
YORO G. (1984b). Etude pédologique et perspectives agricoles du domaine de M. Banchi. ORSTOM, Adiopodoumé, multigr., 18 p.

---

# **A N N E X E**



# ANNEXE 1



Organisation du plasma (feuillet de kaolinite) autour de quelques grains de quartz de la taille des sables ; observation effectuée au microscope électronique à balayage

**Q** = quartz

**P** = plasma

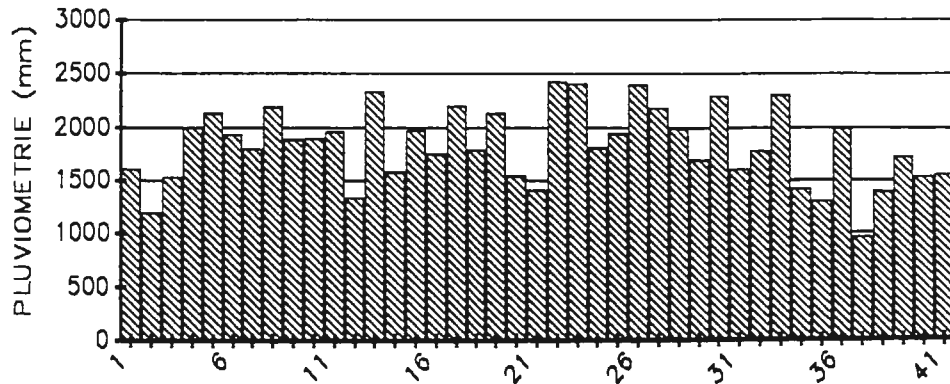
**V** = pore



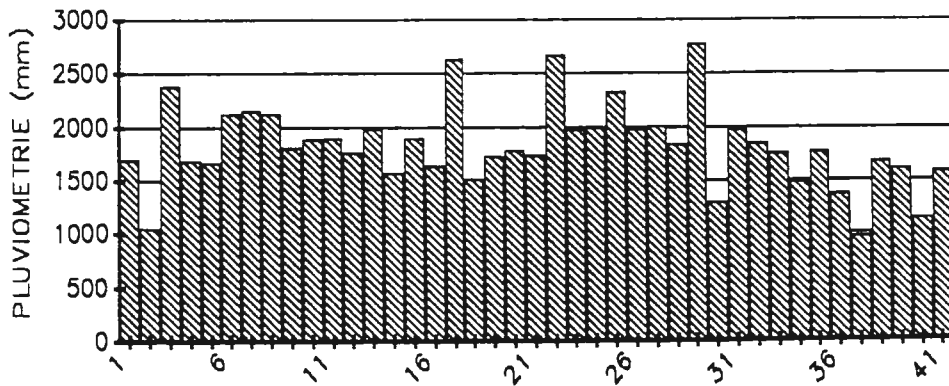


## ANNEXE 2

P (jan>dec)



P (juil>juin)



Comparaison des pluviométries de 1947 à 1987 lorsque les cumuls annuels sont réalisés de janvier à decembre (en haut), ou de juillet à juin (en bas) sur la plantation R. Michaux de Dabou.



## **A N N E X E 3**

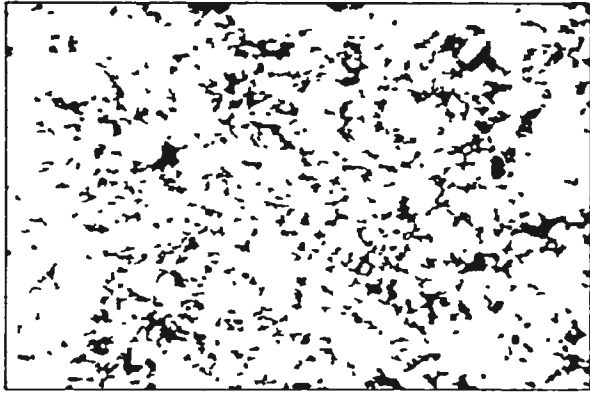
Images de la porosité obtenues sur sections polies dans les horizons :

