

# Les sols gris de bas versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire: organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : conséquences pour la riziculture

Sitapha Diatta

▶ **To cite this version:**

Sitapha Diatta. Les sols gris de bas versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire: organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : conséquences pour la riziculture. Sciences de la Terre. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 1996. Français. NNT : 1996NAN10043 . tel-01747118

**HAL Id: tel-01747118**
**https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747118**

Submitted on 29 Mar 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Académie de Nancy
Université Henri Poincaré Nancy I

THESE

présentée à l'Université de Nancy I pour obtenir le Diplôme de DOCTORAT

**Spécialité : Agropédologie**

# Les sols gris de bas versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire : organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : conséquences pour la riziculture

Par
Sitapha DIATTA

Soutenue le 2 Février 1996 devant le jury composé de :

| | | | |
|---|---|---|---|
| A.J. | HERBILLON | Professeur Nancy I | Président |
| C. | CHEVERRY | Professeur ENSA Rennes | Rapporteur |
| JC. | REMY | Professeur ENSA Montpellier | Rapporteur |
| R. | BERTRAND | Directeur de recherche CIRAD | Examinateur |
| J.C. | LEPRUN | Directeur de recherche ORSTOM | Examinateur |
| J.L. | MOREL | Professeur ENSAIA Nancy | Examinateur |

UNIVERSITÉ NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

# Table des matières


Introduction 1

**Chapitre I Choix des sites** 5
1. Le contexte 5
2. Présentation générale de la région 12
3. Environnement des sites d'étude 24
4. Mise en perspective du travail 31

**Chapitre II Etude morpho-pédologique des toposéquences** 35
1 Matériel et Méthodes 35
2 Les sols et leurs horizons 35
3 Minéralogie de la suspension des eaux de la nappe phréatique. 59
4 Interprétations générales 60
5 Conclusion 70

**Chapitre III Variabilité spatiale des sols gris du bas versant** 73
1 Description générale des deux sites 73
2 Matériel et méthodes 73
3 Résultats 77

**Chapitre IV Régime des pluies et l'humidité du sol** 91
1 Matériel et méthodes 91
2 Evolution de l'humectation des sols 92
3 interprétation et conclusion 97

**Chapitre V La nappe et son fonctionnement** 101
1 Matériel et méthodes 101
2 Fluctuations de la nappe au perchée cours du temps 103
3 Topographie de l'HVP" et fonctionnement de la nappe 110
4 La nappe d'altérites 111
5 Interprétation et conclusion 120

**Chapitre VI Production du riz dans le bas versant** 127
1 Matériel et méthodes 127
2 Effet de la nappe phréatique sur le rendement grains 127
3 Variabilité spatiale du rendement dans les deux sites. 128
4 Propriétés physico-chimiques du sol et rendements 132
5 Effet de l'engrais sur le rendement des deux variétés 133
6 Interprétation et conclusion 136

**Chapitre VII Synthèse et conclusions générales** 141
1 Synthèse générale 141
2 Conclusions 145
3. Perspectives 148

**Références bibliographiques** 150

**Annexes 1 Les sols** 155
Les sols de la toposéquence du site A 155
Les sols de la toposéquence du site B 167

**Annexes 2 Composition minérale des nappes phréatiques** 179
Site A. 179
Site B 180

# Résumé


**Les sols gris de bas versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire : organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : Conséquences pour la riziculture.**

En Afrique de l'Ouest, les vallées intérieures constituent un potentiel très important pour la production agricole en général et rizicole en particulier. L'utilisation rationnelle de cet écosystème passe nécessairement par la compréhension de son organisation pédologique et de son fonctionnement hydrologique .

Les deux toposéquences étudiées dans la zone de transition forêt-savane de la région centre de la Côte d'Ivoire montrent trois couvertures pédologiques bien distinctes :

**En amont,** une couverture pédologique "ferrallitique", constitués par les sols rouges de plateau épais, ± gravillonnaires s'indurant à leur limite aval, le "biseau cuirassé". Le profil altéro-pédologique est complet et l'altération des minéraux primaires y est progressive. Ce profil comprend : **1) un matériau pédoturbé et monosiallitique** à altération totale (A et Bt), contenant de la kaolinite, de la goethite et du quartz. La CEC rapportée à la fraction argileuse rapproche ce matériau des LAC ("low activity clay"). C'est le sol proprement dit (1 à 2 m),, exploité par la végétation naturelle et les cultures ; **2) un matériau altéritique tacheté, non pédoturbé quasimonosiallitique** (IIBg), contenant de la kaolinite, de la goethite , du quartz, de rares feldspaths et des micas dans les limons. **3) un matériau non pédoturbé, bisiallitique** (IIC) à altération incomplète, contenant de la smectite, de la kaolinite, de la goethite, des feldspaths et du quartz. C'est **l'horizon "pistache" ou arène micacée de la lithomarge** bien connue dans les régions tropicales à saisons contrastées. Ainsi, notre étude montre que la limite sud de l'altération "pistache" décrite au Burkina Faso semble se situer dans la zone de transition forêt-savane de Côte d'Ivoire.

La présence des matériaux monosiallitiques en surface, quasimonosiallitiques et bisiallitiques en profondeur pose le problème de la classification des sols rouges de la région. Pour les pédologues et les agronomes, qui ne considèrent que la partie monosiallitique à LAC, ces sols rouges sont ferrallitiques. Pour les altérologues qui prennent en compte l'ensemble du profil altéro-pédologique, ces sols ne sont pas ferrallitiques. Doit-on les rapprocher des sols fersiallitiques?

**En aval**, une couverture pédologique hydromorphe, celle des sols gris sableux du bas versant, est constituée par deux matériaux fortement contrastés : l'un superficiel très sableux et pédoturbé, contenant des traces de feldspaths dont l'origine est énigmatique, l'autre est pédoturbé, smectitique, argileux et compact. C'est l'**"horizon vert pistache" (HVP)**. Une arène micacée lui fait suite vers le bas, en continuité avec la lithomarge des sols rouges "ferrallitiques". Cette couverture hydromorphe, est organisée en deux zones bien nettes : **une zone amont** à sols sablo-argileux et fertilité relativement élevée, une zone aval à sols sableux à sables grossiers et à fertilité très faible.

**Dans le bas fond**, une couverture pédologique colluvio-alluviale à sols hydromorphes smectitiques. Elle est constituée par deux matériaux : le premier superficiel, pédoturbé, est **allochtone**, le deuxième, pédoturbé en surface est **autochtone**. La smectite contenue dans ces matétriaux est héritée dans le matériau allochtone et néoformée dans l'autochtone.

L'étude du fonctionnement hydrologique des sols gris de bas versant montre la présence de deux nappes phréatiques. L'une est perchée et repose sur HVP, tandis que l'autre est localisée dans l'altérite profonde. Les deux nappes s'écoulent de l'amont vers l'aval en transportant des éléments fins composés de smectite, de kaolinite, de goethite, de feldspaths et de quartz provenant de HVP et IIC. Les deux nappes paraissent indépendantes. Cependant, les profils hydriques établis à la sonde à Neutrons montrent qu'une mince pellicule d'eau circule sur l'HVP plusieurs mois après la fin des pluies ; cela semble indiquer que la nappe perchée est en partie alimentée depuis l'amont par la nappe d'altérite. Dans cette partie basse, la profondeur de la nappe perchée fait ressortir deux zones : une **zone médiane** à nappe profonde et à fertilité extrêmement faible et une **zone aval** où le quasi affleurement de la nappe compense largement la faible fertilité minérale. La zone médiane constitue une discontinuité physique et chimique du "continuum rizicole" du bas versant.

Les relevés pédologiques lors de l'installation des réseaux de piézomètres ont permis de montrer que l'horizon HVP a une surface ondulée dans un site et régulière dans l'autre. Ceci influence largement l'écoulement et la forme du volume mouillé par la nappe. Lorsque la surface est régulière l'écoulement se fait de façon uniforme et l'épaisseur de l'eau augmente d'amont en aval. Lorsque cette surface est ondulée, l'écoulement se fait suivant des directions préférentielles. Dans les dépressions la lame d'eau est épaisse tandis qu'elle est peu épaisse et fugace sur les parties hautes. Il en résulte une grande influence de la forme de l'HVP sur l'alimentation hydrique du riz. Les rendements obtenus dans les zones hautes de la surface ondulée sont généralement plus bas.

Dans les zones médiane et amont la nappe devient trop profonde pour permettre la culture du riz, d'autres cultures (perennes ou annuelles) à enracinement puissant peuvent par contre mettre en valeur la nappe profonde. Les sols gris autorisent donc une diversification des cultures dans les bas versant des vallées intérieures. L'apport d'engrais est primordial pour compenser la pauvreté native de ces sols.


**Mots clefs** : granito-gneiss, toposéquence, sol, couverture pédologique, pédoturbé, altération, kaolinite, smectite, feldspaths, goethite, micas, quartz, monosiallitique, bisiallitique, ferrallitique, hydromorphe, propriétés chimiques, argiles, humidité volumique, cuirasse, végétation, variabilité spatiale, nappe phréatique, remontées capillaires, piézomètres, riz, engrais.

# Liste des figures


| N° Figure | Chapitre I | Page |
|---|---|---|
| Figure I-1 | Différenciation morphologique d'amont en aval des vallées tropicales | 7 |
| Figure I-2 | Carte de situation | 9 |
| Figure I-3 | Carte géologique au 1/1.000.000 - Bagarre et Tagini) | 10 |
| Figure I-4 | Géologie de la région centre (d'après Tagini) | 11 |
| Figure I-5 | Carte pédologique de la Côte d'Ivoire | 14 |
| Figure I- 6 | Succession latitudinale des principaux types de paysages | 15 |
| Figure I- 7 | Coupe schématique au travers d'un interfluve | 17 |
| Figure I-8 | Paysage d'interfluves légèrement convexes à sols gravillonnaires | 18 |
| Figure I-9 | Réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire | 21 |
| Figure I-10 | Evolution de la pluie et de l'ETP du CPR de l'ADRAO à M'bé | 22 |
| Figure I-11 | Carte du CPR de l'ADRAO à M'bé. Localisation des sites d'étude | 26 |
| Figure I-12 | Carte détaillée de situation des sites d'étude | 27 |

Chapitre II

| | | |
|---|---|---|
| Figure II-1 | Toposéquence du site A | 36 |
| Figure II-2 | Toposéquence du site B | 36 |
| Figure II-3 | Localisation des échantillons prélevés dans le site A | 37 |
| Figure II-4 | Localisation des échantillons prélevés dans le site B | 37 |
| Figure II-5 | Organisation toposéquentielle des matériaux pédologiques. Site A | 39 |
| Figure II-6 | Organisation toposéquentielle des matériaux pédologiques. Site B | 40 |
| Figure II-7 | Analyses physico-chimiques du profil type (BP1) des sols rouges | 43 |
| Figure II-8 | Diffractogrammes des argiles du profil BP1 | 45 |
| Figure II-9 | Analyses physico-chimiques du profil type des sols indurés | 49 |
| Figure II-10 | Analyses physico-chimiques du profil type (BP6) des sols gris | 52 |
| Figure II-11 | Densité apparente des matériaux le long de la toposéquence. Site A | 53 |
| Figure II-12 | Densité apparente des matériaux le long de la toposéquence. Site B | 53 |
| Figure II-13 | Analyses physico-chimiques du profil type AP7 | 55 |
| Figure II-14 | Diffractogrammes des argiles du profil AP7 | 56 |
| Figure II-15 | Grands ensembles d'altération de la couverture pédologique. Site A | 61 |
| Figure II-16 | Grands ensembles d'altération de la couverture pédologique. Site B | 61 |
| Figure II-17 | Grands ensembles altéro-pédologiques du site A | 63 |
| Figure II-18 | Grands ensembles altéro-pédologiques du site B | 63 |
| Figure II-19 | Pédoturbation | 66 |
| Figure II-20 | Altéro-plasmation | 66 |
| Figure II-21 | Horizons aléro-pédologiques | 66 |

| N° Figures | Chapitre III | Page |
|---|---|---|
| Figure III-1 | Profil topographique du site A | 74 |
| Figure III-2 | Profil topographique du site B | 74 |
| Figure III-3a | Topographie et vue en perspective du terrain naturel du site A | 75 |
| Figure III-3b | Organisation des zones de ruissellement de l'eau au site A | 75 |
| Figure III-4 | Topographie et vue en perspective du terrain naturel du site B | 76 |
| Figure III-5 | Dispositif expérimental et prélèvements des échantillons de sol | 77 |
| Figure III-6 | Site A Variabilité spatiale des teneurs en argile | 78 |
| Figure III-7 | Site B Variabilité spatiale des teneurs en argile de l'horizon 0-20 | 80 |
| Figure II-8 | Site A Variation des teneurs en argile le long de la toposéquence | 81 |
| Figure III-9 | Site B Variation spatiale des teneurs en argile le long de la toposéquence | 81 |
| Figure III-10 | Variabilité spatiale des teneurs en Carbone organique à 0-20 cm | 80 |
| Figure III-11 | Site A Variabilité spatiale de la CEC | 83 |
| Figure III-12 | Site A Variabilité spatiale des teneurs en calcium échangeable. | 84 |
| Figure III-13 | Variabilité spatiale des teneurs en K échangeables dans l'horizon 0-20 cm | 85 |
| Figure III-14 | Site B Site B Variabilité spatiale des teneurs en phosphore assimilable | 85 |
| | Chapitre IV | |
| Figure IV-1 | Localisation des sites de mesure de l'humidité volumique | 91 |
| Figure IV-2 | Profils hydriques des sols de la toposéquence en fonction des saisons | 95 |
| Figure IV-3 | Site B Evolution de l'humidité volumique dans les sols | 98 |
| Figure IV-4 | Evolution de l'humidité volumique dans les sols | 99 |
| | Chapitre V | |
| Figure V-1a | Site A Lignes piézométriques de l'étude des fluctuations de la nappe | 102 |
| Figure V-1b | Site B Lignes pézométriques de l'étude des fluctuations de la nappe | 102 |
| Figure V-2 | Site A Topographie du terrain naturel et du sommet de l'HVP | 104 |
| Figure V-3 | Site B Topographie du terrain naturel et du sommet de l'HVP | 104 |
| Figure V-4 | Site A Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 4 Décembre 1993 | 105 |
| Figure V-5 | Site A Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 7 Décembre 1993 | 106 |
| Figure V-6 | Site B Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 31 Décembre 1993 | 109 |
| Figure V- 7 | Site A Forme du toit de la nappe à 20 m du marigot | 110 |
| Figure V-8 | Site B Forme du toit de la nappe à 100 m du marigot | 110 |
| Figure V-9 à 14 | Sites A et B cartes de l'épaisseur de la nappe à différentes dates | 112 |
| Figure V-15a | Site A Evolution des deux nappes au piézomètre PZ6 | 113 |
| Figure V-15b | Site A Evolution du niveau des deux nappes au piézomètre PZ5 | 114 |
| Figure V-15b | Site A Evolution du niveau des deux nappes au PZ2 | 114 |
| Figure V-16a | Site A Ligne 3 Evolution du niveau piézométrique de la nappe perchée | 115 |
| Figure V-16b | Site A Ligne 7 Evolution du niveau piézométrique de la nappe perchée | 115 |
| Figure V-17 | Site B Ligne 5 Evolution du niveau de la nappe perchée le 20/6 et 5/9/94 | 116 |
| Figure V-18a | Site A Ligne 3 Dynamique d'écoulement de la nappe profonde | 116 |
| Figure V-18b | Site A Ligne 3 Dynamique d'écoulement de la nappe profonde | 117 |
| Figure V-18c | Site B Dynamique d'écoulement de la nappe profonde | 117 |
| Figure V-19 | Site B Comparaison du pH de la nappe d'altérite et de la nappe perchée | 119 |

| N° Figures | | Page |
|---|---|---|
| Figure V-20 | Site B Comparaison des teneurs en magnésium de N2 et N1 | 120 |
| Figure V-21 | Site B Comparaison des teneurs en sodium de N2 et N1 | 121 |
| Figure V-22 | Site A Origine et fonctionnement de la nappe perchée | 123 |
| Figure V-23 | Site B Origine et fonctionnement de la nappe perchée | 124 |


Chapitre VI


| | | |
|---|---|---|
| Figure VI-1a | Site B Effet du niveau de la nappe sur le rendement de IDSA 6 | 29 |
| Figure VI-1b | Site A Effet du niveau de la nappe sur le rendement de IDSA 6 | 129 |
| Figure VI-2 | Site B Carte et vue perspective des rendements en riz | 130 |
| Figure VI-4 | Site A Carte et vue perspective des rendements en riz | 130 |
| Figure VI-3 | Site B Effet de la profondeur de la nappe sur le rendement du riz | 131 |
| Figure VI-5 | Site B Effet de l'humidité gravimétrique sur le rendement du riz | 132 |
| Figure VI-6 | Site A Effet de l'humidité gravimétrique sur le rendement du riz | 132 |
| Figure VI-7 | Site A. Comparaison des rendements et des teneurs en carbone et en argile | 134 |
| Figure VI-8a | Site B Rendement moyen de la variété WAB56-104 | 135 |
| Figure VI-8b | Site A Rendement moyen de la variété WAB56-104 | 135 |
| Figure VI-9a | Site B Rendement moyen de la variété IDSA6 | 137 |
| Figure VI-9b | Site A Rendement moyen de la variété IDSA 6 | 137 |

# Liste des tableaux


| | | |
|---|---|---|
| Tableau I-1 : | Unités pédologiques du CPR de l'ADARO. Vallée du M'bé | 25 |
| Tableau I-2 : | Classification des unités pédologiques du CPR de l'ADFARO | 28 |
| Tableau I-3 : | Inventaire de la végétation du moyen glacis versant au bas-fond | 29 |
| Tableau I-4 : | Inventaire de la strate herbacée aux sites A et B. | 31 |
| Tableau II-1 : | Principaux caractères micromorphologiques des sols rouges | 41 |
| Tableau II-2 : | Composition minéralogique des argiles des horizons du profil BP1 | 44 |
| Tableua II-3 : | Principaux caractères micromorphologiques des sols indurés | 47 |
| Tableau II-4 : | Composition minéralogique des argiles des horizons du profil BP2 | 48 |
| Tableau II-5 : | Principaux caractères micromorphologiques des sols gris | 51 |
| Tableau II-6 : | Composition minéralogique des horizons des profils BP4 et BP6 | 54 |
| Tableau II-7 : | Composition minéralogique des argiles des horizons du profil AP7 | 58 |
| Tableau II-8 : | Composition minéralogique des eaux de la nappe phréatique perchée | 59 |
| Tableau III-1a : | Densité apparente et porosité totale dans les zones médianes et aval Site A | 86 |
| Tableau III-1b : | Densité apparente et porosité totale dans les zones médianes et aval Site B | 87 |
| Tableau IV-1 : | Profondeur d'apparition de la nappe | 94 |
| Tableau V-1 : | Site B Fluctuations de la nappe entre le 4 Mai et le 10 Septembre | 107 |
| Tableau V-2 : | Site A Fluctuations de la nappe entre le 4 Mai et le 10 Septembre | 108 |
| Tableau V-3 : | Site A Epaisseur de la nappe 3 jours après une pluie de 102 mm | 116 |
| Tableau V-4 : | Moyenne et écart type du pH et des concentrations chimiques des nappes | 118 |


# Liste des abréviations

**ADRAO** : Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest
**CIRAD** : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
**DCGTX** : Direction et contrôle des grands travaux
**ORSTOM** : Institut français de recherchescientifique pour le développement en coopération
**CPB** : Centre de pédologie biologique
**CPR** : Centre principal de recherche

**CEC** : Capacité d'échange cationique du sol
**CECa** : Capacité d'échange cationique rapportée à la fraction argileuse du sol
**Da** : Densité apparente du sol
**HV** : Humidité volumique du sol
**HVP** : Horizon vert pistache
**HYPERBAV** : Hydrologie et pédologie de bassins versants

**CO** : constante
**KE** : Coefficient de mesure dans l'eau
**PE** : pente de l'équation de sonde

# Avant-propos

Il m'est un agréable devoir, avant de présenter les résultats de cette étude, d'exprimer mes sincères remerciements à toutes les personnes ou organismes qui ont rendu possible la réalisation de mon travail.

Je suis extrêmement reconnaissant au Directeur Général de l'ADRAO, le Dr E. Tery, au Directeur de la Recherche, le Dr Matlon pour la compréhension, l'appui et l'encouragement qu'ils n'ont cessé de me prodiguer pour le bon déroulement de ce travail. Je n'oublie pas le chef du programme "continuum", le Dr Dingkun qui a accepté aussi de me faire bénéficier de cette formation. A travers eux j'exprime ma gratitude à la Banque Africaine pour le Développement (BAD) qui, en m'accordant une bourse d'étude, a rendu possible cette formation doctorale.

En m'accueillant dans leur laboratoire, le CIRAD-CA et l'UR-FCM m'ont permis de mener à bien la dernière phase de préparation de ma thèse. Monsieur Francis Ganry, chef de l'unité FCM s'est toujours soucié de mes conditions de travail qu'il a toujours souhaité meilleures. Je lui exprime toute ma gratitude. Je n'oublie pas R. Oliver, qui m'a fait bénéficier de son expérience sur l'utilisation de l'outil informatique, MM C. Gounel, G. Grellet et toute l'équipe de cartographie pour le concours très précieux dans l'élaboration des figures de ce mémoire. Qu'ils trouvent ici toute ma reconnaissance. Je remercie Brouwers M pour sa disponibilité. Il a toujours été prêt à répondre à mes questions à n'importe quel moment. Je n'oublie pas M. Guillobez S. pour sa disponibilité, sa sollicitude et surtout son amitié. Le CIRAD-FORMATION a suivi avec attention mon séjour à Montpellier et a toujours répondu sans délai à mes questions d'ordre administratif. Qu'il en soit sincèrement remercié.

M. A.J. Herbillon, Directeur du Centre de pédologie biologique (CPB), Professeur de pédologie à la faculté des sciences de l'Université Henri Poincaré Nancy I a accepté mon inscription en thèse. Il est venu en Côte d'Ivoire visiter les sites d'étude, visite au cours de laquelle j'ai largement profité de sa grande expérience d'homme de terrain et de ses conseils. Malgré ses innombrables occupations, il ne ménagea pas son temps pour me suggérer des auteurs à consulter et surtout pour m'aider dans la rédaction de ce mémoire. J'ai beaucoup bénéficié de sa grande richesse scientifique et humaine. Il me fait l'honneur de présider mon jury. Je le prie d'accepter ma profonde reconnaissance.

L'idée de faire une thèse a pris forme lors de la cartographie du Centre Principal de Recherche de l'ADRAO en 1989 dans la région centre de la Côte d'Ivoire. J'ai été en effet frappé par l'organisation des couvertures pédologiques depuis le sommet des interfluves jusqu'au bas-fond. Il y a eu des hésitations et, lorsque la décision fut prise, la première personne à laquelle j'ai pensé pour un appui scientifique a été Monsieur R. Bertrand, Directeur de recherche au CIRAD, car sa connaissance des paysages morphopédologiques et des sols des zones tropicales d'Afrique de l'Ouest est incontestable. Il connaît bien la Côte d'Ivoire pour y avoir séjourné et travaillé pendant de longues années. Il accepta de m'apporter son appui dans cet exercice nouveau et passionnant de préparation d'une thèse. Il vint en Côte d'Ivoire m'apporter son concours dans la formulation du sujet de thèse. Il n'a ménagé aucun effort pour me faire bénéficier de sa grande expérience pendant toute la durée des travaux de terrain et plus spécialement pendant la phase combien délicate de rédaction. Il me fait encore l'honneur de faire partie du jury. Pour tout cela, je lui exprime ici mes sincères et vifs remerciements et le prie de transmettre ma gratitude à Mme Nicole Bertrand qui m'a toujours reçu les week end en famille. Cet accueil familial m'a fait beaucoup de bien pendant cette "chaude" période de rédaction.

Je remercie très sincèrement Monsieur J.C. Leprun, Directeur de recherche à l'ORSTOM d'avoir accepté de siéger à mon jury de thèse. Je l'ai rencontré pour la première fois au Sénégal, au moment où il travaillait sur les cuirasses ferrugineuses de l'Afrique de l'Ouest dont les résultats sont d'une haute portée scientifique.

Monsieur JC. Remy, Professeur à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier (ENSAM) m'a fait l'honneur de faire partie du jury. J'ai fait sa connaissance à Laon où il était chercheur lors d'une visite de la station de recherche INRA de Laon, organisée en 1969 par Monsieur Jacquin Professeur d'agropédologie de l'ENSAIA de Nancy. Je l'ai revu ensuite ici à Montpellier au cours des soutenances de thèse. Qu'il trouve ici tous mes sincères remerciements.

Mes remerciements vont à Monsieur C. Cheverry, Professeur à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Rennes (ENSAR) pour avoir accepté de siéger dans mon jury. Son nom m'est

familier grâce à la littérature. Le Professeur G. Aubert dans son cours de pédologie tropicale à l'ORSTOM l'a toujours cité pour les travaux qu'il menait dans les polders du lac Tchad.

Je remercie Monsieur J.L. Morel, Professeur à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Nancy (ENSAIA) pour l'honneur qu'il m'a fait d'accepter d'être membre du jury de ma thèse.

Les mots me manquent pour exprimer mes sentiments à l'endroit de ma famille. Ce fut une décision difficile à prendre pour me séparer d'elle pendant un an. Mais l'engagement de faire une thèse était déjà pris et il fallait avancer. A mon épouse, Adama et à mes enfants (Khady, Maïmouna, Sophie, Mohamadou El Habib et Ouleyemata Sonko), je dis "tout simplement merci", merci de m'avoir compris et d'avoir supporté cette longue absence. Je suis reconnaissant aux familles amies : M. et Mme AYEPO, M. et Mme AMISHA pour l'appui moral qu'elles m'ont témoigné.

Dr K.M. Miézan est l'un de ceux qui m'ont convaincu d'entreprendre cette passionnante aventure. Il n'est jamais tard pour bien faire ou apprendre me disait-il. A dire vrai, ses encouragements et conseils avaient beaucoup pesé dans la décision d'entreprendre cet exercice. Son appui moral a été pour moi une source d'énergie pour mener ce travail jusqu'à son terme. Qu'il soit très sincèrement et amicalement remercié.

Monsieur R. Diallo, mon compagnon de toujours, m'a fait profiter de sa connaissance des adventices au moment de l'inventaire de la végétation des sites d'étude.

J'ai fait la connaissance de M. B. Keita à Montpellier où lui aussi préparait un DEA de pédologie avec M. Bertrand. Nous avons tout de suite sympathisé et sa connaissance des sols des tropiques m'a été bénéfique.

Je suis reconnaissant au Dr K.L. Sahrawat, chef du laboratoire des sols de l'ADRAO , qui m'a fait bénéficier de son expérience dans ce domaine. J'exprime tout ma gratitude au personnel du programme fertilité et aménagement des sols : au personnel de terrain, je dis merci, mille fois merci à Konan Vincent de Paul, Guina Tappé Fernand, Kouamé Charly, Ouattara Abdoulaye et Kouadio Jean Claude pour le travail qu'ensemble nous avons accompli sur le terrain ; je n'oublie pas M. Mobio Sika et son équipe, Sorif, Mme Rita Badji, Koffi Agnini, Paul et Assieh pour les analyses effectuées sur mes échantillons de sols et de plantes. Je n'oublie pas tous les chercheurs qui, de loin comme de près m'ont encouragé à persévérer dans cet effort.

Les références bibliographiques auraient été difficiles à obtenir sans le concours de Monsieur A. Diallo chef du service de la documentation de l'ADRAO et de Mme Martine Fréon responsable du service de documentation de la Maison de la Télédétection à Montpellier. Avec un travail sérieux et organisé, ils ont toujours répondu sans délais à mes demandes. Je les remercie sincèrement et à travers eux, leur équipe.

Je remercie Monsieur Chitti Babu et son équipe, en particulier Mme Kouamé et M. Célestin pour l'appui qu'ils m'ont apporté sur l'inventaire de la flore et le relevé des côtes piézométriques des sites d'étude.

# Méthodes d'analyses utilisées

## Sol

**1. Mesure du pH.** Sur terre tamisée à 2 mm et dans un rapport sol/eau et sol/KCl 1 N = 1/2.5. La mesure a été faite avec un pH-mètre de recherche, **pH 84 de Radiometer.**

**2. Granulométrie.** Sur terre tamisée à 2 mm. Méthode de la pipette de Robinson. (5 fractions) Réf. AFNOR X 31-107 1er 83-06.

**3. Azote total.** Sur terre broyée à 0.2 mm.

a) **Méthode Kjeldahl** : minéralisation à l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur mixte, distillation en présence de NaOH 10 N et titration en présence d'acide borique.
b) **Minéralisation** à l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur mixte, dosage colorimétrique en présence de phénate -citrate-tartrate de sodium et d'hydrochlorite de sodium.

**4. Carbone organique**. Sur terre broyée à 0.2 mm. **Méthode Walkley and Black**. Oxydation de la matière organique par une quantité en excès de dichromate de potassium en milieu acide sulfurique; titration en retour de l'excès de dichromate par une solution titrée de sulfate double de fer et d'ammonium (Sel de Mohr).

**5. Phosphore total.** Sur terre broyée à 0.2 mm. Minéralisation à l'acide perchlorique, dosage par colorimétrie du complexe phosphomolybdique en présence d'acide ascorbique à 660 nm.

**6. Phosphore assimilable**. Sur de la terre finement broyée. Méthode Bray 1. Extraction par agitation avec les solutions de $FNH_4$ à 0.03 M et de HCl à 0.025 N dans un rapport sol/solution = 1/7.

**7. Bases échangeables (Ca, Mg, K, Na). Sur terre fine** Extraction à l'acétate d'ammonium à pH 7 par agitation, centrifugation, filtration et dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique. (Spectrophotomètre Perkin Emer 3100).

**8. Capacité d'échange cationique (CEC)** Extraction au KCl à 10 %, après lavage à l'alcool éthylique de la terre provenant de l'extraction des bases échangeables, distillation et titration.

## Eaux

**1. Ca, Mg, K; Na.** Dosage au spectrophotomètre d'absorption atomique.

**2. $NO_3$, NH4** Distillation en présence de MGO et Alliage Devarda, puis titration par par l'acide sulfurique 0.005 N.

# Les sols gris de bas de versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire : organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : conséquences pour la riziculture

## INTRODUCTION

Le riz est devenu une consommation courante en Afrique de l'Ouest même dans les pays où les surfaces cultivées sont très faibles. La généralisation de cette consommation n'est pas suivie d'une augmentation de la production rizicole. La demande est donc très largement supérieure à l'offre, d'où l'importation chaque année de centaines de milliers voire de millions de tonnes de riz. Il en résulte des dépenses considérables en devises étrangères difficilement supportables par l'économie des pays qui doivent faire face à d'autres problèmes aussi importants que la santé et l'éducation par exemple.

Il existe cependant de très grandes potentialités agricoles pour la production rizicole dans la sous-région. Différents écosystèmes (plateaux, bas-fonds, plaines côtières et vallées intérieures), font l'objet d'études par les instituts nationaux de recherche. L'accent est ainsi mis sur le riz pluvial, le riz irrigué et le riz inondé des vallées non aménagées. Mais la situation économique difficile dans le monde a très sérieusement compromis les efforts des instituts de recherche dans la mise au point des techniques appropriées pour la riziculture

En 1970, l'Association pour le Développement de la Riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO) a été créée. Son mandat est de promouvoir la production du riz dans la sous-région. Deux écologies ont été privilégiées dans son programme de recherche. La priorité est donc mise actuellement sur le riz irrigué en zone sahélienne et sur le riz pluvial et riz de bas-fond en zone humide (forêt-savane). Dans les régions humides, le riz est cultivé soit en monoculture soit en association avec d'autres cultures. Trois milieux écologiques se distinguent alors très nettement.

* le plateau et les hauts versants sur lesquels est cultivé le riz pluvial strict Cet écosystème représente environ 57 % de la superficie totale cultivée en Afrique de l'Ouest
* le bas de versant occupé par des sols sableux, hydromorphes, en apparence peu favorables à la culture du riz. Il représente 18 % de la superficie totale cultivée
* le bas-fond où le riz est cultivé en conditions de submersion avec ou sans maîtrise de l'eau. Il représente également 25 % de la superficie totale cultivée.

Pour l'ADRAO, ces trois milieux constituent le "*continuum*" riz pluvial / riz de bas-fond. Il a été retenu comme axe prioritaire de recherche en raison de l'importance des potentialités de production et du nombre de paysans concernés. Le travail dont les résultats sont présentés ici se place dans ce contexte. Il est un des éléments de la caractérisation des vallées intérieures par l'ADRAO, le CIRAD et l'Université de Wageningen (Hollande) pour la production rizicole.

# PREMIERE PARTIE

# CHOIX DES SITES

# CHAPITRE I

# CHOIX DES SITES

## 1. LE CONTEXTE

### 1.1 LES VALLEES INTERIEURES EN AFRIQUE DE L'OUEST

En Afrique d'ouest, jusqu'à des dates plus récentes, la majeure partie des moyens disponibles ont été affectés à l'étude et à l'aménagement de zones à grand potentiel hydro-agricole. C'est le cas du delta central du fleuve Niger et de la vallée du fleuve Sénégal. Ces grands aménagements n'intéressent en fait qu'une faible partie des superficies rizicultivables ainsi qu'une faible partie de la population de la sous-région. Or il existe des vallées intérieures réparties sur l'ensemble de la sous-région touchant un large éventail de paysans à moyen et / ou faible revenu. Ces vallées ont toujours été exploitées de manière traditionnelle ou avec des aménagements sommaires. Leur étendue dans la sous-région est considérable. Raunet (1970-1985) estime à 100.300.000 ha la superficie totale occupée par les bas-fonds en Afrique dont 20 à 40 millions d'hectares en Afrique de l'Ouest (Andriesse 1986). Ces chiffres grossièrement estimés indiquent que les vallées intérieures constituent un potentiel agricole très important pour la production vivrière en général et rizicole en particulier.

Il parait également important de souligner que les bas de versant des vallées intérieures ont été plus ou moins négligés par la recherche. Cet écosystème était donc assez mal connu comparé au plateau et au bas-fond proprement dit.

Les sols de bas de versant de ces vallées sont en général sableux, avec une fertilité intrinsèque particulièrement faible (teneur en matière organique faible, somme des bases échangeables, capacité d'échange cationique également faibles). Ils semblent donc à priori impropres à toute culture, en particulier à celle du riz qui est exigeante en eau et en éléments minéraux.

Paradoxalement, le riz cultivé dans cet écosystème donne des rendements élevés et réguliers dans le temps alors qu'ils sont irréguliers sur les sols riches du plateau à cause des pluies aléatoires. Pourquoi? Existe t-il d'autres facteurs pouvant expliquer ce paradoxe?

L'objet de ce travail sera, dans le cadre du *"continuum"* riz pluvial riz de bas-fond, en région centre de la Côte d'Ivoire, de comprendre les raisons de la productivité inattendue des sols de bas de versant. On insistera particulièrement sur leur régime hydrique, l'existence d'une nappe phréatique, peu profonde dont on étudiera l'origine, la dynamique et le rôle dans la production du riz.

### 1.2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

C'est au cours des années 70 que la recherche a commencé à s'intéresser à l'écosystème bas de versant des vallées intérieures. Le bas de versant est la zone de transition entre le bas-fond et le plateau

(Moyen glacis). C'est la frange latérale concave généralement occupée en amont par des sols jaunâtres sablo-argileux et gravillonnaires et en aval par des sols hydromorphes sableux profonds. C'est également une zone des sourcins et de circulation de la nappe phréatique qui peut être affleurante dans la zone de contact avec le bas-fond. Les deux écosystèmes sont étroitement liés quand ils existent tous les deux. Le bas de versant se dégrade (transport latéral de matériaux solides fins et d'éléments minéraux en solution) au profit du bas-fond par le jeu de la nappe phréatique qui y circule.

Notre étude se situe au niveau du bas de versant. La revue bibliographique concernera d'abord les bas-fonds et ensuite tout ce qui a été fait sur le bas de versant du point de vue nappe phréatique et riziculture et fertilité des sols.

*1.2.1 LES BAS-FONDS DES REGIONS INTERTROPICALES.*

Raunet (1970-1985), définit le bas-fond comme étant *"un vallon, une petite vallée à fond plat ou une gouttière peu encaissée, de 20 à 500 mètres de large, sans cours d'eau important ou pérenne"*. Windmeyer et Andriesse (1993) définissent le bas-fond comme étant un *"stream inland valley"*. Les bas-fonds constituent les parties amont des réseaux de drainage imprimés dans les épaisses altérations kaoliniques des surfaces d'aplanissement sur socle cristallin (gneiss, granites, migmatites, schistes...) et des couvertures sédimentaires sub-horizontales gréso-sableuses. Les bas-fonds se rencontrent souvent dans les régions à pluviosité moyenne annuelle supérieure à 700 mm.

A l'opposé une petite vallée alluviale *est caractérisée par un régime de débordement de crue par dessus des bourrelets de berges plus ou moins marqués.* Les dépôts s'ordonnent en véritables alluvions stratifiées ayant subi avant leur dépôt un transport longitudinal important dans le cours d'eau. On y observe aussi un classement granulométrique latéral. Raunet distingue d'amont en aval, trois types de bas-fonds (fig. I-1)

* Le *tronçon amont.* situé en tête de bas-fond, est caractérisé par un profil transversal concave, sans cours d'eau individualisé. Les têtes de bas-fonds sont souvent élargies en "spatule" ou en "amphithéâtre".
* Le *tronçon médian,* situé plus en aval, présente un profil transversal horizontal au centre avec des flancs nettement concaves. Une discrète entaille, due à la concentration des écoulements d'eau commence à apparaître.
* Le *tronçon aval* est caractérisé par un profil transversal nettement horizontal laissant apparaître cette fois un cours d'eau bien individualisé. Ce cours d'eau peut être encaissé de 1 à 2 m, et bordé de discrètes levées alluviales.

Les sites qui ont été choisis pour notre étude se situent dans le premier et le troisième tronçon.

Kilian et Tessier (1973), dans leur étude d'évaluation des bas-fonds en Côte d'Ivoire (région de Tiébissou) se sont basés sur l'hydrologie pour classer les bas-fonds inventoriés. Ainsi, ils ont distingué quatre classes principales:

* *Classe I.* Excellent sol de rizière avec en permanence une nappe phréatique à faible profondeur et une texture moyenne à fine en surface
* *Classe II.* Bon sol de rizière avec une nappe phréatique fluctuante, située à faible profondeur pendant la période allant de l'initiation paniculaire à l'épiaison, avec une texture fine à moyenne.
* *Classe III.* Sol de rizière pauvre avec une nappe fluctuante et profonde et une texture sableuse.
* *Classe IV.* Sol de rizière très pauvre avec une nappe phréatique inexistante ou présente de manière temporaire après une forte pluie et une texture sableuse.

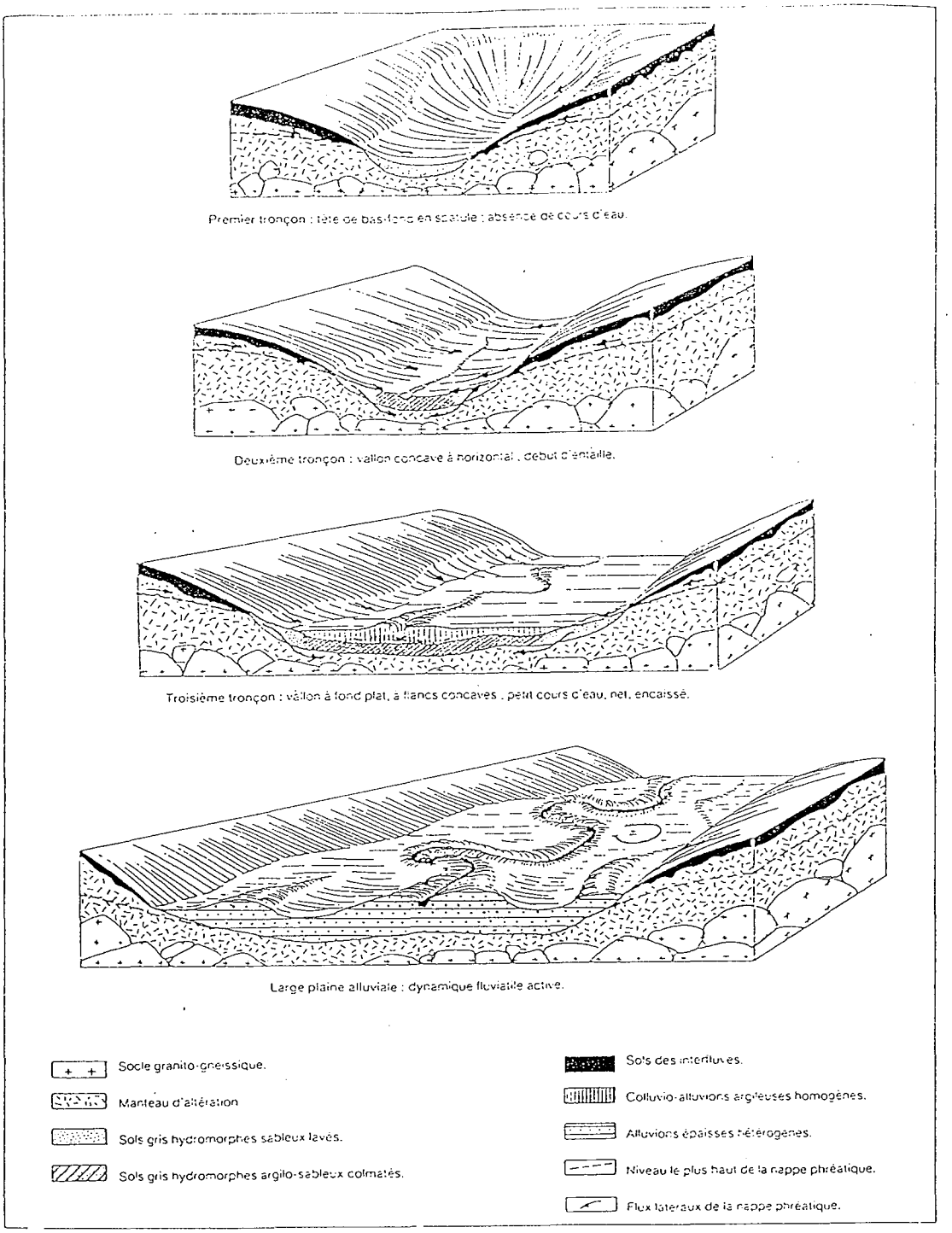



**Figure I-1 : Vallées tropicales :différenciation morphopédologique schématique d'amont en aval (d'après M. Raunet 1985)**

*1.2.2 REGIME HYDROLOGIQUE DES SOLS DE BAS DE VERSANT ET RIZICULTURE*

Comme cela a été dit plus haut, le bas de versant est la zone de transition entre le bas-fond proprement dit et le plateau. Les pédologues furent les premiers à s'intéresser à l'étude de cet écosystème en utilisant le riz comme plante test (Bertrand 1973 puis Moormann 1973). Par la suite, les agronomes, les sélectionneurs ont utilisé l'écosystème pour cribler les variétés susceptibles de s'adapter à cet environnement.

En étudiant les sols gris de bas de versant au Sénégal sur grès argileux, Bertrand (1972-1973) puis Guillobez (1973-1974) ont montré que la nappe joue un rôle très important sur le rendement et que cette nappe est alimentée à partir du plateau. Arrivets (1973) en étudiant les fluctuations de la nappe phréatique au Burkina Faso concluait que le riz réussit mieux lorsque la nappe est sub-affleurante. Moormann et al. (1977) ont observé au Nigeria que la nappe intervenait dans l'alimentation du riz lorsqu'elle est à 50 cm de profondeur. Ils ont également montré qu'il y avait une relation étroite entre l'apparition et la sévérité de la pyriculariose et l'humidité du sol. En effet le riz en conditions pluviales est sévèrement affecté par la pyriculariose. Gunneveg et al. (1986) en suivant les fluctuations de la nappe au Nigeria et en Sierra Leone ont confirmé l'effet positif de la nappe sur la croissance et le rendement du riz. Juo et Moormann (1980) en étudiant au Nigeria les caractéristiques des sols de deux toposéquences ont également confirmé l'effet positif de la nappe sur le rendement du riz. Hakkeling et al. (1993) ont aussi montré l'effet positif de la nappe sur le rendement du riz cultivé le long de la toposéquence dans une vallée du M'bé en Côte d'Ivoire. Moya et al. (1976) à l'IRRI (Philippines), Nguu et al. (1986), Carsky et al. (1992) à l'IITA au Nigeria et l'ADRAO (1989-1992) en Côte d'Ivoire ont évalué plusieurs lignées de riz le long d'une toposéquence. Ils ont montré qu'il y avait deux groupes de variétés réagissant différemment le long de la toposéquence. Le premier groupe répondait significativement à l'action de la nappe tandis que le deuxième groupe donne un rendement stable quelle que soit la profondeur de la nappe. Dans ce deuxième cas, il s'agirait de variétés à cycle court échappant au stress hydrique au moment de la floraison.

*1.2.3 VARIATION DE LA FERTILITE DES SOLS DE BAS DE VERSANT ET DE BAS-FOND.*

Moormann et van Breemen (1978) ont montré que les sols sableux d'une vallée qu'ils ont étudiée aux Philippines sont moins fertiles que les sols à texture plus fine. En conséquence, ils ont proposé l'application fractionnée d'azote pour réduire les pertes par lixiviation. Les sols sableux des bas-fonds et de bas de versant du Nigeria sont moins productifs que les sols limono-argileux, indépendamment de la préparation du sol ou de l'application de l'azote (Curfs 1976). Au Sénégal, une culture continue de riz sans azote pendant dix ans environ sur un sol limono-argileux de bas de versant d'une toposéquence a donné régulièrement un rendement élevé et stable. (2300 à 2600 kg/ha/an). La nappe interviendrait dans l'alimentation azotée du riz grâce à sa concentration en azote minéral variant entre 8 et 44 ppm (Bertrand et al. 1973; Ganry, 1976). Le type d'argile présent dans les sols de plateau ou de bas-fond joue un rôle important dans la libération et la fixation des éléments minéraux. Ainsi les sols riches en minéraux 2/1 libèrent l'azote plus progressivement que ceux ayant des minéraux argileux du type 1/1 (Sanchez and Buol 1985). La teneur en argile et en limons influence l'écoulement de l'eau dans les sols sableux (Imbernon 1982)

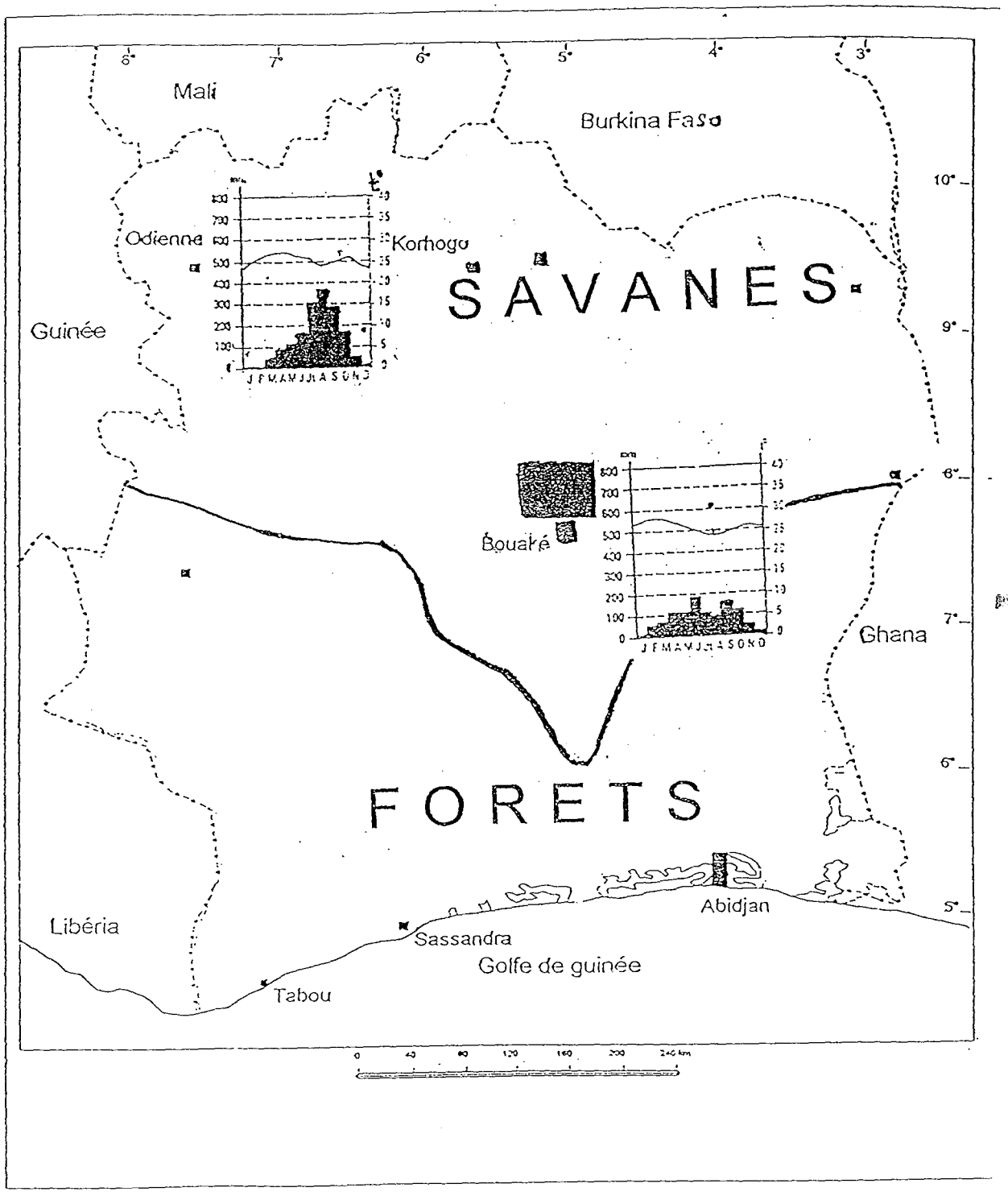



Figure I - 2 : Carte de situation

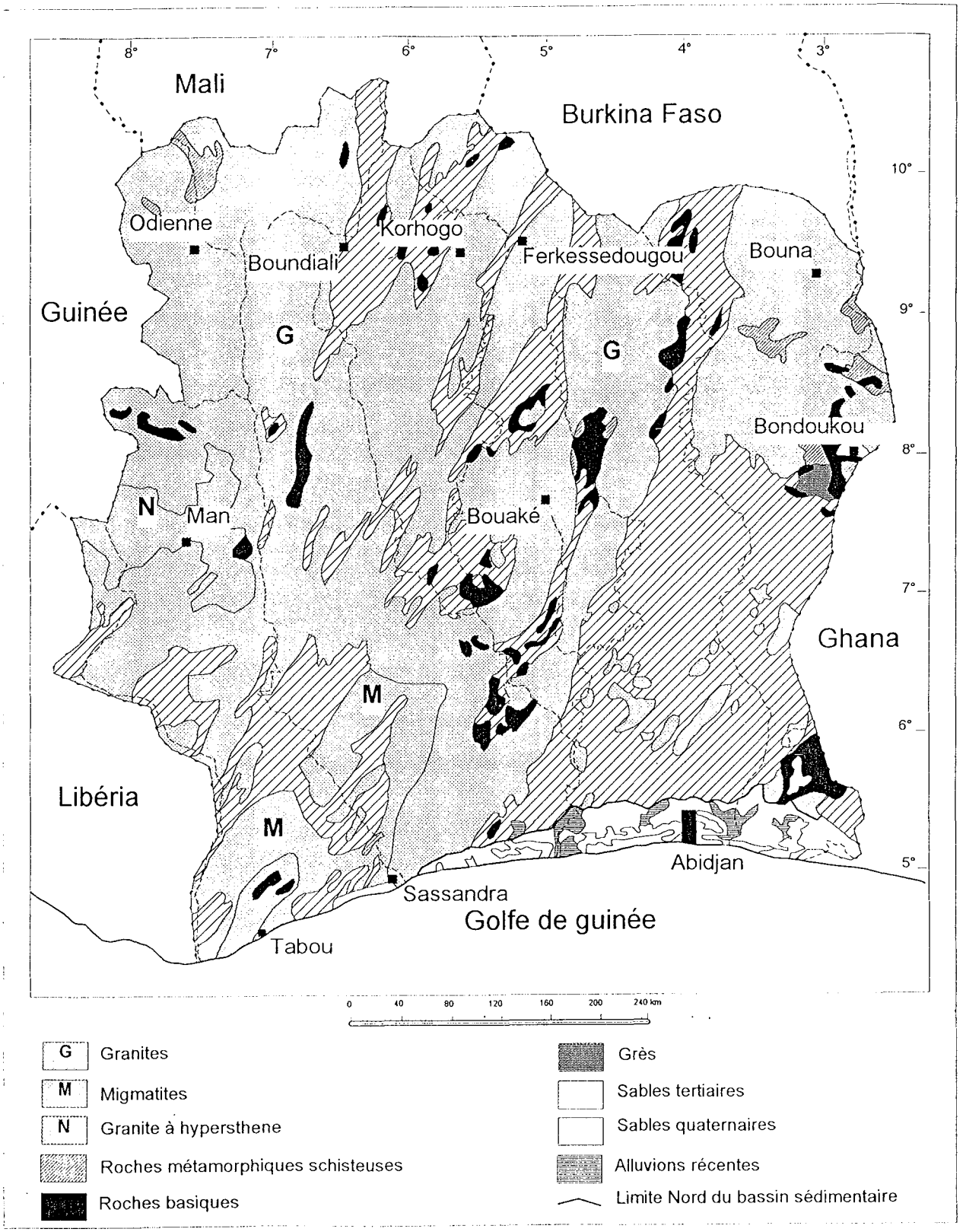



Figure I - 3 : Carte des roches mères de la Cote d'Ivoire.

(Dressée par A. PERRAUD et P. de la SOUCHERE d'après la carte géologique au 1/1000000 - Bagarre et Tagini -)

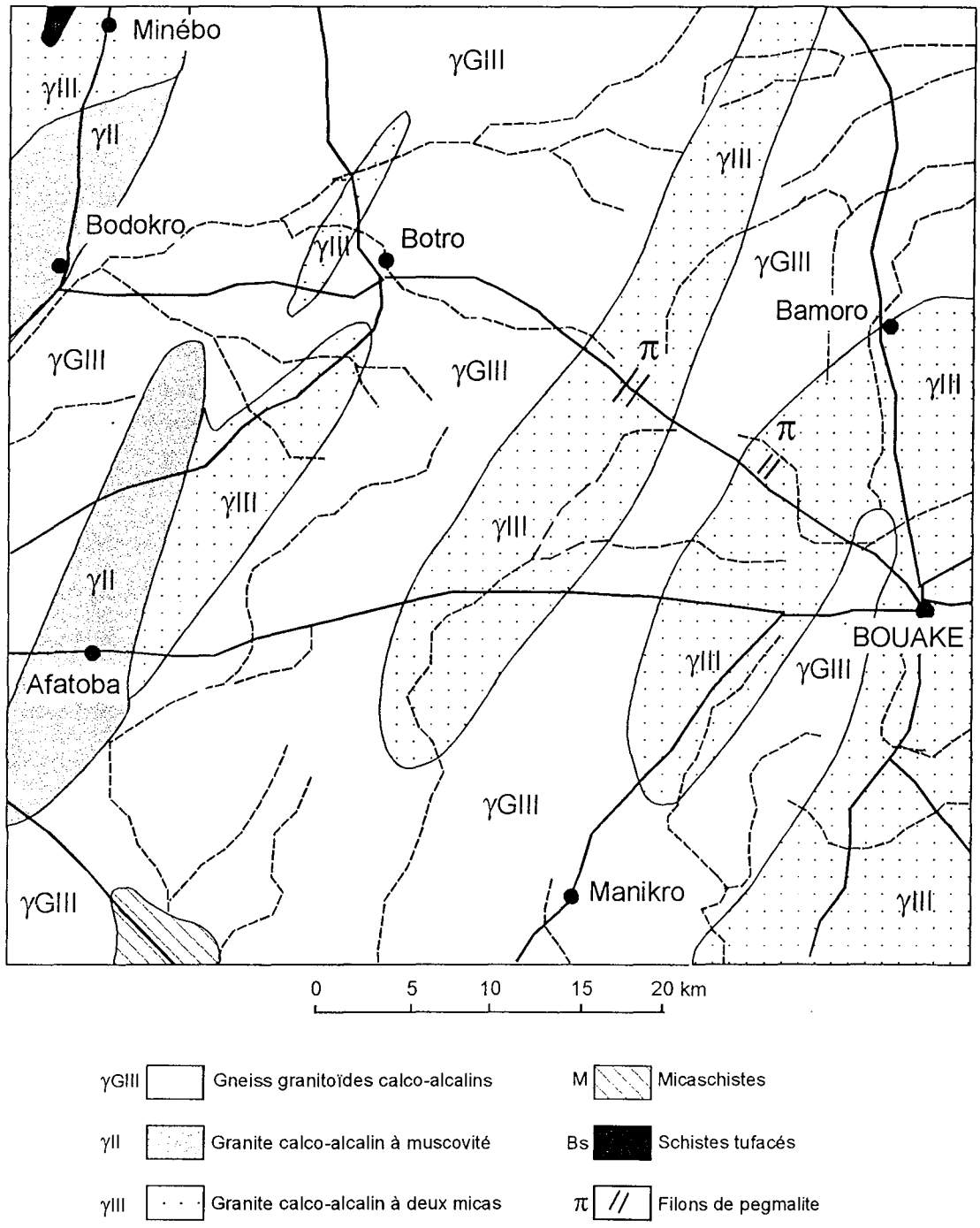



Figure I - 4 : Géologie de la région Centre (d'après Tagini 1969 )

# 2. PRESENTATION GENERALE DE LA REGION

La région Centre de la Côte d'Ivoire est comprise entre 6.5° et 8.5° de latitude Nord 4.et 6° de longitude Ouest. Elle fait transition entre la forêt et la savane. Les sites d'étude se situent à environ 30 Km au Nord de Bouaké. (fig.I-2)

## 2.1 LA GEOLOGIE

Partie de la *"vieille plate forme africaine"*, les formations géologiques de la Côte d'Ivoire datent du Précambrien moyen et plus particulièrement du Birrimien (1.5 à 2 Milliards d'années) pour les séries volcaniques et détritiques.

Tagini (1971) y a distingué: **1) une semi-plate forme**, semi-rigide et nettement métamorphique et composée de pyroxènites, amphibolites, quartzites ferrugineuses, **2) la province de Man** à l'Ouest du pays serait un lambeau du "vieux socle" essentiellement constitué de granites à hypersthène. **3) la province éburnéenne** mise en place entre 2030 et 1830 millions d'années. Elle est caractérisée par une structure rectiligne qui constitue de grandes bandes de schistes de direction N-NE / S-SO. Ces bandes se ressemblent toutes et constituent un géosynclinal éburnéen. Cette orientation est commune à toute la Côte d'Ivoire (fig. I-3).

Les roches de la région centre (fig. I-4) sont essentiellement constituées de :

* gneiss granitoïde calco-alcalin, occupant la majeure partie de la région,

* granites calco-alcalins à deux micas, riches en ferro-magnésiens comme la biotite. Ces roches renferment par endroit des filons de migmatites. Dans certaines zones, on trouve en association avec les premiers des granites calco-alcalins à muscovite.

* schistes localisés dans quelques points au Sud Ouest.

Les sites d'étude se situent sur des granites calco-alcalins à deux micas mélangés par endroit à des gneiss granitoïdes calco-alcalins à deux micas.

Depuis leur mise en place les roches ont subi une altération plus ou moins intense sous des climats divers du type tropical. Mais on pense que c'est à la fin du Secondaire que les roches ont été altérées sous des climat intertropicaux; les altérations superficielles dateraient le plus souvent de l'Eocène (Delvigne et Gradin 1969). Mais pour Bertrand (1995) les sols observés aujourd'hui sur le vieux *"bouclier africain"* sont le résultat de l'action successive des variations climatiques du Quaternaire.

## 2.2 LA PEDOLOGIE

La carte pédologique de la Côte d'Ivoire au 1/1.000.000 (fig. I-5) dressée par l'ORSTOM, comprend principalement cinq unités pédologiques qui sont: **1)** les sols ferrallitiques fortement désaturés en B au Sud et à l'Ouest; **2)** les sols ferrallitiques fortement, moyennement et faiblement désaturés en B au Nord Ouest et au Centre; **3)** les sols ferrallitiques moyennement à faiblement désaturés en B au Centre et au Nord; **4)** le complexe de sols faiblement désaturés en B et de sols bruns eutrophes tropicaux; **5)** le complexe de sols moyennement et faiblement désaturés en B et de sols ferrugineux tropicaux . L'ensemble des bas-fonds est bien sûr occupé par les sols hydromorphes à pseudo-gley et / ou à gley. La région centre de la Côte d'Ivoire est occupée par les sols ferrallitiques moyennement désaturés en B.

## 2.3 MORPHOPEDOLOGIE

Le modelé général de la région centre de la Côte d'Ivoire est celui d'une grande pénéplaine d'où émergent des collines isolées dans l'espace. Ces collines qui dominent le paysage sont liées à la présence soit de faciès volcaniques basiques, soit d'inselbergs granitiques.

Les travaux d'inventaire des sols réalisés en Côte d'Ivoire par l'ORSTOM (Eschenbrenner et Barradello 1973-1975) ont permis à R. Bertrand (1995) de distinguer deux grandes familles de paysages morpo-pédologiques qui se différencient par l'épaisseur des altérites sur lesquels se sont formés le modelé actuel et les sols. La *première famille* est caractérisée par des altérites très épaisses, tandis que la *deuxième famille* présente des altérites peu épaisses reposant sur la roche mère à faible profondeur. Les sites de notre étude se situent dans la première famille à altérites épaisses.

D'après Bertrand (1995) les paysages à formations superficielles épaisses sont de très loin les plus répandus. En Côte d'Ivoire ils couvrent près de 70 % du territoire sur le socle granito-gneissique et schisteux. Deux grands types de paysages morphologiques nous permettront de résumer l'essentiel des cas identifiés et cartographiés par l'ORSTOM. Le premier type de paysage est caractérisé par la présence en sommet d'interfluve, d'un plateau cuirassé plus ou moins démantelé, tandis que dans le deuxième type, les hauts de versant et le sommet d'interfluves forment une croupe convexe et présentent à la place de la cuirasse des sols gravillonnaires. La figure I-6 montre qu'en réalité il existe tous les intermédiaires entre ces deux groupes principaux. Les sites choisis pour notre étude se situent dans le paysage en croupes convexes. Aussi nous limiterons la description des paysages de plateaux à un bref rappel et nous décrirons plus en détail les paysages en croupes convexes à sols gravillonnaires dans lesquels sont placés nos sites d'étude.

### *2.3.1 PAYSAGES MORPHOPEDOLOGIQUES DE PLATEAUX CUIRASSES*

Ces types d'interfluves occupent environ 40 % de la surface des paysages à altérites épaisses. Les toposéquences y sont caractérisées par une succession de surfaces étagées dont la plus haute est un plateau cuirassé plus ou moins démantelé. Ce sont des paysages en marches d'escaliers (fig. I-7). Ils présentent:

**1) Un "plateau sommital cuirassé"** (10 à 15 % de la surface totale), rattaché au "Haut Glacis" de P. Michel par Avenard et Eschenbrenner (1978), est limité par un talus raide. La cuirasse est souvent présente à faible profondeur avec une couche décimétrique de gravillons ferrugineux et de débris de cuirasse de toutes dimensions. Un **"Talus"** quasi continu avec une pente de 10 à 15 % relie le "Plateau cuirassé" ou "Haut de glacis" au "Moyen glacis". Il est en partie parsemé de blocs de cuirasse éboulés et de matériaux gravillonnaires ferrugineux.

**2) Un "Moyen glacis versant"** concave, peu ou pas cuirassé occupe environ 55 à 70 % de la surface des interfluves. Il a été rattaché au "Moyen Glacis" de P. Michel par Avenard et Eschenbrenner (1978). Bertrand 1995 souligne son organisation toposéquentielle et le subdivise en trois parties ou écotopes :

* L'*écotope amont* de forme concave et étroite. Les sols y sont très variés. En général peu épais, ils sont plus ou moins gravillonnaires et montrent par endroits en surface de gros blocs de cuirasse issus du démantèlement de la cuirasse du plateau.
* L'*écotope médian* est rectiligne avec une pente faible. Les sols sont rouges gravillonnaires à texture argileuse. On note parfois la présence d'une ligne de pierre soulignant la nappe de gravats et surmontant un horizon non gravillonnaire.

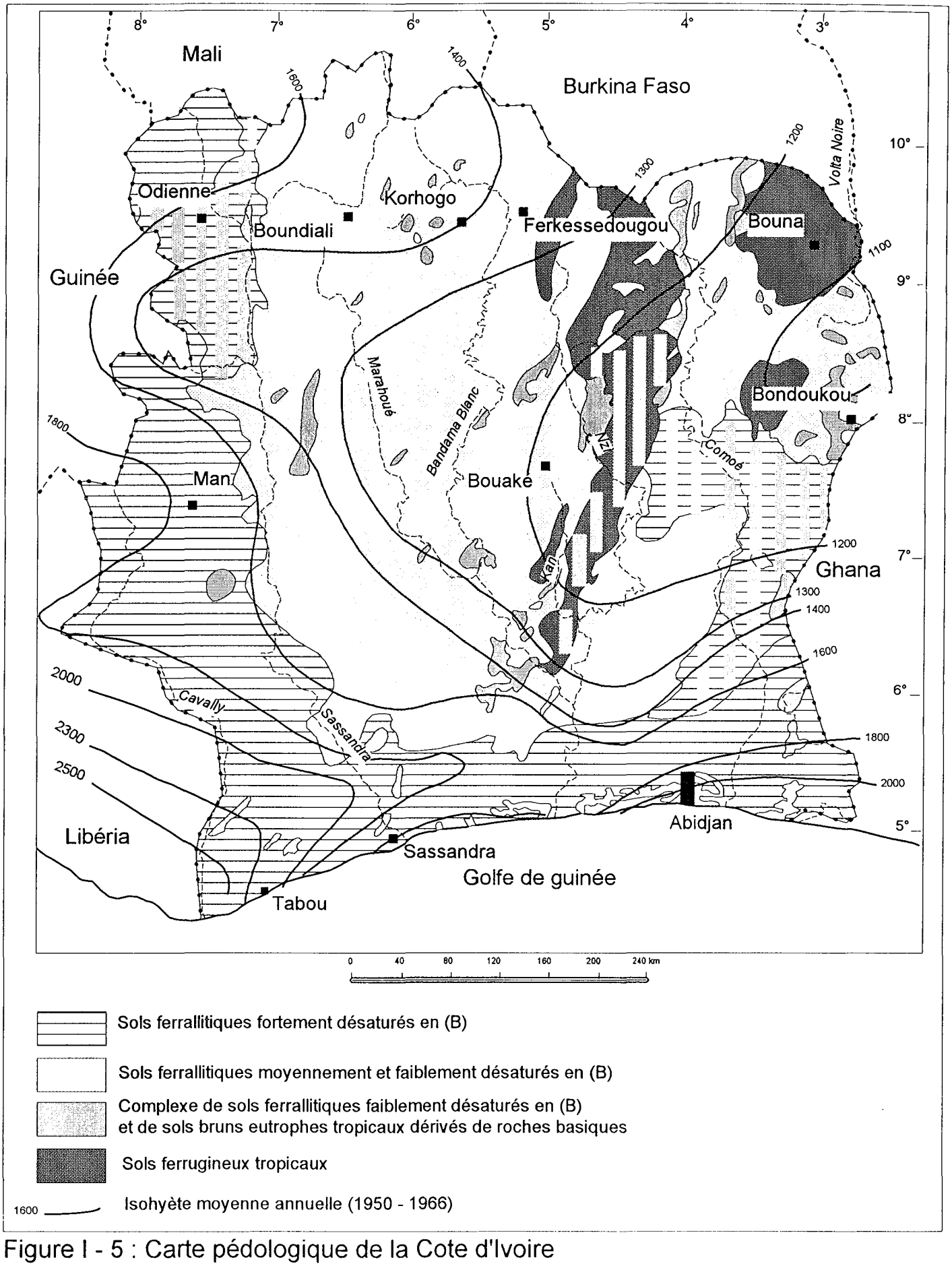



Figure I - 5 : Carte pédologique de la Cote d'Ivoire

D'après les cartes pédologiques (A. PERRAUD, P. de la SOUCHERE) et climatologiques (M. ELDIN, A. DAUDET) réalisées par l'ORSTOM dans le cadre de la convention d'étude pour le reboisement et la protection des sols.

| Interfluves en marches d'escalier | | | Interfluves à sommets convexes | |
|---|---|---|---|---|
| Sommet d'interfluve cuirassé | | | Bas de versants concaves | Bas de versants convexes |
| Surfaces cuirassées dominantes | Haut de versant à sols gravillonnaires dominants | | Bas-fonds concaves ± limoneux | Bas fonds plats engorgés à sols sableux blanchis |
| Climat soudanien semi-aride | Climat soudanien humide à saisons contrastées et climat guinéen équinoxial | | Climat guinéen équinoxial | Climat équinoxial simper-humide |
| Savanes arbustives ou arborées | Savanes arborées ou forêts claies | Forêts claires et Forêts semi-décidues | Zones périforestières forêts semi-décidues | Forêts mésophiles et ombrophiles |



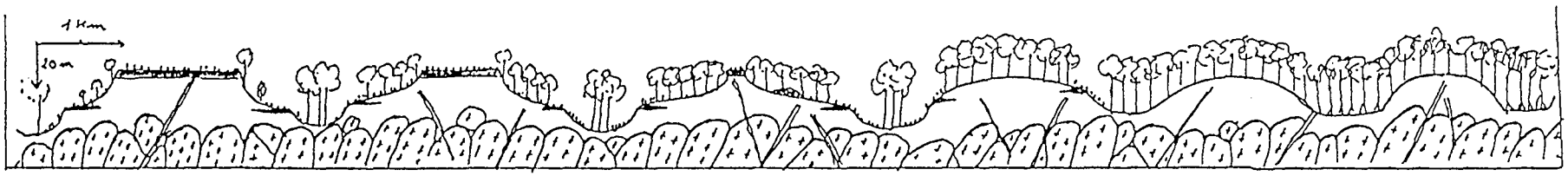



**FIGURE I-6 :** Schématisation de la succession latitudinale des principaux types de paysages morphopédologiques à altérites épaisses développés sur le socle granito-gneissique. Sur le terrain, suite aux héritages paléoclimatiques, ces paysages peuvent coexister dans les franges climatiques actuelles mais les taux d'occupation territoriale de chaque type sont conformes au schéma présenté. **(d'après R. Bertrand 1995)**

* L'*écotope aval* présente une pente légèrement marquée, avec des sols jaunâtres hydromorphes (taches d'hydromorphie, nodules ferrugineux ou de manganèse) à induration profonde devenant sub-affleurante vers l'aval. La limite de l'écotope aval est marquée par une accentuation de la pente et par l'affleurement des matériaux indurés constituant ce que Bertrand et al. (1976, 1984) appelle le "Biseau cuirassé"

**3) Le "Bas de versant".** de forme rectiligne ou concave se rattache à un replat colluvo-alluvial ou bas-fond à sols hydromorphes. Il comprend:

* *a) le bas de versant proprement dit,* à organisation toposéquentielle avec en amont des sols brun-jaunâtre et en aval sur granito-gneiss des sols gris sableux épais. Cet épaississement des matériaux superficiels sableux est soit lié à des colluvionnements soit à un appauvrissement des altérites. Les altérites sous-jacentes de teinte uniforme jaunâtre ou gris-verdâtre sont compactes et fortement marqués par l'hydromorphie.
* *b) le bas-fond.* est concave à rectiligne à sols à hydromorphie d'ensemble

### *2.3.2 PAYSAGE EN CROUPES CONVEXES NON CUIRASSEES*

Les interfluves en croupes et à plans convexes couvrent 20 à 30 % de l'espace dans les zones humides à régime pluviométrique bimodal. En région de forêt ils deviennent dominants et presque exclusifs. Sur ces croupes surbaissées, on distingue trois unités morphologiques comme dans le paysage à plateaux cuirassés (fig. I-8) (Bertrand 1995).

Ainsi depuis le sommet des interfluves jusqu'au bas-fond, les sols sont en général étroitement liés au modelé et à l'épaisseur des altérites. La DCGTX, (Direction et contrôle des grands travaux) en cartographiant la région de Bouaké a identifié suivant le modelé les unité suivantes:

#### 2.3.2.1 Les sommets d'interfluves

Les sommets d'interfluves de forme rectiligne à légèrement convexe occupent environ 10 à 15 % de la superficie du paysage. Les pentes sont ici faibles (1 à 3 %). La limite avec le haut versant est progressive. Les dénivelées sont en général faibles de l'ordre de 2 à 10 m. Ces sommets de 100 à 500 m de large sont en général occupés par des sols rouges ferrallitiques, sablo-argileux gravillonnaires et profonds. Dans les conditions naturelles il s'y développe une forêt semi-décidue (cas de la forêt de Bamoro) ou une forêt sèche avec une strate herbacée à hautes herbes. Les potentialités d'utilisation des ces sols sont très grandes. Les paysans défrichent cette forêt pour pratiquer leurs cultures vivrières et industrielles, (maïs, igname, manioc, arachide, wanzou, coton, caféier et quelques cacaoyers). Par ses sols et son modelé cette unité est favorable à la culture mécanisée.

#### 2.3.2.2 Le Haut de versant.

Le passage au sommet d'interfluve est très peu net. Il est rectiligne avec des pentes variant entre 1 et 3 %. Sa limite avec le bas de versant concave est en général marquée par une rupture de pente peu accentuée et localement cuirassée. Ce "Moyen glacis" fait suite au sommet d'interfluve assimilé au "Haut glacis" par Eschenbrenner (1978) avec un modelé convexe à rectiligne et des pentes variant entre 1 et 3 %. Les sols sont des sols ferrallitiques rouges, profonds, moyennement et faiblement désaturés en B, sablo-argileux plus ou moins gravillonnaires et parfois non gravillonnaires. Ils sont moyennement pourvus en matière organique avec une capacité d'échange cationique assez élevée (cf. plus loin). La forêt semi-décidue ainsi que la forêt claire herbacée occupent ces sols. Cette unité en pente régulière faible et à sols moyennement riches est favorable à la mise en culture aussi est-elle . généralement aménagés pour les cultures vivrières et industrielles.

PAYSAGES SUR SOCLE ANTECAMBRIEN EN ZONE DE SAVANES

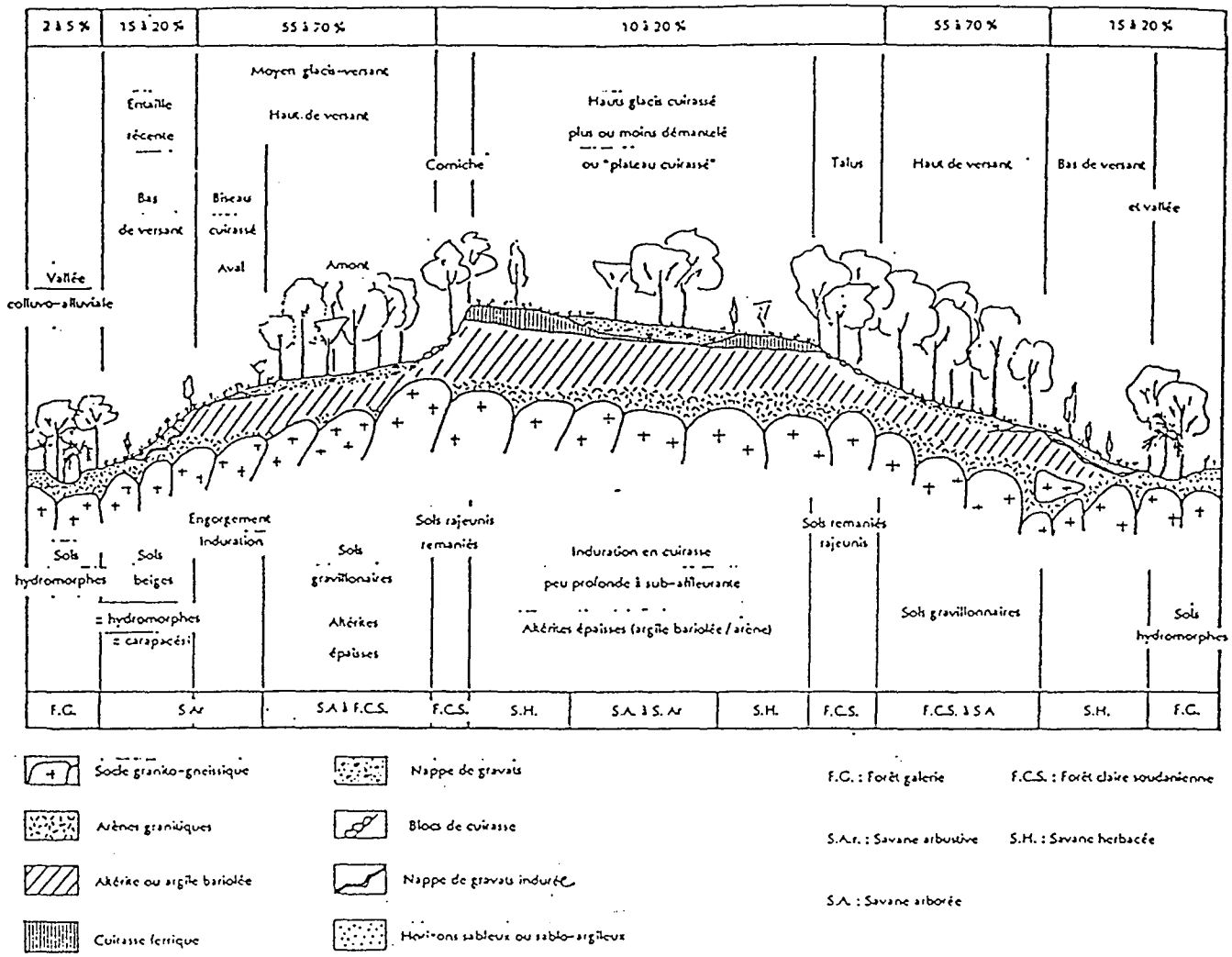



**Figure I-7 :** Coupe schématique au travers d'un interfluve des paysages morpopédologiques de plateaux cuirassés. La dissymétrie entre les deux versants n'est pas générale ; le versant gauche est caractéristique ; le versant de droite préfigure ce que l'on observe dans les paysages du même type où la cuirasse se démantele (voir coupe suivante ) **(d'après R. Bertrand 1995)**

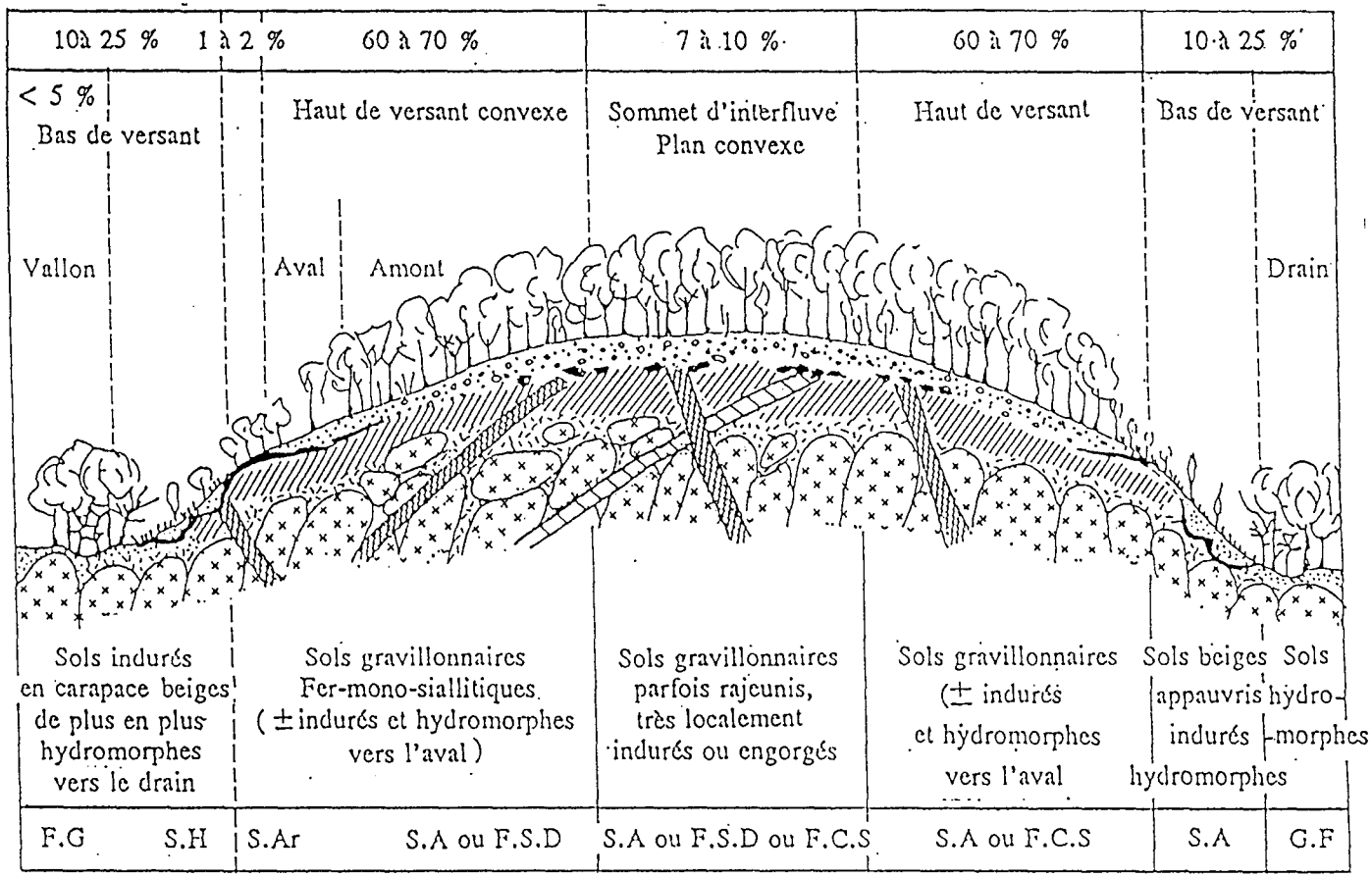



**Figure I-8 :** Paysage d'interfluves légèrement convexes à sols gravillonnaires fer-mono-siallitiques sur altérites épaisses et sous végétation arborée (forêt décidue à forêt claire soudanienne)
Relations-sols-modelé-végétation **(d'après R. Bertrand 1995)**

En aval, les sols deviennent de moins en moins profonds à mesure que l'on s'approche de la limite avec le bas de versant concave. Les sols deviennent ocres ou beiges, sablo-argileux, peu profonds et gravillonnaires et reposent sur une carapace ou une cuirasse, le "biseau cuirassé" de Bertrand et al. 1984, correspondant à la cuirasse du "Moyen glacis". Ces sols peu profonds ont une utilisation limitée par la cuirasse plus ou moins superficielle. La végétation est une savane herbacée avec des îlots d'arbustes.

#### 2.3.2.3 Le "Bas de versant"

Le "Bas de versant" est une fraction essentielle de la toposéquence dans le concept du *"continuum"* de l'ADRAO. Il fait suite vers l'aval au "Biseau cuirassé". Il est caractérisé par un modelé concave avec une pente de 1 à 4 %. En amont les sols sont sableux à sablo-argileux, gravillonnaires plus ou moins profonds s'indurant parfois en profondeur. A mi-pente on a des sols sableux à sables grossiers. En aval les sols deviennent des sols hydromorphes, sableux, à pseudo-gley ou à gley avec parfois des concrétions ou nodules ferrugineux. Ces sols sont directement influencés par une nappe phréatique. La savane herbacée occupe totalement ces sols avec parfois quelques arbustes. Malgré leur texture sableuse, ces sols sont utilisés par les paysans pour la culture du manioc, de l'arachide, du maïs, de l'igname. Il reste cependant vrai que ce sont des sols pauvres, à basse fertilité mais où la nappe phréatique joue un rôle déterminant. Les site choisis pour notre étude se situent dans cette unité.

#### 2.3.2.4 Le "Bas-fond"

Le bas-fond, de forme en général plate avec une pente longitudinale faible, est occupé par des sols hydromorphes sableux, à limono-argilo-sableux à hydromorphie d'ensemble, à gley de profondeur. Ces sols sont inondés pendant la saison des pluies et une bonne partie de la saison sèche. Ils sont en général occupés par une végétation herbeuse adaptée à l'écologie de bas-fond. Cette végétation est parfois associée à une petite forêt galerie avec des raphias et des espèces adaptées comme *Cola cordifolia, Daniellia olivieri.* Les potentialités d'utilisation de ces sols sont très importantes. Ils sont intensément utilisés pour la culture du riz. Certains paysans obtiennent deux récoltes de riz par an en conditions irriguées avec maîtrise de l'eau. Pendant la saison sèche les cultures maraîchères sont développées dans les bas-fonds à inondation saisonnière.

### 2.4 L'HYDROGRAPHIE

La Côte d'Ivoire est drainée par quatre grands fleuves principaux et leurs affluents. Ce sont (fig. I-9): **1** ) le Cavally et le Sassandra à l'Ouest, **2** ) le Bandama au Centre, **3** ) la Comoé à l'Est. Tous ces fleuves ont pour l'essentiel creusé leur lit dans les zones plus érodibles (séries volcaniques et détritiques du Birrimien) et serpentent entre les formations granitiques plus résistantes. Ils coulent du Nord au Sud et se jettent dans le Golfe de Guinée. Le régime hydrologique est du type équatorial de transition atténué (Eldin 1971). La saison des moyennes et hautes eaux s'étale de Mai à Novembre avec un dédoublement de la crue annuelle en général peu marqué et une pointe en Septembre et Octobre. La valeur des débits d'étiage est essentiellement liée aux régimes pluviométriques. Les débits d'étiage, en l'absence de précipitations sont alimentés exclusivement par la vidange des nappes phréatiques d'altérite. Le réservoir de ces nappes est d'autant plus important que le bassin versant est grand et les pentes faibles. Les nappes ont une certaine extension dans les régions à substratum granitique.

La région centre concernée par notre étude est drainée par plusieurs affluents du Bandama. Ce sont : la Loka, le N'zi et son affluent le Kan, le Mbé et le Foro-foro tous deux affluents du Soungourou.

## 2.5 LE CLIMAT

Le climat de la région centre de la Côte d'Ivoire correspond au régime Equatorial de transition atténué (Aubréville 1964). Il est principalement caractérisé par

* une première saison des pluies de Mars à Juin
* un ralentissement des précipitations en Juillet, Août
* une deuxième saison de pluies de Septembre à fin Octobre début Novembre
* une saison sèche très marquée de Novembre à Février, comportant toutefois quelques précipitations isolées.

Le régime pluviométrique de la région est donc bimodal avec théoriquement deux maximums en Juin (125 mm) et l'autre en Septembre - Octobre (140 mm). Les précipitations moyennes annuelles varient entre 1200 et 1300 mm. Les variations interannuelles sont fortes. Les déficits pluviométriques varient parfois de 10 à 30 %. La figure I-10 montre l'évolution de la pluviosité et de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en 1992 1993 et 1994 à la station météorologique du CPR de l'ADRAO à M'bé. Elle montre bien le creux du ralentissement des pluies entre Juin et Août. Il se traduit par un déficit pluviométrique grave et une forte ETP. C'est la période critique pour les cultures en particulier le riz pluvial qui est une plante très sensible à la sécheresse. Les températures moyennes mensuelles varient entre 34°.4 (température maximum) et 16°.6 (température minimum).

### *2.5.2 Le climat et ses relations avec la culture du riz*

Le régime bimodal des pluies en région centre de la Côte d'Ivoire est un facteur défavorable pour la culture du riz pluvial. En effet la période de ralentissement des pluies coïncide le plus souvent avec la montaison ou la floraison du riz. Gigou (1973) a montré que la première saison des pluies (de Mars à Juin) est irrégulière, de même que la période de ralentissement des pluies (Juillet à Août). La seconde saison de pluies qui va de la fin Août à la fin Octobre, est courte, mais avec des pluies abondantes et régulières. Des dates de semis, permettant de passer sans trop de difficultés la période sèche ou de ralentissement des pluies, ont été proposées. Ainsi les variétés dont le cycle est court doivent être semées dans la première semaine de Juin, tandis que celles dont le cycle est moyen dans la deuxième quinzaine du mois de Juin.

## 2.6 LA VEGETATION

La végétation de la région Centre de Côte d'Ivoire appartient au secteur mésophile du domaine guinéen (Guillaumet et Adjanohoun 1971). Cette végétation est caractérisée physionomiquement par la chute quasi simultanée des feuilles des grands arbres. On y rencontre des îlots de forêts semi-décidues dispersés dans une savane guinéenne. Les principales formations végétales reconnues dans la région sont les suivantes:

**La forêt semi-décidue** à *Aubrevillea kerstingii et Khaya grandifoliola.* C'est en général une formation forestière à plusieurs strates, dense, constituée de grands arbres dont les feuilles tombent simultanément. Les espèces caractéristiques de la strate ligneuse sont en général représentées par *Aubrevillea kerstingii, Erythrophleum guineensis, Parkia lilcoidea, Cola cordifolia, Ceiba pentandra, Chlorophora regia, Chrisophyllum perpulchrum, Khaya grandifoliola.* La strate herbacée est en général représentée par *Andropogon macrophyllus* avec de temps en temps des plages d'*Imperata Cylindra* dont l'origine est le défrichement de la forêt par les paysans pour la culture.

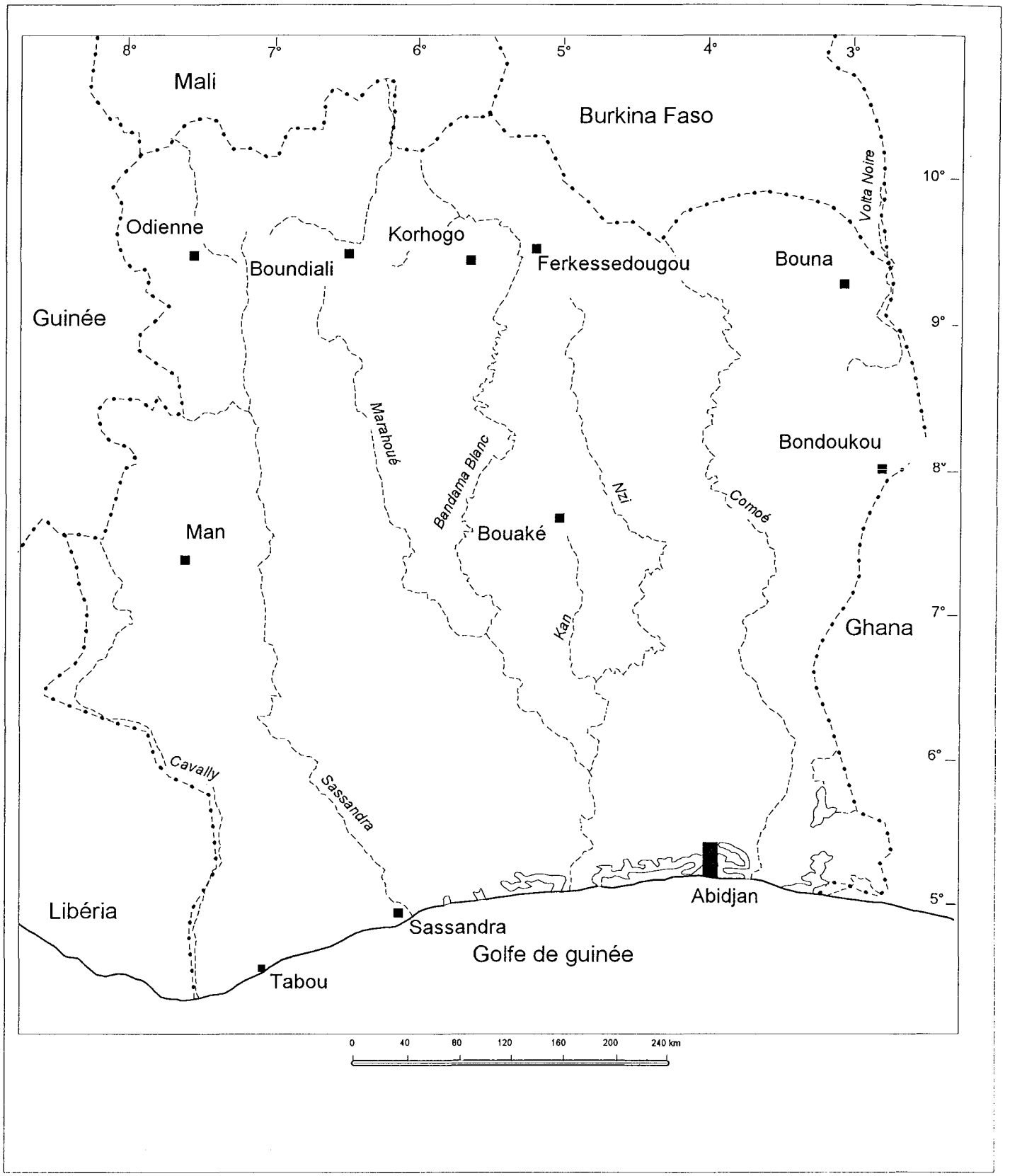
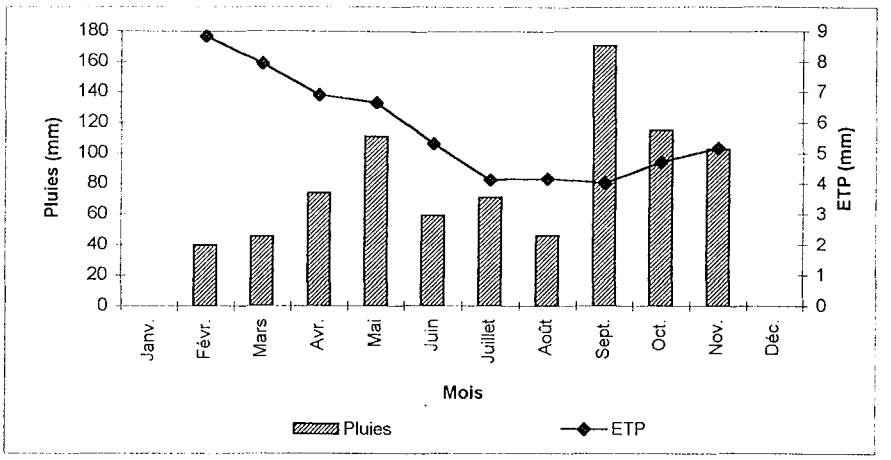
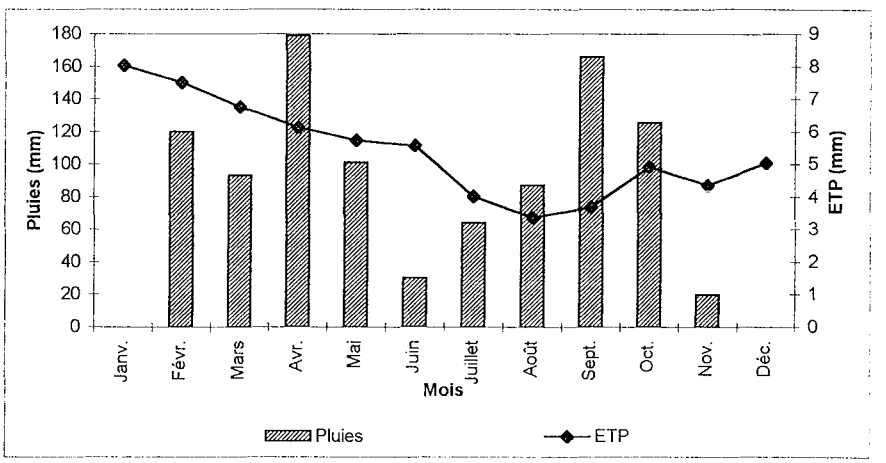


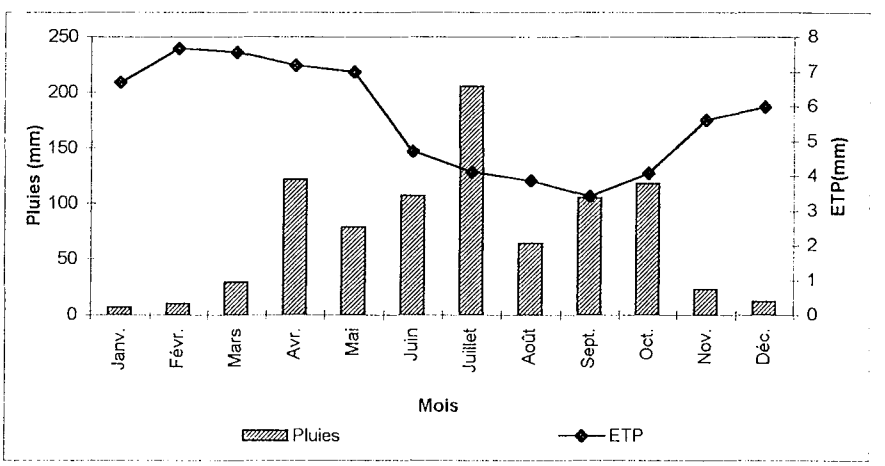

Figure I - 9 : Réseau hydrographique de la Côte d'Ivoire




M'bé 1992




M'bé 1993




M'bé 1994

**Fig. I-10 Evolution de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle au Centre de Recherche Principale de l'ADRAO à M'bé.**

**Les forêts galeries** comportent une strate arborescente composée de *Cola cordifolia, Daniellia olivieri, Vitex diversifolia, Eleais guineensis*, et d'un sous-bois très peu riche en plantes herbacées. Quelques cypéracées sont présentes par taches.