1 M      à 45 et 125 cm

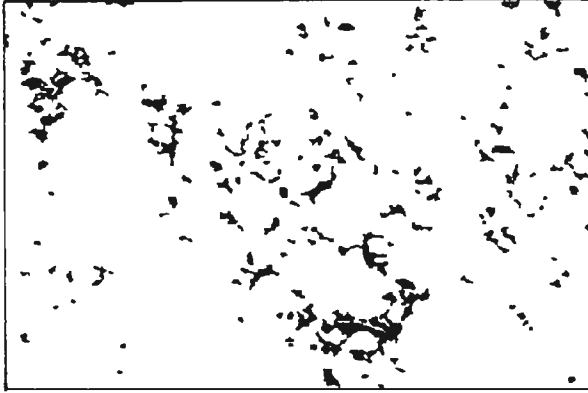
1 M n    à 45 et 125 cm

2 M      à 45 et 125 cm

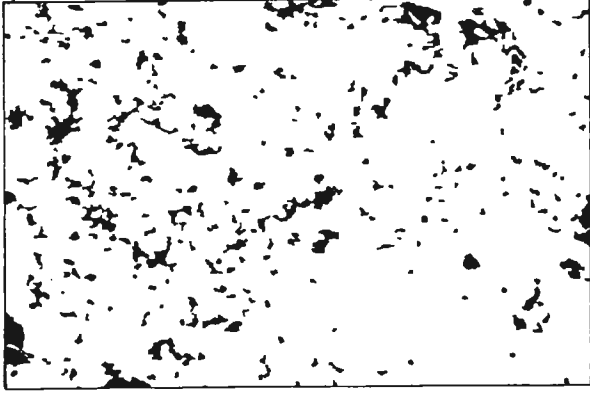




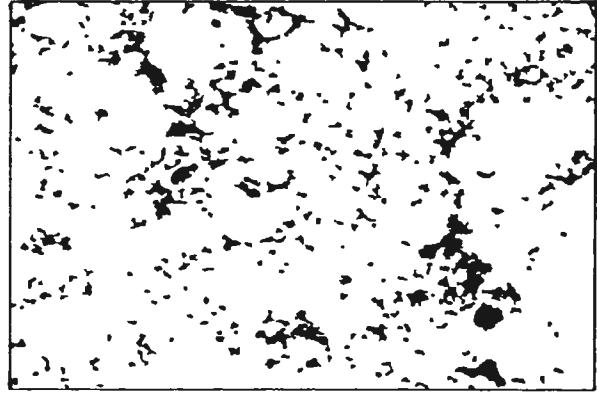
1M - 45 cm (5)



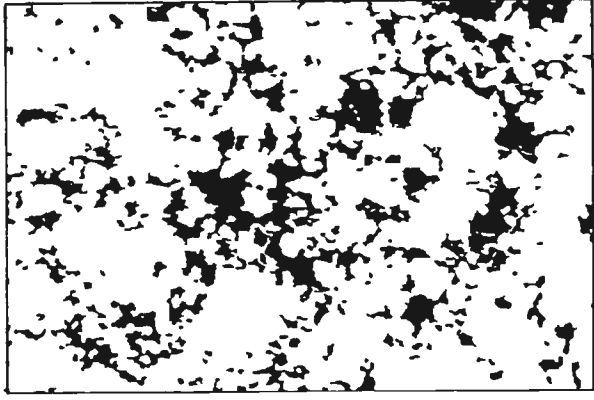
1M - 45 cm (3)



1M - 45 cm (1)