**Les savanes** sont des peuplements qui occupent **1)** les plateaux et les pentes non rocheux et bien drainés, **2)** les bas-fonds avec des sols hydromorphes sableux à limono-argileux, **3)** les plateaux cuirassés et les dômes granitiques. On reconnaît quatre types principaux:

* les savanes à *Borassus aethiopium.* occupent tout le "V Baoulé"[1] depuis Toumodi jusqu'à Katiola sur des sols ferrallitiques faiblement désaturés.
* les savanes arborées à *Daniella olivieri, Lophira lanceolata, Lophira alata et Terminalia glaucescens* occupent essentiellement les sols ferrallitiques gravillonnaires ou non. Entre autres espèces arborées on trouve *Parkia biglobosa, Ficus platyphylla, Vitex doniana.*
* les savanes arbustives poussent sur des sols bien drainés. Certaines se sont installées sur des sols peu profonds. La flore est essentiellement composée de *Ficus capensis, Erythrina senegalensis, Afromosa laxiflora, Annona senegalensis, Terminalia glaucescens,*
* les savanes des bas-fonds sont localisées soit sur les sols hydromorphes sableux liés à la nappe phréatique proche de la surface (*Loudetia phragmitoïdes*) et celles qui poussent dans les bas-fonds proprement dits ou les vallées (*Vitiveria nigritiana*).
* les savanes des dômes granitiques et des plateaux cuirassés dénudés sont principalement constituées de graminées; comme *Sporobolus pectinellus, Cyanotis latana.*

## 2.7 L'OCCUPATION DES TERRES

Le défrichement des forêts semi-décidues a profondément modifié la végétation naturelle. Beaucoup d'espèces sensibles aux feux sont sur le point de disparaître. Il ne reste que quelques îlots de forêts régulièrement soumises à l'action du feu.

Du point de vue agronomique, le "Haut glacis" et le "Moyen glacis" sont à environ 80 % occupés par les cultures pluviales vivrières et industrielles. Ainsi le maïs, le manioc, l'igname, l'arachide, le taro, le wanzou, la banane douce et la banane plantain y sont régulièrement cultivés. D'autres cultures comme le cacaoyer, le caféier, le palmier à huile, le manguier sont également développées dans la région sur de faibles superficies.

Le bas de versant est également occupé dans les mêmes proportions (80 %) que le "Haut glacis" et le "Moyen glacis". Les mêmes cultures y sont pratiquées.

La superficie des parcelles cultivées est généralement petite (1/4 d'hectare en moyenne). Ces parcelles sont exploitées pendant 2 à 3 ans et laissées en jachère pendant 5 à 7 ans. Les champs en jachère sont en général à 80 % occupés par *Imperata cylindrica.*

Les bas-fonds, aménagés ou non, sont essentiellement occupés par le riz. Deux récoltes sont généralement faites dans les bas-fonds avec maîtrise de l'eau. Les cultures maraîchères sont pratiquées pendant la saison sèche dans les bas-fonds non aménagés et les bas de versant sableux influencés par la nappe phréatique dont les paysans utilisent l'eau pour irriguer.

---

[1] Le "V Baoulé" est une pointe de savanes forestières qui pénètrent sur près de 200 km au sein des forêts denses du massif guinéen, et constitue une anomalie dans le tracé forêt-savane en Afrique occidentale (P Peltre 1977).

# 3. ENVIRONNEMENT DES SITES D'ETUDE

## 3.1 MODELE

Le Centre Principal de Recherche (CPR) de l'ADRAO est situé à environ 30 km au Nord de Bouaké entre 7.5°et 8.5° de latitude Nord et 4.5 et 5.5° de longitude Ouest. Il est localisé en amont du bassin versant du M'bé affluent du Soungourou. Ce centre abrite à la fois le siège et la station expérimentale. Il est installé dans un paysage à croupes convexes et intègre aussi les bas-fonds pour prendre en compte le programme de recherche de l'ADRAO, prioritairement axé sur le *"continuum"* riz pluvial / riz de bas-fond. Le bas de versant a 100 m de large et une pente régulière de 1 à 3 %. Lorsque le bas de versant est plus étroit, sa pente est plus accusée (3 à 4 %).

## 3.2 SOL.

En 1989, une cartographie des sols sur 1220 ha a permis de choisir environ 700 ha devant accueillir le CRP (Hakkeling et al. 1989). Neuf unités pédologiques ont été inventoriées (fig. 1-11). Le tableau I-1 en résume les principaux caractères morphologiques.

Les unités les plus représentatives de la région sur lesquelles seront menées les études d'expérimentation au champ sont les suivantes.

* **Uuvg, Umdg1** et **Umsg** couvrent 591 ha soit 48 % de la surface totale, correspondent au sommet d'interfluve et au "Haut de versant" limité vers l'aval par l'unité Umsg qui représente le "biseau cuirassé".

* **Fi1** occupe 178 ha ou 15 % de la surface totale. Cette unité correspond aux sols de bas de versant

* **Bc1** et **Bc2** couvrent 135 ha ou 11 % de la surface totale. Ce sont les bas-fonds.

Les unités Umdo1, Umdo2 et Ummg ne couvrent que 13 % de la surface totale. Elles constituent des cas particuliers dans le paysage.

Dans le cadre de notre étude, les sites choisis se situent dans les unités **Umsg** et **Fi1** en amont et à l'aval d'un petit marigot bien fonctionnel (fig. 1-12). Les observations pédologiques et hydrologiques ont été poursuivies vers l'amont.

Pour une meilleure compréhension de la position des sites d'études par rapport aux différentes unités pédologiques, nous avons regroupé les neufs unités en quatre (fig. 1-11).

- les sols rouges gravillonnaires ou non du "Haut Glacis" et "Moyen Glacis" (Uuvg, Umdg1, Umdo1, Umdo2 et Ummg), ont été regroupés sous le n° 1,
- les sols du "Biseau cuirassé" ont été regroupés sous le n° 2,
- les sols gris sableux du bas de versant ont été regroupés sous le n° 3
- les sols du bas-fond proprement dit l'ont été sous le n° 4

| Unités pédologiques | Caractéristiques morphologiques | Localisation dans le paysage | Utilisation, |
|---|---|---|---|
| Uuvg | Argilo-sableux, carapace à 120 cm, gravillonnaires (30-60 % en poids) et très profonds | Sommets interfluves non cuirassés et Ecotope amont du Moyen glacis versant | Gros arbres de grande et moyenne taille associés à strate herbacée, cultures vivrières et industrielles |
| Umdg1 | Sablo-argileux à argileux carapace entre 80 et 120 cm, gravillonnaires (30-60 % en poids), profonds, | Ecotope médian du Moyen glacis versant | Savane arborée et arbustive avec strate herbacée dense, Cultures vivrières et industrielles |
| Umdo1 | Argileux à argilo-sableux, concrétions manganésifères dans la partie inférieure du profil, profond | Ecotope médian du Moyen glacis versant | Savane arborée et arbustive, cultures vivrières et industrielles |
| Umdo2 | Limono-sableux gravillonnaires sur 50 cm, présence de nodules ferrugineux et carapace entre 70 et 120 cm de profondeur, moyennement profonds à profonds | Ecotope médian du Moyen glacis versant | Savane arborée et arbustive, cultures vivrières et industrielles |
| Ummg | Limoneux à sablo-limoneux, moyennement profonds gravillonnaires (environ 50 % en poids), | Ecotope aval du moyen glacis versant | Savane arbustive, cultures vivrières |
| Umsg | Limoneux à sablo-argileux peu profonds avec affleurements de cuirasse entre 0 et 50 cm, peu profonds, | Ecotope bas de pente du Moyen glacis versant, équivaut au "biseau cuirassé" | Savane arbustive, peu de cultures vivrières |
| Fi1 | Sableux à sablo-limoneux à sables grossiers, profonds avec présence d'une nappe phréatique | Bas de versant | Savane herbacée et arbustive, cultures vivrières |
| Bc1 | Argileux à limono-argileux profonds, présence de taches rouilles d'oxydes de fer, partie inférieure réduite | Bas-fonds avec aménagement | Espèces herbacées adaptées aux conditions de bas-fonds, cultures de riz irrigué |
| Bc2 | Argileux à limono-argilo-sableux, taches sur l'ensemble du profil, plus ou moins profonds à profonds | Bas-fonds sans aménagement | Espèces herbacées des bas-fonds, cultures de riz et maraîchage |

Tableau I-1. Unités pédologiques du CRP de l'ADRAO. Vallée du M'bé

Figure I-11 : Carte des sols du Centre Principal de Recherche (CPR) de l'ADRAO à M'bé. Localisation des sites d'étude.




1 - Sols ferrallitiques faiblement désaturés en B, plus ou moins gravillonnaires profonds.

2 - Sols ferrallitiques peu profonds, indurés.

3 - Sols hydromorphes appauvris.

4 - Sols hydromorphes à pseudogley et gley de profondeur.

Figure I-12 : Carte détaillée de situation des sites




1 - Sols ferrallitiques faiblement désaturés en B sur interfluves et moyen glacis.

2 - Sols ferrallitiques remaniés indurés gravillonnaires peu profonds.

3 - Sols hydromorphes appauvris à pseudogley : sols gris sableux.

4 - Sols hydromorphes à pseudogley et à gley de profondeur.

- - - - Chemins

Ces unités ont été classées suivant la classification française, américaine et FAO. Le tableau II-2 résume les différentes classes.

| Unités pédologiques | Classification française CPCS | Classification FAO | Classification américaine Soil Taxonomy |
|---|---|---|---|
| Uuvg | Sol ferrallitique faiblement désaturé remanié modal | Rhodi-humic Acrisol | Paleustults |
| Umdg1 | Sol ferrallitique faiblement désaturé, remanié induré | Rhodi-humic Acrisols | Paleustults |
| Umdo1 | Sol ferrallitique faiblement désaturé modal | Chromi-haplic Acrisol | Paleustults |
| Umdo2 | Sol ferrallitique faiblement désaturé remanié modal | Chromi-haplic Acrisol | Paleustults |
| Ummg | Sol ferrallitique faiblement désaturés typiques indurés | Orthic-ferralic Cambisol, petroferric phase | Oxic, Ustropepts |
| Umsg | Sol ferrallitique faiblement désaturé typique induré | Orthi-dystric Leptosol, petroferric phase | Lithic Ustropepts |
| Fi1 | Sol peu évolué d'apport colluvial hydromorphe | Orthi-gleyic Arenosol | Aquic Ustipsamments |
| Bc1 | Sol hydromorphe peu humifère à gley peu profond | Gleyi-eutric Fluvisol | Tropaquents |
| Bc2 | Sol hydromorphe peu humifère à gley peu profond | Gleyi-eutric Fluvisol | Tropaquents |

Tableau I-2 Classification des unités pédologiques du CPR de l'ADRAO (d'après Hakkeling et al.).

## 3.3 LA VEGETATION

### *3.3.1. REPARTITION TOPOSEQUENTIELLE DE LA VEGETATION.*

Un inventaire de la végétation des deux sites d'étude, depuis le "Moyen glacis" jusqu'au bas-fond a été réalisé. De même au niveau de chaque site un recensement des espèces de la strate herbacée a été effectuée. Le tableau I-3 reproduit les résultats de l'inventaire effectué le long d'un transect depuis le "Moyen glacis versant" jusqu'au bas-fond. Dans ce tableau sont reportées toutes les espèces communes aux deux sites.

| | Ligneux | Strate herbacée |
|---|---|---|
| Moyen glacis versant | *Acacia campylacantha, A. gourmaensis, Acacia spp., Afromosia laxiflora, Aframomum alboviolaceum, Albizia zygia, Allophylus africanus, Annona senegalensis, Bauhinia rufescens, Bombax costatum, Bridelia ferruginea, Butyrospermum parkii, Combretum nigricans, Daniellia olivieri, Elaeis guineensis, Erythrina senegalensis, Fagara zanthoxyloides, Ficus exasperata, Ficus, capensis, Khaya senegalensis, Lannea acida, Lannea barteri, Lophira lanceolata, Lonchocarpus spp, Mucuna pruriens, Nauclea latifolia, Parinari curatellifolia, Parkia biglobosa, Phylanthus discoides, Piliostigma thonningii, Pterocarpus erinaceus, Terminalia glaucescens, Trichilia roka, Vitex cuneala, Vitex spp,* | *Ageratum conyzoïdes, Andropogon gayanus, Andropogon tectorum, Cellosia laxa, Commelina benghalensis, Digitaria horizontalis, Eleusine indica, Euphorbia heterophylla, Hyparrhenia smithiana, Ipomea eriocarpus, Imperata cylindrica, Mullugo nudifolius, Phylantus amarus, Rothbellia cochinchinensis, Tridax procumbens,* |
| Amont du bas de versant | *Annona senegalensis, Bauhinia rufescens, Bridelia ferruginea, Erythrina senegalensis, Ficus capensis, Grossopterix febrifuga, Parinari curatellifolia, Parkia biglobosa, Pterocarpus erinaceus, Vitex spp.* | *Andropogon gayanus, Aspilia busseï, Digitaria horizontalis, Imperata cylindrica, Eclipta prostrata, Hyparrhenia rufa, Hyparrhenia involucrata, Mariscus alternifolia, Tephrosia bracteolata,* |
| Zone hydromorphe | *Achlornea cordifolia, Afrormosia laxiflora, Annona senegalensis, Bridelia ferruginea, Cola cordifolia, Elaesi guineensis, Lannea acida, Parinari curatellifolia, Phoenix reclinata, Raphia sudanica,* | *Andropogon gayanus, Aspilia africana, Cyprus difformis, C. haspan, Imperata cylindrica, Hyparrhenia rufa, Hyparrhenia involucrata, Killinga squamulata, Leersia hexandra, Ludwigia discurens, Paspalum conjugatum. P. scrobiculatum, Rothbellia exaltata, Rynchospora corymbosa.* |
| Bas-fond proprement dit | *Cola cordifolia, Elaeis guineensis, Phoenix reclinata, Raphia sudanica,* | *Cyperus haspan, Paspalum scrobicutilatum, Scleria verrucosa* |

Tableau I-3. Inventaire de la végétation du moyen glacis versant au bas-fond.

Le **"Moyen glacis versant"** (tableau I-3) est principalement occupé par une végétation arborée et arbustive, associée à la strate herbacée dense. La profondeur ainsi que la bonne fertilité des sols ont permis l'installation d'espèces ligneuses comme: *Daniellia olivieri, Khaya grandifoliola, Chlorophora regia, Ceiba pentandra, Adansonia digitata* (cette espèce est probablement introduite

car elle ne se trouve pas dans sa zone), *Parkia biglobosa, Cola cordifolia, Parinari ratellifolia. La strate arbustive est représentée par: Terminalia glaucescens, Combretum nigricans, Cassia sieberiana, Cassia occidentalis , Butyrospermum parkii, Bombax costatum , Acacia gourmaensis, Lophira lanceolata.* Il a été aussi enregistré la présence de *Borassus aethiopum Annona senegalensis, Bauhinia rufescens.* Les lianes sont représentées par *Mucuna pruriens.*

La strate herbacée est bien représentée par de hautes herbes *Andropogon tectorum, Pennisetum purpureum, Imperata cylindrica, Euphorbia heterophylla, Commelina banghalensis, Digitaria horizontalis, Phylantus amarus, Solanum nigrum, Cellosia laxa, Mullugo nudifolius, Eleusine indica, Rothbellia cochinchinensis, Ageratum conizoïdes.*

Le **bas de versant** montre une savane arbustive et arborée en amont. On trouve les mêmes espèces ligneuses que dans le moyen glacis mais de petite taille et très parsemées à cause de la faible profondeur des sols (présence de cuirasse ferrugineuse). Les espèces inventoriées sont *Anonna senegalensis, Parkia biglobosa, Cola cordifolia* La strate est représentée par *Imperata cylindrica, Digitaria horizontalis, Commelina banghalensis, Rothbellia cochinchinensis, Ageratum conyzoïdes.*

En bas de pente ou zone hydromorphe, on a en plus de la strate arborée, rencontré des espèces herbacées adaptées à l'écosystème: *Cyperus difformis, Cyperus haspan, Fuirena ciliaris, Rhynchospora corymbosa, Killinga prumila, Leersa hexandra Ludwigia discurens, Ludwigia hyssopifolia, Basilicum polystachyon.* La répartition de ces espèces change avec le régime hydrique des sols le long de la toposéquence. Plus la nappe phréatique est proche de la surface plus la densité des herbes caractéristiques des zones hydromorphes augmente.

*3.3.2 LES ADVENTICES DES DEUX SITES.*

Dans le cadre de la caractérisation fine des bas de versant, un autre inventaire plus exhaustif des espèces de la strate herbacée a été effectué avec un quadrillage de 20 m x 20 m au niveau des deux sites. Le tableau I-4 donne la liste des espèces présentes. Ce tableau montre que le site B possède une végétation plus variée que le site A. En d'autres termes il est plus enherbé. Les deux sites avaient des jachères d'âges différentes au moment de leur mise en culture en 1993. En effet le site A portait une vieille jachère âgée de sept à dix ans tandis que le site B a toujours été cultivé en maïs, ignames et arachide par les paysans. De plus pendant trois ans, 1989, 1990 et 1991 l'ADRAO l'a mis en culture continue de riz avec et sans engrais. Le site n'avait donc qu'une année de jachère (1992). L'abondance des mauvaises herbes ou de la strate herbacée confirme ici ce que l'on sait par ailleurs que la mise en culture d'un champ fait apparaître les mauvaises herbes après trois années seulement.

Les espèces suivantes, (tableau I-4) n'ont été trouvées que dans la zone hydromorphe des deux sites: *Cyperus difformis, Leersa hexandra, Ludwigia discurens, Killinga squamulata, Fuiscena ciliaris, Rhyncospora corymbosa.* Ces espèces semblent inféodées aux lieux où la nappe phréatique est proche de la surface. Ce sont donc des espèces indicatrices de la nappe phréatique. Des études antérieures effectuées par Nyoka (1989) et Johson et al. (1993) l'ont confirmé. En étudiant la distribution des adventices dans la vallée du M'bé, Nyoka a observé en 1989, 1990, et 1991 que les espèces des zones humides et sèches se propagent vers le haut et le bas en fonction des mouvements de la nappe phréatique. En effet lorsque la nappe descend, la zone hydromorphe est progressivement occupée par les espèces des zones sèches. De même les espèces de la zone hydromorphe remontent progressivement vers les parties hautes de la toposéquence lorsque la nappe s'étend plus haut vers le plateau. Il a également conclu que la flore des adventices sur le plateau est composée de latifoliée (67.5%), de graminées (20.5%), de Cypéracées (8.4%) et les autres (3.6%).

| | Site A | Site B |
|---|---|---|
| Plateau | *Andropogon gayanus, Aspilia anthelmia, Digitaria horizontalis, Hyparrhenia rufa, H. involucrata, Imperata cylindrica, Mariscus alternifolia, Spermacoce stachydea, Tephrosia bracteolata, Tridax procumbens,* | *Ageratum conyzoïdes, Boerhavia erecta, Bracharia deflexa, B. erecta, Centrosema pubescens, Commelina benghalensis, Digitaria horizontalis, Eleusine indica, Eragrostis aspera, Euphorbia heterophylla, E. hirta, Imperata cylindrica, Mariscus alternifolia, Oldenlandia herbacea, Tridax procumbens, Pennisetum purpureum, Rhynchelytrum repens,* |
| Mi-pente | *Andropogon gayanus, A. tectorum, Aspilia bussei, Cyperus esculentus, Digitaria horizontalis, Eclipta peostrata, Hyparrhenia involucrata, Imperata cylindrica, Mariscus alternifolia, Phyllantus amarus, Spermacoce stachydea, Tephrosia bracteolata,* | *Ageratum conyzoïdes, Aspilia bussei, Blumea aurita, Bracharia deflexa, Centrosema pubescens, Chloris pilosa, Imperata cylindrica, Digitaria horizontalis, Eleusine indica, Erasgrostis aspera, E. tremula, Euphorbia hirta, Indigofera nigricans, Mariscus alternifolia, Oldenlandia herbacea, Paspalum scrobiculatum, Pennisetum polystachion, P. purpurea, Tridax procumbens, Rhynchospora corymbosa, R. repens, Spermacoce stachydea,* |
| Bas de pente ou zone hydromorphe | *Ageratum conyzoïdes, Andropogon gayanus, Aspilia africana, Cyperus haspan, Fimbristylis littoralis, Hyparrhenia involucrata, H. rufa, Imperata cylindrica, Leersia hexandra, Physalis angulata, Paspalum conjugatum, P. scrobiculatum, Rothboellia exaltata, Scleria verrucosa,* | *Acroceras zizanioïdes, Ageratum conyzoïdes, Andropogon tectorum, Aspilia bussei, Blumea aurita, Centrosema pubescens, Commelina benghalensis, Cypreus difformis, C. haspan, Digitaria horizontalis, Dissotis rotundifolia, Eleusine indica, Eragrostis aspera, Euphorbia heterophylla, E. hirta, Fuirena umbellata, Fuiscena ciliaris, Imperata cylindrica, Indigifera nigricans, Leersia hexandra, Ludwigia abyssinica, L. discurcens, Mariscus alternifolia, Oldenlandia herbacea, Paspalum scrobiculatum, Phylanthus amarus, Physalis angulata, Platostoma africana, Rothbellia exaltata, Scleria verrucosa, Spermacoce stachydea, Tephrosia bracteolata, Vernonia cinerea,* |

Tableau I-4. Inventaire de la strate herbacée aux sites A et B

## 4. MISE EN PERSPECTIVE DU TRAVAIL

La riziculture en Afrique de l'Ouest est devenue une activité essentielle dans la lutte pour l'autosuffisance alimentaire. Aussi, depuis les années 1970 la recherche agronomique a mis l'accent

sur l'établissement de techniques culturales permettant aux paysans d'améliorer substantiellement leur production agricole. Les écosystèmes de plateau et de bas-fond ont alors fait l'objet d'une investigation détaillée par les chercheurs nationaux. Les résultats obtenus ont toujours reflété les conditions édaphiques du milieu (types de sols et leur régime hydrique, climat). Ainsi par exemple, dans la région Centre de la Côte d'Ivoire, la culture du riz pluvial a toujours été une activité aléatoire à cause du régime bimodal de la pluviométrie. En effet le stress hydrique correspondant à la petite saison sèche (Août) est préjudiciable à la culture du riz à moins de procéder à une irrigation de complément. Seuls les bas-fonds constituaient la partie sûre pour la culture du riz. Mais là encore il est essentiel de prévoir des aménagements en vue de la maîtrise de l'eau qui souvent posent des problèmes pendant les grosses pluies. Les bas-fonds peuvent en effet rester inondés pendant plusieurs jours après une grosse pluie si les aménagements adéquats pour évacuer l'excès d'eau n'existent pas.

De nombreuses études effectuées en Afrique de l'Ouest le long de toposéquences ou *"continuum"* riz pluvial / riz de bas-fond ont montré que la plupart des variétés de riz donnait de bons rendements dans les zones sableuses de bas de versant. Il se trouve que dans les zones de bas de versant, à sols généralement sableux et pauvres, les rendements du riz sont réguliers et restent supérieurs à ceux obtenus sur le plateau où les sols sont nettement plus riches. Il y a donc là un paradoxe qu'il faut comprendre pour mieux exploiter cet écosystème de bas de versant dont la superficie est très importante en Afrique de l'Ouest.

Le choix des sites d'étude dans la région centre de la Côte d'Ivoire se justifie par les grandes potentialités agricoles en général et rizicoles en particulier des zones de bas de versant des toposéquences. Ces zones peuvent en effet compenser valablement l'irrégularité ou la précarité des rendements en paddy obtenus sur les plateaux où la culture du riz est défavorisée par le caractère bimodal des pluies. L'existence dans le bas de versant d'une végétation hygrophile, phréatophile, ainsi que les observations antérieures incitent à penser que la présence d'une nappe phréatique peu profonde compense l'irrégularité des pluies. Si cette nappe a déjà été étudiée au Sénégal en milieu sédimentaire (Bertrand 1973), par contre aucune étude d'envergure ne lui a été consacrée sur le socle granito-gneissique en Côte d'Ivoire. Pour connaître l'origine de cette nappe et sa dynamique au cours du temps nous serons amenés à effectuer une étude sur :

* la morpho-pédologie et l'organisation de la couverture pédologique du bas de versant des sites d'étude. La couverture pédologique des deux sites sera étudiée au niveau toposéquentiel dans le but de comprendre l'organisation pédologique du milieu,
* le régime hydrologique et ses conséquences. L'accent sera mis sur l'humidité du sol et le fonctionnement de la nappe phréatique,

Enfin pour avoir une idée de son rôle sur la production rizicole nous serons amenés à la fois à étudier la variabilité de la production le long de la toposéquence et les relations entre les rendements du riz et le niveau de la nappe en essayant de prendre en compte la variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques des sols.

# DEUXIEME PARTIE

# LES SOLS

# CHAPITRE II

# ETUDE MORPHO-PEDOLOGIQUE DES TOPOSEQUENCES

Le dispositif d'étude pédologique est situé dans les 700 ha du Centre Principal de Recherche (CPR) et se place dans les unités pédologiques 2, 3 et 4. Les sites sont couverts par :

- en amont, des sols rouges gravillonnaires,
- sur le "biseau cuirassé", des sols plus ou moins indurés à faible profondeur,
- au milieu des sols gris, sableux et épais constituent l'essentiel de la surface des sites.
- en aval, dans le bas-fond, des sols brun jaunâtres foncés, humifères, limoneux à limons fins .

Sur la carte détaillée (fig. I-12) des sols du bassin versant d'un marigot du CPR, on a situé d'une part les deux sites d'étude A et B et d'autre part les deux toposéquences principales qui traversent les deux sites et qui s'étendent jusqu'à 300 m environ en amont des sites

## 1 MATERIEL ET METHODES

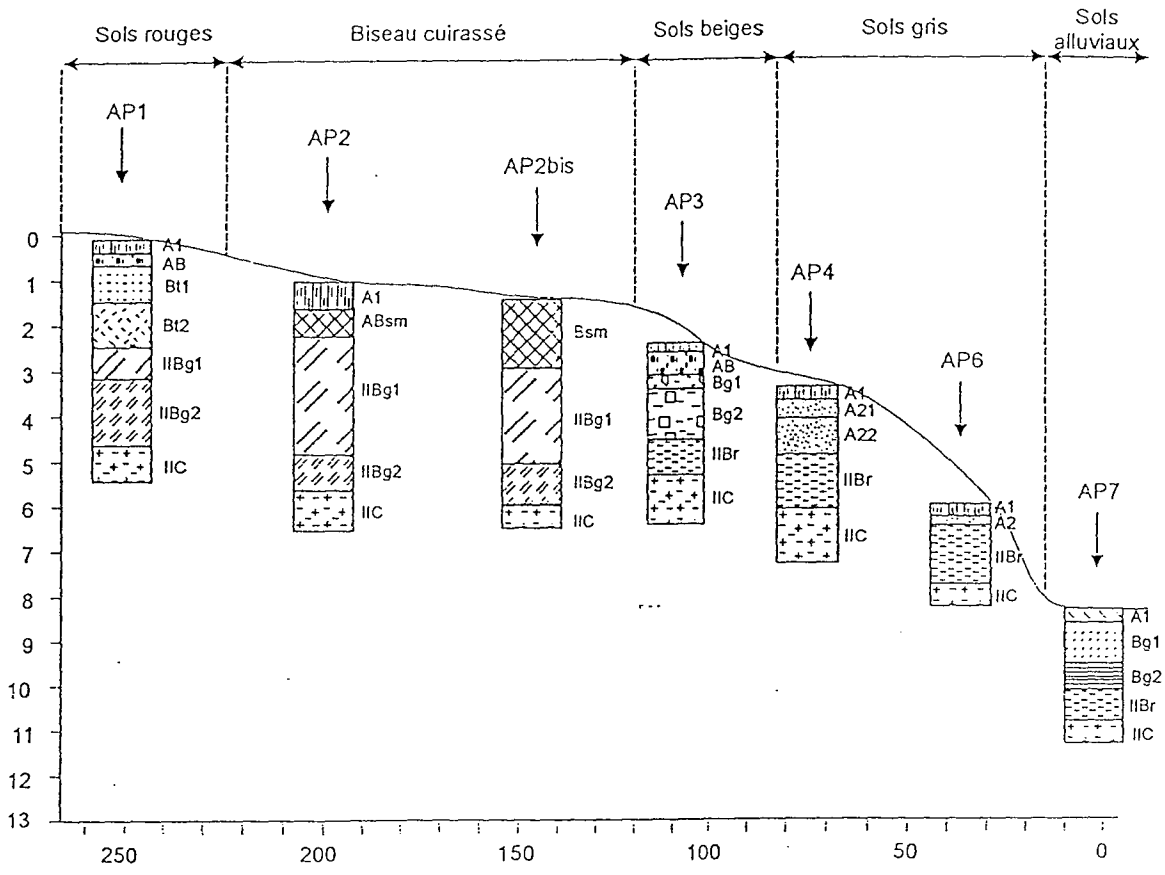
Pour étudier l'organisation de la couverture pédologique, des profils pédologiques ont été ouverts le long d'une toposéquence pour chaque site depuis l'amont du "biseau cuirassé" jusqu'au marigot (fig. II-1 et fig. II-2). On a également utilisé pour cela les sondages à la tarière effectués pendant l'installation des piézomètres. Une description détaillée des horizons a été faite et des échantillons ont été prélevés pour analyse au laboratoire (analyses classiques et déterminations minéralogiques par diffraction X). Des échantillons non perturbés de sol (fig. II-3 pour le site A et II-4 pour le site B) ont été prélevés pour confectionner des lames minces. La densité apparente et la porosité totale ont été mesurées par la méthode des cylindres en amont, au milieu et en bas de pente du bas versant de chacune des toposéquences. Pour cela, des échantillons ont été prélevés tous les 20 cm, depuis la surface jusqu'à la profondeur d'installation des piézomètres et au delà dans l'arène micacée.

## 2 LES SOLS ET LEURS HORIZONS

Cette partie concerne la description détaillée des profils pédologiques des toposéquences des deux sites, leurs caractères physico-chimiques, leur composition minéralogique, leurs caractères micromorphologiques. Nous ne décrirons ici que les grands ensembles ou unités pédologiques qui occupent d'amont en aval les toposéquences. Ces ensembles sont définis par une combinaison d'horizons pédologiques et de matériaux altéritiques. Nous avons utilisé le triangle international des textures (USDA 1975) pour la définition de la texture des horizons (cf. annexe). Quatre types de sols ont été inventoriés au niveau des deux toposéquences :

- **les sols rouges situés en amont des toposéquences** (ou bordure du plateau) sont des sols ferrallitiques qui contiennent tous des gravillons ferrugineux et/ou des petits cailloux de quartz. Dans cette nappe de gravats, la quantité et la taille des éléments grossiers diminuent avec la profondeur. Ces sols sont caractérisés par :

Figure II-1 : Toposéquence du site A




10 m
1 m

Figure II - 2 : Toposéquence du site B

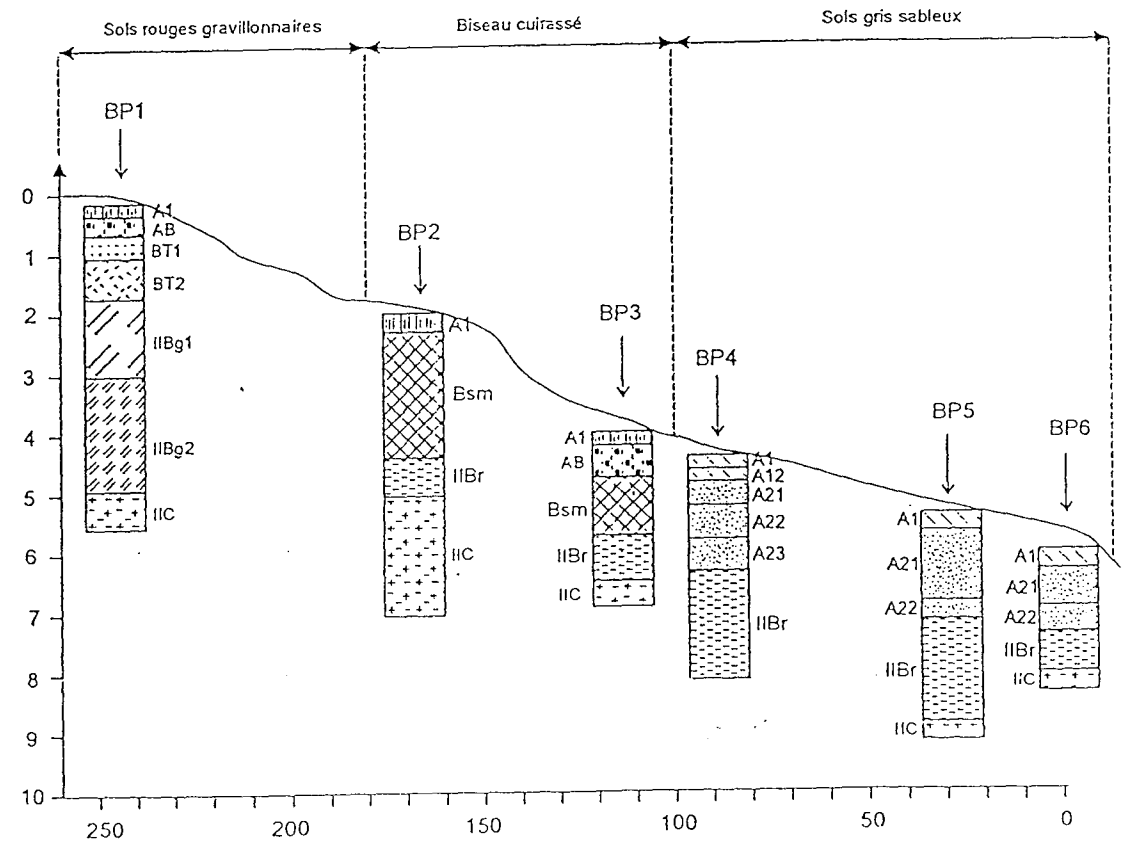


Figure II-3 : Localisation des échantillons prélevés dans le profil AP3 pour les études micromorphologiques. Site A

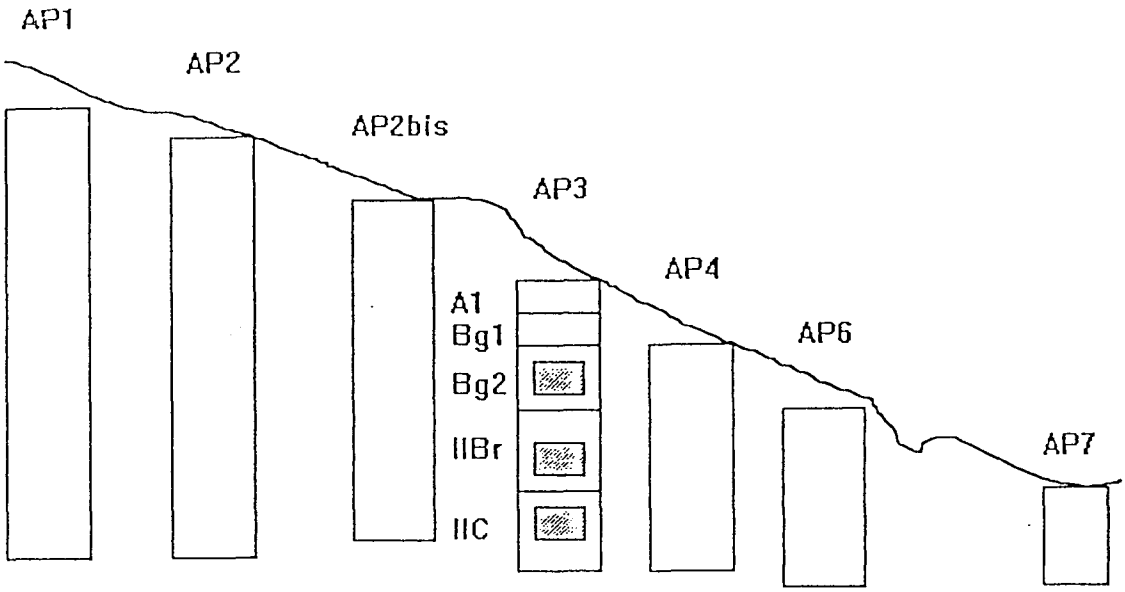
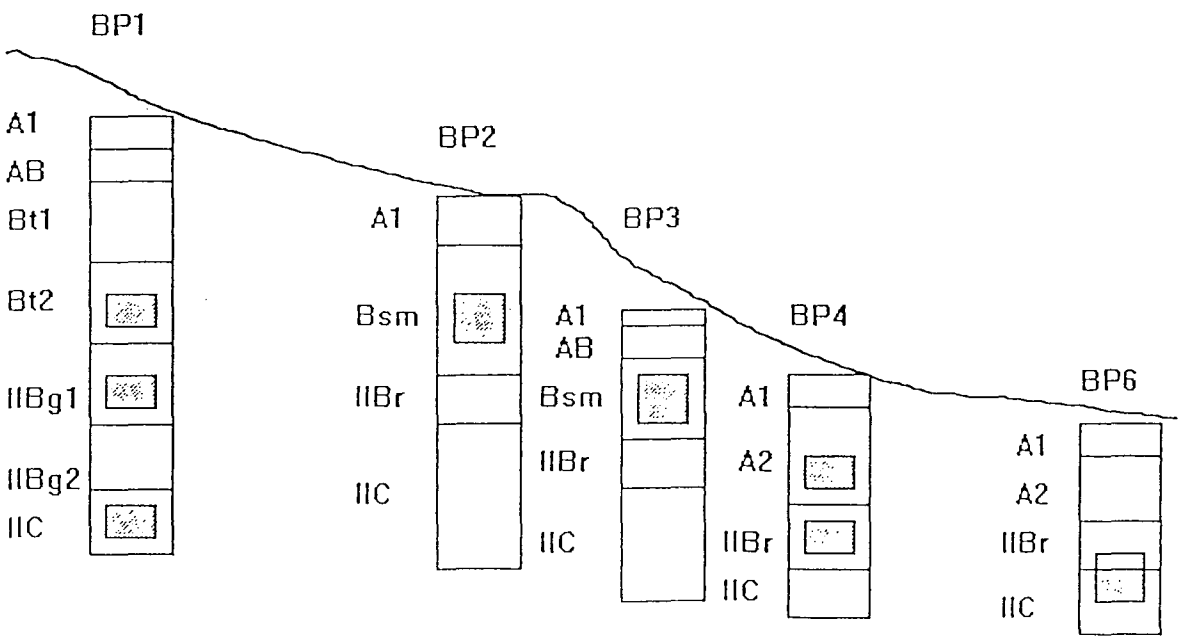



Figure II-4 : Localisation des échantillons prélevés dans les profils BP1, BP2, BP3 et BP4 pour lles études micromorphologiques. Site B



1) un horizon Bt ou horizon d'accumulation d'argile montrant quelques taches jaunes à jaune-rougeâtre. Cet horizon est poreux à porosité fine. Il montre de nombreux pseudosables ;
2) des horizons tachetés (IIBg1) et bariolés (IIBg2) limono-argileux , à porosité tubulaire élevée. L'horizon IIBg1 montre par endroits des pseudo-sables. De nombreux micas (muscovite et biotite) apparaissent à la base de l'horizon IIBg2 ;
3) l'arène micacée sous-jacente IIC est très riche en minéraux altérables de la roche mère.

- **les sols indurés du "biseau cuirassé"**, jaune-rougeâtre sont poreux à larges pores. Ils sont gravillonnaires en surface et présentent, sur une épaisseur de 1.5 à 2 m, un horizon induré (Bsm) poreux à pores tubulaires aux parois enduites de terre fine rougeâtre et blanchâtre.

- **les sols gris de bas versant** sont des sols hydromorphes sableux à sables grossiers. Ce sont des sols appauvris (horizon A2 ou E reposant sur un horizon argileux IIBr) . Le passage de l'horizon sableux à l'horizon argileux ("vert pistache") est très brutal. C'est un contact planique. Ce sont des sols poreux, influencés par un régime hydrique lié à la présence d'une nappe phréatique pendant la saison des pluies.

- **les sols du bas-fond** proprement dits sont des sols hydromorphes limono-argileux à limono-sableux. Ils ont une structure prismatique grossière. La porosité de ces sols est très faible. Ces sols sont inondés pendant une bonne partie de la saison des pluies.

Un profil typique de référence sera retenu par groupe de sol pour la description et l'analyse des caractères morpho-physico-chimiques et minéralogiques (fig. II-5, II-6).

## 2.1 SOLS ROUGES.

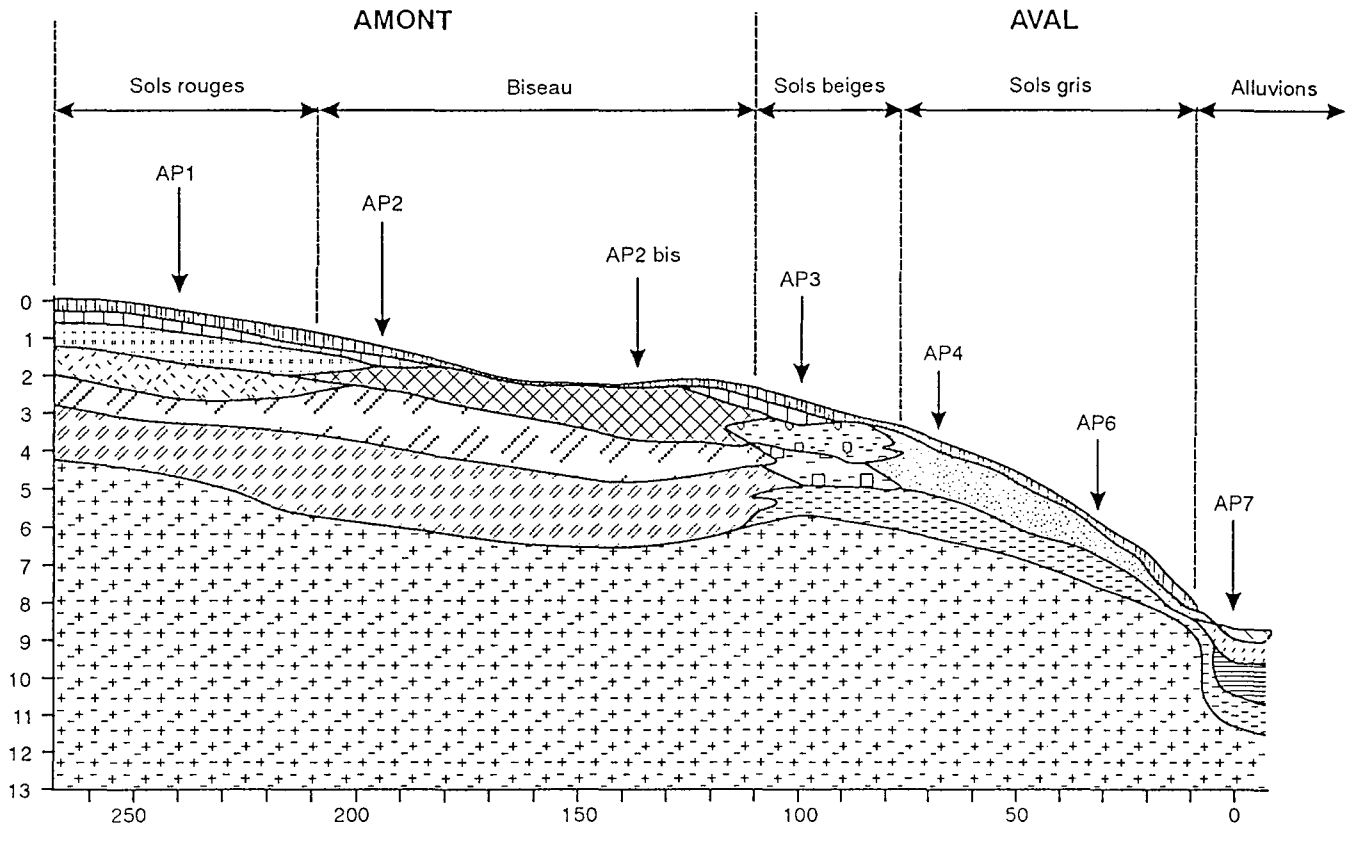
Ces sols profonds sont situés en amont des toposéquences, hors des sites proprement dits. Le profil BP1 a été choisi comme profil type regroupant les caractères essentiels des sols (voir description complète en annexe les profils AP1, AP2 et BP1).

### *2.1.1. CARACTERES MORPHOLOGIQUES*

Le profil est caractérisé par:

- (0-15 cm) un horizon **A1** humifère de couleur brun foncé, limono-argilo-sableux à sables grossiers. Il montre de nombreux gravillons ferrugineux et quartzeux entourés de terre fine argileuse.
- (15-40 cm) un horizon **AB** légèrement humifère, brun-rougeâtre, limono-argilo-sableux à sables grossiers montrant de nombreux gravillons ferrugineux et quartzeux.
- (40-85 cm) un horizon **Bt1** minéral, rouge; argileux. Il montre de nombreux éléments grossiers constitués de gravillons ferrugineux et des graviers de quartz imprégnés de fer. Le tout est emballé dans une matrice terreuse. L'horizon est poreux à porosité fine.
- (85-175 cm) un horizon **Bt2** rouge, argileux, similaire au précèdent mais dans lequel apparaissent des taches fines jaune-brunâtre vers le bas de l'horizon. De nombreuses particules ou pseudo-sables sont présentes dans la masse de l'horizon. Dans certains gravillons ferrugineux, l'observation au microscope révèle la présence de reliques de biotite à feuillets ferruginisés.
- (175-295 cm) un horizon limono-argileux, **IIBg1** ou horizon tacheté, (couleur dominante rouge avec de nombreuses taches blanchâtres entourées d'un halo fin de couleur rougeâtre). Ces taches présentent parfois un noyau central légèrement induré évoluant vers un nodule ferrugineux. Les pores tubulaires millimétriques sont tapissés de terre fine blanchâtre. Persistance des pseudo-sables au sommet et dans les plages rouges de l'horizon. A la base de l'horizon apparaissent des micas visibles à l'oeil nu. On devine la structure granulaire des granito-gneiss.

Figure II - 5 : Organisation toposéquentielle des matériaux pédologiques site A




Amont

A1 Gravillonnaire

AB Transition gravillonnaire

Bt1 Rouge gravillonnaire

Bt2 Rouge non gravillonnaire

Bsm Cuirasse

IIBg1 Argile tachetée

IIBg2 Argile bariolée

IIc Argile micacée

Aval (Bas de versant)

A1 Sableux

A2 Sableux blanchi

Bg1 Beige gravillonnaire

Bg2 Beige à altéro-relique

IIBr Horizon " vert pistache"

IIc Argile micacée

Marigot

A1 Alluvial humifère

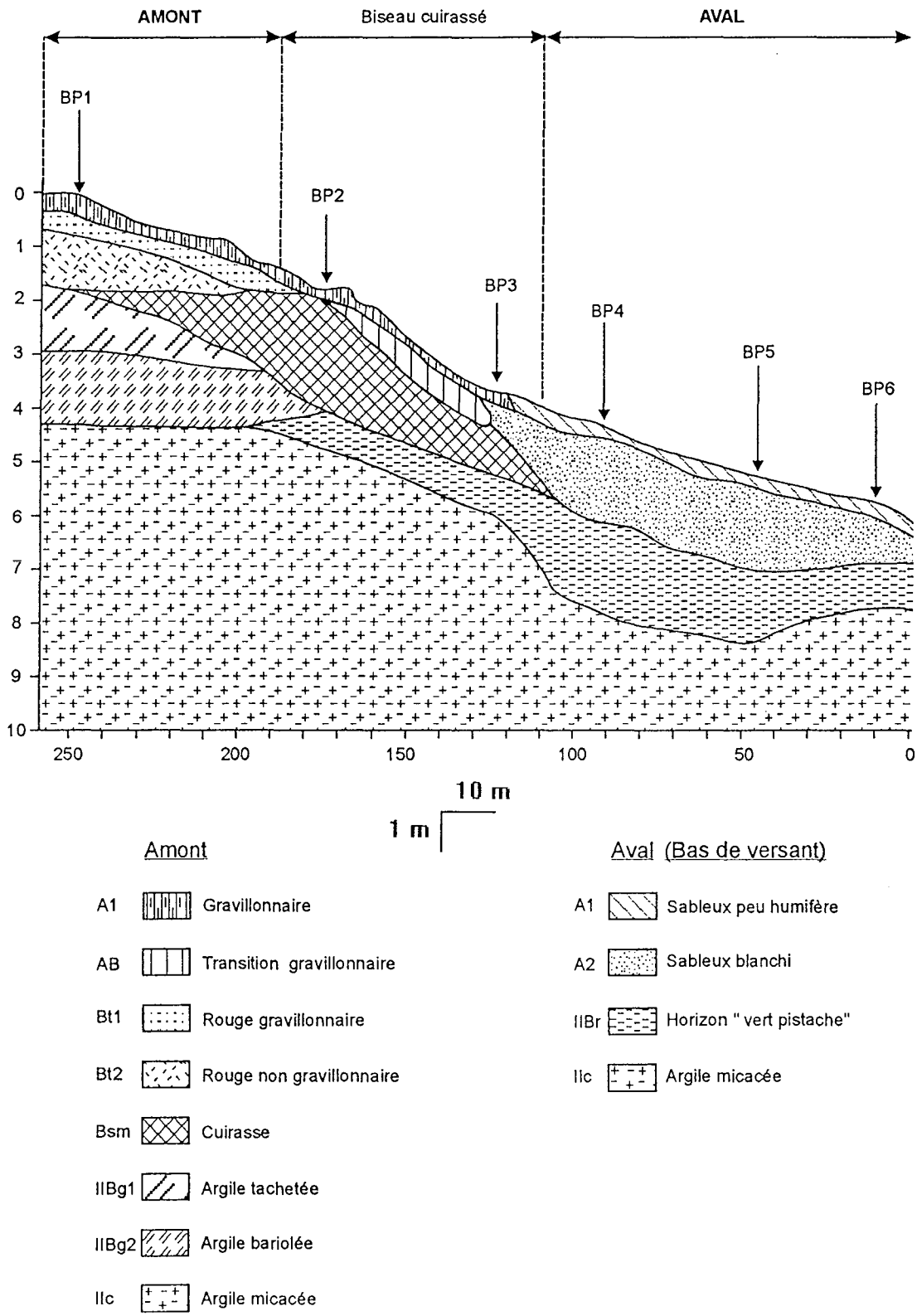
Bg1 Alluvial allochtone

Bg2 Horizon autochtone

IIBr Horizon " vert pistache"

IIc Argile micacée

Figure II - 6 : Organisation toposéquentielle des matériaux pédologiques - Site B



- (295-480 cm) un horizon **IIBg2** limono-argileux ou horizon bariolé (couleur blanchâtre dominante avec des passées rougeâtres) montre des pores tubulaires millimétriques à centimétriques remplis de terre fine rougeâtre ou blanchâtre. Les micas (biotite et muscovite) sont visibles à l'oeil nu. Par endroit, et surtout à la base de l'horizon, on retrouve la foliation du granito-gneiss.

- (480-585 cm) un horizon **IIC** limono-argileux, grisâtre, constitué par une arène micacée provenant de l'altération de la roche mère. Il montre de nombreuses taches blanchâtres, rougeâtres et jaune-rougeâtre. La foliation de la roche mère est bien visible. Le toucher est onctueux ou talqueux caractéristique de la présence de limons. Micas et feldspaths sont visibles à l'oeil nu. Par endroit on observe une grande abondance de minéraux ferromagnésiens caractéristiques d'une roche hétérogène.

*2.1.2 TRAITS MICRO-MORPHOLOGIQUES*

Des lames minces ont été taillées dans des échantillons de sol non perturbés prélevés dans les horizons **Bt2, IIBg1 et IIC**. Le tableau II-1 présente les résultats obtenus. On observe que :

- l'horizon **Bt2** est un milieu complètement altéré et argilisé. Il est caractérisé par un assemblage porphyrosquelique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué essentiellement de quartz, de nodules ferrugineux, manganésifères et hématitiques. On relève la présence de biotite ferruginisée, séquestrée dans les nodules ferrugineux. Les argilanes et les ferranes sont présentes à l'intérieur des vides et autour des nodules ferrugineux et des gros cristaux de quartz imprégnés de fer.

- l'horizon **IIBg1** est un milieu où l'altération est incomplète car on y trouve encore, mais en très faible quantité des reliquats de minéraux primaires altérables (feldspaths et biotite). L'assemblage est porphyrosquelique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz, de nodules ferrugineux et de feldspaths en petits cristaux ou parfois gros cristaux très altérés. Les pores sont tapissés d'argilanes et de ferranes, d'autres sont colmatés par les argilanes. La biotite est ferruginisée avec des bords peu nets. On note la présence de nodules ferrugineux fracturés avec des argilanes dans les fractures.

| Niveaux | Assemblage | Plasma | Squelette | Minéraux présents | Traits pédologiques |
|---|---|---|---|---|---|
| 175-85 cm rouge **Bt** | porphyrosquelique | argilasépique | quartz, nodules ferrugineux | quartz, felds-path, goethite | argilanes et ferranes, nodules ferrugineux, |
| 585-540 cm = bariolée, contact avec arène micacée **IIC** | agglomeroplasmique | argilasépique | quartz, feldspath, micas nodules ferrugineux | Quartz,, feldspath, micas, goethite | argilanes, ferranes, |
| 295-175 cm horizon tacheté **IIBg2** | porphyrosquelique | argilasépique | quartz, nodules ferrugineux | Quartz, feldspath, goethite | argilanes, ferranes, nodules, papules |

Tableau II-1 Principaux caractères micromorphologiques des sols rouges de haut de versant

- l'horizon **IIC**. C'est un milieu en cours d'altération où les minéraux altérables sont facilement reconnaissables. Au microscope, le matériau est caractérisé par un assemblage agglomeroplasmique

à plasma argilasépique et silasépique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspaths, de biotite et de quelques rares nodules ferrugineux. L'altération des feldspaths donne un plasma floconneux à aspect limoneux mélangé à de très petits cristaux. On note des dépôts d'argilanes entre les fractures des feldspaths en cours d'altération. Les pores sont tapissés d'argilanes et de ferranes. La biotite est en cours d'altération. Elle a ainsi perdu son pléochroïsme en lumière naturelle. Elle est le plus souvent imprégnée d'oxydes de fer lui donnant un aspect diffus. La forme allongée et écartelée en accordéon des feuillets semble indiquer un déplacement dans la masse du matériau.

*2.1.3 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES*

La figure II-7 présente les résultats de certaines analyses concernant le profil BP1. On trouvera en annexe les résultats d'analyses physico-chimiques des trois profils représentant les sols rouges.

**Le pH** est moyennement acide. Il varie entre 5.4 et 6.4 dans les horizons A et AB. Il est d'environ 5.9 dans les horizons Bt. Dans les horizons IIBg1, IIBg2 et II C, il varie entre 5.9 et 6.2. Le pH KCl est systématiquement inférieur au pH (eau). La différence entre les deux pH varie entre 0.6 et 1.6 unité pH.

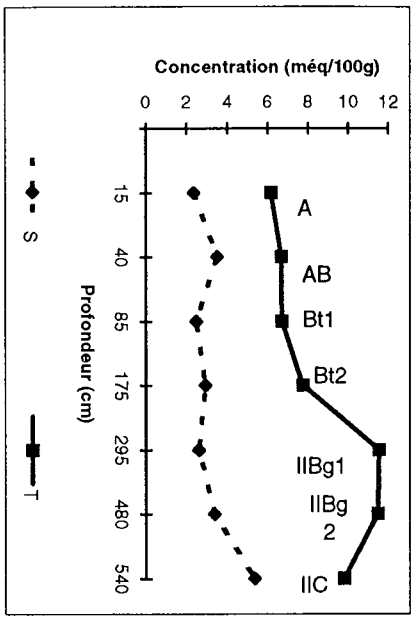
**La teneur en carbone organique** varie entre 0.84 et 0.68 % dans les horizons A et AB. L'azote total est très faible. En effet le rapport C/N est très élevé (28 en surface et 23 dans le deuxième horizon). Cet aspect confirme les résultats des études menées sur les sols du CPR de l'ADRAO montrant que ceux-ci sont carencés en azote.

Les graphiques de la figure II-7 montrent que:

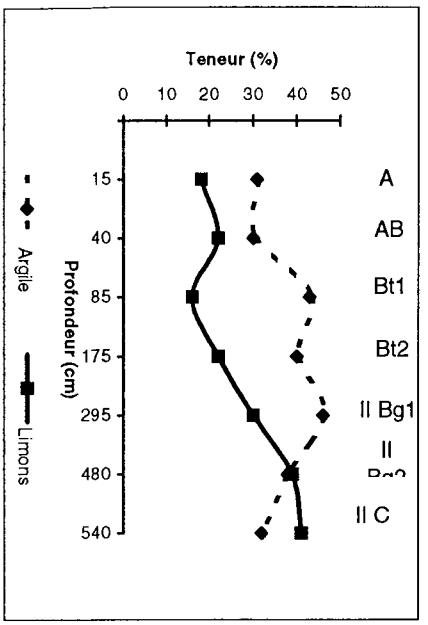
- **les teneurs en argile** varient avec la profondeur montrant une augmentation dans les horizons Bt1, Bt2 et IIBg1. Elles diminuent à partir de IIBg2. Les taux des limons sont faibles dans les horizons de surface (A, AB, Bt1 et Bt2). Ils augmentent à partir de l'horizon IIBg1 jusqu'à l'horizon IIC. Cela est bien corrélé avec le toucher talqueux observé surtout dans l'horizon IIC.

- **la somme des bases échangeables** (notée S sur les graphiques) varie entre 2.3.et 3.50 méq/100 dans les horizons A1, AB et Bt1, puis augmente dans les horizons sous-jacents. La **CEC** du sol (notée T sur les graphiques) augmente également en profondeur à partir de l'horizon IIBg1. Elle passe d'abord de 6.2 à 7.8 méq/100 g dans l'horizon A jusqu'à l'horizon Bt2 et devient maximum dans l'horizon IIBg2 où elle atteint 11.6 meq/100. Parmi les cations échangeables, le magnésium augmente en profondeur ; cela confirme bien l'importance des minéraux ferromagnésiens contenus dans la roche mère. Le potassium échangeable a une teneur légèrement plus élevée dans l'arène micacée. Cela peut être dû à l'altération des micas et des feldspaths qui libèrent ainsi une partie du potassium contenu dans leur réseau cristallin.

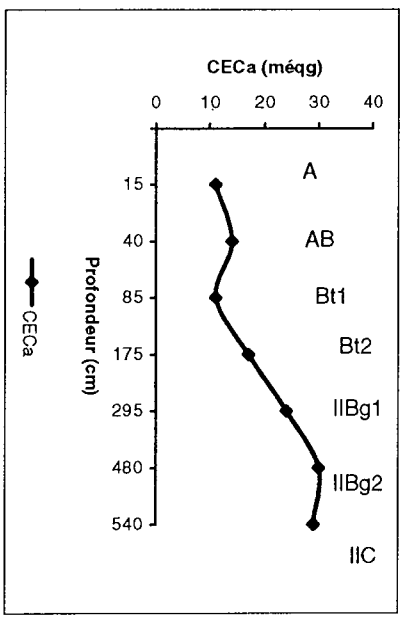
- **la capacité d'échange cationique rapportée à 100 g d'argile, CECa**, augmente avec la profondeur. Elle varie en effet entre 11 et 17 méq/100 dans les horizons A et AB, $Bt_1$ et $Bt_2$, typiques de milieux kaoliniques stricts, puis de 24 à 30 méq/100 dans les horizons $IIBg_1$ et $IIBg_2$ et IIC, typiques de milieux smectitiques ou partiellement smectitiques. La différence de la CECa des argiles entre IIBg1 (24 méq/100) et IIBg2 (30 méq/100) est sans doute due à une kaolinisation plus poussée de l'horizon IIBg1.




Somme des bases échangeables (S) et capacité d'échange cationique (T)




Analyses granulométriques




Capacité d'échange cationique de la fraction argileuse des horizons

Figure. II-7 : Analyses physico-chimiques du profil type (BP1) des sols rouges.

*2.1.4. MINERALOGIE DES ARGILES DES SOLS*

Le tableau II-2 ainsi que les diagrammes diffractomètriques (fig. II-8) montrent les résultats des analyses minéralogiques des différents horizons.

- l'horizon **IIC** (arène micacée), est caractérisé principalement par la présence de smectite, de kaolinite.

- les horizons **IIBg1 et IIBg2** (tacheté et bariolé), sont marqués par la présence principalement de kaolinite et de goethite

- les horizons **AB, Bt1 et Bt2** montrent la kaolinite et la goethite.

| Horizons | A1 | AB | Bt1 | Bt2 | IIBg1 | IIBg2 | IIC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kaolinite | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ | ++++ |
| goethite | + | + | + | + | + | + | |
| smectite | | | | | | | ++++ |

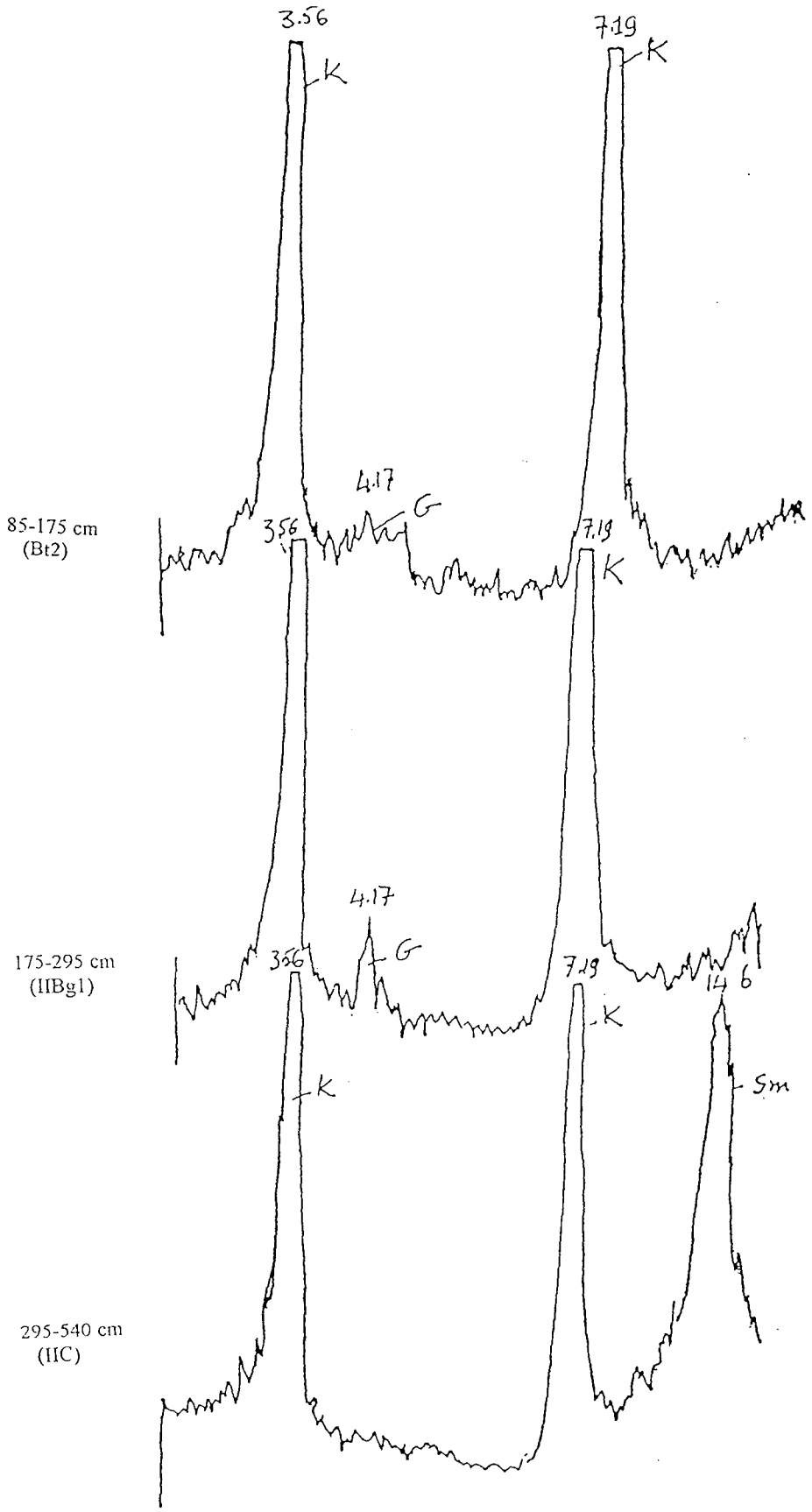
Tableau II-2 Composition minéralogique des argiles des horizons du profil BP1.
(++++ = abondant; +++ = moyennement abondant; ++ = peu abondant; + = très peu abondant)

*2.1.5 SYNTHESE*

Les études morphologiques, micromorphologiques, les analyses physico-chimiques et minéralogiques des échantillons des sols rouges font ressortir trois types d'horizons bien distincts:

- des horizons de surface et subsuperficiels **pédoturbés** et **kaoliniques** et où il est impossible de reconnaître ni la structure, ni les minéraux altérables de la roche mère. Il s'agit du sol au sens strict du terme. Ce matériau est représenté par les horizons, A, AB, $Bt_1$ et $Bt_2$. **La pédoplasmation** est totale dans ces horizons A, AB et Bt1. Elle est encore partielle dans Bt2. En effet cet horizon contient encore quelques reliques de biotite séquestrées dans des nodules ferrugineux. La teneur en limons y est faible. Les résultats de la CECa des argiles (11 à 17 méq/100 g d'argile) indiquent que ce matériau appartient à la catégorie des "low activity clays"(Sensu USDA Soil Survey Staff 1975). La diffraction X des fractions argileuses confirme que le minéral argileux largement dominant est en effet la kaolinite.

- des horizons **non pédoturbés et kaoliniques** où l'on peut encore reconnaître plus ou moins aisément, la structure ainsi que les constituants minéraux de la roche mère (horizons $IIBg_1$, $IIBg_2$). Ils sont incomplètement altérés et pédoplasmés car ils contiennent encore des minéraux altérables comme les feldspaths et la biotite. De même, l'augmentation des teneurs en limons est une preuve de cette altération et de cette pédoplasmation incomplètes. L'horizon IIBg1 semble plus pédoplasmé que IIBg2. Les teneurs en limons sont en effet moins élevées dans cet horizon. Cette altéroplasmation s'accompagne d'une kaolinisation. La CECa élevée peut être expliquée par le fait qu'une partie de celle-ci est due à la présence de minéraux 2:1 dans les limons. En attendant donc de clarifier ce point, ces horizons non pédoturbés peuvent être considérés comme **des horizons non pédoturbés et quasi kaoliniques.**




K = kaolinite - G= goethite - Sm = smectite

Figure II-8: Diffractogrammes des argiles du profil BP1

- un horizon IIC **non pédoturbé et smectitique** (l'arène micacée). **L'altéroplasmation** y est dominante quoique encore très partielle comme le montrent les examens micromorphologiques. L'augmentation des limons observée dans ce milieu et confirmée par le toucher onctueux ou talqueux, indique bien que celui-ci est en cours d'altération. Les argiles de ce matériau ont une capacité d'échange élevée comparable à celle des minéraux argileux 2:1; l'analyse minéralogique confirme l'abondance de smectite mais aussi la présence de kaolinite : on se trouve encore à la partie supérieure de la lithomarge.

## 2.2 SOLS INDURES DU "BISEAU CUIRASSE"

Les profils AP3, AP2bis, BP2 et BP3, sont situés sur le "biseau cuirassé" ou en aval de celui ci. Certains sont indurés (AP2bis, BP2), d'autres en cours d'induration (AP3, BP3). Le profil BP2 servira de profil de référence.

### *2.2.1 CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES*

Ces sols se distinguent par:

- (0-30 cm) un horizon **A1**, brun foncé, légèrement humifère, limono-sableux à sables grossiers, comporte des fissures verticales et obliques. Les nombreux gravillons ferrugineux de forme arrondie et anguleuse semblent provenir du démantèlement de la carapace indurée.

- (30-230 cm) un horizon **Bsm** rouge, induré, pétroplinthitique, limono-sableux présente de nombreuses taches brun-rougeâtre et gris clair. Les pores tubulaires dont les parois sont couverts d'une pellicule de terre rouge et gris-blanchâtre sont parfois partiellement remplis par ces mêmes matériaux. Ces pores larges constituent des voies importantes de circulation de l'eau de pluie infiltrée. Par endroit l'horizon présente des zones reliques de la roche mère.

- (230-290 cm) un horizon **IIBr** gris verdâtre, argileux à limono-argileux. Il montre de nombreux grains de quartz imprégnés de fer, translucides ainsi que des feldspaths blancs laiteux. C'est un horizon compact mais présentant par endroit une porosité nette. Il possède les caractéristiques de "l'horizon vert pistache" s.s. (que nous décrirons plus loin) et repose sur l'arène micacée.

- (290-450 cm) un horizon **IIC1** de couleur gris blanc avec des taches rougeâtres et vert olive. Cette arène micacée, limoneuse présente de nombreux grains de quartz translucides, de feldspaths blancs laiteux et de nombreuses paillettes de micas; des filons de quartz traversent l'horizon. Entre 450 et 480 cm le nombre de filons de quartz est plus important, ce qui a amené à distinguer un horizon IIC2.

### *2.2.2 TRAITS MICRO-MORPHOLOGIQUES*

Des lames minces ont été taillées dans des échantillons de sol non perturbés et prélevés dans les horizons Bsm, IIBr, IIC, et dans une altéro-relique du profil AP3. L'analyse au microscope polarisant de ces lames minces indique que (tableau II-3):

- dans l'horizon Bsm, l'assemblage est porphyrosquelique à plasma fer-argilasépique. Le squelette est essentiellement constitué de quartz, de nodules ferrugineux et de quelques rares cristaux de feldspath. Ces feldspaths, fortement altérés, sont les minéraux primaires altérables encore présents dans l'horizon. Ils sont la preuve de la présence de litho-reliques dans cet horizon. Les nodules ferrugineux contiennent généralement de petits grains de quartz noyés dans un ciment ferrugineux. Les grains de quartz libres sont imprégnés de fer avec de fortes concentrations dans les fractures. On

note la présence de pores tubulaires et fins tapissés de ferranes et d'argilanes. Les traits pédologiques sont essentiellement constitués de nodules ferrugineux et de ferri-argilanes.

| Niveaux | Assemblage | Plasma | Squelette | Minéraux présents | Traits pédologiques |
|---|---|---|---|---|---|
| 160-70 cm carapace en cours d'induration **Bsm (BP3)** | porphyrosquelique | argilasépique | quartz, nodules ferrugineux | quartz, feldspath, goethite | argilanes et ferranes, nodules ferrugineux ferri-argilanes |
| 160-30 cm horizon induré **Bsm (BP2)** | porphyrosquelique | argilasépique | nodules ferrugineux, quartz | quartz, feldspath | ferri-argilanes, ferranes nodules ferrugineux |
| 400-290 cm arène micacée **IIC (BP2)** | agglomeroplasmique | argilasépique | quartz, feldsdpaths, micas, nodules ferrugineux | quartz, feldspaths, micas | ferri-argilanes, nodules ferrugineux, argilanes |

Tableau II-3 : Principaux caractères micromorphologiques des sols indurés du "biseau cuirassé". Profil **BP2 et BP3**

- dans l'horizon carapacé (Bsm profil BP3) en cours d'induration, l'assemblage est porphyrosquelique à plasma ferargilasépique. Le squelette est constitué de quartz, de nodules ferrugineux et de feldspaths très altérés emballés dans les nodules ferrugineux, ce qui a probablement ralenti leur altération. C'est encore là une preuve de l'existence d'altéro-reliques dans ces sols. Les traits pédologiques sont constitués d'argilanes et de ferranes bien distincts. Les sols indurés du "biseau cuirassé" sont donc caractérisés par l'altération incomplète des minéraux primaires.

La lame mince taillée sur ce qui a été identifié sur le terrain comme une altéro-relique à structure de la roche mère conservée révèle de nombreux feldspaths fortement altérés dans un assemblage intertexique à plasma argilasépique discontinu. Les traits pédologiques sont représentés par les argilanes et des nodules manganésifères.

- "l'horizon vert pistache" (IIBr) présente un assemblage porphyrosquelique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz et de feldspaths plus quelques paillettes de micas. Le quartz est imprégné d'oxydes de fer. Il montre des concentrations de fer dans les fractures résultant de leur altération. Les traits pédologiques sont marqués par les argilanes, les ferranes et les nodules ferrugineux.

- l'arène micacée, (horizon IIC) présente un assemblage agglomeroplasmique à plasma argilasépique et silasépique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspaths, de biotite et de très rares nodules ferrugineux. Les feldspaths montrent dans leurs fractures des argilanes brun jaunâtres provenant certainement de l'altération de la biotite. Le plasma semble être constitué par les produits d'altération des micas et des feldspaths. Les traits pédologiques sont principalement les argilanes et ferranes ainsi que les nodules ferrugineux.

*2.2.3 CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES*

Certains résultats des analyses physico-chimiques du profil de référence sont présentés sur la figure II-9.

Les sols indurés du "biseau cuirassé" sont moyennement acides. En effet le **pH eau** varie entre 5.6 et 6.4. **Le pH KCl** est systématiquement inférieur au pH (eau). La différence entre les deux pH varie entre 0.6 et 2.0 unité pH.

- **le carbone organique et l'azote total** ont une teneur faible. Le rapport C/N est élevé (14).

- On observe une augmentation des teneurs en **argile** en profondeur. Elles passent de 14 % dans l'horizon A à 16 dans Bsm puis 40 % dans l'horizon IIBr[1]. Les teneurs diminuent ensuite dans l'arène micacée. **Les limons** augmentent brutalement à partir de l'horizon IIC. C'est le résultat de la fragmentation et de l'altération des minéraux altérables (en particulier les feldspaths plagioclases) de la roche mère.

- **les bases échangeables et la capacité d'échange cationique** (notées S et T sur les graphiques) augmentent en profondeur. Cette augmentation est brutale à partir de l'horizon IIBr. La **CECa** des argiles suit la même évolution. Les CECa de IIBr et IIC permettent de diagnostiquer l'abondance de smectite. Pour le Bsm, la CECa indique une même tendance mais les difficultés inhérentes à l'analyse d'un matériau plus ou moins cimenté ne permettent que des hypothèses. On observe une différenciation nette entre les horizons de surface (A et Bsm), et les horizons de profondeur (IIBr et IIC). Les limons et les argiles minéralogiques (smectite) des horizons profonds sont probablement à la base de cette différenciation.

*2.2.4 MINERALOGIE DES ARGILES DES SOLS*

Les résultats d'analyse aux rayons x sont présentés dans le tableau II-4 qui montre que :

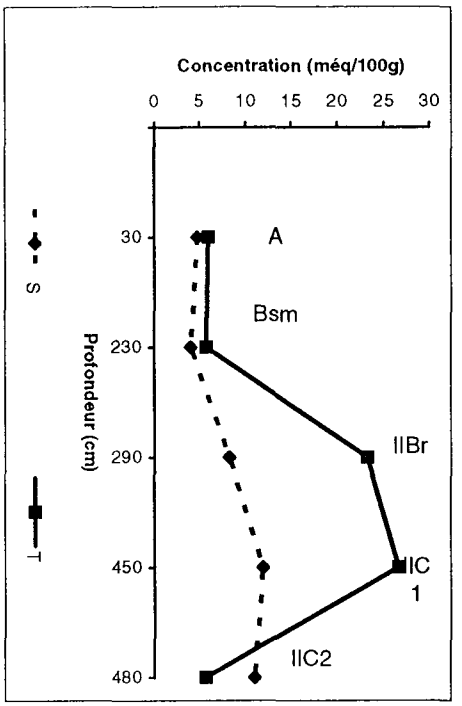
- les horizons A et Bsm contiennent essentiellement de la kaolinite, du quartz et un peu de goethite et d'illite. Ce sont des horizons **quasi kaoliniques.**

- les horizons IIBr, IIC1 et IIC2 contiennent de la smectite, de la kaolinite et du quartz. Ils sont nettement **smectitiques.**

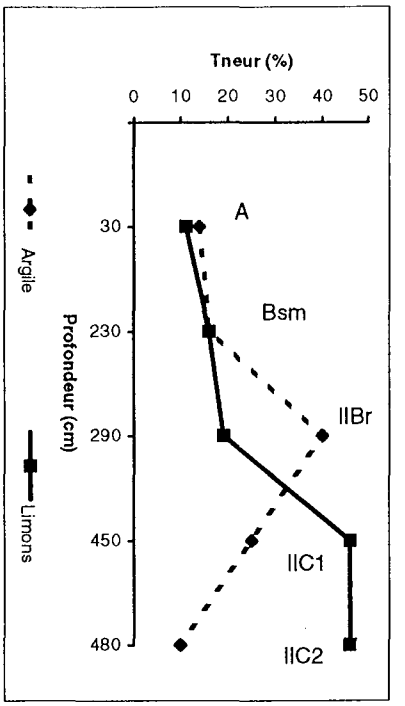
| Horizons | **A1** | **Bsm** | **IIBr** | **IIC1** | **IIC2** |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaolinite | + + + | + + + + | + + + | ++ | + + |
| Goethite | + | + | | | |
| Illite | + | | | | |
| Smectite | | | + + + + | + + + + | + + + + |

Tableau II-4 : Composition minéralogique des argiles des horizons du profil BP2.
(++++ = abondant; +++ = moyennement abondant; ++ = peu abondant; + = très peu abondant)

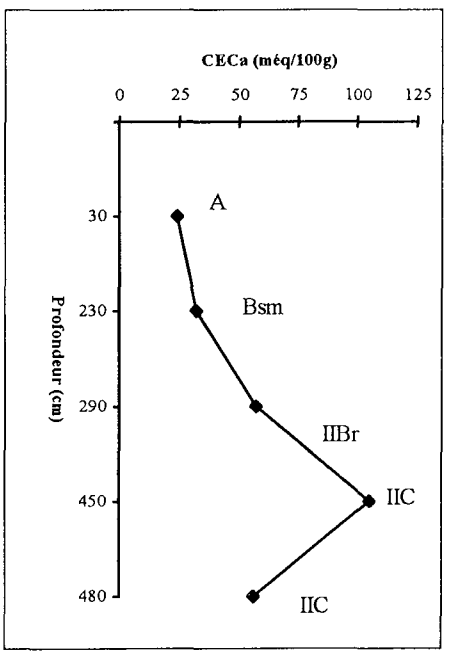
[1] La granulométrie de l'horizon Bsm plus ou moins induré a été effectuée après broyage classique des échantillons prélevés. Bsm est une carapace. Les résultats obtenus paraissent corrects et semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle Bsm serait un milieu de circulation intense des eaux de pluies et par conséquent de lessivage des argiles qui se déposeraient dans l'horizon sous-jacent (II Br).




Somme des bases écchangeables (S) et capacité d'échange cationique (T)




Analyses granulométriques




Capacité d'échange cationique de la fraction argileise.

Figure. II-9 : Analyses physico-chimiques du profil type des sols indurés du "biseau cuirassé"

*2.2.5 SYNTHESE*

Les sols indurés du "biseau cuirassé" présentent trois groupes d'horizons bien distincts :

- un horizon **kaolinique et non pédoturbé à altération partielle** (Bsm), caractérisé par un assemblage porphyrosquelique à plasma fer-argilasépique. Le squelette est constitué de quartz, de nodules ferrugineux et de feldspaths reliques séquestrés dans les nodules ferrugineux. Ces horizons ont des teneurs faibles en argile et en limons. La somme des bases échangeables, la CEC du sol sont faibles. L'analyse minéralogique confirme bien que ces horizons sont quasiment Kaoliniques.

- un horizon **smectitique, pédoturbé** et partiellement **pédoplasmé** (IIBr) à assemblage porphyrosquelique et à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz et de feldspaths. Il contient à sa base de la biotite en cours d'altération.

- un horizon **smectitique, non pédoturbé et incomplètement pédoplasmé** (IIC). Au microscope, cette arène micacée présente un assemblage agglomeroplasmique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspaths, de nodules ferrugineux et de micas. Dans cet horizon, la somme des bases échangeables est élevée. L'analyse minéralogique confirme l'abondance de smectite indiquée par les fortes valeurs de CEC et CECa.

## 2.3 SOLS GRIS

Les sols hydromorphes situés dans le bas versant des toposéquences sont représentés par les profils AP4, AP6, BP4, BP5 et BP6. Le profil de référence est BP4 .

*2.3.1 CARACTERES MORPHOLOGIQUES DES SOLS GRIS*

Les sols gris se distinguent par:

- (0-25 cm) un horizon **A1** gris, peu humifère, sans taches, sableux. à sable grossier; en aval en bordure du bas-fond ils sont limoneux à sables fins.
- -(25-140 cm) un horizon **A21** gris, sablo-limoneux à sables grossiers, boulant, quelques petites taches rougeâtres, allongées.
- (140-165 cm) un horizon **A22** blanc, humide ou mouillé, boulant, limono sableux à sables grossiers, délavés sans taches. C'est la zone de circulation de la nappe phréatique. Il passe brutalement à :
- (165-300 cm) un horizon **IIBr** gris clair à vert olive, argilo-limoneux, compact à porosité faible. Il contient de nombreux grains de quartz limpides et translucides et de feldspaths blancs laiteux. Quelques paillettes de biotite sont visibles à la base de l'horizon. C'est "l'horizon vert pistache" caractéristique,
- (300-330 cm) un horizon **IIC** arénacé limono-argileux à limono-argilo-sableux. Nombreuses taches rougeâtres, blanchâtres et vert olive. Des filons de quartz traversent obliquement et parfois verticalement l'horizon. De nombreux grains de quartz, de feldspaths et de micas (biotite et muscovite) plus ou moins altérés sont visibles à l'oeil nu.

*2.3.2 TRAITS MICRO-MORPHOLOGIQUES*

Dans les sols gris de bas versant , nous distinguons (tableau II-5) :

- un horizon A2 lessivé à assemblage granulaire sans plasma. Le squelette est essentiellement constitué de grains de quartz. Quelques grains de feldspaths plagioclases en petits cristaux propres sans enveloppe argileuse sont visibles, certains sont en cours d'altération.

- un "horizon vert pistache" (IIBr) à assemblage porphyrosquelique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz et de feldspaths. On y trouve des feldspaths (en cours d'altération) et de la biotite comme minéraux primaires altérables. Le quartz est imprégné d'oxydes de fer. Il montre des concentrations de fer dans les fractures résultant de leur altération. On note la présence d'argilanes, de ferranes et de nodules ferrugineux.

**Sol gris BP4**

| Niveaux | Assemblage | Plasma | Squelette | Minéraux présents | Traits pédologiques |
|---|---|---|---|---|---|
| 130-175 cm zone circulation de la nappe **A22** | granulaire | pas de plasma horizon lessivé | quartz, feldspaths, nodules ferrugineux | quartz, feldpaths | ferranes agglomérant quelques grains de quartz |
| 185-340 cm "pistache" **IIBr** | porphyro-squelique | argilasépique | quartz, feldspaths | quartz, felds-paths, biotite | argilanes |

**Sols gris BP6**

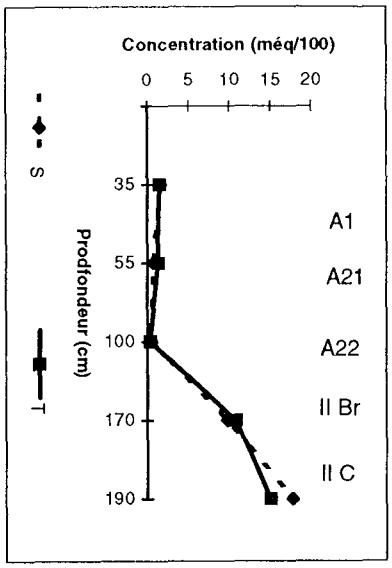
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 110-175 cm "pistache" **IIBr** | porphyro-squelique | argilasépique | quartz, feldspaths, | quartz, feldspath, biotite | argilanes, |

Tableau II-5 : Principaux caractères micromorphologiques des sols indurés du "biseau cuirassé". Profils **BP4** et **BP6.**

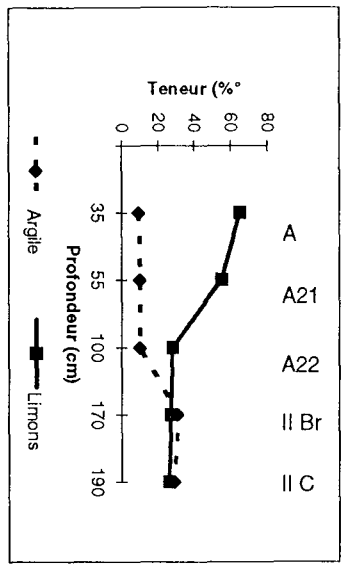
*2.3 3 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES*

Les sols gris sont caractérisés par :

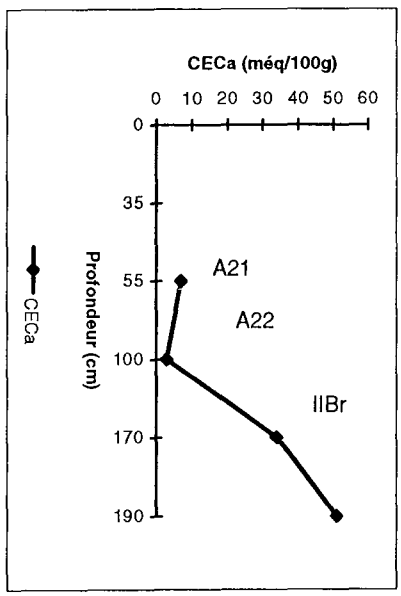
- **un pH** (eau) acide dans les horizons A1, A21 et A22. Il varie entre 5.5 et 5.9. En profondeur, dans les horizons II Br et II C, il est plus élevé et varie entre 6.3 et 6.4.
- un taux **d'argile** très faible de l'ordre de 10 % dans l'horizon A2. Ce taux passe brutalement à 30 % dans "l'horizon vert pistache" II Br (fig. II-10). Le profil BP6, situé en bordure du bas-fond, est un cas un peu particulier que l'on retrouve aussi dans les sols colluvio-alluviaux. Les **limons** y passent de 65 % en surface (horizons A1, A21) à environ 30 % en profondeur. Ces taux de limons sont à relier à des dépôts vers le marigot d'éléments fins.
- la densité apparente mesurée dans la zone médiane et dans la zone aval augmente brutalement dans l'horizon IIBr (fig. II-11 pour le site A et II-12 pour le site B). Elle passe de 1.6 dans la zone sableuse (A2) à 1.8, 1.9 dans "l'horizon vert pistache " (IIBr). Au niveau de l'arène micacée (IIC) dans le site A la densité apparente diminue en passant à 1.6, 1.7 (fig. II-11).
- des teneurs en **carbone organique** et en **azote** total très faibles. Ce sont les sols les plus pauvres en matière organique.
- une **somme des bases échangeables** et une **CEC** très basses pratiquement nulles dans les horizons lessivés A2. Les deux paramètres augmentent brutalement dans l'horizon "vert pistache" (IIBr) et l'arène micacée (II C) où ils atteignent 10 et 18 méq/100g pour la somme des bases échangeables, 11 et 15 méq/100g pour la CEC. Le **calcium** et le **magnésium** échangeables augmentent dans l'horizon IIC où ils passent respectivement à 8 et 9 méq/100g. Dans l'horizon II Br ils atteignent chacun 5 méq/100g. Le sodium et le potassium restent faibles dans les deux horizons.




Somme des bases échangeables (S) et capacité d'échange cationique (T).




Analyses granulométriques




Capacité d'échange cationique de la fraction argileuse des horizons

Figure. II-10 : Analyses physico-chimiques du profil type (BP6) des sols gris de bas de versant.

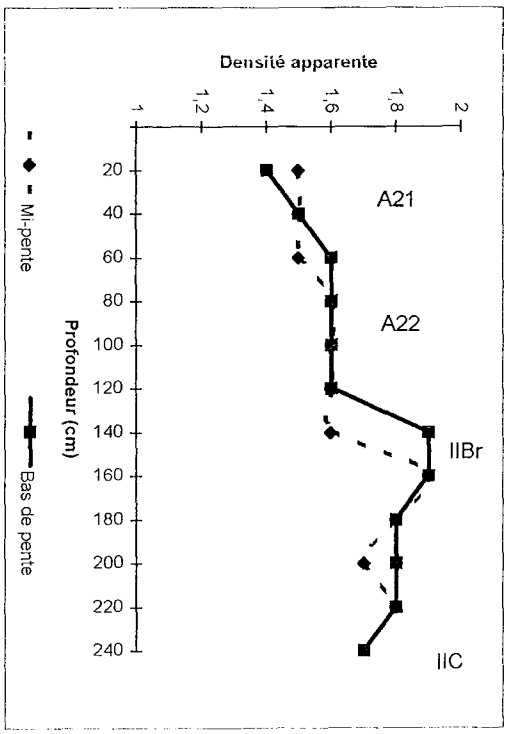



Figure II-11 : Densité apparente des matériaux à différentes positions le long de la toposéquence. Site A

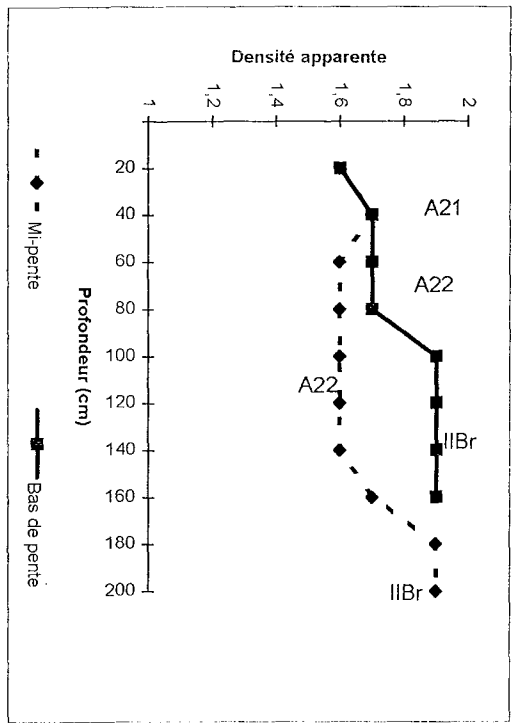



Figure II-12 : Densité apparente des matériaux à différentes positions le long de la toposéquence. Site B

- une **CECa** des argiles très basse (entre 3 et 7 méq/100) dans les horizons lessivés (A1, A21 et A22) et élevée (34 et 51 méq/100) dans les horizons IIBr et IIC. Cette différence est due à la nature des argiles contenues dans ces horizons.

*2.3.4 MINERALOGIE DES ARGILES DES SOLS*

En effet le tableau II-6 qui présente les résultats de l'analyse aux rayons X montre que :

- les horizons de surface A1 et A2 (lessivés des sols gris), contiennent uniquement de la kaolinite et du quartz.

- les horizons IIBr ("horizon vert pistache") sont caractérisés principalement par l'abondance de smectite, associée à de la kaolinite. L'horizon IIC (arène micacée) est strictement smectitique dans le profil BP6 mais contient aussi de la kaolinite dans le profil BP4.

Profil **BP4**

| Horizons | **A1** | **A21** | **A22** | **IIBr** | **IIC1** | **IIC2** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| kaolinite | + + + | + + + + | + + + + | + + + | + + + + | + + + |
| quartz | + | + | + | + | + | |
| goethite | | + | + | | + | |
| smectite | | | | + + + + | + + + + | + + + + |

Profil **BP6**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| kaolinite | + + | + + + + | + + + + | + + + + | | |
| quartz | + | + + + | + + + | | | |
| smectite | | | | + + + + | + + + + | + + + |

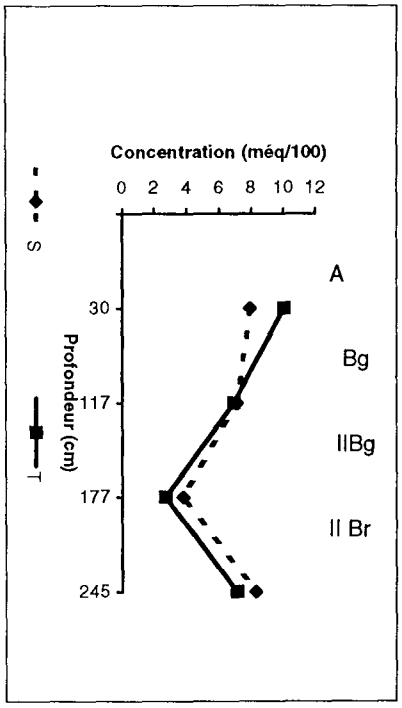
Tableau II-6 : Composition minéralogique des argiles des horizons du profil BP4 et BP6..