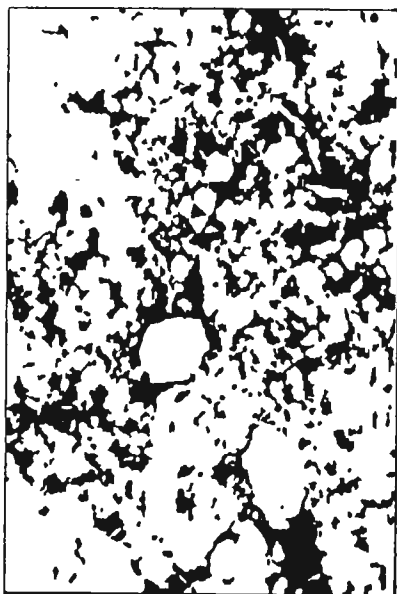


1M - 45 cm (4)



1M - 45 cm (2)

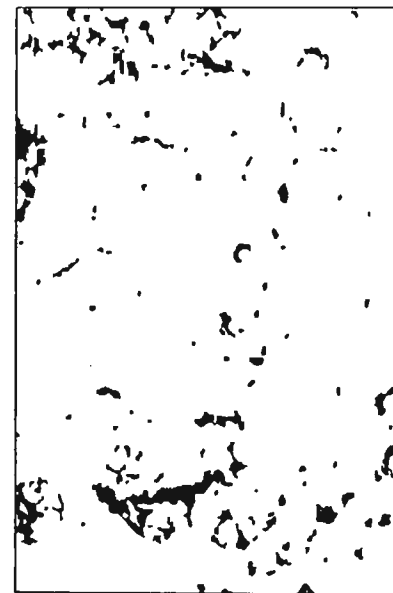




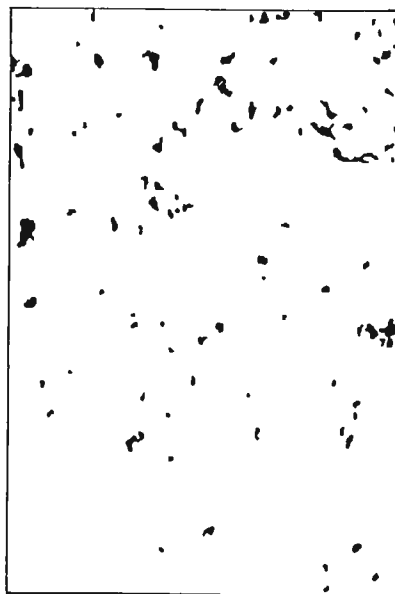
1M - 125 cm (5)



1M - 125 cm (3)



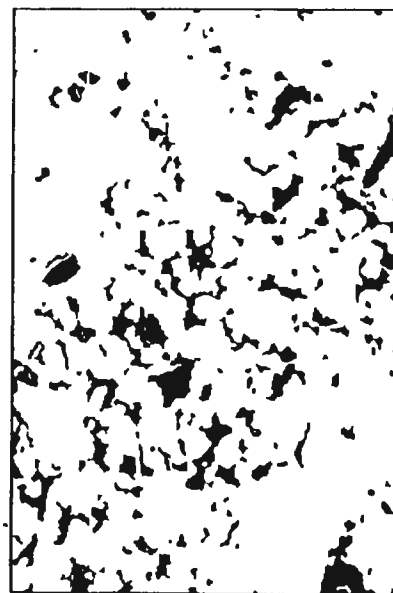
1M - 125 cm (1)



1M - 125 cm (6)



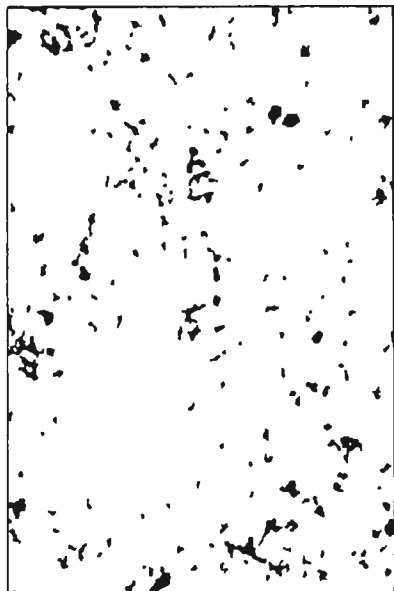
1M - 125 cm (4)



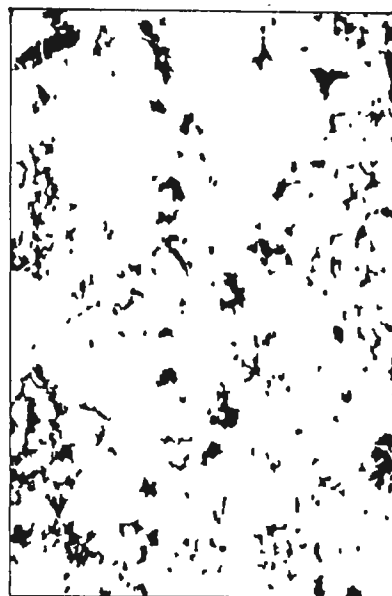
1M - 125 cm (2)



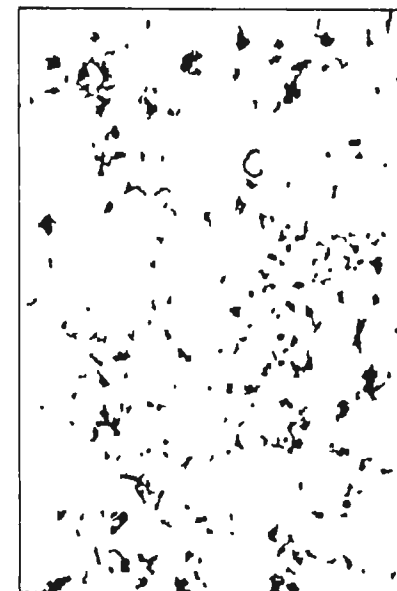




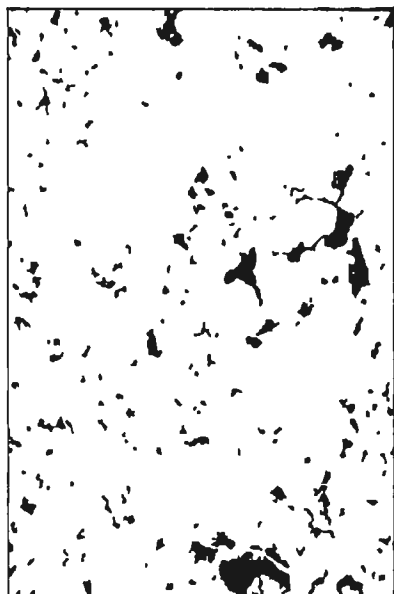
1Mn - 45 cm (5)



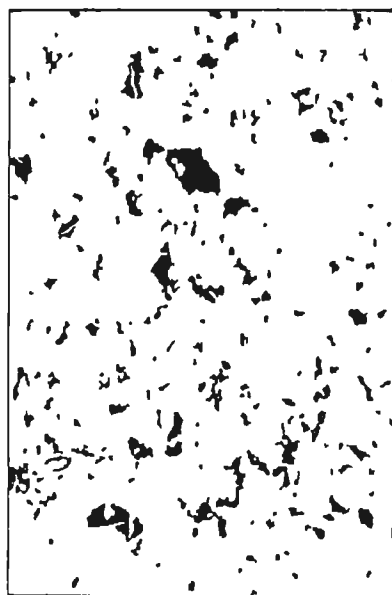
1Mn - 45 cm (3)