(++++ = abondant; +++ = moyennement abondant; ++ = peu abondant; + = très peu abondant)

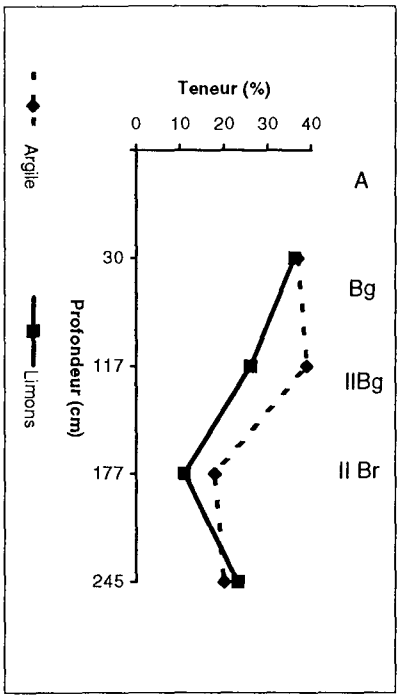
*2.3.5 SYNTHESE*

Dans ces sols gris nous distinguerons aussi trois types d'horizons :

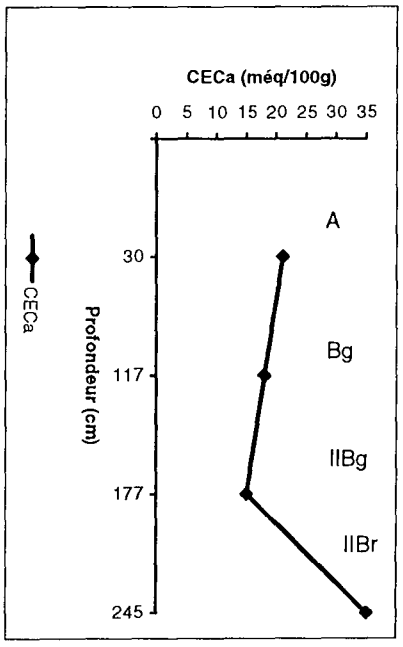
- un ensemble d'horizons **kaoliniques pédoturbés** sableux quoique encore non totalement **altéroplasmé.** (A1, A2). C'est un milieu où le taux d'argile, la somme des bases échangeables, la CEC du sol et celle des argiles sont très faibles. Ils ont un assemblage granulaire sans plasma. Ce sont des horizons appauvris, où l'on trouve encore des minéraux altérables comme les feldspaths dont la présence pourrait être une preuve que ces horizons se seraient développés sur place au dépens des horizons IIBg et Bsm des sols rouges et indurés. Ils ne sont donc pas colluvionnés comme certains le pensent. Dans le profil BP4 on observe des gravillons hérissés de grains de quartz (Boa 1989) dans l'horizon lessivé A2 et dont l'origine serait liée à la cimentation des grains de quartz par les oxydes ou hydroxydes de fer; ce profil BP4 se situe en effet juste en aval du "biseau cuirassé".




Somme des bases échangeables (S) et capacité d'échange cationique (T)

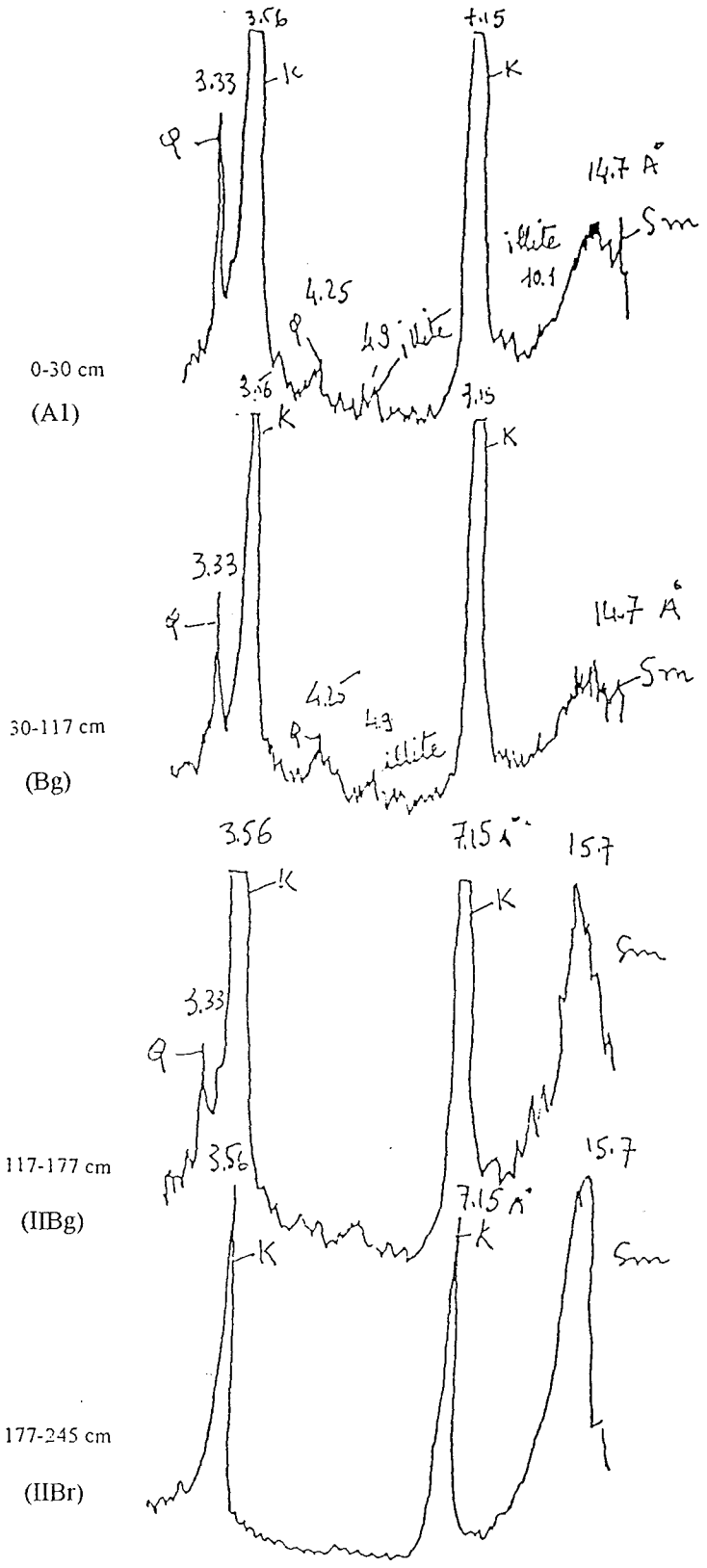



Analyses granulométriques




Capacité d'échange cationique de la fraction argileuse (CECa)

Figure. II-13 : Analyses physico-chimiques du profil type (AP7) des sols colluvio-alluviaux du bas-fond.




K = kaolinite - Q = quartz - Sm = smectite

Figure II-14 : Diffractogrammes des argiles du profil AP7

- un horizon IIBr **pédoturbé, smectitique, argileux** et **partiellement altéroplasmé,** dans lequel les bases échangeables, la CEC du sol et des argiles sont élevés. La présence de minéraux altérables (feldspaths) en quantité notable montre que l'altéroplasmation n'est pas encore totale. Il montre un assemblage porphyrosquelique à plasma argilasépique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspaths et parfois de nodules ferrugineux. La présence d'argilane confirme qu'il y a accumulation d'argile ou réorganisation du fait des contraintes provoquées par les phénomènes de rétraction et de gonflement.

- un horizon IIC **non pédoturbé, smectitique** et **incomplètement altéroplasmé**. C'est l'arène granitique encore très riche en minéraux altérables et peu pédoplasmée. Il montre un assemblage agglomeroplasmique à plasma argilasépique et silasépique. Le squelette est constitué de quartz, de feldspaths, de micas et de quelques nodules ferrugineux.

Du point de vue altération, on relève une différenciation très nette entre les horizons superficiels sableux (A1 et A2) kaoliniques, fortement appauvris et les horizons profonds IIBr et IIC argileux et smectitiques. Le contact planique entre ces deux milieux pose le problème de l'origine des horizons superficiels : soit par colluvionnement (c'est l'hypothèse allochtoniste souvent émise par les pédologues cartographes qui ont travaillé dans ces régions), soit par appauvrissement d'horizons quasi-ferrallitiques sans transport notable (c'est l'hypothèse autochtoniste).

## 2.4 SOLS DU BAS-FOND

Ils sont localisés dans le bas-fond proprement dit. Ce sont des sols inondés une bonne partie de l'année. Ils sont généralement constitués de matériaux d'apports colluviaux et alluviaux. Ils sont représentés par le profil AP7.

### *2.4.1. CARACTERES MORPHOLOGIQUES*

Morphologiquement, ils se distinguent des sols gris par:

- (0-30 cm) un horizon **A1** humifère, gris foncé, limono-argileux à structure prismatique. Il contient de nombreuses taches rougeâtres allongées et millimétriques, de nombreuses fentes larges remplies de sables.

- (30-117 cm) un horizon **Bg** gris, légèrement humifère, limono-argileux à structure prismatique grossière présentant de nombreuses taches diffuses de couleur rouge jaunâtre à brun rougeâtre foncé. Il montre des grains de quartz et de feldspaths au sein d'une matrice argileuse.

- (117-177 cm) un horizon **IIBg** gris olive clair à vert olive, limono-sableux à sables grossiers. Il renferme de nombreuses taches diffuses et nombreux grains de quartz et de feldspaths. Des micas (biotite et muscovite) sont visibles à l'oeil nu à la base de l'horizon.

- (177-245 cm) un horizon **IIBr** vert olive, limono-sableux à limono-argilo-sableux à sables grossiers. Il présente de nombreux grains de quartz et de feldspaths On observe de nombreux paillettes de micas à la base de l'horizon. C'est 'l'horizon vert pistache".

- à l'aide de la tarière, l'horizon de l'arène micacée (**IIC**) a été atteint à plus de 245 cm. Il est caractérisé par une grande abondance de feldspaths, de micas associés à du quartz limpide. On ramène parfois des plages de terre blanchâtre à aspect siliceux et qui s'écrase aisément entre les doigts.

*2.4.2 CARACTERES PHYSICO-CHIMIQUES*

Les sols colluvio-alluviaux sont caractérisés par.:

- un **pH eau** variant entre 6.1 en surface et 7.3 en profondeur.
- un taux élevé en **argile** (fig. II-13) dans les horizons de surface et qui diminue en profondeur. Ce qui semble confirmer qu'il y a eu un dépôt colluvio-alluvial d'éléments fins dans le bas-fond.
- une diminution en profondeur des **bases échangeables** et de la **capacité d'échange cationique** en relation avec la texture. Par contre la **CECa des argiles** varie entre 21 méq/100 dans les horizons de surface et passe en profondeur dans l'horizon IIBr à 35 méq/100. Ces valeurs indiquent la présence de minéraux argileux de type 2/1 à travers tout le profil.

*2.4.3 MINERALOGIE DES ARGILES*

Dans les sols de bas-fond (AP7), on trouve de la smectite, du quartz, de la kaolinite et de l'illite à travers tout le profil. Cependant (tableau II-7) la smectite est peu abondante dans les horizons de surface. Elle devient très abondante dans l'horizon IIBr. De plus, les pic de la smectite (14.7 Å) des diagrammes des rayons X (fig. II-14) sont diffus dans les horizons de surface (A1, Bg1) alors qu'en profondeur, (IIBg2, IIBr) ils sont plus nets. La smectite des horizons de surface pourrait être héritée des matériaux alluvionnés et colluvionnés, alors qu'en profondeur elle s'est formée sur place par néoformation à partir de l'altération des minéraux de la roche mère comme les feldspaths et les micas.

| Horizons | | **A** | **Bg1** | **IIBg2** | **IIBr** |
|---|---|---|---|---|---|
| Kaolinite | | ++++ | ++++ | +++ | +++ |
| Smectite | | + | + | +++ | ++++ |
| quartz | | +++ | +++ | +++ | ++++ |
| illite | | + | ++ | +++ | ++++ |

Tableau II-7 : Composition minéralogique des argiles des horizons du profil AP7. (++++ = abondant; +++ = moyennement abondant; ++ = peu abondant; + = très peu abondant)

*2.4.4 SYNTHESE*

Les sols du bas-fond sont essentiellement caractérisés par :

- des horizons de surface A1, Bg1 **pédoturbés, altéroplasmés,** constitués de colluvions et d'alluvions. Ils contiennent encore des feldspaths. Ces feldspaths peuvent être allochtones (dépôt de colluvions latéraux ou d'alluvions) ou autochtones (provenant de la roche mère). Les valeurs de la CECa des argiles varient entre 18 et 21 méq/100g. Dans ce mélange d'argiles kaoliniques et smectitiques, ces dernières semblent partiellement dégradées et ont peut être perdu une partie de leur capacité d'échange cationique. C'est ce qui, avec la présence de kaolinite, pourrait expliquer la valeur des CECa (18 à 20 meq/100 g d'argile) un peu faible pour des matériaux smectitiques.

- des horizons de profondeur (IIBg2, IIBr) **pédoturbés, partiellement altéroplasmés et smectitiques**, provenant de l'altération de l'arène micacée. Les analyses minéralogiques confirment bien la présence de minéraux 2/1 diagnostiqués par la CECa des argiles (35 méq/100g). L'altéroplasmation est dominante dans ces horizons.

# 3 MINERALOGIE DE LA SUSPENSION DES EAUX DE LA NAPPE PHREATIQUE.

La couleur blanche laiteuse de l'eau de la nappe phréatique a pendant longtemps attiré l'attention des pédologues travaillant en Afrique de l'Ouest. Les études faites par l'ORSTOM dans le cadre du programme HYPERBAV à Boro Borotou en Côte d'Ivoire, ont révélé la présence de kaolinite et de smectite dans cette eau (Fritsch 1990).

Dans le cadre de notre étude, nous avons procédé à des prélèvements de cette eau pour en étudier la composition minéralogique (profils AP3 et AP4 pour le site A, BP3, BP4 et BP6 pour le site B). Tous ces profils sont situés dans la zone des sols gris du bas versant à l'exception du profil BP3 situé dans la zone du "biseau cuirassé".

| Profils pédologiques | | <0.1 µm | 0.1-0.5 µm | 0.1-2.0 µm | 0.5-2.0 µm | Horizon pistache Argile <2 µm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| AP3 | Kaolinite | + + + | + + + + | | + + + | + + + |
| | Smectite | + | + | | + + | + + + |
| | Illite | + | + | | + + + | + + |
| | Quartz | | | | + + + | + + + + |
| AP4 | Kaolinite | + + | + + + + | | + + + + | + + + |
| | Smectite | + + + | + + + | | + + | + + + |
| | Illite | + + + | + + + | | + + | + + + |
| | Quartz | | | | + + | + + + + |
| BP3 | Kaolinite | + + + | | + + + + | + + | + + + |
| | Smectite | | | | + + | + + + |
| | Illite | + | + | + | + + | + + + |
| | Feldspath | | | | + + | + + + |
| | Quartz | | | ++ + | + + + | + + + + |
| BP4 | Kaolinite | + + | + + + + | | + + | + + + |
| | Smectite | + + + | + + + | | + + + | + + + |
| | Illite | + + | + + + | | + + + + | + + + |
| | Quartz | | | | + + + | + + + + |
| | Feldspath | | | | | + + + |
| BP6 | Kaolinite | + + | + + + + | | + + | + + + |
| | Smectite | + + + + | + + + | | + + | + + + |
| | Illite | + + + | + + | | + + | + + + |
| | Feldspath | | | | | + + + |
| | Quartz | | + + | | + + + | + + + + |

Tableau II-8 : Composition minéralogique des eaux de la nappe phréatique prélevées dans des profils situés en bas versant.

Les résultats obtenus après ultra fractionnement des particules à l'ultra centrifugeuse SHARPLESS (Bartoli et al. 1991), sont résumés dans le tableau II-8. Quatre fractions ultrafines ont été séparées sur lesquelles on a déterminé la composition minéralogique par diffraction X (< 0.1 µm, 0.1 - 0.5 µm; 0.1 - 2.0 µm; 0.5 - 2.0 µm). En l'absence de quantification des proportions des diverses fractions

l'existence même de fractions très fines (< 0.1 µm) permet de comprendre l'état de dispersion quasi permanente des particules dans l'eau.

Le tableau II-8 montre que ces fractions contiennent des proportions différentes de kaolinite, de smectite, d'illite, ainsi que du quartz, des feldspaths et quelques traces de goethite. A titre de comparaison on retrouve les mêmes minéraux dans l'horizon argileux "vert pistache". D'où vient donc la smectite de l'eau circulant dans les matériaux sableux strictement kaoliniques dans lesquels on l'a prélevée ? La nappe circulant sur le plancher constitué soit de l'horizon IIC, soit IIBr met en suspension les argiles et les minéraux fins des sols. En outre, les conditions de pH dans ces horizons (pH = 6) et le caractère très fin de ces argiles sont favorables à la dispersion.

# 4 INTERPRETATIONS GENERALES

Les analyses morphologiques, micromorphologiques et minéralogiques ont permis de mettre en évidence que le "continuum" étudié dans les deux toposéquences est constitué par la succession et l'enchevêtrement de trois types de couvertures : une couverture "ferrallitique", une couverture hydromorphe et une couverture colluvio-alluviale (fig. II-15, II-16).

## 4.1 EXTENSION SPATIALE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES

### *4.1 1 La couverture pedologique "ferrallitique"*

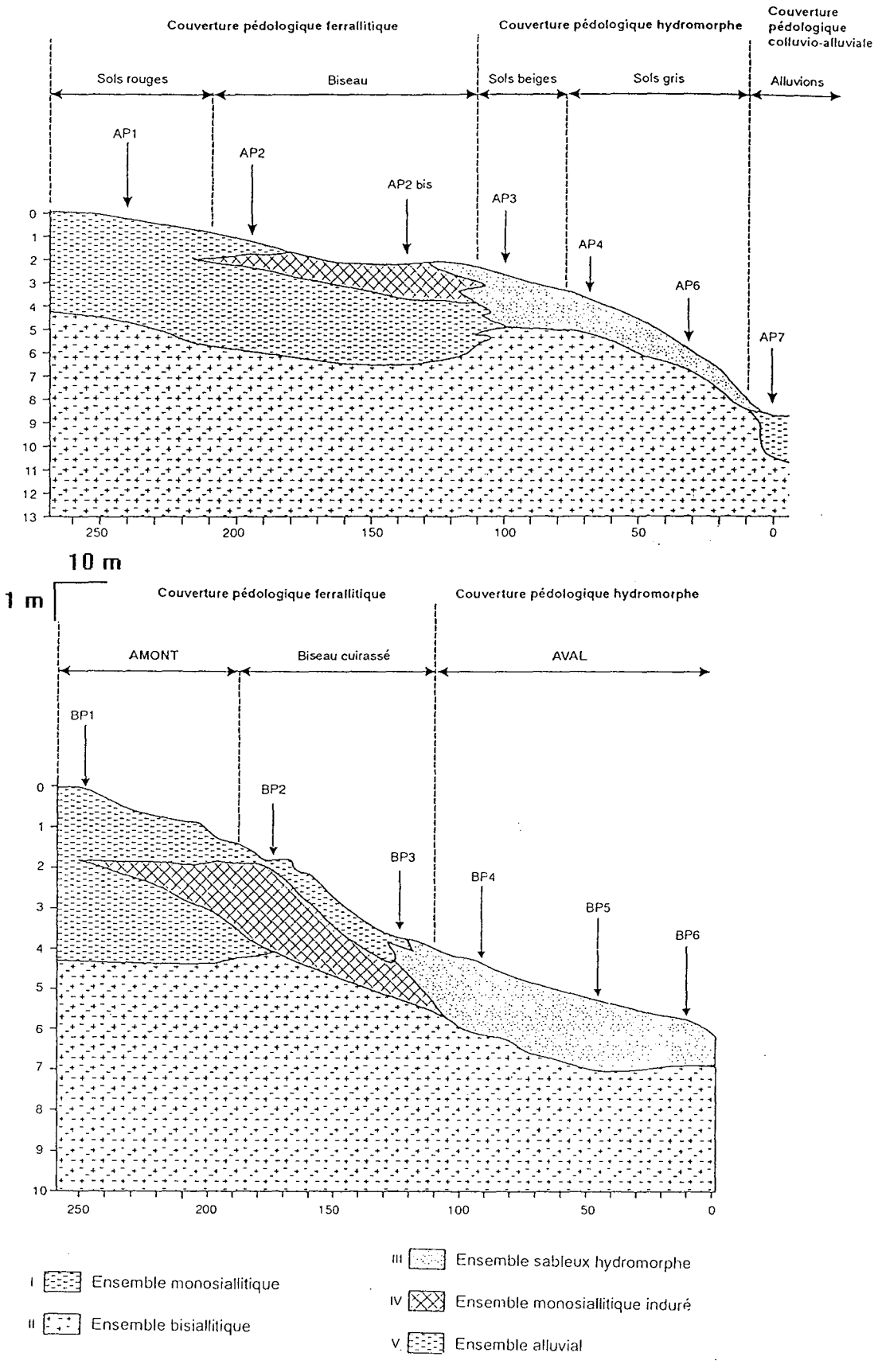
La couverture "ferrallitique" est située en amont des toposéquences. Elle est représentée par les sols rouges ferrallitiques. Elle occupe le "Moyen glacis versant" au profil concave, peu ou pas cuirassé. C'est probablement la couverture la plus vaste car le "Moyen glacis versant" occupe environ 50 à 60 % de la surface des interfluves de la région. En effet 80 % des cultures sont pratiquées dans cette couverture par les paysans. De même les îlots de forêt évoqués plus haut, dans la première partie, se situent dans cette couverture aux sols parfois très profonds. La limite aval est le "biseau cuirassé". Il semble que les sommets d'interfluves en croupes convexes sont en presque totalité occupés par cette couverture pédologique.

### *4.1.2 La couverture pedologique hydromorphe*

Cette couverture occupe exclusivement les bas versants des toposéquences. Elle est caractérisée par un modelé concave avec une pente de 1 à 4 % et par des sols hydromorphes, profonds, gris et sableux. .Sa limite supérieure commence à partir du "biseau cuirassé" avec des sols sablo-argileux, gravillonnaires plus ou moins profonds s'indurant parfois en profondeur. La limite inférieure est en général matérialisée par la présence d'*Elaeis guineensis*. Sa largeur est variable; elle peut atteindre plusieurs centaines de mètres, comme elle peut être réduite à une étroite bande sableuse lorsque la couverture "ferrallitique" descend très bas vers le bas-fond proprement dit. Cette couverture pédologique, quoique sableuse, est diversement utilisée par les paysans.

### *4.1.3 La couverture pedologique colluvio-alluviale*

Elle fait suite aux sols gris hydromorphes et occupe les bas-fonds proprement dits. Elle est généralement inondée pendant la saison des pluies soit par les eaux de surface, soit par les eaux souterraines des nappes phréatiques. Sa superficie varie en fonction de la longueur et de la pente du versant. Cette superficie peut atteindre des centaines voire un millier d'hectares, comme elle peut seulement couvrir quelques dizaines d'hectares lorsque le bas-fond est très encaissé. C'est une couverture qui a des potentialités rizicoles importantes.




Figures II- 15 et II-16 Grands ensembles d'altération de la couverture pédologique

## 4.2 ORGANISATION VERTICALE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES

Les figures II-17 et II-18 montrent les schémas des différentes couvertures pédologiques.

### *4.2.1 La couverture "ferrallitique"*

Du point de vue altérologique, elle est caractérisée par un **ensemble "monosiallitique"** épais de près de 5 mètres qui passe à **un ensemble bisiallitique** très épais, comprenant des arènes granitiques très incomplètement altérées.

#### 4.2.1.1 L'ensemble monosiallitique (I-1)

Il est caractérisé par deux sous-ensembles bien distincts :

- un sous-ensemble (I-11) d'altération **monosiallitique, pédoturbé à altération totale** de couleur rouge à rouge jaunâtre, montrant quelques reliques de biotite séquestrée dans des nodules ferrugineux. C'est un matériau poreux à porosité fine et drainant (Pédro 1966, 1968, Trescases 1975, 1979). Il concerne principalement les horizons **A**, **Bt**, le sol proprement dit et sans doute la partie supérieure des altérites (haut du IIBg1).
- un sous-ensemble (I-12) d'altération **quasi-monosiallitique, non pédoturbé à altération partielle.** Il correspond aux horizons tacheté **IIBg1** et surtout bariolé **IIBg2** des sols rouges . Il est caractérisé par une altération partielle des minéraux altérables de la roche mère puisque d'une part il montre des feldspaths séquestrés dans des nodules ferrugineux et que d'autre part des feldspaths et des cristaux de micas (muscovite) en petites paillettes apparaissent à la base de l'horizon IIBg2. Son extension (IIBg2) part du sommet de l'interfluve jusqu'au changement de pente (niveau du "biseau cuirassé"). C'est un matériau poreux à pores tubulaires ± larges, tapissés de terre fine rougeâtre et blanchâtre, où la circulation de l'eau de pluie infiltrée se fait très rapidement. C'est un milieu où les ions dissous sont généralement évacués. Le fonctionnement altérologique actuel y serait donc de type monosiallitique.
- un sous-ensemble (I-13) **induré** d'altération **quasi-monosiallitique non pédoturbé à altération partielle**. Il est représenté par l'horizon **Bsm** des sols indurés du "biseau cuirassé". Il est caractérisé par l'altération partielle des minéraux altérables de la roche mère. En effet, on y reconnaît par endroit, des litho-reliques de la roche mère confirmée par la présence de feldspaths. C'est un milieu poreux à pores tubulaires ou à canaux tapissés de terre fine rouge jaunâtre et blanchâtre. C'est un milieu de circulation intense des eaux de pluie infiltrées. Il est caractérisé aussi par une remobilisation du fer évacué plus loin en aval. Il est une variante du sous-ensemble monosiallitique non pédoturbé à altération partielle des sols rouges représenté par les horizons **IIBg1** et surtout **IIBg2**. La seule différence est qu'il est induré en carapace.

#### 4.2.1.2 L'ensemble bisiallitique

Dans le second ensemble (I-4), **bisiallitique, non pédoturbé à altération très incomplète** on trouve particulièrement de la **smectite**, minéral argileux du type 2:1 et de l'**illite**, en plus de la kaolinite, des feldspaths du quartz, des micas et de la goethite. Cet ensemble constitue l'horizon **IIC** ou arène micacée, autrement désigné sous le nom d'"**horizon pistache**" par Boulet (1978), Leprun (1979). Son extension part du centre des plateaux jusqu'au bas-fond. C'est un matériau poreux à porosité fine. Le toucher talqueux ou onctueux observé sur le terrain est corrélé avec les teneurs élevées en limons. C'est un milieu relativement confiné où les ions dissous sont peu évacués. Il est dominé par **l'altéroplasmation.** Il montre des structures lithologiques originelles qui deviennent moins distinctes

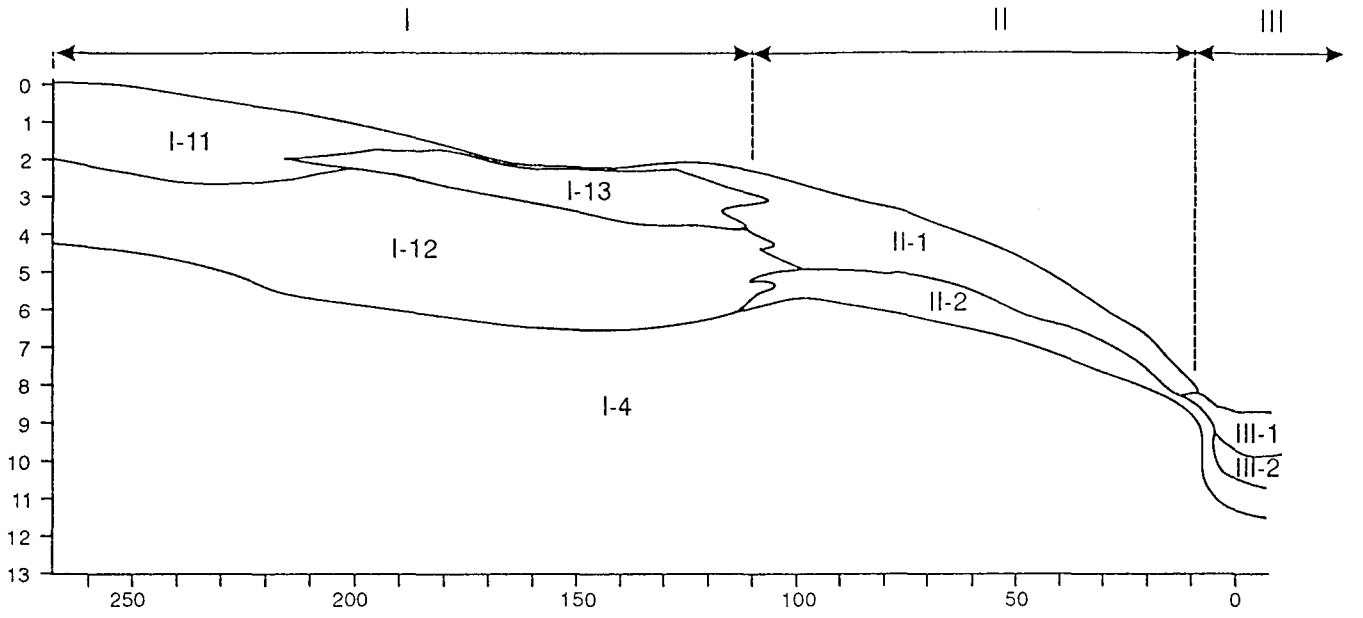



Figure II-17 Site A

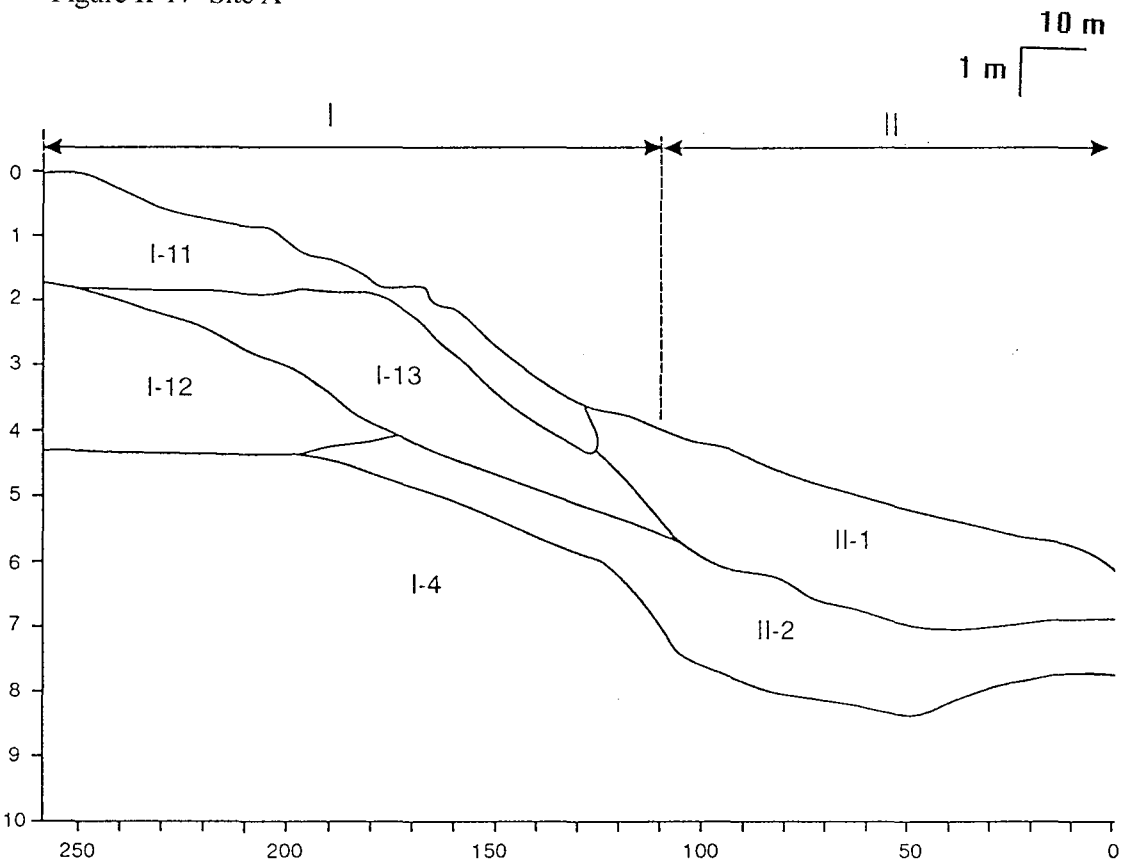



Figure II-18 Site B

| I - Couverture ferralitique | II - Couverture hydromorphe | III - Couverture colluvio-alluviale |
|---|---|---|
| I-1 : Ensemble monosiallitique.<br>I-11 : Horizons pédoturbés.<br>I-12 : Horizons non pédoturbés.<br>I-13 : Horizons non pédoturbés indurés. | II-1 : Ensemble monosiallitique pédoturbé.<br>II-2 : Ensemble bisiallitique pédoturbé. | III-1 : Ensemble allochtone bisiallitique.<br>III-2 : Ensemble autochtone bisiallitique pédoturbé. |
| I-4 : Ensemble bisiallitique non pédoturbé | | |

Figures II-17 et II-18 Grands ensembles altéro-pédologiques

vers le haut. Des plages d'oxydes de fer de couleur rouille à rouille foncé, provenant d'une part de l'altération des minéraux ferromagnésiens de la roche mère et d'autre part de phénomènes d'oxydoréduction peut être liés au battement de la nappe phréatique d'altérite, actuelle ou ancienne. Ce battement de nappe dont l'amplitude altimétrique et surtout temporelle est encore mal connue, laisse à penser que **la partie supérieure des argiles micacées ne se trouve pas en milieu totalement confiné. Cela permet-il d'expliquer la présence de kaolinite?**

*4.2.2 LA COUVERTURE HYDROMORPHE DU BAS VERSANT*

La couverture pédologique hydromorphe de bas versant montre deux ensembles : un ensemble **monosiallitique, pédoturbé et** un ensemble **bisiallitique**. L'ensemble bisiallitique présente ici deux faciès : en profondeur un matériau finement poreux (arène micacée) et plus haut, un matériau compact, très peu poreux, l'"horizon vert pistache", HVP.

**4.2.2.1 L'ensemble monosiallitique,**

L'ensemble (II-1) **monosiallitique, pédoturbé à altération partielle** (horizon A2) est caractérisé par la présence de **kaolinite,** de feldspaths et surtout de quartz. C'est un milieu sableux, granulaire, sans plasma et très poreux où les eaux de pluie s'infiltrent très rapidement. L'origine des feldspaths est ici énigmatique. Sont-ils d'origine allochtone (même origine que les colluvions) ou autochtone (provenant des horizons IIBg1, IIBg2 ou Bsm appauvris en éléments fins)? C'est le domaine lessivé de Boulet (1978).

**4.2.2.2 L'ensemble bisiallitique**

L'ensemble bisiallitique montre deux sous-ensembles :

**Un sous-ensemble (II-2) bisiallitique, pédoturbé à altération partielle,** l'horizon **IIBr** ou **"horizon vert pistache"**. C'est un milieu où la **smectite est dominante.** On y trouve aussi de la kaolinite des feldspaths, du quartz et parfois de la goethite. C'est un milieu peu poreux fermé, confiné et très peu drainant, où la néosynthèse de minéraux 2:1 est probable. Ce sous-ensemble s'étend du marigot jusqu'au "biseau cuirassé. Il occupe donc tout le bas versant des toposéquences. Il est **absent** dans la couverture "ferrallitique". L'eau infiltrée à travers l'horizon sableux A2 est bloquée par ce matériau imperméable. Il en résulte l'apparition d'une nappe saisonnière perchée qui s'écoule obliquement vers le bas fond.

**Un sous-ensemble (II-4) bisiallitique, non pédoturbé à altération très incomplète.** C'est l'arène micacée, ou horizon **IIC,** en continuité avec l'argile micacée ou horizon "pistache", déjà identifié à la base de la couverture "ferrallitique". Ce milieu **smectitique** contient des feldspaths plagioclases, des micas, du quartz, de la goethite et de l'illite. Poreux à porosité fine, il est peu drainant, fermé et confiné.

*4.2.3 LA COUVERTURE COLLUVIO-ALLUVIALE*

Située dans le bas-fond, elle résulte en partie du dépôt des alluvions et des colluvions (fig. II-13 a). Elle se subdivise en deux ensembles :

- un ensemble (III-1) **allochtone bisiallitique colluvio-alluvial, pédoturbé** où les minéraux argileux sont constitués de **smectite, de kaolinite,** de feldspaths, de quartz et de goethite. Les pics des diagrammes diffractomètriques aux rayons X de la smectite sont très peu marqués. La smectite est sans doute héritée d'un transport plus ou moins long et serait probablement soumise à une altération expliquant ainsi la forme peu nette ou diffuse des pics et la faible CEC

des argiles. Sa quantité dans cet ensemble peut également être faible. Ce qui expliquerait la forme diffuse des diffractogrammes aux rayons X.

- un ensemble (III-2 ou Bg2 et II-2 ou IIBr) **autochtone bisiallitique pédoturbé à altération partielle**. Les minéraux argileux sont constitués de **smectite**, de feldspaths de kaolinite et de quartz. Les diagrammes diffractomètriques de la smectite sont plus nets. La smectite n'y serait pas de nature alluviale mais néoformée in situ.

## 4.3. ALTEROLOGIE DES COUVERTURES PEDOLOGIQUES

### *4.3.1 La couverture des sols rouges "ferrallitique"*

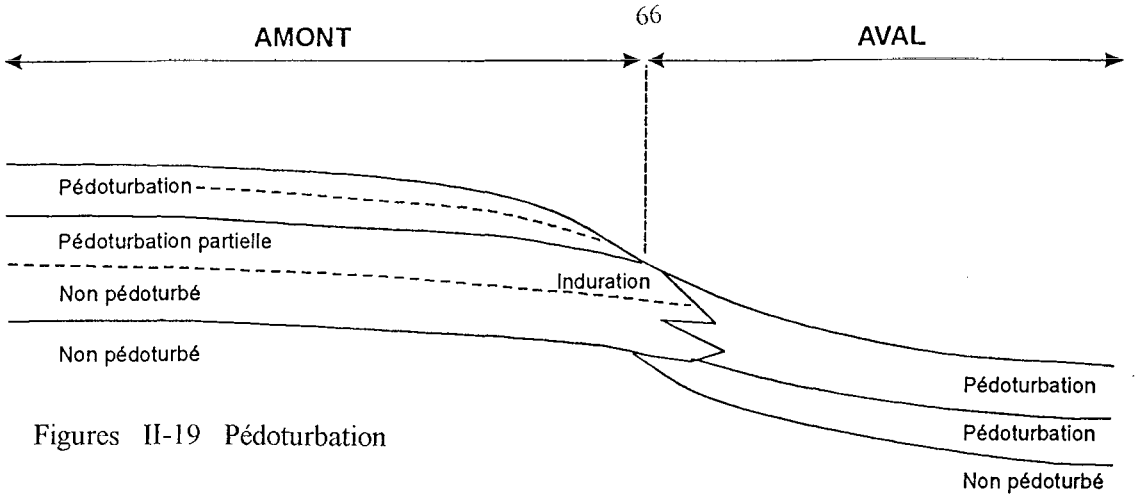
Dans cette couverture que l'on a coutume d'appeler "ferrallitique" (mais ce terme à l'évidence ne convient pas), la **succession altérologique est régulière et progressive** entre les horizons monosiallitiques superficiels, pédoturbés (Bt), subsuperficiels non pédoturbés (IIBg1, IIBg2 et Bsm) et les horizons bisiallitiques non pédoturbés profonds (fig.II-19, II-20 et II-21). A l'altération kaolinique des horizons de surface (Bt, IIBg1, IIBg2 et Bsm), aérés et très drainants, succède l'altération smectitique dans l'horizon IIC peu drainant, relativement confiné (fig. II-20). Le profil altéro-pédologique est complet et continu. Il est caractérisé par une monosiallitisation libre en haut. La transition entre la monosiallitisation et la bisiallitisation est diffuse.

L'étude micromorphologique révèle de bas en haut une altération de plus en plus poussée des minéraux primaires altérables (feldspaths et micas). En effet, l'importance de ces minéraux diminue du bas vers le haut. Mais la biotite et les feldspaths se maintiennent encore, quoique en très faible quantité, dans les horizons tachetés (IIBg1), bariolés (IIBg2), Bt et Bsm. Dans ces horizons kaoliniques où les minéraux primaires sont normalement absents, leur présence est liée à une séquestration dans des nodules ferrugineux (héritage d'évolutions passées).

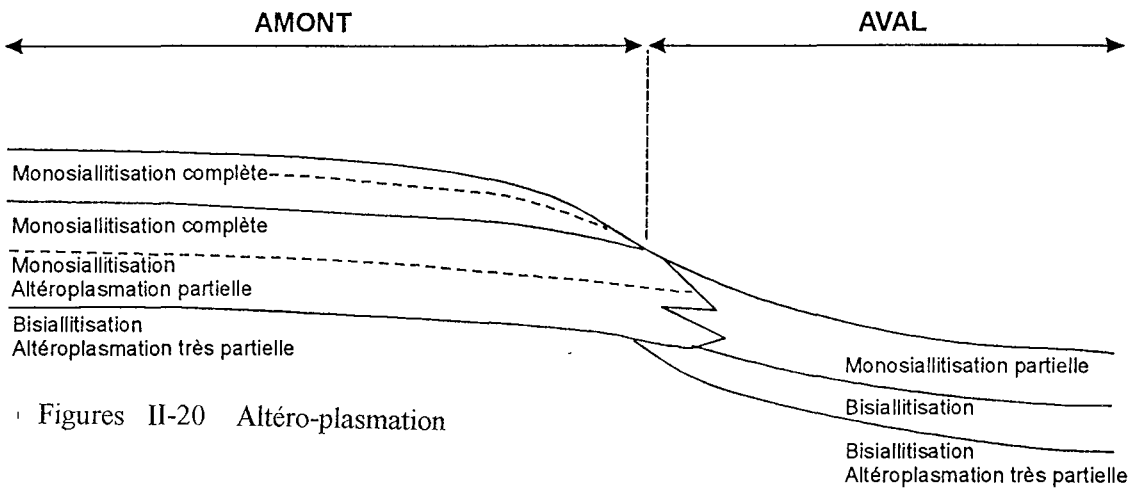
Cette observation apporte une vue nouvelle sur ces sols jusque là considérés comme des sols ferrallitiques faiblement désaturés en B ou des sols ferrallitiques remaniés indurés (Perraud et La Souchère 1969, DCGTX 1989). En effet, par définition, un sol ferrallitique ne contient en principe jamais de minéraux altérables de la roche mère tout au moins dans les horizons B argilisés. On ne devrait donc y trouver, ni biotite, ni feldspaths dans aucun des horizons pédoturbés. Il semble donc que l'on se trouve devant des sols dont l'altération des minéraux primaires a été ralentie sinon stoppée à cause de leur séquestration dans les nodules ferrugineux (cf. Ségalen 1995). Cette séquestration ou blocage de la monosiallitisation pourrait être mise en relation avec l'alternance des paléoclimats qui sont à l'origine des indurations et des éventuelles séquestrations d'altéro-reliques par des concentrations et des cristallisations ferrugineuses.

L'analyse de l'organisation des couvertures pédologiques montre la présence de minéraux primaires altérables (feldspaths et micas) dans les horizons superficiels et subsuperficiels et de smectite dans les horizons profonds de la couverture "ferrallitique" des sols rouges pose un problème de classification de ces sols.

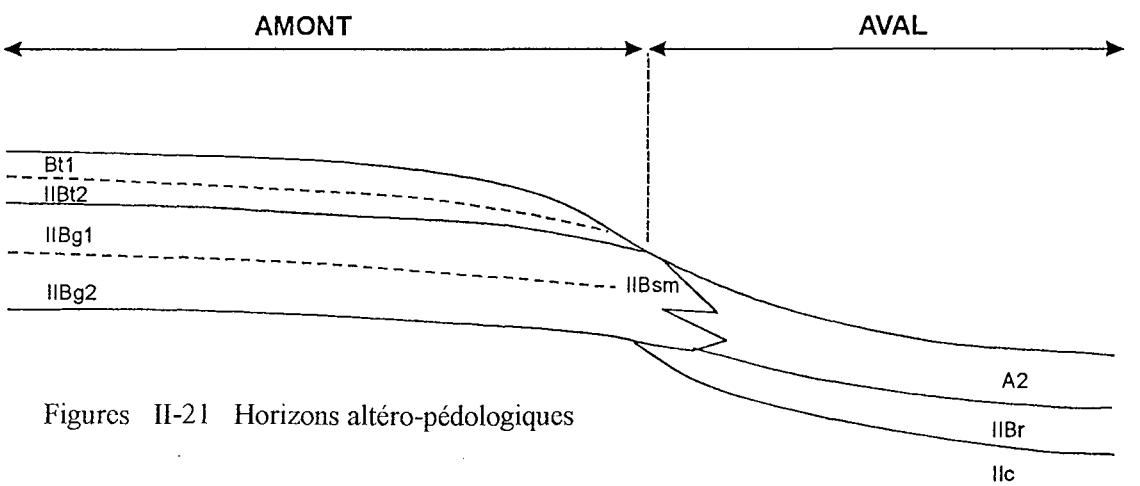
Dans leur définition, Aubert (1965) et Duchaufour (1977) indiquent qu'un sol ferrallitique est un sol où l'altération des minéraux primaires altérables (feldspaths et micas) est totale. Les argiles toutes néoformées sont uniquement constituées de kaolinite. Cette définition restreint la classe des sols ferrallitiques aux sols dont la ferrallitisation est complète et elle exclut, par conséquent, les formes de transition qui comportent encore des minéraux primaires altérables. Ces auteurs ajoutent que le profil complet d'un sol ferrallitique peut se décomposer en trois parties principales :




Figures II-19 Pédoturbation




Figures II-20 Altéro-plasmation




Figures II-21 Horizons altéro-pédologiques

| Amont | Aval |
|---|---|
| Monosiallitisation libre | Monosiallitisation entravée par l'horizon "vert pistache" (IIBr) |
| Profil altéro-pédologique continu | Profil altéro-pédologique discontinu |
| Transition monosiallitisation / bisiallitisation diffuse | Transition monosiallitisation / bisiallitisation brutale |

Figures II-19 à II-21 Schématisation des deux grands types de couvertures altéro-pédologiques des sites étudiés

- **une zone profonde d'altération** : *roche "pourrie" ou arène, encore peu argileuse, à pH voisin de 7;* cette zone correspondrait, dans le cadre de notre étude à l'horizon IIC ou arène micacée;
- **une zone moyenne** *dite, selon les auteurs, arène plastique, ou zone tachetée, ou saprolithe : souvent épais de plusieurs mètres avec une néoformation massive en kaolinite;* cette zone correspondrait à nos horizons tachetés (**II Bg1**) et bariolés (**II Bg2**);
- **les horizons supérieurs** *formant un profil "imbriqué" de type A(B)C ou ABC, l'horizon B provenant de la redistribution des complexes à base de fer et éventuellement d'alumine.* L'horizon B correspondrait à nos horizons Bt1 et Bt2;

Ségalen (1995) souligne de son côté qu'il est possible *de trouver dans les sols ferrallitiques, sous forme de traces des minéraux primaires altérables tels que les feldspaths et les micas noirs ou colorés (biotite). Ces minéraux ont pu être piégés dans des reliques ou bien dans des concrétions ou cuirasses dont les sesquioxydes, qui les entourent, les protègent contre l'altération ultérieure. Ségalen ajoute que ces minéraux finiront généralement par disparaître.*

Dans le cadre de notre étude, nous avons reconnu les trois principales parties du profil complet du sol ferrallitique définis par Aubert et Duchaufour. La seule différence est que ces auteurs n'étaient allés plus loin pour ce qui concerne la composition minéralogique de la zone profonde d'altération ou roche "pourrie". Cette zone, comme on l'a vu ici, contient en grande partie de la smectite. Comme Ségalen, nous avons pu montrer que nos sols contiennent des minéraux primaires altérables tels que les feldspaths plagioclases et les micas colorés (biotite). Ces minéraux, reconnus au microscope polarisant, sont piégés au sein de nodules ferrugineux.

Compte tenu de ce qui précède, plusieurs hypothèses peuvent être retenues pour essayer de situer les sols rouges de la couverture "ferrallitique" de notre étude. Deux points de vue peuvent être adoptés :

- Le sol proprement dit s'arrête à l'horizon pédoturbé Bt2, tandis que les horizons non pédoturbés et monosiallitiques (IIBg1 et IIBg2) en constituent la roche mère. Ces sols ont une CEC des argiles faible (11 à 17 méq/11 g) correspondant aux "low activity clays" (LAC). Dans ce cas, nos sols sont bien des **sols ferrallitiques** malgré les traces de minéraux primaires altérables.
- Le sol s'étend au-delà des horizons quasi-monosiallitiques (IIBg1 et IIBg2) dans l'horizon bisiallitique (IIC). Dans ce cas, la présence d'un horizon bisiallitique riche en smectites (II C) et d'horizons quasi-monosiallitiques riches en minéraux primaires altérables (IIBg1 et IIBg2) rend difficile la classification en sols ferrallitiques. Cette disjonction simultanée, entre le haut et le bas des profils, des dynamiques de formation des sols ne semble pas surprenante dans la mesure où l'on veut bien interpréter les profils dans leur environnement toposéquentiel et temporel. L'horizon HVP quasi imperméable entretient un confinement de la base de la lithomarge tandis que la partie superficielle du IIC située topographiquement plus haut que la limite amont de HVP se trouve relativement aérée et drainée d'où la présence de kaolinite.

#### *4.3.2 La couverture pedologique hydromorphe*

Contrairement à l'ensemble "ferrallitique", la succession altérologique entre les horizons de surface, monosiallitiques et ceux de profondeur, bisiallitiques, est brutale (fig. II-19, II-20 et II-21). On passe en effet sans transition d'un matériau sableux à assemblage granulaire sans plasma à un matériau argileux à assemblage porphyrosquelique et à plasma argilasépique. Le profil alétro-pédologique est discontinu. La transition entre la monosiallitisation et la bisiallitisation est très brutale. Cette transition est par contre progressive entre l'horizon "vert pistache" s.s. ou II Br et l'arène micacée ou horizon IIC. La monosiallitisation semble être freinée par l'horizon "vert pistache" s.s. ou IIBr.

## 4.4 L'HORIZON "VERT PISTACHE" DU CENTRE DE LA COTE D'IVOIRE

L'horizon "pistache" repéré dans les deux toposéquences a deux faciès bien distincts et superposés :

- Un premier faciès, situé en profondeur, sorte de granite pourri, est constitué par un matériau arénacé grisâtre à taches verdâtres, limono-argilo-sableux à sables grossiers, comprenant des taches "vert-pistache" et brun-rougeâtre. Les minéraux primaires altérables (fedspaths, micas) et le quartz de dimensions millimétriques voire centimétriques sont parfaitement reconnaissables à l'oeil nu. La structure générale orientée de la roche mère est conservée. Les diaclases de la roche mère permettent la formation de fissures imprégnées d'oxydes de fer de couleur brunâtre à jaunâtre. Cette arène micacée ou lithomarge, présente un toucher talqueux caractéristique de la présence de limons. Elle est le siège de **l'altéroplasmation** (Boulet 1978). C'est ce matériau que l'on a coutume d'appeler horizon "pistache", ou manteau smectitique. Dans cette étude cependant, nous avons convenu d'appeler ce niveau IIC **"arène micacée"**. C'est dans ces formations que se situe la nappe aquifère d'altérites à une profondeur de plus de 10 m au niveau du Moyen et du Haut glacis et aux environs de 3 m en bas versant.

- Un deuxième faciès, argileux, compact, de couleur "vert pistache" dominante sinon uniforme est situé au-dessus du précèdent. Sur ce fond verdâtre se dégagent de nombreux cristaux blancs laiteux de feldspaths et des grains de quartz hyalins ainsi que, vers le bas de l'horizon, quelques paillettes de micas. On le trouve exclusivement dans les sols de bas versant entre le "biseau cuirassé" et le bas-fond. Sa structure est massive ou continue à tendance polyédrique grossière à cohésion très forte. Très peu poreux et compact, il est très difficile à traverser en humide comme à sec à la tarière, et ceci le distingue de l'arène micacée. C'est une zone d'engorgement où les taches brun-jaunâtre, jaunâtres et rouilles que l'on observe dans l'horizon sous-jacent n'apparaissent pas. Contrairement au matériau précédent où se développe l'altéroplasmation, celui-ci est dominé par la **pédoturbation** et la **pédoplasmation** (Flach et al. 1968, 1969 cités par Boulet 1978). L'épaisseur de ce matériau varie entre 40 et 100 cm. Il sera appelé dans cette étude **"horizon vert pistache" sensu stricto (HVP)**.

Si ces deux matériaux sont smectitiques et probablement génétiquement liés, ils ont néanmoins un aspect très différent. Dans les deux cas l'altéro-plasmation est partielle, mais, tandis que l'arène micacée n'est pas pédoturbée, "l'horizon vert pistache" est entièrement pédoturbé, aucune structure de la roche mère n'y est reconnaissable.

Dans le bas versant, on note une discontinuité très marquée entre HVP et l'horizon sus-jacent très sableux et boulant, tandis que le contact avec l'arène micacée sous-jacente est progressif. Il semblerait donc que HVP proviendrait de l'altération poussée et de la pédoturbation de l'arène micacée. Bocquier (1971) a décrit le même type d'horizon dans ses toposéquences du Tchad.

*La présence de "l'horizon vert pistache" s.s. , smectitique, sur granite en région centre de la Côte d'Ivoire ou zone de transition entre la forêt et la savane (latitude 7.5°).est un fait nouveau.*

En effet, Boulet (1978), Leprun (1979) et Kaloga (1987) dans le cadre d'études de séquences de sols latéritiques et cuirassés au Burkina Faso (latitude 12 et 13 °), ont parlé pour la première fois d'altération "pistache". Ce matériau de couleur grise verdâtre est localisé à une profondeur variant entre 2 m et 14 m selon la position topographique et la nature de la roche mère. Des litho-reliques plus ou moins bien conservées de la roche mère s'y reconnaissent bien. En étudiant la pétrologie et la géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux au Burkina Faso, Ambrosi

(1986) a reconnu l'horizon "pistache" à environ 23 m de profondeur. Il le décrit comme un horizon argileux parcouru par des diaclases à larges mailles revêtues d'un liseré brun épais. L'horizon paraît plus humide que les horizons supérieurs. En faisant des études similaires, S.G. Keita (1995) a retrouvé au Mali dans les formations Birrimiennes de la Bagoe, l'horizon "pistache" à 53 m de profondeur, mais avec une couleur "rougeâtre pistache". Fritsch et al. (1990) ont également repéré cet horizon à Boro-Borotou en Côte d'Ivoire. Au Burkina Faso, Leprun a montré que, sur les migmatites à gros grains et les granites leucocrates à gros grains, il apparaît seulement à 3 m, sur roches basiques et ultrabasiques il se trouve entre 4 et 8 m; sur roches granito-gneissiques, il se situe à 14 m. Kosaki et Juo (1977) en installant des piézomètres pour étudier la nappe phréatique dans un bas-fond au Sud Est du Nigeria, ont trouvé de la smectite dans le bas-fond et les parties amont du bas versant sans faire mention de l'existence d'un horizon argileux imperméable ou "vert pistache". D'une manière générale ce matériau, tel qu'il est décrit par les auteurs cités ci-dessus, peut être assimilé à la lithomarge décrite par Tardy (1993). Dans tous les cas, ces auteurs ont montré que l'horizon contient systématiquement de la smectite. *Un seul faciès est généralement décrit.* C'est le faciès que nous avons appelé a*rène micacée* pour le différencier du faciès *"vert pistache" s.s.*.

Un fait est certain, c'est que la limite sud de l'horizon "pistache", ou arène micacée pour nous, ou lithomarge pour Tardy (1993), peut être étendue jusqu'à la région de transition savane-forêt de la Côte d'Ivoire (latitude 7.5°). Un deuxième faciès de l'horizon "pistache" a été mis en évidence à cette latitude exclusivement dans les sols de bas versant.

*Comment interpréter l'existence de "l'horizon vert pistache" en zone de transition forêt-savane de la région centre de la Côte d'Ivoire? Résulte t-il d'une évolution actuelle ou d'un héritage de matériaux formés sous des paléoclimats intertropicaux anciens*?

Au Burkina Faso en creusant une succession de puits dans un cordon dunaire ancien d'âge supérieur à 40.000 ans B.P. (Inchirien supérieur), Boulet (1978) a observé que les dunes reposent, par l'intermédiaire d'un niveau graveleux discontinu, sur un horizon d'argile arénacée smectitique. Il serait donc possible que l'argile smectitique soit antérieure à l'erg ancien. La discordance matérialisée par le niveau graveleux indique que les sables dunaires de l'erg ancien se seraient déposés sur des sols déjà bien différenciés et tronqués. Or d'après Delvigne et Grandin (1969), cités par R. Bertrand (1995), se serait à la fin du Secondaire que les roches du continent africain, mises en place au Précambrien et émergées à la fin du Précambrien ont été altérées sous des climats intertropicaux. Les altérations superficielles sur lesquelles ce sont développés les sols dateraient quant à elles de l'Eocène. De nombreux auteurs, Tricart (1970), Michel (19769), Elouard (1959), Faure (1962), Pias (1968), (Bertrand 1985-1995) ont toujours soutenu que l'alternance, au cours du Quaternaire, de climats tropicaux humides et de climats semi-arides a joué un rôle majeur dans la genèse des couvertures pédologiques. Les périodes pluviales (climats humides) ont favorisé l'approfondissement des altérites en milieu stabilisé par une couverture végétale continue (biostasie de Erhart 1956) et une ambiance altérologique favorable à la ferrallitisation, ou monosiallitisation. Les périodes arides ou semi-arides dans des conditions d'instabilité du milieu (rhésistasie) ont, à l'opposé, favorisé la troncature des sols jusqu'au niveau des altérites et ont alors pu orienter l'altération vers la bisiallitisation en limitant le drainage d'une manière drastique, un peu comme l'a montré Bourgeon (1994) en Inde péninsulaire. Ces périodes plus arides ont pu par ailleurs favoriser la cristallisation plus ou moins irréversible des oxydes de fer : les horizons plinthitiques, argiles tachetées voire bariolées ont pu alors être transformées en carapaces voire en cuirasses.

Ainsi pour Bertrand (1989, 1995) l'architecture actuelle des paysages intertropicaux ainsi que la nature des sols observés aujourd'hui sont liées aux oscillations du Nord vers le Sud et vice versa des grandes zones climatiques. En effet depuis les régions soudaniennes (où l'horizon "pistache" a été souvent décrit) jusqu'aux régions forestières, on retrouve des associations de paysages qui sont témoins de l'action des paléoclimats intertropicaux anciens. Bocquier (1971) Boulet (1978), Kaloga (1984), dans leurs études au Burkina Faso, au Tchad et au Nord Cameroun, Bertrand (1995) pour l'Afrique de l'ouest ont conclu que les couvertures smectitiques tropicales sont caractéristiques de milieux tropicaux semi-arides à saisons contrastées. Ainsi, il parait vraisemblable que "l'horizon vert pistache" s s ainsi que la lithomarge smectitique qui lui fait suite soient un héritage d'une altération sous des paléoclimats plus arides du Quaternaire. Néanmoins, il n'est pas impossible que ce type d'altération soit encore actuelle même sous les conditions climatiques régnant actuellement sur notre site d'étude. En effet, nous n'avons pas noté qu'il existerait sous la lithomarge smectitique observée dans toute la partie de la toposéquence étudiée un horizon altéritique monosiallitique qui témoignerait que le régime d'altération a été sensiblement modifié récemment.

## 5 CONCLUSION

L'analyse des données morpho-physico-chimiques a montré qu'il y avait quatre grands groupes de sols dans les deux sites.

**Un premier groupe de sols rouges argileux et gravillonnaires.** C'est un milieu aéré bien drainé où la circulation de l'eau se fait lentement et de manière verticale. On y observe une continuité altérologique des horizons des profils. Dans la succession altéro-pédologique, on relève :

- un horizon Bt d'accumulation d'argile, pédoturbé **monosiallitique**. Il contient essentiellement de la kaolinite du quartz, de la goethite. La biotite y est parfois notée sous forme de traces séquestrées dans les nodules ferrugineux.

- des horizons tachetés (IIBg1) et bariolés (IIBg2), non pédoturbés, **quasi-monosiallitiques** à altération intermédiaire contenant de la kaolinite, des feldspaths, des micas, de la goethite et du quartz. Ces deux horizons ne sont pas au stade d'altération franchement monosiallitique à cause de la présence de micas, de feldspaths à la fois dans les argiles et les limons. D'où le terme de quasi-monosiallitique qu'on leur a attribué. Leur aspect bariolé et tacheté est dû à la mobilisation avec transfert et dépôt du fer. Ils sont très poreux à pores tubulaires et alvéolaires et permettent une circulation de l'eau gravitaire très rapide donc une évacuation des ions dissous. On est encore en présence d'un milieu ouvert dominé par la formation de la kaolinite (Pédro 1966, 1968; Trescases 1975).

- un horizon IIC non pédoturbé **bisiallitique** à altération très incomplète. Il contient principalement de la smectite, de la kaolinite, des feldspaths, des micas, du quartz, de la goethite. Dans cet horizon à porosité intergranulaire fine, la circulation de l'eau est lente. Le milieu est alors engorgé, mal drainé et les ions dissous ne sont pas évacués ou très peu. Dans un tel milieu, confiné en permanence, la néoformation des minéraux 2:1 est favorisée et la circulation latérale de la nappe très probable.

**Un deuxième groupe de sols indurés** (au niveau du "biseau cuirassé") caractérisé par des horizons indurés en cuirasse et en carapace, poreux à pores tubulaires et alvéolaires. C'est une zone d'intense circulation verticale et latérale de l'eau. Elle est aussi le siège d'une remobilisation du fer et de son transfert vers les profils situés en aval. Le démantèlement de la partie supérieure de l'horizon induré

en cuirasse, ainsi que l'accumulation du fer en nodules dans certains profils aval, sont sans doute dus à cette mobilisation du fer.

**Un troisième groupe de sols** situé dans le bas versant et caractérisé par des sols sableux profonds à profil textural et altéritique très contrasté, marqué en profondeur par la présence d'un horizon argileux verdâtre, compact, smectitique qui est à l'origine d'une nappe subsuperficielle ou perchée. La circulation oblique de l'eau de cette nappe est sans aucun doute à l'origine de l'appauvrissement et du lessivage prononcés des horizons sableux en haut des profils. L'origine de ces sols est actuellement controversée. Certains pédologues pensent qu'ils se seraient formés sur des colluvions provenant du Haut et du Moyen Glacis et déposés dans le bas versant. Pour les autres, ils se seraient formés sur place par appauvrissement au dépens des produits d'altération du granito-gneiss. Pour notre part nous penchons, pour cette deuxième hypothèse. En effet l'analyse morphologique et micro-morphologique des altéro-reliques trouvées dans les horizons sableux, a révélé la présence des mêmes minéraux altérables (feldspaths) dans les horizons IIBg1, IIBg2 et Bsm.

**Un quatrième groupe de sols** occupent le bas-fond proprement dit. Il s'agit de sols colluvio-alluviaux fortement influencés par l'eau. Ils sont en général inondés pendant la saison des pluies. Ce groupe de sols est particulièrement caractérisé par la présence de smectite à travers tout le profil. Toutefois ces minéraux 2:1 sont plus abondants en profondeur qu'en surface. La présence de la smectite à travers tout le profil est très importante pour la culture du riz si l'on tient compte de la CEC élevée des argiles 2:1 comme la smectite.

L'horizon vert pistache, exclusivement présent dans le bas versant, a une influence très importante sur les plans altéro-pédologique, hydrologique et agronomique.

1) sur le plan altéro-pédologique l'HVP interrompt brutalement la succession altérologique progressive observée sur les sols rouges "ferrallitiques" ; par son imperméabilité, il est à l'origine du confinement relatif actuel de l'arène micacée et par là favorise la survivance de la bisiallitisation à la base des sols des toposéquences étudiées.

2) Sur le plan hydrologique, l'HVP introduit un obstacle à l'infiltration des eaux pluviales et provoque l'apparition d'une nappe perchée saisonnière. En raison de sa pente générale vers l'aval, il est à l'origine d'un ruissellement hypodermique très important.

3) sur le plan agronomique, la présence et la profondeur locale de la nappe perchée n'est pas sans conséquence sur la croissance et la production des cultures et plus particulièrement du riz.

# CHAPITRE III

# VARIABILITE SPATIALE DES SOLS GRIS DU BAS VERSANT

## 1 DESCRIPTION GENERALE DES DEUX SITES

Les deux sites sont implantés en bordure d'un même bas-fond non aménagé et caractéristique de la région (fig. 12). Le site A, d'une surface de 1,2 ha est un peu plus petit que le site B (1,4 ha). Le profil topographique est convexe au niveau du "biseau cuirassé", puis devient concave (fig. III-1). La pente est plus faible sur le site B : 1 à 3% contre 3 à 4 % (fig. III-2). Les figures III-3a et III-4 représentent la topographie et le bloc diagramme du terrain naturel des sites A et B. Pour le site A, un léger bourrelet orienté dans le sens de la pente indique une zone de partage des eaux de ruissellement, comme il apparaît sur la figure III-3b qui montre l'organisation des filets d'eaux, calculée en utilisant le logiciel d'application des modèles numériques de terrain (LAMONT) mis au point par C. DEPRAETERE (1992). Ce bombement est facilement visible sur le bloc diagramme. A l'exception de quelques termitières dans la partie basse, le site B présente une topographie régulière.

Contrairement à ce qui précède, cette étude de caractérisation ne concerne que le bas versant ; elle servira ultérieurement à comprendre et à expliquer les potentialités agricoles très contrastées observées dans cet environnement.

## 2 MATERIEL ET METHODES

*** Sur le plan spatial :**

On a quadrillé chacun des sites par un réseau de 20 m x 20 m. Une placette de prélèvement de 5 m x 5 m a été disposée au centre de chaque carreau (Fig. III-5) : soit 42 placettes pour le site B et 35 pour le site A. Sur chacune des placettes, des échantillons de sol y ont été prélevés à quatre profondeurs (0-20, 20-40, 40-60, 60-80). Chaque échantillon est le résultat du mélange de 10 prélèvements à la tarière hélicoïdale.

***Sur le plan toposéquenciel :**

- afin d'étudier la distribution de la teneur en argile dans les deux sites, on a effectué un échantillonnage serré, tous les 5 m à deux niveaux, 20 et 40 cm de profondeur sur deux bandes (fig. III-5) de culture orientées dans le sens de la pente. L'échantillonnage réalisé depuis le "biseau cuirassé" jusqu'au marigot, va donc au-delà de la limite aval des sites d'étude.

- des mesures de densité apparente et de porosité totale ont été faites (méthode du cylindre), en haut de pente, au milieu (zone sableuse) et en bas de pente. La mesure a été faite tous les 20 cm jusqu'à ce que soit rencontré l'horizon argileux compact ou horizon "vert pistache" dans la bande L3 pour le site A et L5 pour le site B (Fig. III-5).

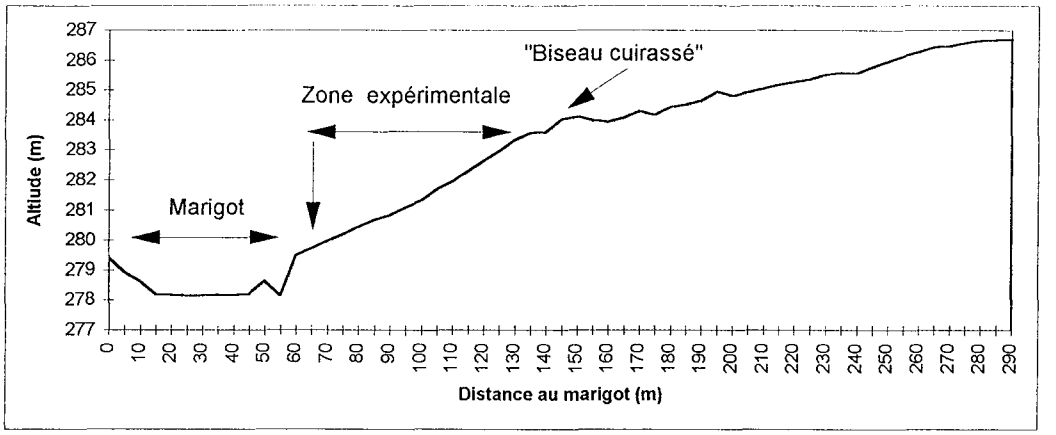



**Figure III-1. Profil topographique du site A**

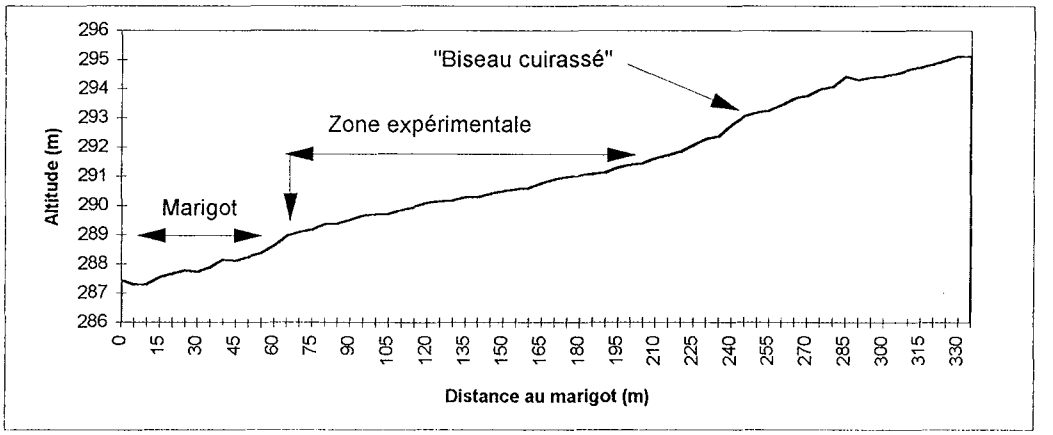



**Figure III-2 : Profil topographique du site B**

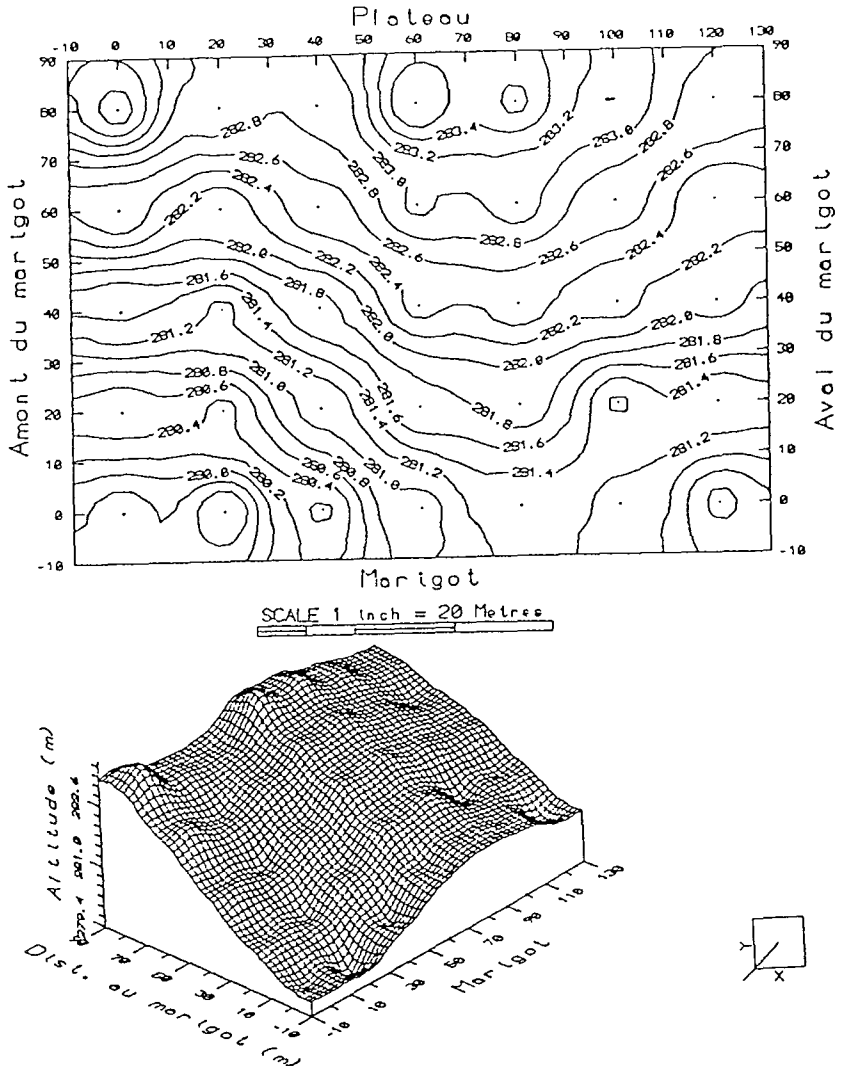



FIGURE III-3a : Topographie et vue en perspective du terrain naturel du site A

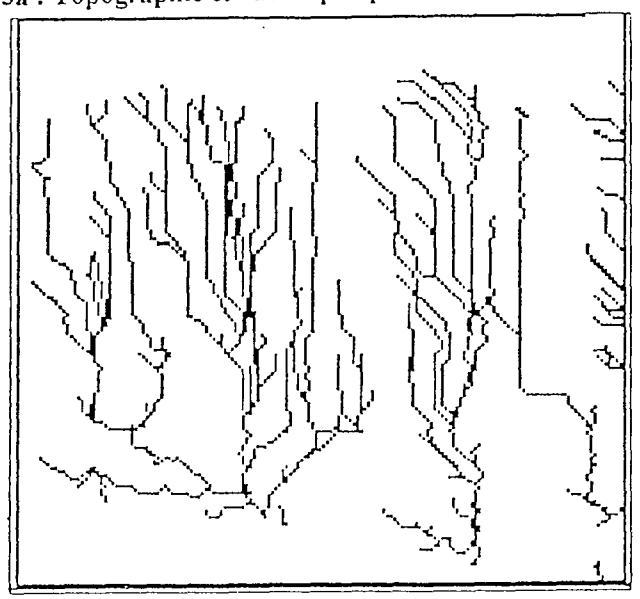


FIGURE III-3b : Organisation des zones de ruissellement de l'eau au site A

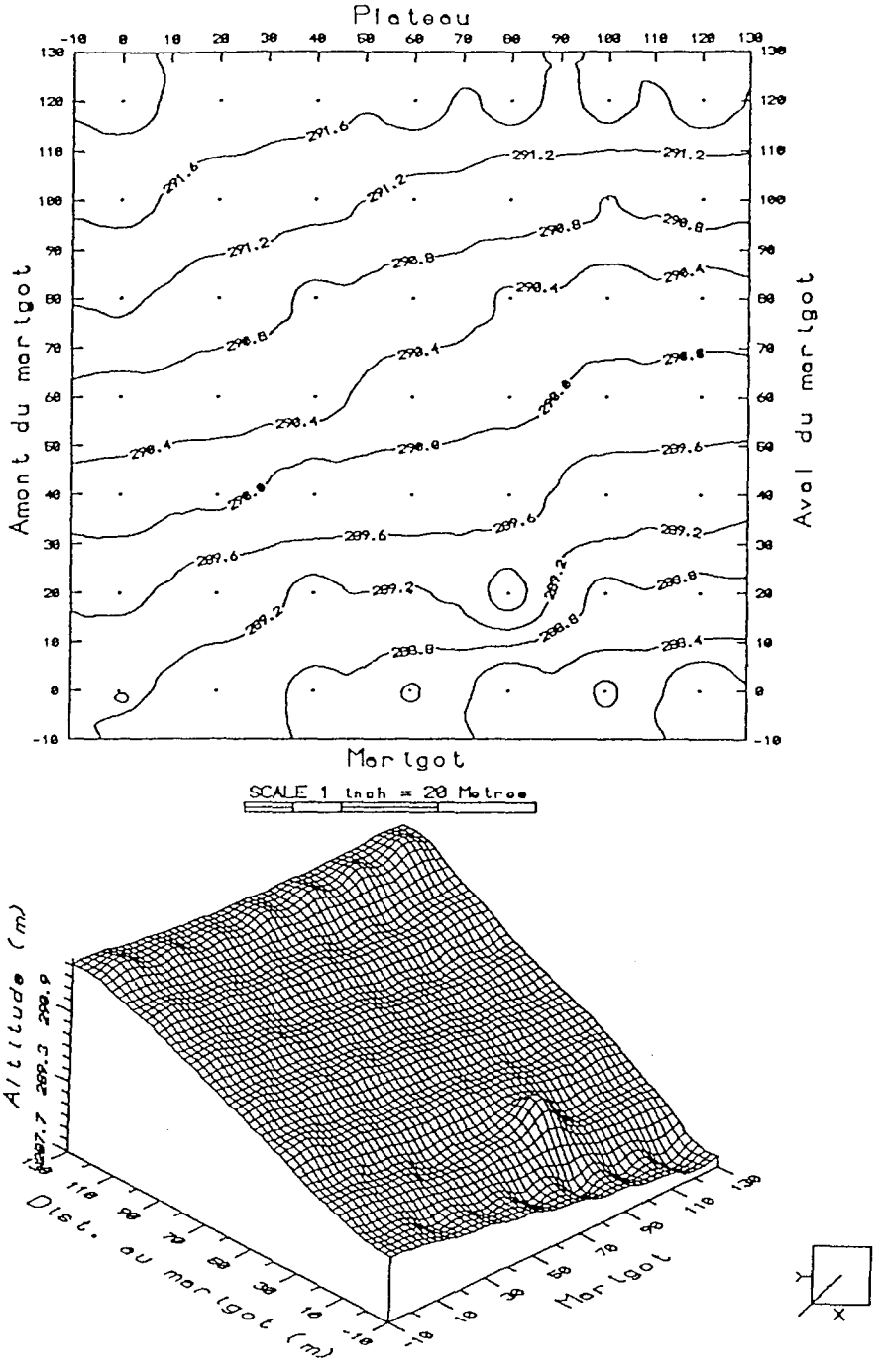
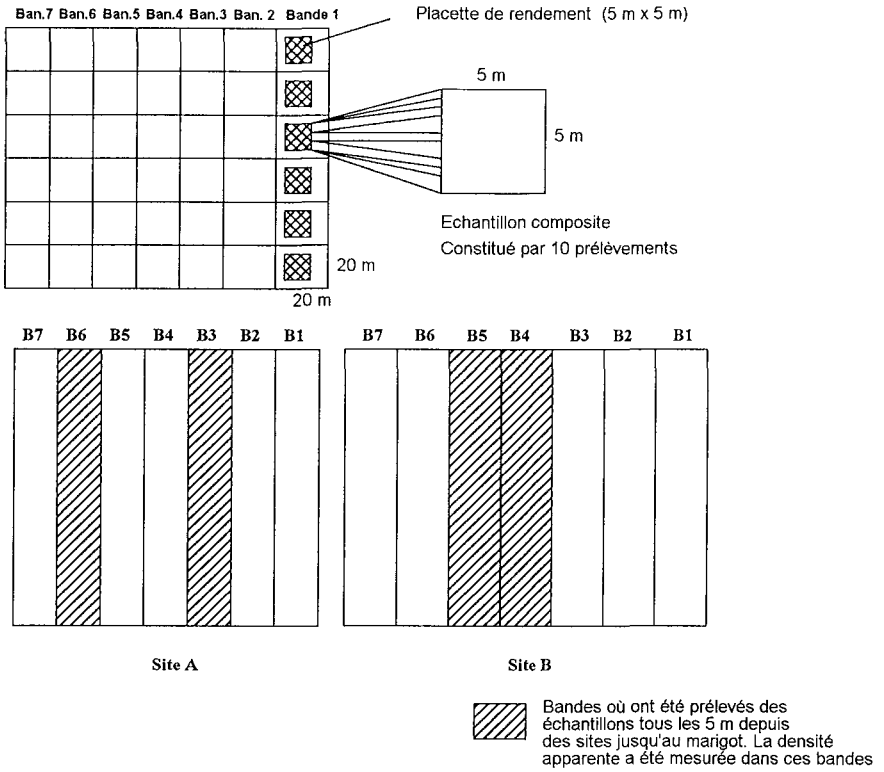



**FIGURE III-4 : Topographie et vue en perspective du terrain naturel du site B**

Figure III- 5 : Dispositif expérimental et prélèvement des échantillons composites avant la mise en culture des sites d'étude




# 3 RESULTATS

## 3.1. VARIABILITE SPATIALE DE LA TEXTURE.

Les figures III-6 et III-7 illustrent la variabilité spatiale des teneurs en argile pour les divers horizons prélevés (0-20, 20-40, 40-60, 60-80 cm) dans les site A et B. Les teneurs en argile, faibles en surface, croissent en profondeur. La variabilité spatiale de ces teneurs augmente en profondeur. Cette augmentation est plus forte dans la zone amont des sites. Mais, la variabilité spatiale des teneurs en argile n'est pas chaotique, en effet, le schéma de distribution spatiale des teneurs en argile est sensiblement le même pour tous les horizons.

Ainsi, la distribution spatiale des teneurs en argile (Fig. III-6) fait apparaître trois parties grossièrement parallèles aux courbes de niveau : 1) une zone amont, 2) une zone médiane et 3) une zone aval.

- *En amont* des deux sites la variabilité spatiale des teneurs en argile est forte pour tous les horizons étudiés. On note dans cette zone, la présence d'un pic dont l'importance s'accroît en profondeur. Son origine est à relier avec la nature les sols situés dans la zone amont des sites. On se trouve en effet dans la partie aval du "biseau cuirassé" occupée par des sols jaune rougeâtres à texture sablo-argileuse. Les teneurs en argile varient entre 18 % en surface et 25 % en profondeur pour le site A, 15 % et 35 % pour le site B. Les teneurs en argile sont plus élevées dans le deuxième horizon (20-40 cm) comme c'est le cas pour les sols rouges de plateau. Dans le site A les teneurs les plus élevées se

trouvent dans une bande proche du petit bombement qui constitue la zone de partage des eaux de ruissellement.

*Dans la zone médiane* la variabilité spatiale des teneurs en argile est faible. C'est aussi dans cette zone que les teneurs en argile sont les plus faibles.

*Dans la zone aval,* les teneurs en argile augmentent très légèrement. Ce qui semble indiquer un dépôt d'éléments fins à l'extrême aval des versants. La variabilité spatiale des teneurs en argile y est modeste mais semble plus accusée dans les horizons de profondeur.

Ainsi, les teneurs en argile sont élevées dans la zone amont, faibles dans la zone médiane et augmentent nettement dans la zone aval de la toposéquence. C'est ce que confirment les figures III-8 bande 3 et 6 site A et III-9 bandes 4 et 5 site B. représentant les teneurs en argile des échantillons prélevés tous les 5 m le long de la toposéquence du plateau jusqu'au lit du marigot à 0-20 et 20-40 cm. Pour la bande 6 du site A (fig. III-8), les teneurs en argile sont les mêmes en amont et dans la zone médiane. Cette bande se situe en effet dans une zone particulière, en dépression relative, et nous en commenterons les conséquences plus loin.

**Les limons fins** ont la même distribution spatiale que l'argile mais de manière moins nette.

**Les teneurs en sables fins** sont maximum dans la zone médiane et minimum dans les zones amont et aval. Les **sables grossiers** évoluent dans le même sens mais de manière moins nette. Les teneurs les plus basses des deux fractions se situent dans le bas-fond.

Pour le site B (fig. III-7), les teneurs élevées que l'on observe en bas de pente dans la partie droite du graphique sont à relier avec la présence du bas-fond.

### 3.2.VARIABILITE SPATIALE DES PROPRIETES CHIMIQUES.

**Les teneurs en carbone organique** sont faibles dans les deux sites. La figure III-10 est une cartographie des teneurs en carbone des deux sites pour l'horizon 0-20 cm, car en profondeur les teneurs sont très faibles. D'une manière générale les moyennes sont de l'ordre de 0.6 % (écart type de 0.21) pour le site A, et de 0.5 % (écart type de 0.19) pour le site B.

Trois zones se dégagent très nettement dans les deux sites : une zone amont, une zone médiane et une zone aval.

*En amont* les teneurs en carbone organique sont relativement élevées. Dans le site A, les teneurs maximum sont situées au milieu de la zone, au voisinage de la zone de partage des eaux signalée plus haut. Dans le site B les teneurs élevées se situent aux extrémités droite et gauche. La variabilité spatiale des teneurs est forte mais non chaotique. Cette variabilité spatiale semble régulière à l'exception des pics correspondant aux teneurs les plus élevées en carbone.

*Dans la zone médiane* les teneurs en carbone sont très faibles. La variabilité spatiale est également faible. Les teneurs du site A (0.36 et 0.60 %) paraissent légèrement plus élevées que celle du site B où elles oscillent entre 0.28 et 0.44 %.

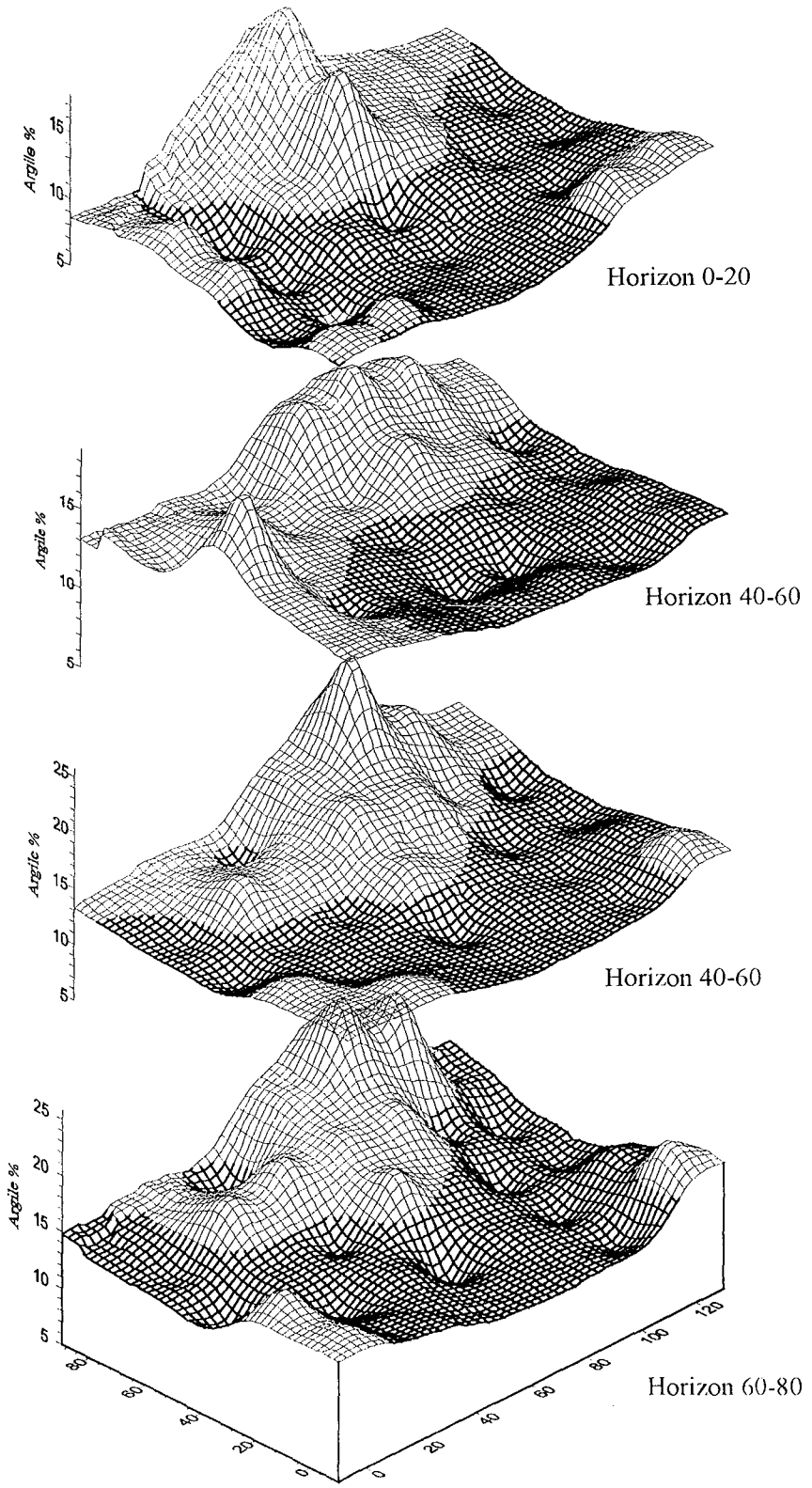
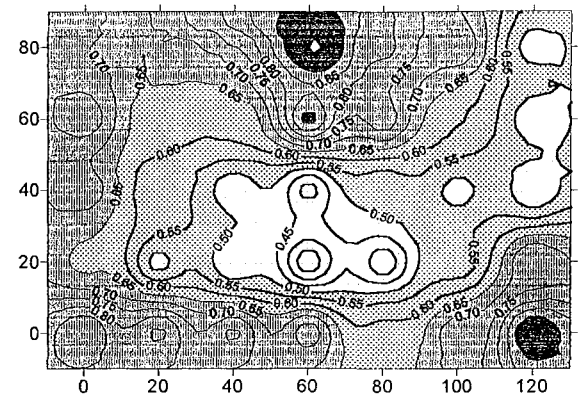



**Figure III-6 Variabilité spatiale des teneurs en argile - site A**
**En foncé les teneurs < 14% d'argile**



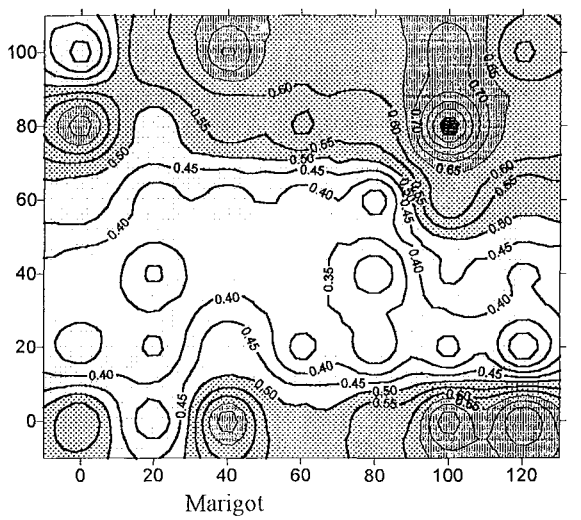




Figure III-10 Variabilité des teneurs en Carbone organique dans l'horizon 0-20.
En noir C >1%, Gris foncé C >0,65%, Gris clair C >0,5%, Gris très clair C <0,5%

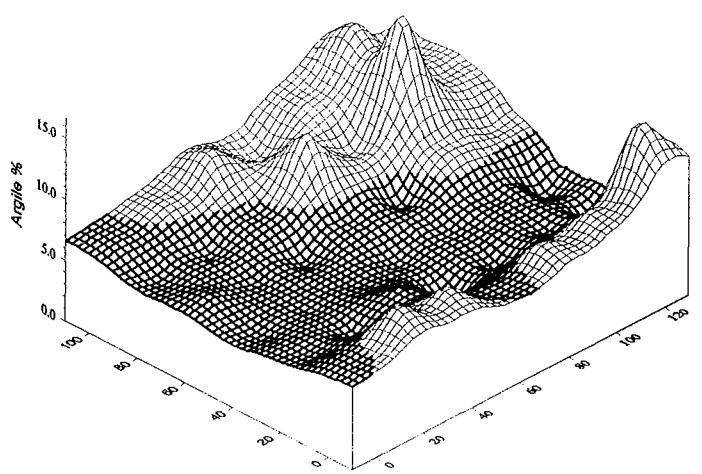



Figure III-7 Varabilité spatiale des teneurs en argile de l'horizon 0-20 du Site B.
Noir foncé teneurs < 7%,

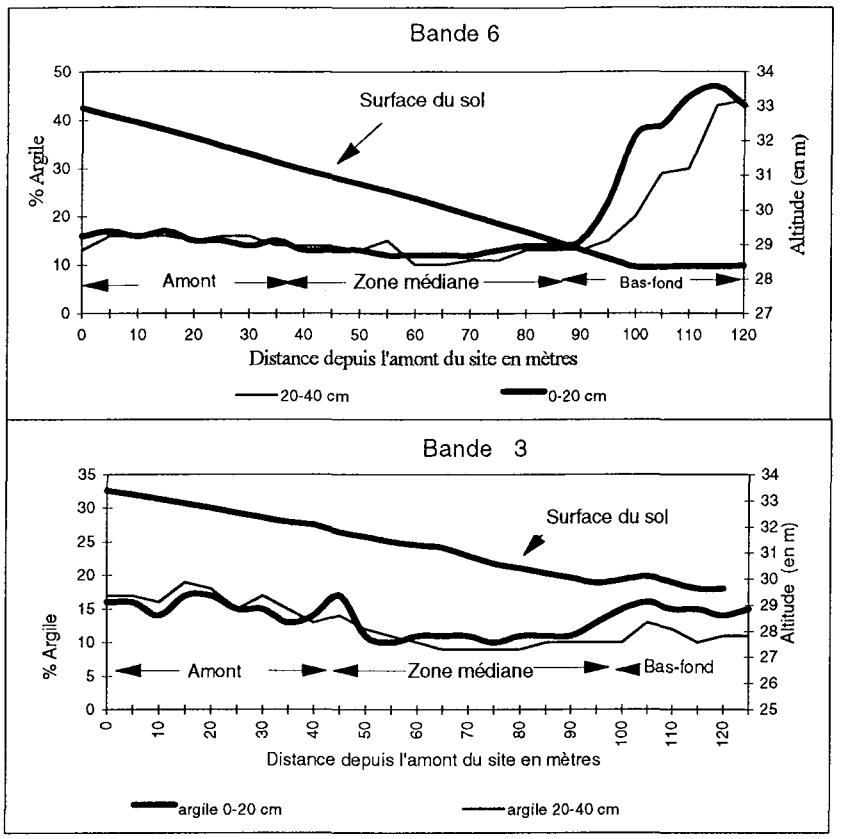



Figure III-8 Site A Variations des teneurs en argile le long de la toposéquence

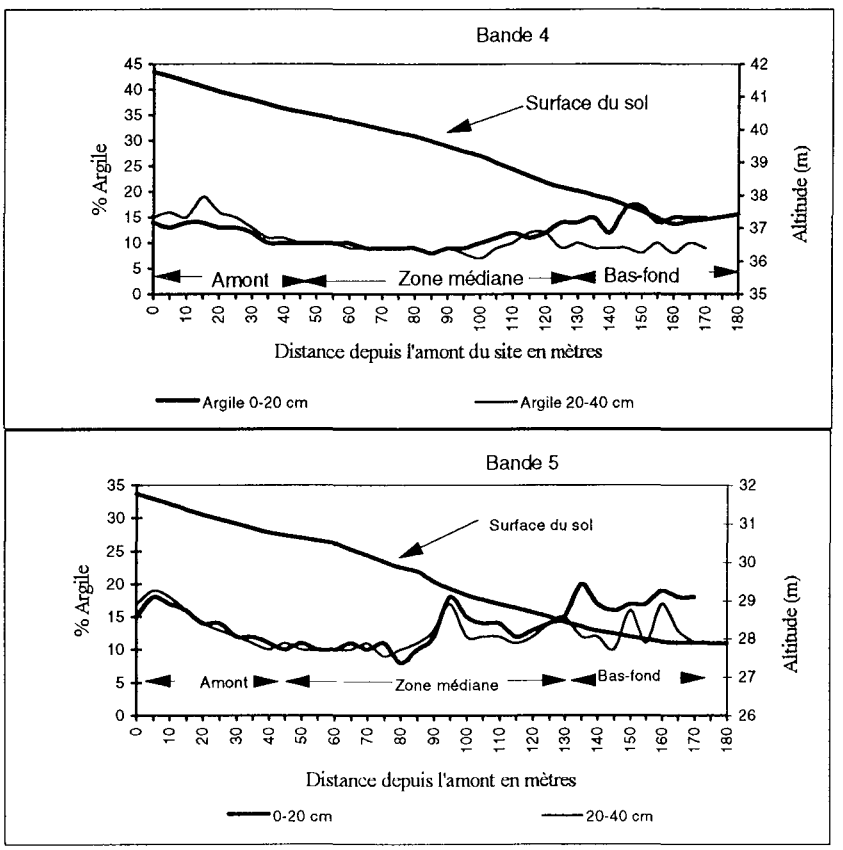



Figure III-9. Site B Variations des teneurs en argile le long de la toposéquence

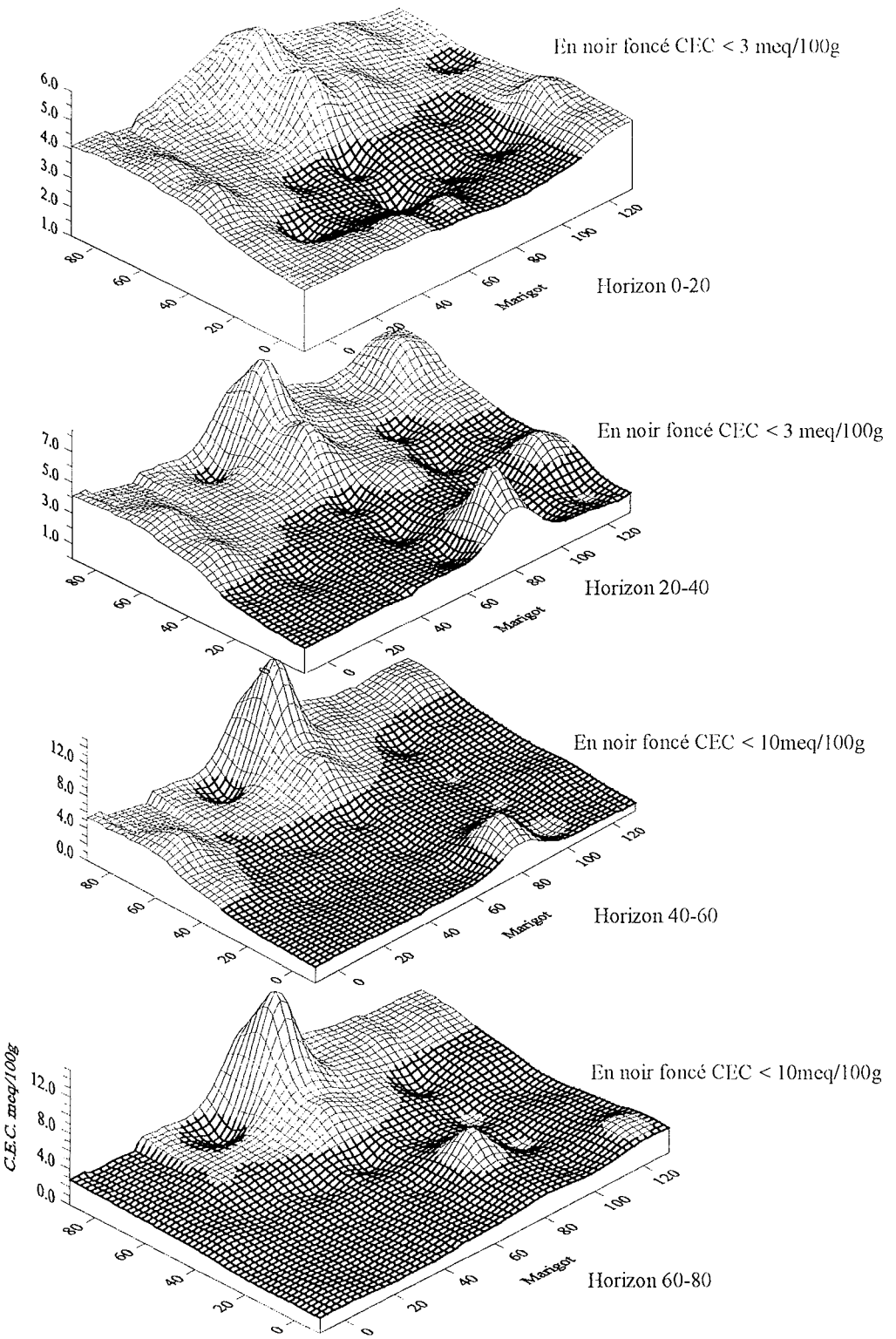
*Dans la zone aval,* les teneurs en carbone sont plus élevées que dans la zone médiane mais plus faibles que dans la zone amont. Dans le site B, on observe un pic dans l'angle inférieur droit de la figure correspondant la partie la plus basse du site, identifiée sur le terrain comme étant des lobes du bas-fond. La variabilité spatiale des teneurs en carbone est faible dans les deux sites.