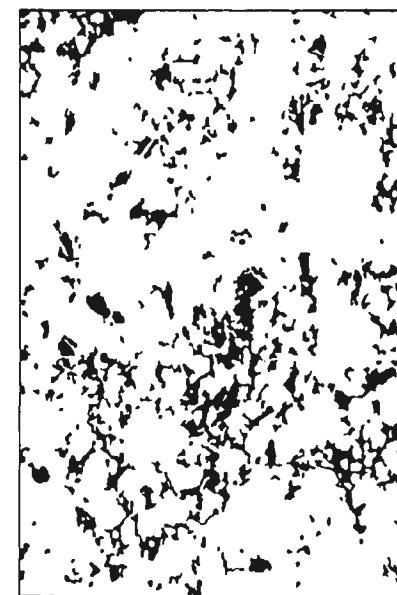
1Mn - 45 cm (1)



1Mn - 45 cm (6)



1Mn - 45 cm (4)



1Mn - 45 cm (2)





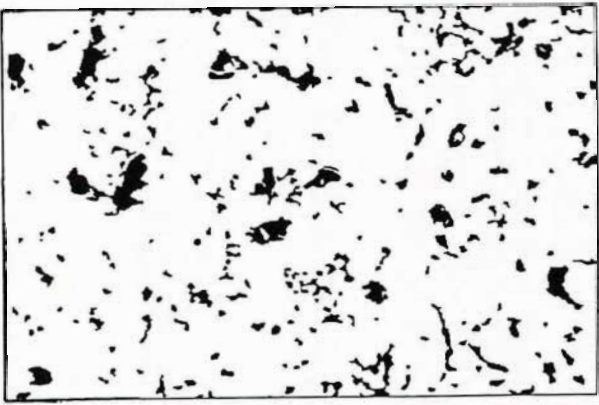
1Mn - 125 cm (5)

1Mn - 125 cm (6)



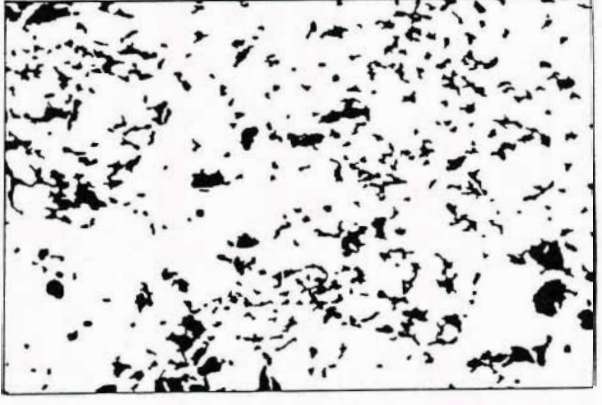
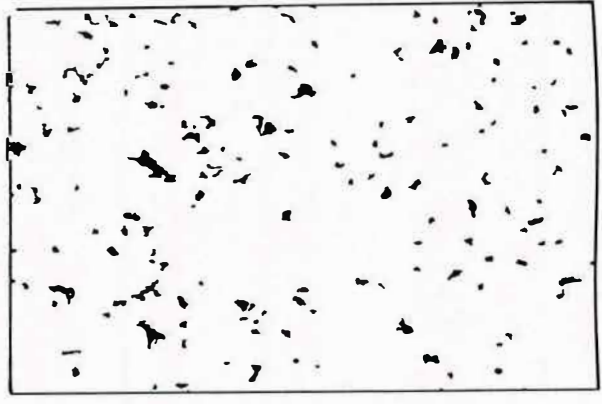
1Mn - 125 cm (3)

1Mn - 125 cm (4)



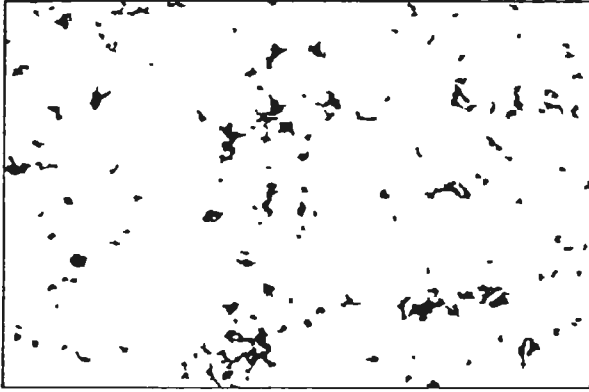
1Mn - 125 cm (1)