**La capacité d'échange cationique** (CEC), faible en surface augmente en profondeur (figure III-11) notamment en amont. Mais cette augmentation est essentiellement localisée dans la partie amont des sites. On observe encore trois zones grossièrement parallèles aux courbes de niveau. La variabilité spatiale n'est pas chaotique car les fortes valeurs se trouvent toujours aux mêmes endroits. Comme pour l'argile, tous les horizons présentent le même pic des valeurs fortes aux mêmes endroits. Dans les zones médiane et aval, la variabilité spatiale paraît faible. Les quelques pics que l'on observe en aval du bas versant sont généralement liés à la présence de termitières.

**Les teneurs en calcium** sont faibles en surface (fig. III-12). Elles augmentent très peu en profondeur pour le site B. Les moyennes sont de l'ordre de 1.30 méq/100g en surface (écart type de 0.73) et voisin de 0.78 méq/110g en profondeur (écart type de 0.67). Pour le site A elles sont de 1.98 méq/100g en surface (écart type de 0.67) et 0.70 méq/100g (écart type de 0.9). Comme pour l'argile et la CEC trois zones apparaissent : une bande amont relativement bien pourvue en calcium, une bande médiane très pauvre et une bande aval un peu plus riche. La variabilité spatiale est forte dans la bande amont. Comme l'exprime le pic situé toujours aux mêmes endroits dans les divers horizons considérés, cette variabilité spatiale n'est pas chaotique. Ces variations, bien que non visibles sur le terrain révèlent une variabilité pédologique qui aura probablement des répercussions sur la productivité des sols.

**Le magnésium** suit plus ou moins l'évolution du calcium. La variabilité spatiale des teneurs indique une zone amont où les teneurs sont plus élevées, une zone médiane où elles sont plus basses et une zone aval où elles sont modérément élevées. Les moyennes des teneurs en magnésium varient entre 0.75 méq/100g en surface (écart type 0.24) et 0.35 méq/100 g en profondeur (écart type 0.26) pour le site A. Pour le site B, elles sont de 0.45 méq/100g en surface (écart type 0.40), et de 0.28 méq/100 g en profondeur (écart type 0.32).

**Le potassium échangeable**. (figure III-13) a une variabilité spatiale du même type que ceux observés pour l'argile, le carbone, la CEC et le calcium. Même si l'importance de cette variabilité semble plus faible, on observe toujours une *zone amont,* une *zone médiane* et une *zone aval* bien caractéristiques. Dans le site A les teneurs en potassium échangeable sont élevées en amont dans la zone proche du bourrelet qui constitue la zone de partage des eaux. De part et d'autre de ce petit bombement les teneurs baissent assez fortement. La moyenne est de l'ordre de 0.19 méq/100g (écart type 0.064). La variabilité spatiale est plus ou moins nette dans la zone amont. Dans la zone médiane, elle est faible. Elle est plus marquée dans la zone aval du site. Dans le site B, la variabilité spatiale des teneurs en potassium échangeable paraît chaotique car les pics observés ne correspondent pas à ce qui a pu être observé pour les autres éléments analysés. Elle est plus forte dans la partie amont. Dans la zone médiane elle devient faible, tandis qu'en zone aval, elle est modérément faible. La moyenne des teneurs en potassium est de 0.21 méq/100g (écart type 0.085).




Figue III-11 Variabilité spatiale de la CEC Site A

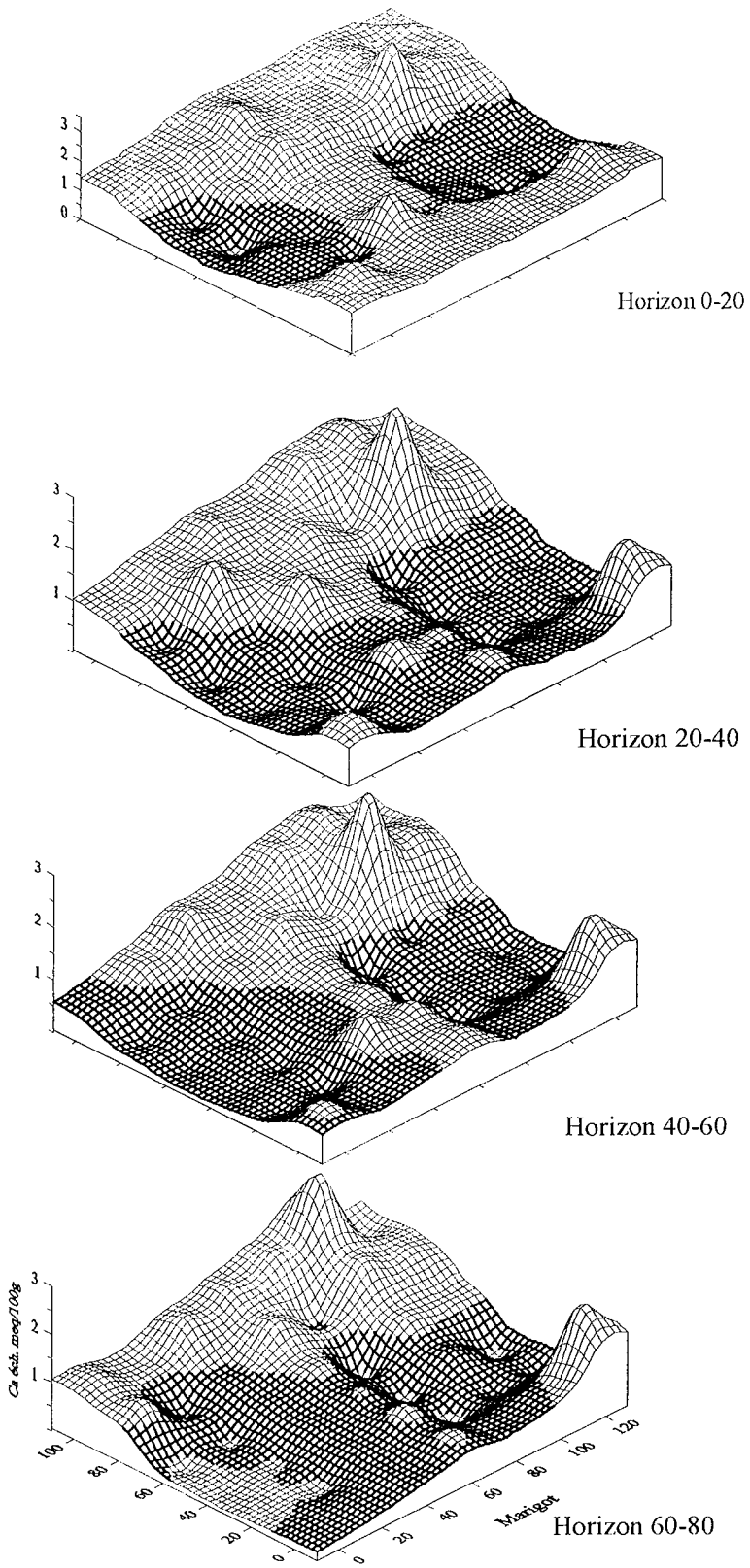



Figure III-12 Variabilité spatiale des teneurs en calcium échangeable. Site B.
En foncé Ca < 0,8méq/100g pour horizons 20 à 80 et Ca <1méq/100g pour horizon 0-20

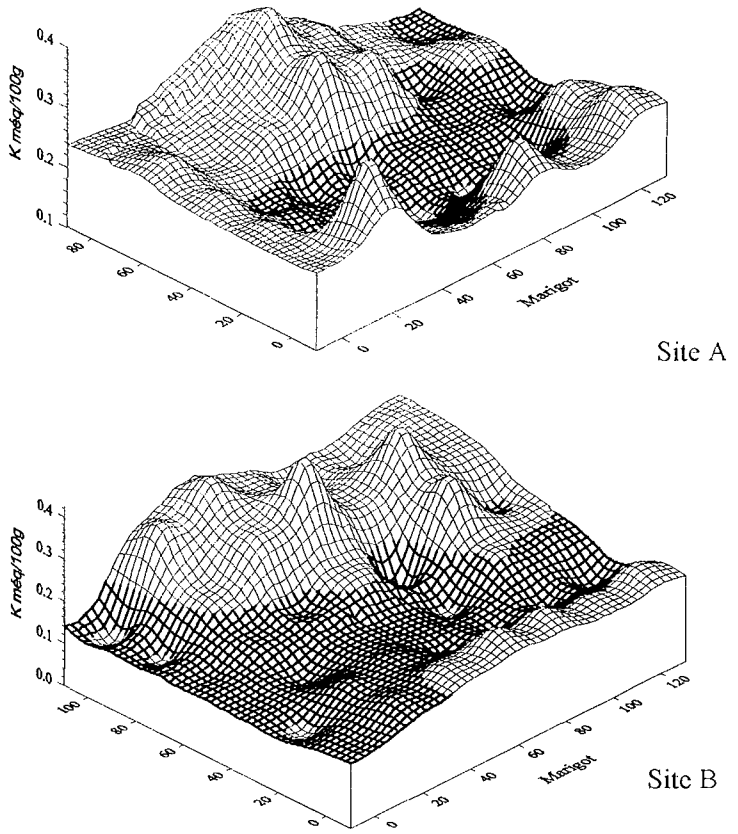



Figure III-13 Variabilité spatiale des teneurs en potassium échangeable dans l'horizon 0-20.
En foncé K échangeable < 0,18 méq/100g pour site A et 0,20 pour site B

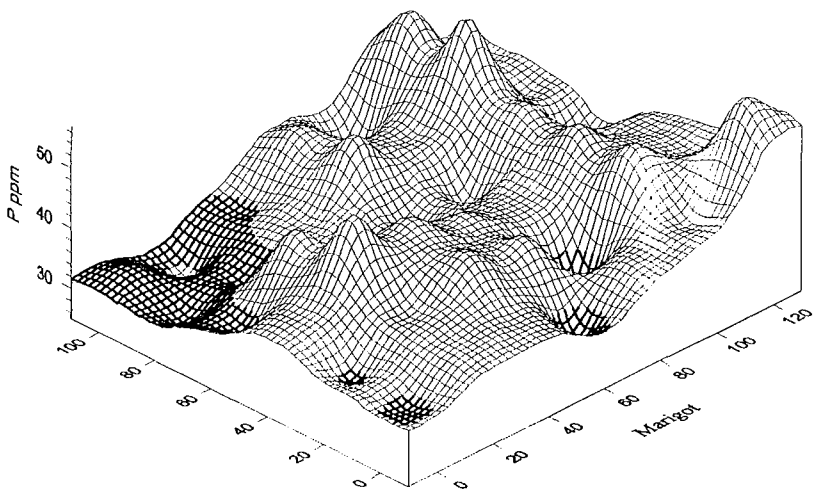



Figure III-14 Variabilité spatiale des teneurs en phosphore assimilable. Horizon 0-20. Site B.
En foncé teneurs en P assimilable < 34ppm

**Pour le phosphore assimilable** (fig. III-14), la variabilité spatiale est chaotique avec des teneurs élevées en surface (0-20 cm), qui varient entre 3 et 26 ppm. En profondeur ces teneurs diminuent quelle que soit la partie du site considérée. Les teneurs ne suivent pas la même distribution spatiale que l'argile, le calcium ou la CEC. Apparemment, on n'observe pas les trois zones habituellement reconnues avec les autres éléments. Cependant ces teneurs diminuent progressivement de l'amont vers l'aval. D'une manière générale le phosphore assimilable des sols des deux sites est moyennement élevé. Ce qui est confirmé par l'absence de carence minérale en phosphore dans les sols de bas versant des vallées du (CPR) de l'ADRAO.

Le **pH** (eau) varie très peu avec des valeurs allant de 5.4 à 6,6. Il est systématiquement supérieur au pH (KCl). Les pH les plus hauts se trouvent dans les 20 premiers centimètres. Les sols des deux sites sont moyennement acides.

### 3.3 DENSITE APPARENTE ET POROSITE TOTALE

Les résultats de la mesure de la densité apparente et de la porosité totale sont présentés dans les tableaux III-1a et III-1b. Seules les zones aval et médiane des sites sont concernées. La mesure n'a pas pu être faite dans la zone amont à cause de la nature très graveleuse des sols de cette zone. Le tableau indique que :

- la densité apparente augmente en profondeur. Elle devient maximum (1.80 à 1.96) dans l'horizon argileux "vert pistache" ; on est en présence d'un horizon très compact. Par contre dans les horizons superficiels ou subsuperficiels cette densité varie entre 1.5 et 1.6. On se trouve dans un milieu sableux à sablo-limoneux à drainage bon.

- la porosité, corollaire de la densité apparente est élevée (40 à 45 %) dans les horizons superficiels et subsuperficiels et basse (27 à 35 %) dans l'horizon "vert pistache". Cette observation a des conséquences très importantes sur l'infiltration et la circulation des eaux de pluies et l'origine de la nappe phréatique, comme on le verra plus tard.

| | **Zone médiane** | | | **Zone aval** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Profondeur (cm) | Densité apparente | Porosité totale | | Densité apparente | Porosité totale | |
| 0-20 | 1.51 | 43 | A1 | 1.36 | 48 | A1 |
| 20-40 | 1.52 | 43 | | 1.54 | 42 | |
| 40-60 | 1.52 | 43 | | 1.58 | 40 | |
| 60-80 | 1.56 | 41 | A2 | 1.58 | 40 | A2 |
| 80-100 | 1.58 | 40 | | 1.65 | 37 | |
| 100-120 | 1.6 | 39 | | 1.64 | 38 | |
| 120-140 | 1.64 | 38 | | 1.92 | 27 | |
| 140-160 | 1.90 | 28 | IIBr | 1.96 | 26 | |
| 160-180 | 1.8 | 32 | | 1.84 | 30 | IIBr |
| 180-200 | 1.74 | 34 | | 1.82 | 31 | |
| 200-220 | 1.78 | 33 | IIC | 1.80 | 32 | |
| 220-240 | - | - | | 1.74 | 34 | IIC |

Tableau III-1a. Densité apparente et porosité totale dans les zones médiane et aval des sites. Site A

| | Zone médiane | | | Zone aval | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Profondeur (cm) | Densité apparente | Porosité totale | | Densité apparente | Porosité totale | |
| 0-20 | 1.6 | 40 | A1 | 1.55 | 42 | A1 |
| 20-40 | 1.71 | 35 | | 1.72 | 35 | |
| 40-60 | 1.59 | 40 | | 1.67 | 36 | A2 |
| 60-80 | 1.63 | 38 | A2 | 1.69 | 36 | |
| 80-100 | 1.62 | 39 | | 1.89 | 29 | |
| 100-120 | 1.7 | 36 | | 1.96 | 26 | IIBr |
| 120-140 | 1.64 | 38 | | 1.88 | 29 | |
| 140-160 | 1.72 | 35 | | 1.83 | 27 | |
| 160-180 | 1.89 | 28 | IIBr | - | | - |
| 180-200 | 1.86 | 29 | | - | | - |

Tableau III-1b. Densité apparente et porosité totale dans les zones médiane et aval des sites. Site B

## 4 INTERPRETATION ET CONCLUSION

La répartition spatiale des données physico-chimiques des sols fait ressortir globalement trois zones bien distinctes dans le bas versant pour chacun des deux sites étudiés :

-**une zone amont** caractérisée par des teneurs relativement élevées en argile, carbone, calcium, magnésium, potassium et par des valeurs de la CEC fortes. Toutes ces valeurs augmentent en profondeur. La variabilité spatiale de ces teneurs y est forte mais non chaotique puisque la distribution spatiale de toutes les valeurs analysées est la même. Cette variabilité semble donc correspondre à une organisation spatiale des sols qui n'est pas aisée à discerner sur le terrain.

- **une zone médiane** où des teneurs en argile, carbone, calcium, magnésium sont basses et où la CEC est faible. C'est une zone appauvrie où le lessivage vertical et latéral est important. La variabilité spatiale des teneurs y est faible.

- **une zone aval,** située à la limite avec le bas-fond, où les teneurs en argile, carbone, calcium et magnésium sont plus fortes que dans la zone médiane. Elles restent cependant faibles. La variabilité spatiale y est modérée avec des pics correspondant soit à des lobes du bas-fond, soit à la présence de termitières. C'est particulièrement le cas du site B où les teneurs en argile, CEC, calcium et magnésium sont plus élevées.

Les résultats de la densité apparente confirment le saut textural existant entre l'horizon sableux A2 et l'horizon argileux "vert pistache" (IIBr). Ils confirment également le caractère continu entre l'horizon "vert pistache" s.s. et l'arène micacée.

Les résultats de cette caractérisation montrent que les sols de bas versant des deux sites sont hétérogènes. Ils mettent en évidence l'existence d'une zone médiane sableuse dont les caractéristiques physico-chimiques sont faibles par rapport à l'amont et à l'aval. Cette zone constitue donc une discontinuité tant physique que minérale entre les zones amont et aval des sites. Comme nous le verrons plus tard, c'est la zone la plus critique pour la culture du riz.

# TROISIEME PARTIE

# LE REGIME HYDROLOGIQUE ET SES CONSEQUENCES

# CHAPITRE IV

# REGIME DES PLUIES ET L'HUMIDITE DU SOL

## 1 MATERIEL ET METHODES

L'objet de l'étude est de suivre, pendant la saison des pluies, l'évolution de l'état hydrique du sol le long de la toposéquence. La méthode utilisée est celle de la sonde à neutrons. Sept tubes en aluminium ont été installés à 135 cm de profondeur le long de la toposéquence. Ces tubes sont espacés de 20 m. La figure IV-1 présente la position des tubes d'accès de la sonde à neutrons le long de la toposéquence dans le site B. Ils sont localisés **en amont** (T1,T2), dans la **zone médiane** (T3, T4) et **en aval** (T5, T6, T7) du site, identifiés plus haut. Le dernier tube (T7) se situe à 20 m du marigot. Le pas de comptage dans le tube avec la source radioactive est de 10 cm. La mesure débute à 15 cm de la surface et se termine à 135 cm en profondeur. Les mesures sont faites deux fois par semaine et le lendemain de chaque pluie importante. Quatre dates de mesure ont été choisies pour illustrer l'évolution saisonnière de l'état hydrique des sols. Le choix de ces dates est basé sur le calendrier agricole : 1) **le 07/03/94**, c'est la fin de période sèche avant l'arrivée des pluies; 2) **le 27/06/94**, c'est la période de semis des variétés de riz à cycle moyen. Cette date correspond au maximum des pluies de la première saison pluvieuse; 3) **le 05/09/94** correspond au maximum de la deuxième saison des pluies et la mesure a été faite le lendemain d'une pluie de 84 mm. C'est aussi la période du remplissage du grain des variétés de riz à cycle moyen et de la récolte des variétés à cycle court (90 jours); 4) **le 27/12/94** environ deux mois après la fin des pluies peut figurer le retour au point de départ.

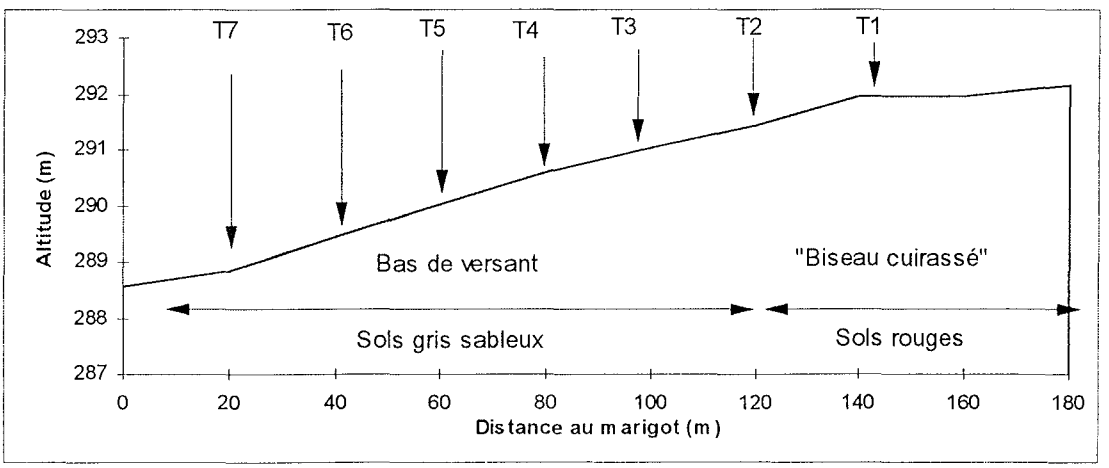



Figure IV-1 Localisation des sites de mesure de l'humidité volumique. Site B Ligne 6

L'humidité volumique du sol est calculée à partir des comptages neutroniques à l'aide du logiciel PROBE (Programme de bilan de l'eau) mis au point par Chopart et Siband (1986). Le principe de calcul est le suivant :

Pour chaque niveau de mesure, l'humidité volumique (HV) calculée à partir : **1)** du relevé neutronique (R.N.); **2)** du coefficient de mesure dans l'eau KE et **3)** de l'équation de sonde (pente PE et constante CO) :

$$HV = RN \times KE \times PE + CO$$

On suppose que l'humidité en surface est la même que celle mesurée sur le niveau supérieur du profil. La méthode, simple d'utilisation, permet de faire un calcul immédiat de HV après la mesure et de pouvoir procéder à des vérifications le même jour en cas de résultats aberrants.

# 2 EVOLUTION DE L'HUMECTATION DES SOLS

Il ne s'agit pas, ici, de faire un bilan hydrique car l'on se trouve sur un terrain en pente. Il nous paraît en effet hasardeux de vouloir faire un bilan hydrique sur un terrain en pente où la maîtrise du drainage à une côte donnée est difficile à réaliser à moins d'utiliser un équipement spécial souvent coûteux et délicat à installer. Il s'agira plutôt de suivre l'humectation du sol en saison sèche, pendant la saison des pluies et à la fin de la saison des pluies le long de la toposéquence. Pour ne pas trop surcharger les graphiques, nous prendrons en considération les tubes T2, T4 et T6 pour toutes les dates de mesure. Nous y ajouterons les tubes T3 à la date du 5/09/94 et T5 à celle du 27/12/94 car à ces dates les profils hydriques de ces tubes apportent des confirmations intéressantes. Le manque d'équipement de notre laboratoire, ne nous a pas permis de déterminer les pF des différentes couches de sol lors de l'installation des tubes d'accès à la sonde à neutrons.

## 2.1 EVOLUTION DES PROFILS HYDRIQUES LE LONG DE LA TOPOSEQUENCE

### *2.1.1 Les profils hydriques avant la saison des pluies*

La figures IV-2 A montre les profils hydriques mesurés le 7 Mars 94 en fin de saison sèche. A cette date la nappe phréatique est tarie comme le montre le tableau IV-1. On observe deux types de courbes bien distincts :

- **un premier type,** représenté par le tube situé en amont (T2), est caractérisé par une humidité volumique très faible sur toute la profondeur considérée. Le profil hydrique est sec.

- **un deuxième type** est illustré par les tubes situés en zone médiane (T4) et aval (T6) du site. Le profil hydrique du tube T6 montre que le sol est sec sur environ 60 cm. Plus en profondeur, l'humidité volumique augmente rapidement et régulièrement jusqu'au niveau de l'apparition de l'horizon argileux "vert pistache". Cette augmentation de HV est similaire à celle d'une frange capillaire située au dessus d'une nappe. Or à la date considérée, les mesures piézomètriques (Cf. plus loin) n'ont pas permis de mettre en évidence l'existence d'une nappe phréatique. En fait, lors de l'ouverture des profils pédologiques, nous avions observé, à cette période de l'année, la présence d'une mince lame d'eau non mesurable avec l'appareil de mesure de la nappe. Ce tube se trouve en effet dans la zone de rassemblement des eaux de la nappe s'écoulant de l'amont vers l'aval. Le tube 4 montre aussi augmentation brutale de HV à partir de 115 cm. Nous attribuerons donc cette forme de profil hydrique à un effet de remontée capillaire. L'épaisseur de la frange capillaire apparaît être d'environ 45 cm pour le tube T6. Il serait imprudent de calculer une épaisseur de la frange capillaire

pour le tube 4 pour lequel l'horizon argileux "vert pistache" se situe à 65 cm du sommet de la frange capillaire. A cette période de l'année seule la frange capillaire du profil hydrique du tube 6 (proche du bas-fond), peut éventuellement contribuer à l'alimentation hydrique de la végétation.

*2.1.2 LES PROFILS HYDRIQUES AU MOMENT DU SEMIS DU RIZ*

A la date du 27 Juin 94, la figure IV-2 B montre encore deux types de profils hydriques.

- **un premier type** représenté par le tube T2, situé en amont du site. Ce profil reste relativement très sec mais montre un léger ventre qui pourrait indiquer l'existence d'un front d'humectation très fugace Le profil s'humecterait donc assez rapidement par le haut.

- **un deuxième type** représenté par le tube T4 (situé dans la zone médiane) et le tube T6 (situé dans la zone aval du site).

Le profil du tube T4 reste très sec sur plus de 115 cm et montre à partir de là une augmentation régulière et très rapide du taux d'humidité volumique. Pour ce tube, et à cette date, le niveau piézométrique de la nappe se situe alors à 155 cm (tableau IV-1). Le calcul montre que, dans ces conditions, la hauteur de remontée capillaire se situerait autour de 40 cm. On n'y observe aucun ventre d'humectation par le haut. On peut donc raisonnablement penser que les eaux de pluies s'infiltrent très rapidement dans cette partie du site à cause de la texture sableuse des sols. L'infiltration rapide des eaux de pluie est bloquée en profondeur par l'horizon "vert pistache" argileux et imperméable. Ces eaux s'accumulent au dessus de cet horizon et donnent naissance à une nappe phréatique qui s'écoule obliquement de l'amont vers l'aval du site. Le profil hydrique du tube 4 paraît s'humecter du bas vers le haut en liaison avec l'apparition et la remontée de la nappe.

Le profil du tube T6 est saturé en profondeur par la nappe phréatique dès 76 cm de profondeur. La remontée capillaire se manifeste jusqu'à 35 cm de la surface du sol. Dans ce cas, la nappe phréatique intervient efficacement dans l'alimentation hydrique du riz par l'intermédiaire de sa frange capillaire (Bertrand 1973, Guillobez 1974, Moormann et al. 1977).

*2.1.3 LES PROFILS HYDRIQUES LE 05 SEPTEMBRE, APRES UNE PLUIE DE 84 MM*

Les profils hydriques présentés dans la figure IV-2 C permettent de distinguer trois types : un premier type où l'on trouve le tube T2 (situé en amont); un deuxième type avec les tubes T3 et T4 situés dans la zone médiane et un troisième type avec le tube T6 situé en aval du site.

-**le premier type** situé en amont (T2) est caractérisé par un profil humide jusqu'à la capacité au champ sur toute l'épaisseur du sol considéré. Il n'y a pas de remontée capillaire visible pour ce tube puisqu'en effet, la nappe phréatique est très profonde. Dans ces conditions on admettra que l'humectation s'est faite par le haut du profil comme on l'a vu plus haut..

- **le deuxième type** situé dans la zone médiane est représenté par les tubes T3 et T4. Les profils hydriques restent relativement secs jusqu'à environ 60 cm de profondeur pour le tube 4 et 105 cm pour le tube 3. Contrairement à la zone amont, l'infiltration des eaux de pluie se fait de manière très rapide qui ne permet pas d'identifier de front d'humectation par l'infiltration des eaux de pluies depuis la surface du sol. La nappe se situe à 145 cm pour le tube T3 et 115 cm pour le tube T4. La hauteur de la remontée capillaire est d'environ est de 40 cm pour T4 et 50 cm pour T3.

Pour ces profils, la frange capillaire reste encore trop profonde pour contribuer efficacement à l'alimentation hydrique du riz à moins d'avoir des variétés à enracinement profond.

- **le troisième type** représenté par le tube **T6** est situé dans la partie aval du site. Ce type se dégage très nettement des autres. Le profil hydrique est entièrement saturé sur la profondeur d'installation du tube. La nappe phréatique se trouve à 30 cm pour le tube T6, elle est donc sub-affleurante. C'est la zone où la croissance du riz est assistée par la nappe phréatique très proche de la surface du sol.

*2.1.4 LES PROFILS HYDRIQUES DEUX MOIS APRES LA FIN DE LA SAISON DES PLUIES*

La figure IV-2 D montre trois types de profils hydriques :

- **un premier type** constitué par les tubes **T2, T4** pour lesquels les profils hydriques sont secs sur toute l'épaisseur du sol. Aucune remontée capillaire n'est observée. Il faudrait peut être aller plus en profondeur du sol pour noter la remontée capillaire au niveau de ces tubes. Pour les zones considérées, en fin Décembre les profils hydriques indiquent qu'il ne peut y avoir d' influence de la frange capillaire dans l'alimentation hydrique du riz. Les repousses du riz après la récolte se maintiennent difficilement dans cette zone.

- **un deuxième type** représenté par le tube **T5** situé à la limite entre la zone médiane et la zone aval du site. Le profil hydrique de ce tube est relativement sec sur 85 cm. Au delà, on note une augmentation régulière de l'humidité volumique. Fin décembre, la nappe phréatique est absente, mais il subsiste encore au dessus de l'horizon argileux "vert pistache", comme on l'a dit plus haut, une mince lame d'eau qui s'écoule de l'amont vers l'aval du site plusieurs mois après la fin des pluies. L'horizon "vert pistache" reste encore engorgé permettant ainsi la remontée capillaire de l'eau.

**-un troisième type** représenté par le tube T6 situé en aval du site où, malgré l'absence d'une nappe phréatique, on observe encore dans le profil une remontée capillaire jusqu'à 55 cm de profondeur. Contrairement aux types précédent, l'assèchement du sol se fait très lentement à cause du suintement de l'eau au niveau de l'horizon argileux "vert pistache" et surtout de la texture limoneuse des sols situés dans la zone aval du site. On se trouve aussi dans la zone de rassemblement des eaux s'écoulant depuis les parties amont et médiane du site. Le sol reste donc suffisamment humide et les repousses de riz peuvent ainsi végéter jusqu'à l'épiaison voire même jusqu'à à la maturité du riz.

| **Date** | **T3** | **T4** | **T5** | **T6** | **T7** |
|---|---|---|---|---|---|
| **7/03/94** | 189* | 180* | 164* | 108* | 94* |
| **27/06/94** | 170 | 155 | 110 | 76 | 56 |
| **05/09/94** | 145 | 115 | 68 | 30 | -8 |
| **27/12/94** | 189* | 180* | 164* | 108* | 94* |

Tableau IV-1. Profondeur d'apparition (cm) de la nappe aux dates choisies pour décrire l'évolution des profils hydriques le long de la toposéquence. * = *piézomètre sec= profondeur de l'horizon "vert pistache"*

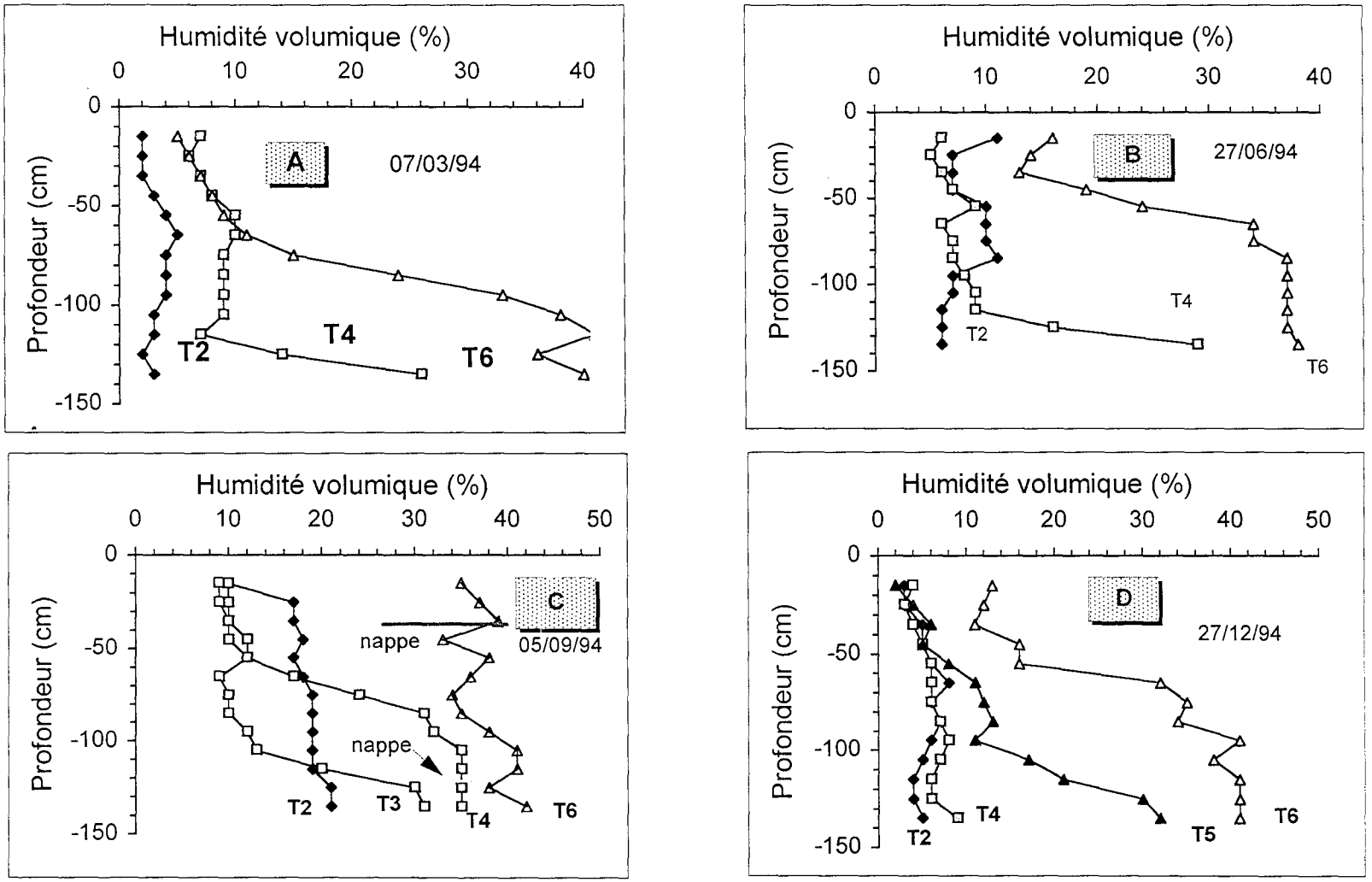



**Figure IV-2 . Site B** : Profils hydriques des sols de la toposéquence en fonction des siasons. A = (Mars), fin de la saison sèche; B = (fin Juin) , fin de la première saison des pluies avant le semis du riz; C = (début Septembre), après une forte pluie de la deuxième saison; D = (fin Décembre), deux mois après la fin des pluies.

## 2.2 EVOLUTION DES PROFILS HYDRIQUES AU COURS DU TEMPS

Les figures IV-3 et IV-4 représentent les profils hydriques pour différentes dates de mesure.

### *2.2.1 PROFILS HYDRIQUES DU TUBE 1*

Le tube 1 est installé dans la partie aval du "biseau cuirassé" occupée par des sols jaunes rougeâtres dont les horizons sont plus ou moins carapacés et surtout poreux à pores tubulaires larges. Le caractère gravillonnaire du sol a posé de sérieux problèmes pendant l'installation du tube. Le tube se caractérise par des profils hydriques homogènes. L'humidité volumique varie très peu même après la pluie de 84 mm. En conséquence, les données recueillies nous semblent douteuses, aussi avons écarté ce tube de l'étude.

### *2.2.2 PROFILS HYDRIQUES DU TUBE 2*

Situé à 20 m plus bas que le tube 1, le tube 2 se trouve à la limite entre les sols sablo-argileux du "biseau cuirassé" et les sols gris sableux du bas versant. La figure IV-3 montre qu'à la date du 07/03/94, le profil du tube est pratiquement sec. A la date du 27/06/94, on observe un léger ventre qui semble indiquer l'existence d'un front d'humectation très fugace. L'humectation du profil se fait donc de haut en bas mais de manière très rapide. Le profil mesuré à la date du 05/09/94 pendant le maximum de la deuxième saison de pluies est entièrement humecté à la capacité au champ jusqu'à la profondeur d'installation du tube. Deux mois après la saison des pluies, le 27/12/94, l'humidité volumique du profil hydrique a diminué très uniformément et s'est rapproché du profil hydrique de départ. On ne note aucune influence de la nappe dans la section de sol considérée.

### *2.2.3 PROFILS HYDRIQUES DES TUBES 3 ET 4*

Ces tubes se trouvent entièrement dans la zone médiane occupée par les sols appauvris, gris sableux du bas versant. Les profils hydriques des deux tubes (fig. IV-3) mesurés le 07/03/94 sont sensiblement identiques. Ces sols sont alors quasiment secs. En profondeur, on observe une faible augmentation de l'humidité volumique probablement due à la remontée capillaire bien qu'à cette date la nappe phréatique ne pouvait pas être décelée avec les piézomètres mis en place. Aux dates du 27/06 et du 05/09/94, les profils hydriques ne montrent qu'une très faible variation d'humidité par rapport au profil sec et ce jusqu'à 110 cm de profondeur environ. Pourtant on est au maximum de chacune des deux saisons pluvieuses, et l'on aurait pu s'attendre à une franche augmentation de l'humidité en liaison avec l'infiltration des eaux de pluies. On doit donc interpréter cela comme étant le résultat d'une part, d'une très forte perméabilité des sols gris sableux et d'autre part, au fait que la texture grossière ne permet qu'un stockage très faible de l'eau infiltrée. En d'autres termes, l'eau qui s'infiltre à la surface des sols transite verticalement et très vite au travers des horizons sableux puis, lorsqu'elle arrive au niveau de l'horizon "vert pistache", argileux et imperméable, elle s'écoule très rapidement vers l'aval.

Le 27/12/94, on observe un assèchement très net des profils hydriques. Ces profils montrent cependant une très légère augmentation de l'humidité volumique en profondeur.

### *2.2.4 PROFILS HYDRIQUES TUBES 5 ET 6*

La figure IV-4 montre les profils hydriques des deux tubes. Ces tubes se trouvent toujours dans la zone médiane sableuse mais plus en aval que les précédents. Le profil hydrique mesuré le 7/03/94 au tube 5 indique un sol entièrement sec et l'absence de nappe phréatique. L'humidité volumique du sol est très faible. Le 27/06/94 la nappe phréatique se trouve à 110 cm, ce qui se traduit par une

remontée capillaire de l'eau jusqu'à 75 cm. Alors que le 05/09/94, après la pluie de 84 mm la nappe remonte jusqu'à 68 cm et le profil est saturée jusqu'à la surface. L'assèchement du profil se fait lentement en profondeur même quand la nappe a, au moins en apparence, tari. Il reste en effet une frange capillaire qui indique encore des suintements, des arrivées d'eaux depuis le plateau et qui se maintiennent longtemps après la fin des pluies. Ces suintements pourraient s'expliquer par une remontée tardive par gonflement de la nappe d'altérite qui viendrait alimenter très légèrement la nappe perchée au dessus de l'horizon "vert pistache".

Le tube 6 est différent du tube 5. Il est situé en position topographique plus basse. Une augmentation de l'humidité, qui a le faciès d'une remontée capillaire se manifeste jusqu'à 65 cm début mars alors qu'il n'y a pas de nappe décelable par les piézomètres. Fin juin, la nappe phréatique se trouve à 76 cm et la remontée capillaire se manifeste jusqu'à 35 cm de profondeur. Début septembre, après la pluie de 84 mm, la nappe remonte jusqu'à 30 cm de la surface. Le profil hydrique mesuré à cette date est entièrement engorgé. A la date du 27/12/94, l'assèchement du profil se fait très lentement.

En profondeur, tous les profils hydriques des différentes dates montrent la même humidité volumique. Cette homogénéité est sans doute liée à l'engorgement des couches du sol à cette profondeur.

*2.2.5 PROFILS HYDRIQUES DU TUBE 7*

C'est le tube le plus bas situé à 20 m du marigot. Il est dans la zone où la nappe phréatique affleure plus ou moins régulièrement pendant la saison des pluies. Le tableau IV-1 montre que début mars, à la fin de la saison sèche, la nappe phréatique ne peut être mise en évidence puisque le piézomètre correspondant est vide. A cette date, le profil présente néanmoins une remontée capillaire jusqu'à 25 cm de la surface du sol. Le 27/06/94 la nappe est montée de 94 cm à 56 cm. Elle est affleurante le 05/09/94. L'assèchement des profils hydriques se fait très lentement. En profondeur, à environ 75 cm les profils hydriques deviennent homogènes. Il n'y a pratiquement pas de différence entre les dates. On retrouve ici la même évolution qu'au niveau du tube 6.

## 3 INTERPRETATION ET CONCLUSION

L'étude des profils hydriques des sols le long de la toposéquence pendant la saison des pluies fait ressortir trois zones bien distinctes:

**A l'amont du site**, le tube T2 a montré un léger front d'humectation qui semble progresser assez rapidement de haut en bas, puisqu'il n'a été observé qu'une seule fois pour tous les tubes d'observation mis en place. La texture relativement grossière et la forte porosité du sol semblent être à l'origine de la fugacité du front d'humectation. A la date du 05/09/94, le profil est humecté jusqu'à la capacité au champ sur toute la profondeur d'installation du tube. Cet état du profil a pour conséquences une diminution importante du taux d'infiltration instantané et corrélativement une augmentation du ruissellement des eaux de pluies vers l'aval du site. En amont du site sur les sols rouges argileux à porosité fine cet état de fait doit sans doute être encore plus important. Ainsi des taux de ruissellement de plus de 70% ont ils été mesurés sur des sols similaires au nord de la Côte d'ivoire (Bertrand et al. 1968). L'amont du site semble donc fonctionner comme un **impluvium** pouvant jouer un rôle très important sur l'alimentation de la nappe phréatique du bas versant.