1Mn - 125 cm (2)

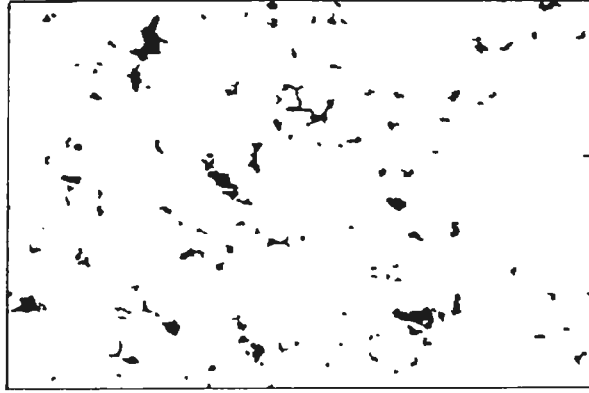


BRITISH  
LIBRARY

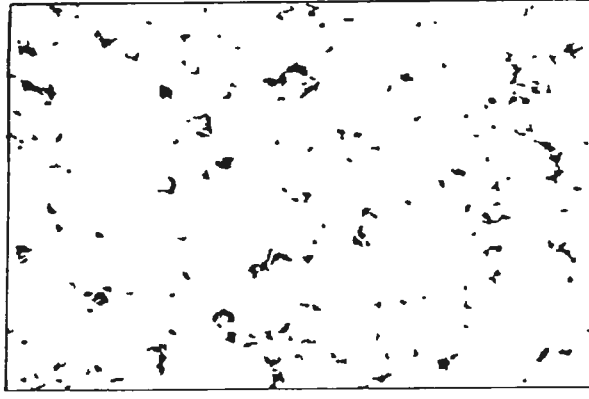




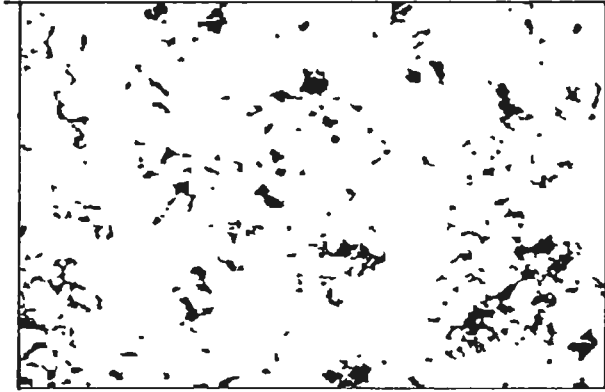
2M - 45 cm (5)



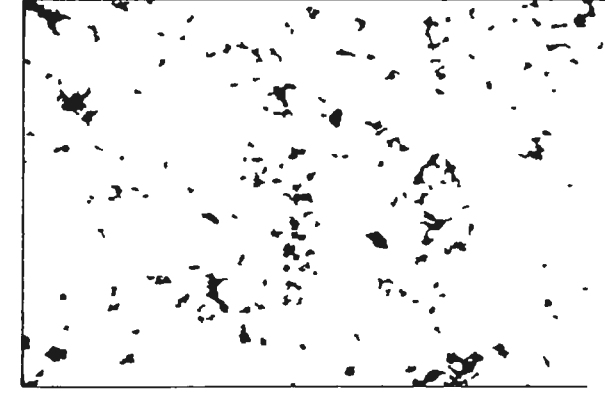
2M - 45 cm (3)



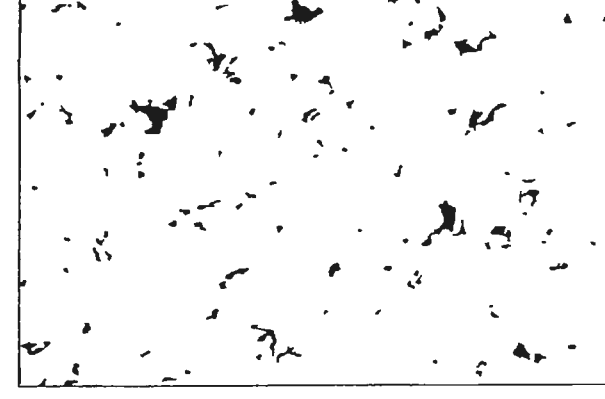
2M - 45 cm (1)



2M - 45 cm (6)

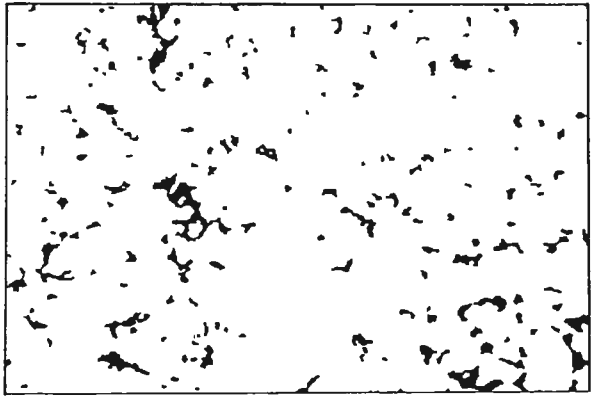


2M - 45 cm (4)

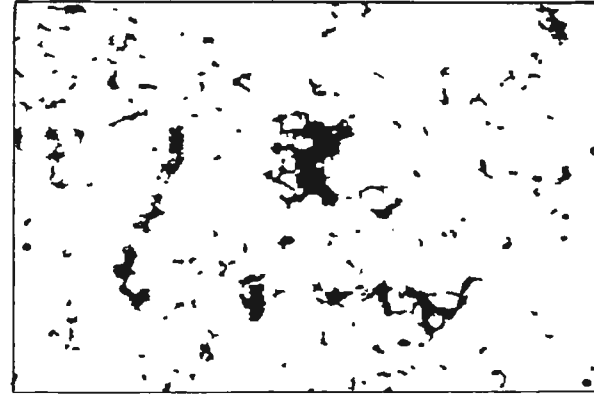


2M - 45 cm (2)

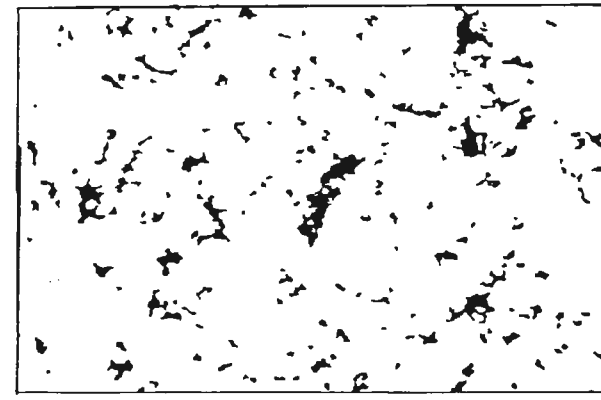




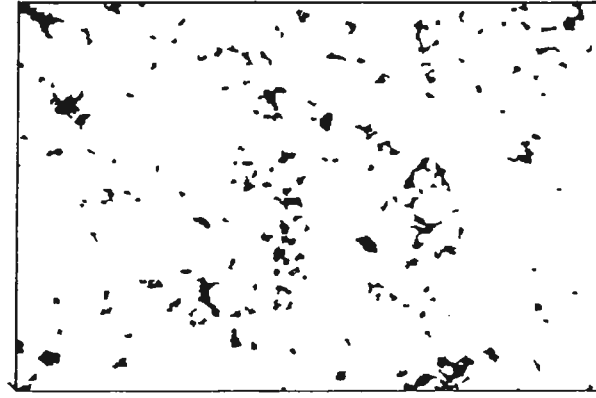
2M - 125 cm (5)



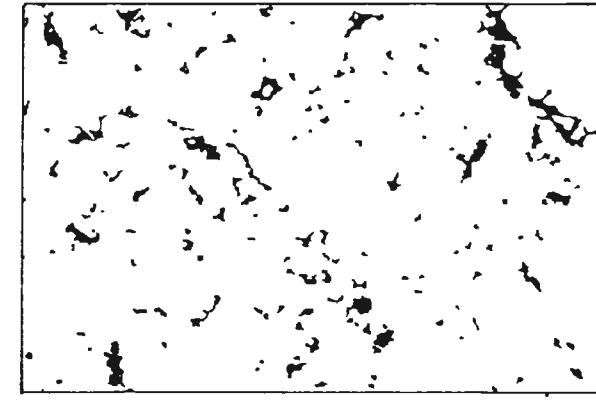
2M - 125 cm (3)



2M - 125 cm (1)



2M - 125 cm (4)



2M - 125 cm (2)





En Afrique de l'Ouest et en particulier dans la plantation de Dabou, des chercheurs ont constaté depuis quelques années une baisse des rendements des palmiers à huile. Les problèmes phytosanitaires et nutritionnels avaient été exclus, l'évolution des caractéristiques physiques et mécaniques, en relation avec les conditions de plantation et replantation, étaient apparues comme les causes principales de cette baisse de rendement. L'objet de ce travail a été de mettre en évidence les différentes situations pédologiques, de décrire les mécanismes d'évolution des sols et de préciser le lien qui unit le rendement aux propriétés physiques des sols.

La démarche a consisté à analyser l'ensemble des facteurs d'évolution de la couverture pédologique. Cette analyse fait apparaître que la région de Dabou est en marge du domaine ferrallitique du fait d'un déficit hydrique prolongé. L'analyse au plan statistique des résultats granulométriques a permis de montrer que, malgré l'impression d'homogénéité apparente des profils, les sols sont organisés dans le paysage en fonction des écoulements d'eau. L'installation d'une palmeraie dans ce milieu transforme les conditions pédoclimatiques, en particulier en améliorant le drainage vertical.

Dans des positions topographiques identiques la première plantation installée sur savane a été comparée à la seconde plantation effectuée après abattage mécanisé de la première plantation. Bien que, d'un cycle de culture à l'autre, la diminution de porosité soit faible (15 % environ), elle est associée à des baisses de rendement allant jusqu'à 30 %.

Il ressort de l'ensemble de nos mesures que les techniques culturales modifient surtout le spectre poral en diminuant le nombre et le volume des pores assurant l'écoulement gravitaire de l'eau. Les observations micromorphologiques (de la loupe binoculaire au MET), montrent des changements d'organisation du plasma autour des grains du squelette. Au total, il apparaît une synergie entre les facteurs physico-chimiques (liés aux pratiques de fertilisation), et les contraintes mécaniques et hydriques (exercées sur le sol pendant et après les opérations d'abattage). Cette synergie aboutit à une dégradation profonde de l'ensemble des caractéristiques du sol.

On passe d'un milieu où la *porosité est continue*, à un milieu où c'est la *phase solide qui est continue*.

Ces changements n'ont pas d'incidence au niveau macroscopique (profil), mais ils modifient les modalités de transfert de l'eau et des éléments minéraux au sein de la couverture pédologique. L'augmentation de continuité de la phase solide s'accompagne aussi d'une augmentation importante de la cohésion qui interdit un développement correct des racines absorbantes du palmier.

A partir de l'ensemble des résultats obtenus, nous avons montré qu'il est indispensable d'associer fertilité physique et chimique. A cet effet, la prise en considération de la porosité globale est insuffisante, il faut tenir compte des changements intervenants dans la taille et la continuité des pores. La mise en évidence des mécanismes d'évolution des sols à caractère sableux permet alors de discuter de la pérennité des améliorations, ou de la réversibilité des dégradations induites par les systèmes de culture.