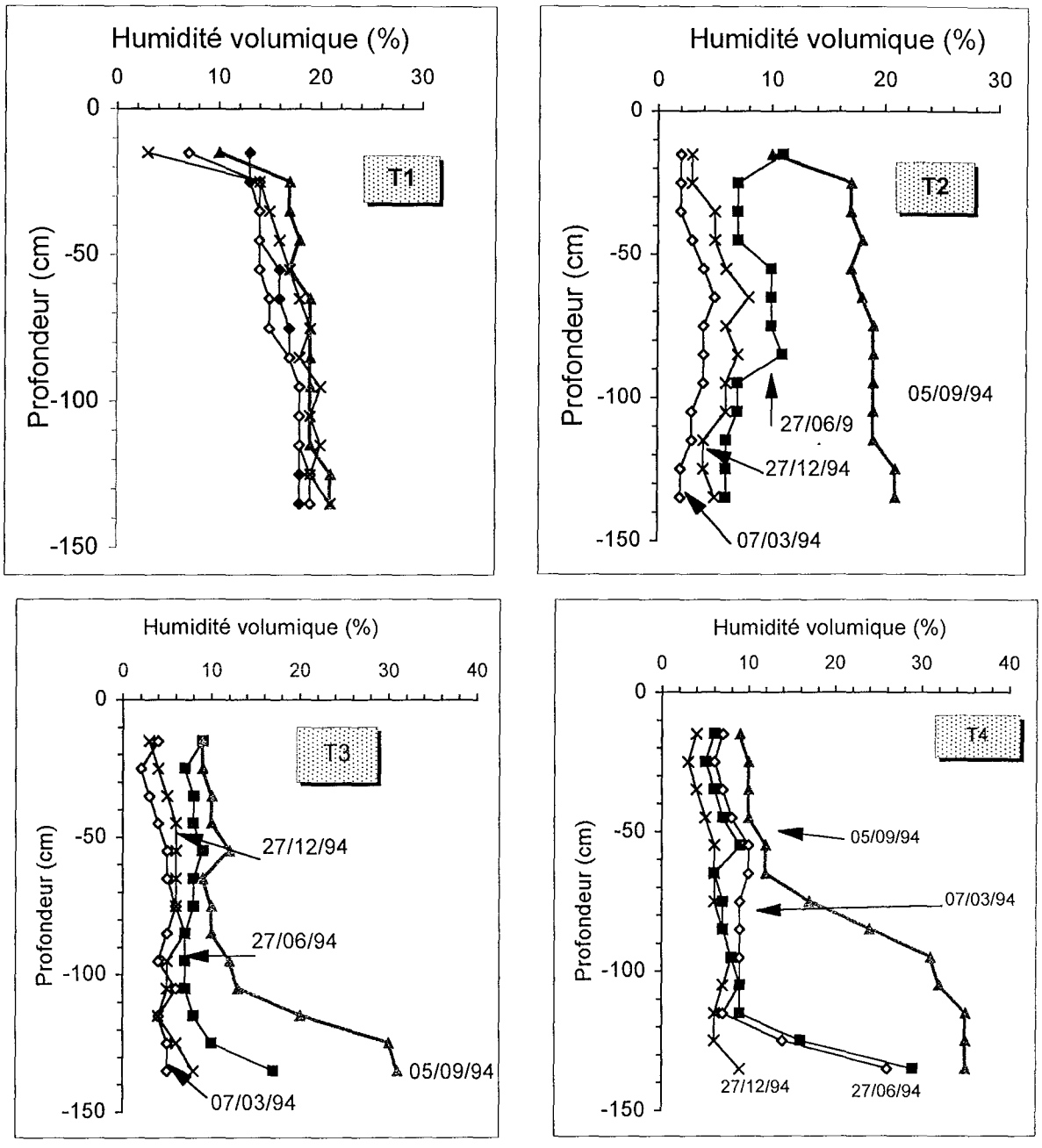



**Figure IV-3. Site B** : Evolution de l'humidité volumique dans les sols en 1994. Ligne 6. Tubes 1, 2, 3, et 4

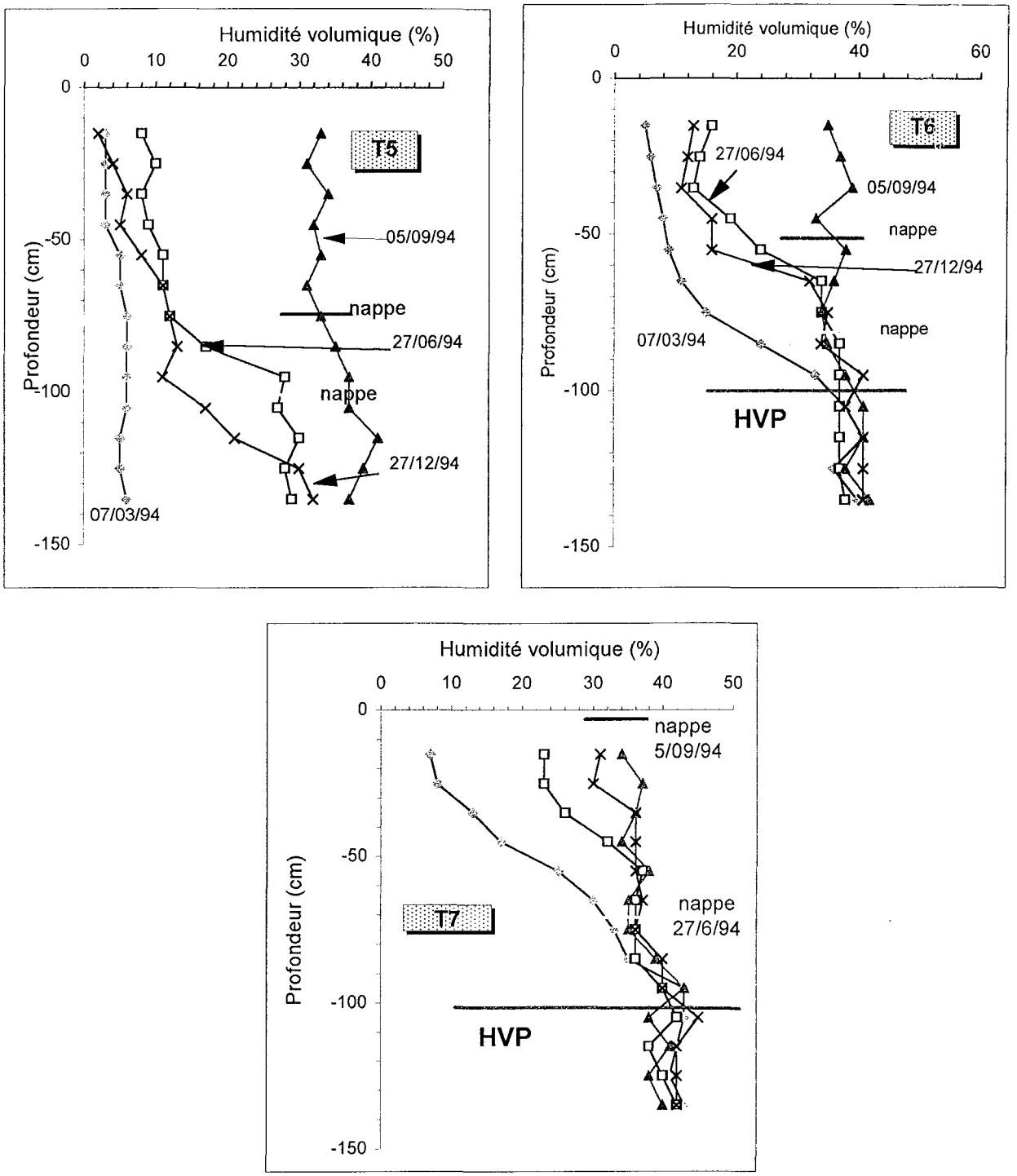



**Figure IV-4 Site B** : Evolution de l'humidité volumique dans les sols en 1994. Ligne 6. Tubes 5, 6 et 7

**Dans la zone médiane à sols gris sableux** l'infiltration et la circulation verticale de l'eau dans les horizons sableux est si rapide qu'il a été impossible de mettre en évidence un front d'humectation à relier avec des averses pourtant importantes. La zone médiane du site semble être un **compluvium ou zone de rassemblement et d'infiltration des eaux de pluie.**

**La zone aval des sols gris** montre des sols dont les profils hydriques sont le plus souvent entièrement engorgés pendant la saison des pluies. C'est une zone d'accumulation. et de circulation latérale lente à cause de la nature souvent limoneuse des sols.

L'étude des profils hydriques des sols le long de la toposéquence a montré que dans les tubes installés dans la zone médiane sableuse, l'humidité volumique augmente brutalement en profondeur. A ce niveau les profils hydriques prennent le faciès de franges de remontées capillaires à partir d'une nappe. Or aux dates les plus précoces, pour les profils aval, les mesures piézomètriques (tableau IV-1) ne permettent pas de mettre en évidence la présence d'une nappe phréatique par dessus l'horizon "vert pistache". Par contre au cours de la saison des pluies pour tous les profils situés dans la zone à sols gris sableux les données piézomètriques montrent l'existence d'une nappe. Les profils hydriques montrent alors que cette nappe est surmontée d'une frange capillaire dont le tracé est tout à fait comparable à celui observé en fin de saison sèche. Pour nous il ne fait donc aucun doute qu'un écoulement, une nappe, si mince soit-elle, existe par dessus l'horizon vert pistache même en période sèche. Ainsi par exemple, dans la zone médiane et la zone aval du site, le 28 Avril 1994, trois jours après une pluie de 90 mm, l'observation de profils pédologiques gardés ouverts mais protégés pour éviter l'intrusion des eaux de pluies et de ruissellement, a montré un écoulement d'eau au dessus de l'horizon argileux "vert pistache" alors que les parois des profils pédologiques restaient sèches dans les horizons superficiels ou subsuperficiels. L'étude des profils hydriques nous a donc permis de déceler l'existence d'une lame d'eau s'écoulant au dessus de l'horizon argileux alors que les mesures piézomètriques ne sont pas assez fines pour la découvrir.

L'étude des régimes d'humectation semble montrer que cette nappe tire son origine de l'infiltration très rapide dans la zone médiane sableuse des eaux de pluies et des eaux de ruissellement provenant de l'amont. En saison des pluies ces eaux infiltrées s'accumulent ensuite en profondeur au contact avec l'horizon argileux "vert pistache", quasiment imperméable, en formant une nappe perchée qui s'écoule vers l'aval.

En montrant la permanence d'une circulation d'eau sinon d'une nappe pelliculaire, même longtemps après la fin de la saison pluvieuse alors que toute alimentation par l'impluvium est impossible faute de pluie, les profils hydriques incitent à penser que la **nappe perchée serait alimentée aussi par des eaux venues de loin en amont, de la nappe d'altérite des plateaux**. Le problème est, alors, de savoir comment cette nappe peut s'écouler par dessus l'horizon argileux vert pistache alors que, le plus souvent, l'altitude amont de ce volume imperméable se situe au dessus du niveau de la nappe d'altérite. On peut d'abord évoquer le fait qu'il y a un décalage entre la saison des pluies et la montée de la nappe d'altérite de sorte que celle-ci atteint son maximum après la fin des pluies. L'écoulement de cette nappe pourrait donc allonger le temps de tarissement de la nappe des sols gris. La permanence des écoulements lents mais réguliers incitent à penser que la partie sommitale de la nappe d'altérite se trouverait très longtemps plus haute que certaines zones amont de l'horizon "vert pistache". Elle s'écoulerait lentement par ces passages privilégiés, ces ondulations de la limite supérieure et amont de l'horizon "vert pistache". Ainsi l'étude des profils hydriques permet d'identifier une alimentation de la nappe perchée par vidange de la partie haute de la nappe d'altérite.

# CHAPITRE V

# LA NAPPE ET SON FONCTIONNEMENT

## 1 MATERIEL ET METHODES

Pour étudier le fonctionnement de la nappe phréatique, qui a été identifiée à plusieurs reprises dans les chapitres précédents, sept lignes piézométriques ont été installés le long de la toposéquence dans chaque site (fig. V-1). Les lignes et les piézomètres sont espacés de 20 m de sorte que l'on a 42 piézomètres pour le site A et 56 pour le site B. Les lignes piézométriques sont numérotées de L1 à L7. Les piézomètres sont numérotés à partir du haut de la toposéquence. Les figures V-1a et V-1b montrent le dispositif d'installation des piézomètres pour les sites A et B.

Deux groupes de piézomètres ont été installés :

- le **premier Groupe** a été installé jusqu'à l'horizon argileux "vert pistache". Il concerne la nappe de surface ou nappe perchée.

- le **deuxième Groupe** a été installé au delà de l'horizon argileux dans l'arène micacée. Ces piézomètres sont destinés à mettre en évidence et à observer les fluctuations de la nappe profonde ou nappe d'altérite et permettre les comparaisons éventuelles.

Les piézomètres sont des tubes en PVC de diamètre intérieur d'environ 5 cm crépinés sur environ 50 cm à l'extrémité qui sera enterrée. Pour limiter la pénétration de sable ou de boues dans le piézomètre, l'extrémité crépinée a été gainée par un étui en tissus synthétique imputrescible et poreux. Les piézomètres sont introduits dans le sol dans de larges trous préalablement creusés à la tarière hélicoïdale [1]. Après l'installation du piézomètre dans le trou, on introduit du sable lavé (pour ne pas contaminer l'eau de la nappe), sur les 50 cm crépinés ou légèrement au-dessus. Ensuite, pour éviter l'infiltration de l'eau le long du piézomètre, on comble le trou avec de la bentonite jusqu'à la surface ou à 15 à 20 cm avant. On complète ensuite avec le même sable propre.

L'extrémité aérienne du tube piézométrique mesurait 50 cm au départ. Cette longueur est systématiquement contrôlée au cours du temps pour éviter les erreurs lorsqu'il s'agira de mesurer la profondeur de la nappe. Les côtes de tous les piézomètres ont été aussi mesurés, permettant ainsi de calculer l'altitude de la profondeur d'installation des piézomètres et de la nappe phréatique.

Les mesures de la profondeur de la nappe se faisaient systématiquement tous les trois jours ainsi qu' après chaque pluie importante. Pour les mesures, on se servait d'un appareil électrique à pile muni d'un signal lumineux et sonore qui se déclenche lorsque la surface de l'eau est atteinte.

---

[1] L'ouverture des trous à la tarière se faisait tous les 20 cm jusqu'à la profondeur désirée. Ce qui a permis de décrire systématiquement les horizons rencontrés et de noter leur changement.

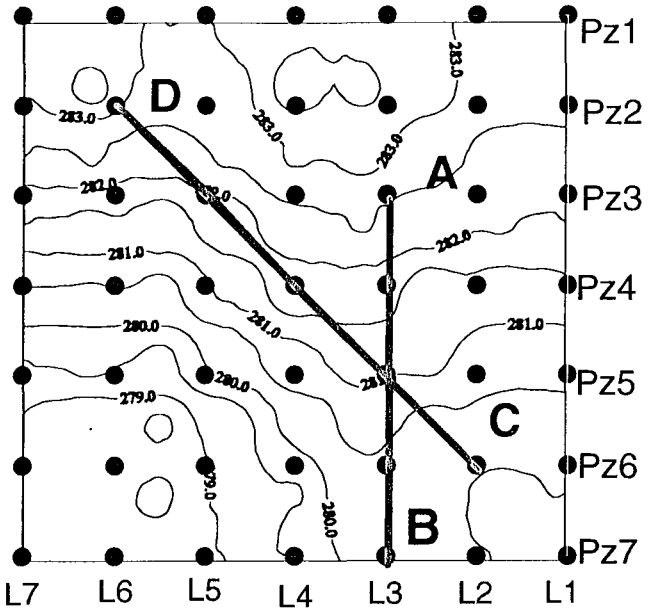
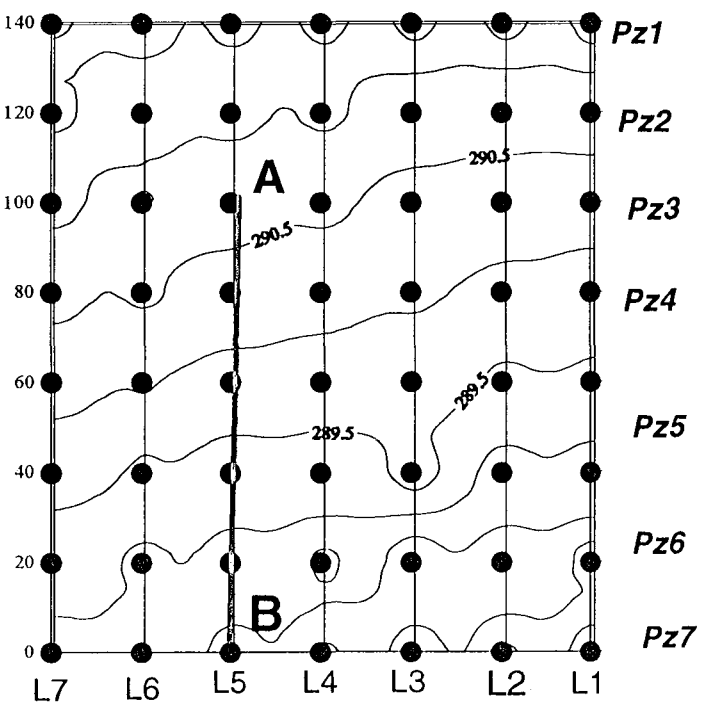



Figure V-1a Site A Lignes piézométriques de l'étude des fluctuations de la nappe perchée

Figure V-1b Site B Ligne piézométrique de l'étude des fluctuations de la nappe perchée.



# 2 FLUCTUATIONS DE LA NAPPE AU PERCHEE COURS DU TEMPS

## 2.1 LA SURFACE DE L'HORIZON ARGILEUX

L'installation des piézomètres sur un quadrillage de 20 m x 20 m et sur une grande surface (plus d'un hectare) a permis de cartographier la topographie de la profondeur des piézomètres, correspondant à la surface de "l'horizon vert pistache". La forme de la surface de l'horizon "vert pistache" peut être déterminante dans le fonctionnement de la nappe phréatique. Avant d'étudier les fluctuations de la nappe au cours du temps dans les sites, il paraît donc important de cartographier la surface de "l'horizon vert pistache" afin de relever les particularités dans chaque site pour mieux comprendre le fonctionnement de la nappe.

Pour le site A (fig. V-2), la pente de la surface de l'horizon argileux est plus accentuée que celle du terrain naturel cela est particulièrement marqué dans le quart Sud Ouest[1] de la carte. Le petit bourrelet qui apparaît vers le milieu de la carte correspond à une ligne de partage des eaux (cf. plus haut) tandis que la zone en dépression peut être assimilée à une "vallée intérieure" dont la marque est moins nettement imprimée en surface. Cela signifie que la topographie du terrain naturel et celle de l'HVP sont génétiquement liées ; pour nous, la topographie de l'HVP détermine celle du terrain naturel. Comme on a pu le voir pour les lignes d'écoulement des eaux de ruissellement à la surface du terrain naturel (cf. chapitre III) on doit s'attendre à une circulation hypodermique largement influencée par le modelé de l'HVP dans le site A. Si cela est vérifié y aura-til des répercussions sur la production rizicole ; c'est ce qui sera examiné plus loin (chapitre VI).

Pour le site B (fig. V-3), la topographie du terrain naturel est sensiblement parallèle à celle de la surface de l'horizon argileux. Cependant, la pente de la surface de l'horizon argileux est plus accentuée que celle du terrain naturel. Elle s'étend régulièrement de l'amont vers l'aval du site. Contrairement au site A, il n'existe pas de "vallée" intérieure dans le site B.

## 2.2 FLUCTUATIONS DE LA NAPPE DANS LE SITE A

Il s'agit d'étudier les fluctuations journalières de la hauteur de la nappe dans les deux sites pendant la saison des pluies. Nous examinerons séparément ces fluctuations pour chacun des sites, compte tenu du relief très particulier de la surface de leur horizon argileux "vert pistache".

Compte tenu de la forme ondulée de la surface de l'horizon "vert pistache", les fluctuations de la nappe seront étudiées sur deux lignes piézométriques (fig. V-1) : la ligne **L3 (AB)** située sur le petit bourrelet et la ligne **L1P6L6P2 (CD)** de direction Nord - Ouest / Sud - Est traversant en diagonale ce bourrelet. La figure montre les zones choisies pour étudier les fluctuations de la nappe d'avril à décembre 1993.

### *2.2.1 FLUCTUATIONS DE LA NAPPE LE LONG DU BOURRELET DU SITE (AB)*

La figure V-4 montre que, pendant la période d'observation, les courbes de fluctuations des niveaux piézométriques présentent trois parties :

---

[1] Pour l'exposé, le haut des cartes est supposé être le Nord, le bas représente le Sud, la gauche l'Ouest et la droite l'Est.

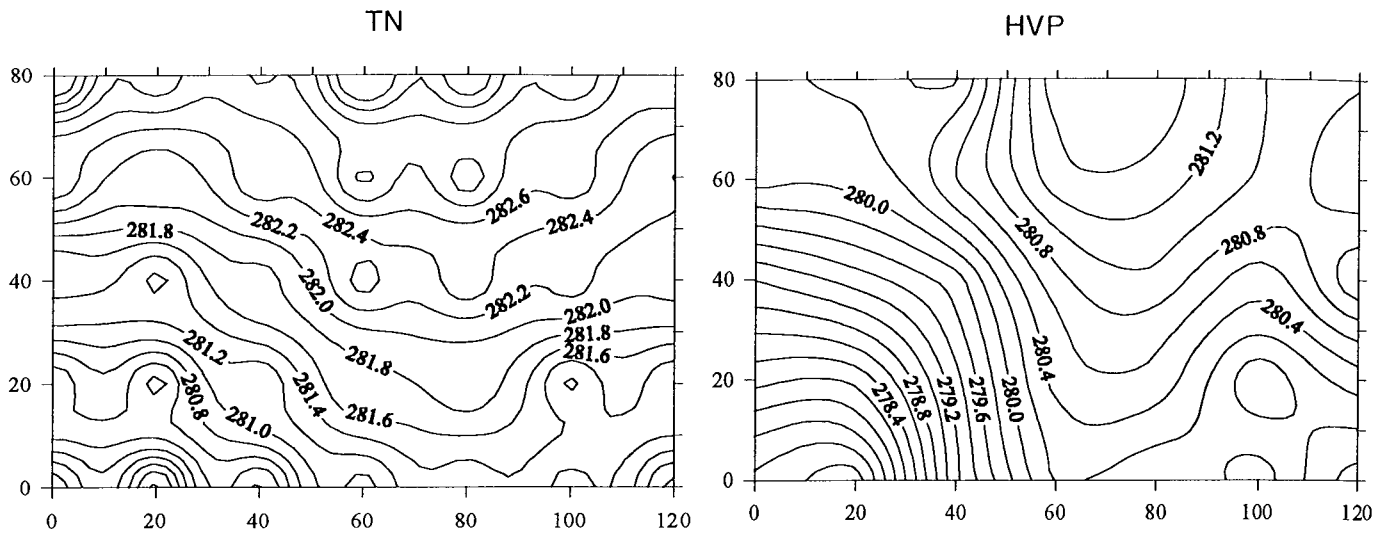



Fig V-2 Site A Topographie du terrain naturel et du sommet de L'HVP

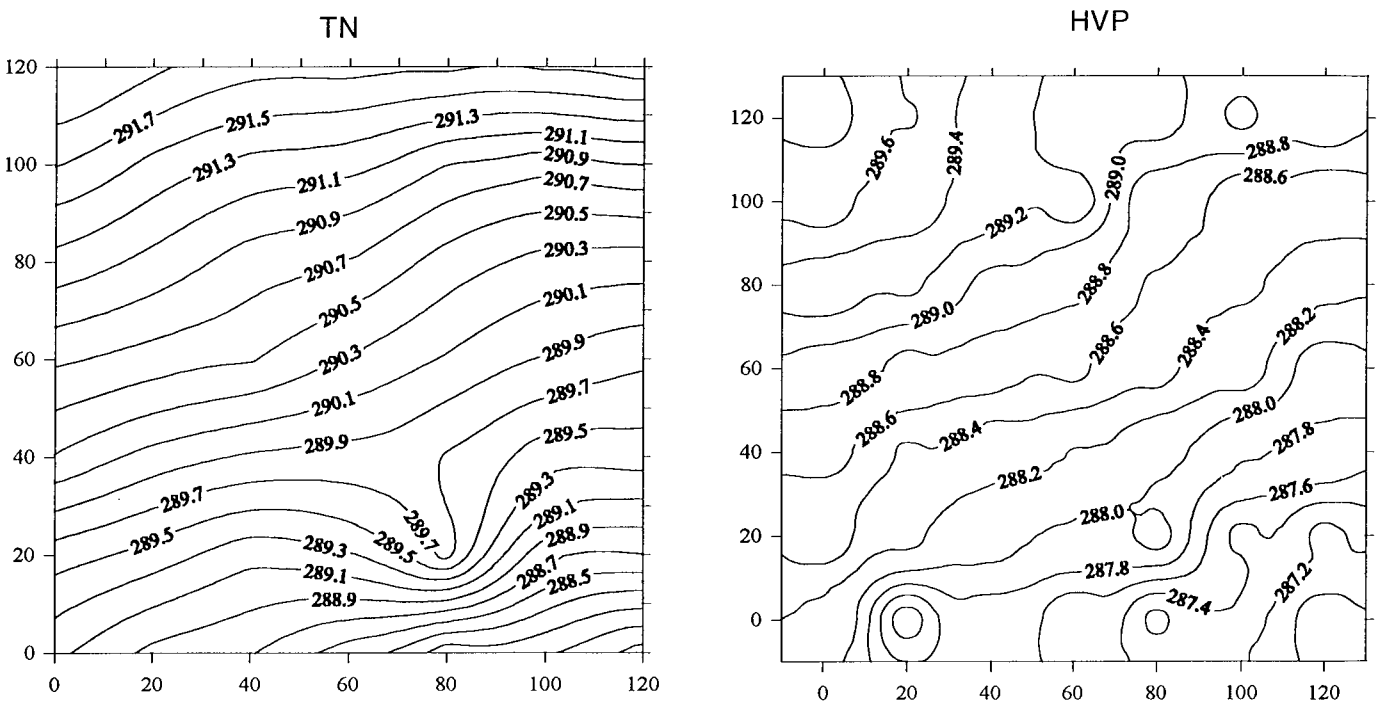



Figure V-3 Site B Topographie du terrain naturel et du sommet de l'HVP

- **une première partie** allant d'avril à fin juillet. Elle correspond à la **première saison des pluies** où les quantités d'eau tombées sont généralement faibles et irrégulières. Elle se caractérise par un pallier avec de faibles fluctuations entre mai et juin.
- **une deuxième partie** allant de fin juillet à fin août. Elle correspond à la **petite saison sèche** ou période de ralentissement des pluies; la nappe disparaît ou n'est plus mesurable.
- **une troisième partie** allant de septembre à mi novembre. C'est la période de la **deuxième saison des pluies** où les quantités d'eau tombées sont plus importantes et plus régulières. On note également un palier allant de mi-Septembre à fin Octobre.

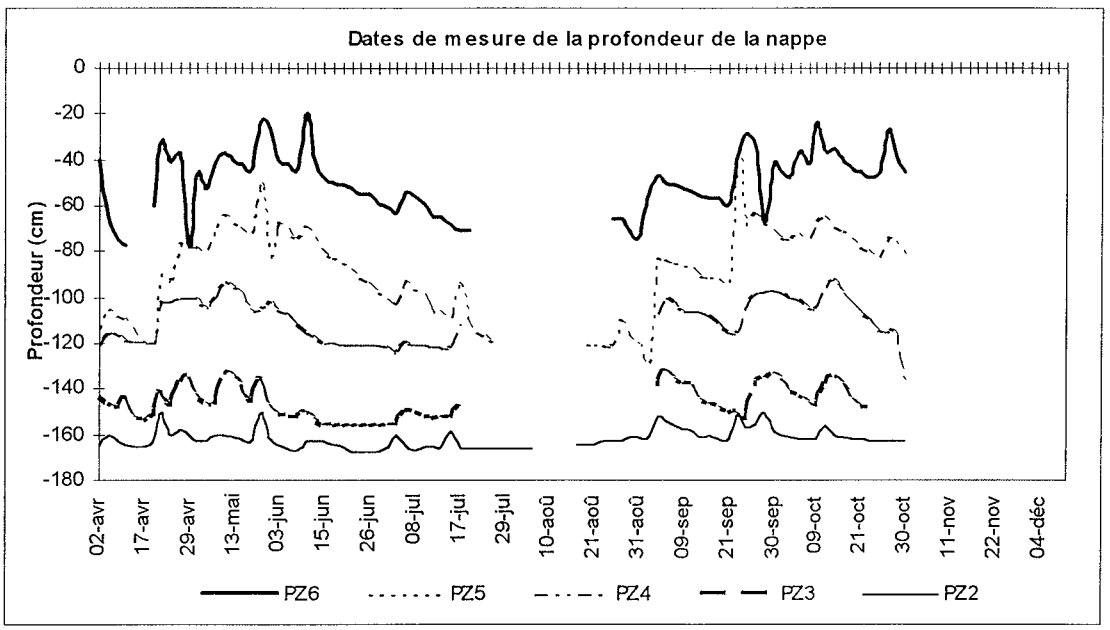



Figure V- 4 Site A Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 4 Décembre 1993. . Ligne AB.

L'observation des diverses courbes de fluctuations (fig. V-4) révèle trois groupes de courbes bien nettes :

- **un premier groupe** est représenté par le piézomètre PZ6 situé à 20 m du marigot, on se trouve dans la partie basse de la zone hydromorphe. La nappe phréatique est très proche de la surface pendant toute la durée de la première et de la deuxième saison des pluies. Sa montée au début des deux saisons des pluies est assez brutale. En fin de première saison des pluies sa baisse est très progressive. Comme on l'a vu, (chap. IV) la remontée capillaire depuis la nappe se fait sentir jusqu'en surface, ce qui peut avoir des conséquences positives ou non sur la croissance du riz en fonctions de l'engorgement plus ou total du sols et des variétés utilisées (cf. plus loin).

- **un deuxième groupe** est représenté par les piézomètres PZ5 et PZ4 situés à 40 et 60 m du marigot. Pendant les saisons des pluies, la profondeur de la nappe y varie entre 60 et 100 cm. Sa montée au début des deux saisons des pluies est très marquée et rapide. Dans le piézomètre PZ5 la nappe a une profondeur telle (± 60 cm) qu'elle peut assurer une remontée capillaire favorable à l'alimentation hydrique du riz. La nappe devient profonde (100 cm environ) dans le piézomètre PZ4 ; elle n'a ici aucune influence sur l'alimentation hydrique du riz, on se trouve en conditions pluviales strictes.

- **un troisième groupe** représenté par les piézomètres PZ3 et PZ2 situés à 80 et 100 m du marigot. La nappe est constamment profonde (plus de 130 cm) et les fluctuations sont faibles. Elle

n'interviendrait pas sur l'alimentation hydrique du riz. Le riz cultivé dans cette zone s'y développe en conditions strictement pluviales.

*2.2.2 FLUCTUATIONS DE LA NAPPE SELON LA DIAGONALE (CD)*

Cette ligne traverse en diagonale le bourrelet signalé plus haut. Ceci va nous permettre de suivre l'évolution de la nappe de part et d'autre du bourrelet. La figure V-1 montre que les piézomètres PZ5 (L3) et PZ4 (L4) situés à 40 et 60 m du marigot sont localisés dans le bourrelet de l'HVP.

Comme précédemment on distingue trois groupes de courbes (fig. V-5) :

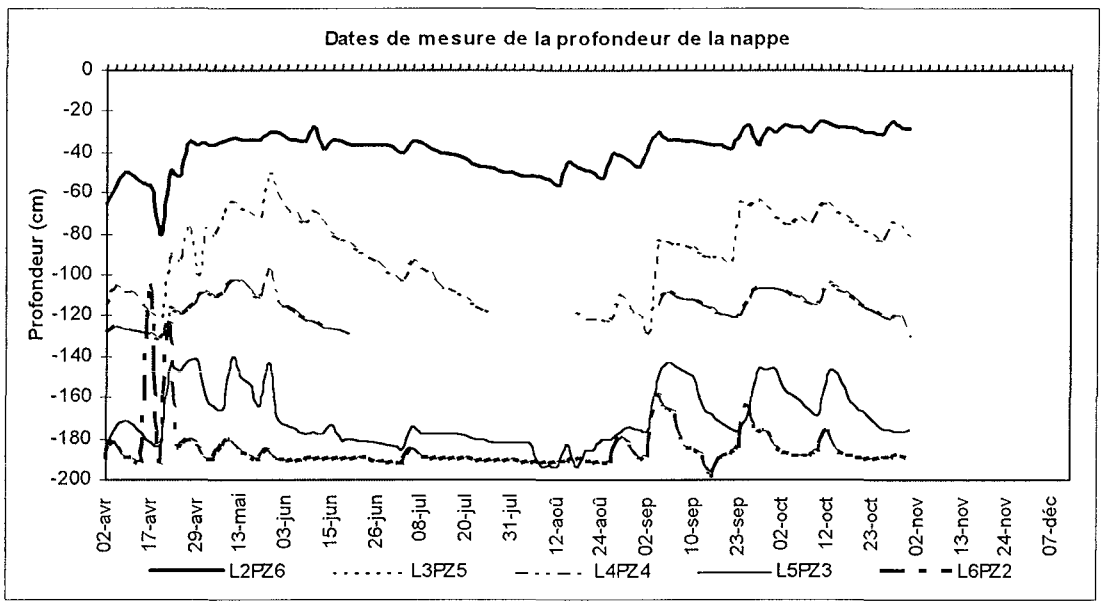



Figure V-5 Site A. Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 7 Décembre 1993. Diagonale CD

- **un premier groupe** représenté par le piézomètre L2PZ6 où la nappe est superficielle à subsuperficelle pendant les deux saisons de pluies. La montée de la nappe se fait par paliers. Elle accuse une descente lente d'environ 20 cm pendant la période de ralentissement des pluies (Juillet et Août) mais le piézomètre ne s'assèche pas pendant toute la période culturale d'Avril à Novembre.

- **un deuxième groupe** représenté par les piézomètres (L3PZ5 et L4PZ4) localisés sur le bourrelet (L3). Sa montée au début des deux saisons des pluies est assez brutale. Le niveau de la nappe baisse significativement dans ces piézomètres pendant la période de ralentissement des pluies (Juillet et Août). La nappe s'assèche pendant la petite saison sèche en août. Comme nous le verrons plus, cette baisse de près de 50 cm se répercutera sur la croissance et la production du riz pendant cette période.

- **un troisième groupe** constitué par les piézomètres (L5PZ3 et L6PZ2) situés à 80 et 100 m du marigot. La nappe monte brutalement au début des deux saisons des pluies. Les piézomètres de ce groupe présentent des fluctuations très marquées pendant les deux saisons de pluies et faibles pendant la petite saison sèche. La nappe ne disparaît pas dans ces piézomètres situés dans une autre dépression de l'HVP.

*2.2.3 AMPLITUDE DES OSCILLATIONS DES NAPPES*

Les tableaux V-1 et V-2 montrent l'amplitude des fluctuations de la nappe perchée entre le 4 mai et le 10 septembre 1993 pour les deux sites. Ces dates ont été choisies pour tenir compte de la dynamique de la nappe profonde pendant les deux saisons de pluies.

Le site B est caractérisé par (tableau V-1) :

**1) une zone amont (PZ1 et PZ2)**, où les fluctuations sont faibles (entre 1 et 15 cm). C'est la zone la plus haute, où la pente de l'horizon "vert pistache" est plus marquée. C'est une zone de circulation rapide et continue des eaux infiltrées. Il n'y a pas d'accumulation d'eau d'où les faibles valeurs des fluctuations de la nappe.

**2) une zone médiane (PZ3 à PZ6)** où les fluctuations sont élevées (entre 14 et 24 cm). On se trouve dans la zone sableuse et poreuse, à la fois d'infiltration très rapide et d'accumulation des eaux de pluies. La circulation de l'eau de la nappe est très rapide dans cette zone.

**3) une zone aval (PZ7 et PZ8)** où les oscillations de la nappe sont relativement faibles (entre 2 et 12 cm). C'est une zone qui reçoit les eaux venant des parties hautes du site. Elle s'assèche très peu même pendant la petite saison sèche ou période de ralentissement des pluies.

Ces observations sont valables pour le site A puisque les fluctuations sont du même type. Cependant le tableau V-2 montre que les fluctuations sont faibles tout au long du bourrelet ou zone de partage des eaux infiltrées (L3 et L2). Elles sont plus faibles que celles mesurées dans la zone basse de la "vallée intérieure" (L6, L7). Cela confirme bien ce que l'on a dit plus haut : que la circulation de l'eau dans le site A ne se fait pas sous forme d'une lame uniforme, elle est fortement influencée par le relief ondulé de l'horizon argileux "vert pistache". Les eaux circulent en empruntant les zones les plus basses.

| | Lignes piézomètriques | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Piézomètres | **L7** | **L6** | **L5** | **L4** | **L3** | |
| PZ1 | 0 | 15 | 13 | 9 | - | **Zone amont** |
| PZ2 | 8 | 2 | 1 | 2 | 5 | |
| PZ3 | 15 | 15 | 9 | 10 | 7 | |
| PZ4 | 20 | 19 | 17 | 14 | 11 | **Zone médiane** |
| PZ5 | 23 | 22 | 22 | 17 | 17 | |
| PZ6 | 21 | 17 | 15 | 24 | 15 | |
| PZ7 | 12 | 6 | 3 | 1 | 2 | **Zone aval** |
| PZ8 | 10 | 2 | 2 | 13 | - | |

Tableau V-1 : Site B Fluctuations (en cm) de la nappe entre le 4 Mai et le 10 Septembre 1994.

| | Lignes piézomètriques | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Piézomètres | L7 | L6 | L3 | L2 | L1 | |
| PZ1 | - | - | - | 2 | 9 | **Zone amont** |
| PZ2 | 3 | 9 | 4 | 7 | 5 | |
| PZ3 | 6 | 7 | 4 | 2 | 10 | |
| PZ4 | 13 | 11 | 6 | 9 | 21 | **Zone médiane** |
| PZ5 | 16 | 16 | 9 | 5 | 19 | |
| PZ6 | 1 | 0 | 8 | 1 | 1 | **Zone aval** |

Tableau V-2 : Site A Fluctuations (en cm) de la nappe entre le 4 Mai et le 10 Septembre 1994

*2.2.4 SYNTHESE*

En résumé, les fluctuations de la nappe au cours du temps et le long de la toposéquence dans le site A sont sous la dépendance directe du régime pluviométrique bimodal de la région. Le relief de la surface de l'horizon "vert pistache" a également influencé la dynamique des fluctuations de la nappe. C'est ainsi que la nappe tarit pendant la période de ralentissement des pluies de juillet à août dans les piézomètres situés sur le bourrelet du site. En effet, il n'y a pas d'accumulation d'eau sur le bourrelet mais plutôt un écoulement vers les points bas du site.

## 2.3. FLUCTUATIONS DE LA NAPPE AU COURS DU TEMPS (SITE B, AB)

Contrairement au site A, la topographie du terrain naturel du site B est régulière à l'exception de la partie basse où l'on a quelques termitières. Elle a la même topographie que celle de la surface de l'horizon argileux. Pour cette raison, seule la ligne L5 (AB) sera choisie pour l'étude des fluctuations de la nappe perchée.

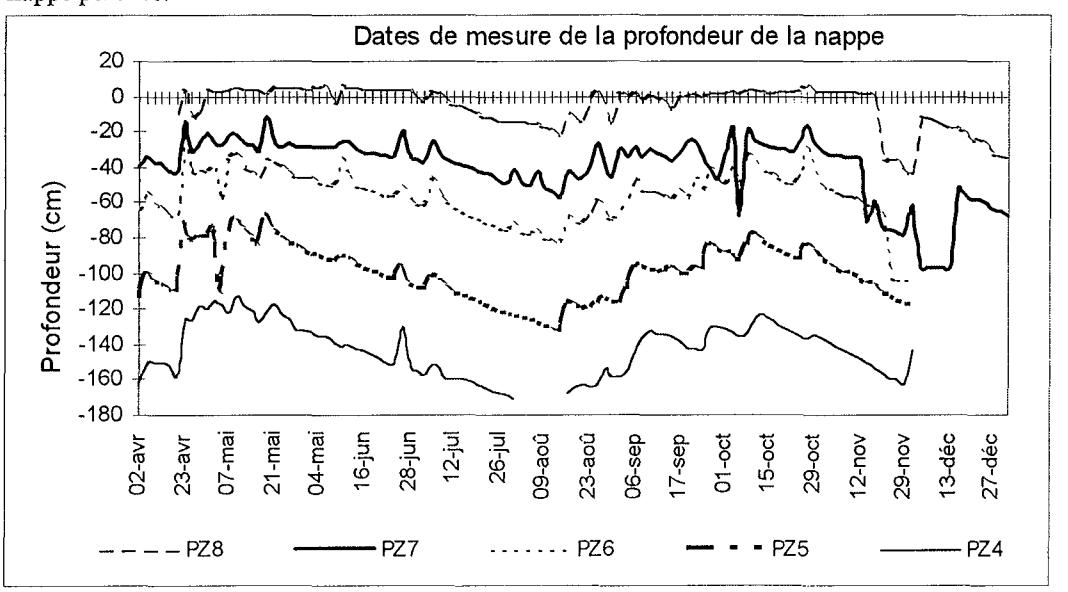



Figure V-6 Site B. Fluctuations de la nappe perchée du 2 Avril au 31 Décembre 1993.

La figure V-6 présente les courbes de fluctuation des niveaux piézométriques le long de la ligne AB. On distingue quatre groupes de courbes :

- **un premier groupe** constitué par le piézomètre PZ8, situé dans le lit du marigot. La nappe y est constamment affleurante sauf pendant la période de ralentissement des pluies au cours de laquelle elle baisse lentement d'environ 10 à 20 cm. Le riz cultivé dans cette zone a constamment ses racines dans l'eau. Ceci a constitué une contrainte pour les variétés pluviales utilisées.

- **un deuxième groupe** constitué par les piézomètres PZ7 et PZ6 situés à 20 et 40 m du marigot. la nappe est peu profonde (60 à 50 cm). Elle monte brutalement au début de chacune des deux saisons pluvieuses et baisse peu durant la période de ralentissement des pluies entre juillet et août. La remontée capillaire de l'eau depuis la nappe peut se faire sentir jusqu'en surface (chap. IV) et peut donc contribuer à l'alimentation hydrique du riz.

- **un troisième groupe** est constitué par le piézomètre PZ5 situé à 60 m du marigot. La nappe est profonde (80-120 cm). Sa montée au début des deux saisons des pluies est assez brutale, elle baisse progressivement au cours de la petite saison sèche et en fin de saison des pluies. Sa profondeur est telle qu'elle a peu ou pas d'influence sur l'alimentation hydrique du riz. On se trouve dans des conditions pluviales d'autant plus défavorables que le sol est sableux et à pouvoir de rétention en eau très faible.

- **enfin un quatrième groupe** constitué par le piézomètre PZ4 situé à 80 m du marigot. C'est le piézomètre où la nappe est la plus profonde (plus de 120 cm) car il est situé en amont de la toposéquence. Sa montée au début des deux saisons des pluies est assez brutale, elle tarit en août et s'abaisse lentement à la fin des deux saisons pluvieuses.

### 2.4 SYNTHESE

Les courbes des fluctuations de la nappe phréatique au cours du temps dans les deux sites indiquent que celle ci est sous la dépendance étroite du régime des précipitations. On observe deux périodes où la nappe monte, l'une pendant la première saison des pluies (avril à fin juin) et l'autre pendant la deuxième saison de septembre à octobre. La petite saison des pluies est marquée par un abaissement très significatif du niveau de la nappe et son tarissement en haut de la toposéquence et dans la zone du bourrelet du site A. La montée de la nappe est très rapide au début de chacune des deux saisons pluvieuse et son tarissement est lent.

De cette étude des fluctuations de la nappe phréatique, il se dégage trois zones caractéristiques bien représentées dans les deux sites : une **zone amont**, proche du "biseau cuirassé" où la nappe phréatique est à plus de 200 cm de profondeur, la riziculture s'y fait en conditions strictement pluviale ; une **zone médiane** sableuse où la nappe se trouve en général à plus de 80 cm de profondeur la nappe ne contribue à l'alimentation hydrique du riz que vers l'aval ; une **zone aval** où la nappe phréatique est affleurante à subaffleurante (profondeur maximum 60 à 70 cm.). C'est la zone hydromorphe par excellence où le riz est totalement assisté par la nappe phréatique.

L'importance ou l'étendue des deux dernières zones est étroitement liée à la quantité d'eau de pluies tombées dans l'année.

# 3 TOPOGRAPHIE DE L'HVP" ET FONCTIONNEMENT DE LA NAPPE

En général on a tendance à penser que l'écoulement souterrain des nappes phréatiques se fait en lame d'épaisseur constante de l'amont vers l'aval. Comme on l'a vu plus haut, la topographie de "l'horizon vert pistache" n'est pas aussi régulière qu'on le pensait en première approximation. Nous allons donc examiner successivement :

- l'évolution de la nappe dans les piézomètres en position transversale ou parallèle au marigot,
- la dynamique de la nappe perchée sur le plan spatial en étudiant l'épaisseur de la nappe.

## 3.1 FORME DE LA NAPPE DANS LES PIEZOMETRES PARALLELES AU MARIGOT

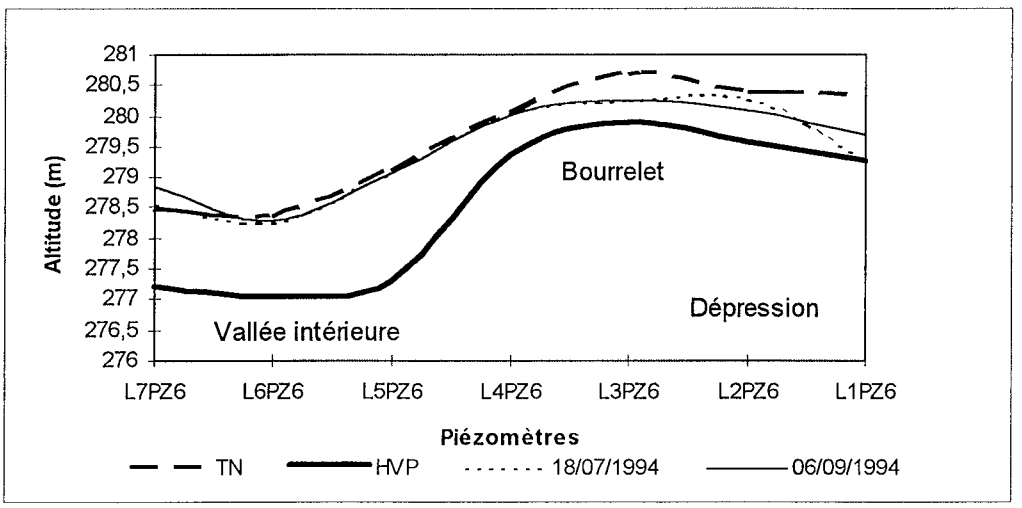



Figure V- 7 Site A Forme du toit de la nappe à 20 m du marigot Tn = Terrain naturel, HVP = Horizon "vert pistache"

Dans le site A, l'horizon argileux "vert pistache", sur lequel repose la nappe phréatique, a une forme ondulée comme le montre la figure V-7 qui est une coupe du terrain suivant une ligne parallèle à l'axe du marigot. Dans ces conditions la circulation des eaux souterraines se fait préférentiellement des points hauts vers les points bas, suivant le gradient hydraulique, et les eaux ont tendance à s'accumuler dans les points bas. C'est ce que montre la figure : la nappe est épaisse dans la "vallée intérieure", elle est mince sur le bourrelet ou ligne de partage des eaux.

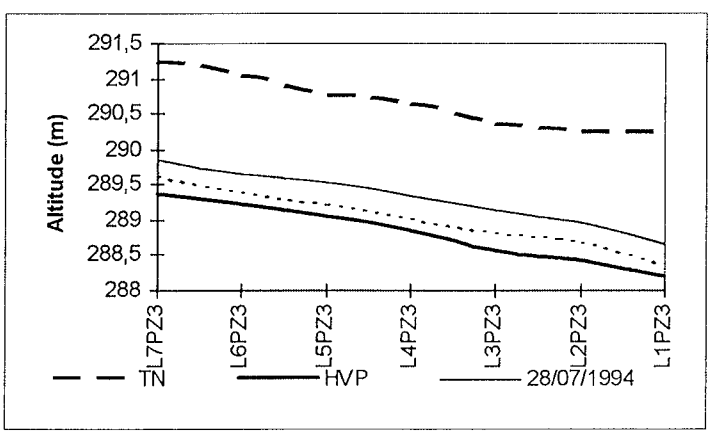



Figure V-8 Site B Forme du toit de la nappe s à 100m du marigot

Dans le site B (fig. V-8), le relief de l'horizon argileux "vert pistache" est en plan incliné régulier, sauf quelques très faibles ondulations dues aux termitières. On relève une circulation régulière et uniforme de la nappe Il n'y a pratiquement pas de zone de circulation préférentielle. La lame d'eau a une épaisseur régulière.

### 3.2 VARIATIONS SPATIALES DE L'EPAISSEUR DE LA NAPPE PERCHEE

Par "épaisseur de la nappe", nous entendons la différence de profondeur entre le niveau du toit de la nappe et l'HVP ou mur de la nappe. Pour étudier les variations spatiales et temporelles de l'épaisseur de la nappe, nous l'avons cartographiée à trois dates remarquables : le **06/05/93** première saison des pluies, un mois avant le semis; le **29/09/93**, deuxième saison des pluies, période de remplissage du grain et début maturité du riz pour les variétés précoces; le **12/12/93**, deux mois après la fin de la saison des pluies.

#### *3.2.1 EVOLUTION DE L'EPAISSEUR DE LA NAPPE PERCHEE DANS LE SITE A*

Le **6 /05/1993**, l'épaisseur de la nappe (fig. V-9) augmente régulièrement depuis l'amont (0.2 m) vers l'aval (2.0 m). Le bourrelet ou ligne de partage des eaux se distingue très nettement et se caractérise par une très faible épaisseur de la nappe même en aval (0.2 à 0.4 m). On peut également noter l'augmentation de l'épaisseur de la nappe de part et d'autre du bourrelet.

Le **28/09/93** (fig. V- 10), ou maximum de la deuxième saison des pluies, on remarque une augmentation générale de l'épaisseur de la nappe dans tout le site. L'épaisseur passe de 0.2 à 0.4 m dans la zone amont. Dans la partie gauche ("vallée intérieure") et la partie droite de la figure, l'épaisseur maximum est respectivement d'environ 2.2 et 1.4 m, tandis que sur le bourrelet cette épaisseur n'atteint que 0.5 m dans la partie aval du site. C'est dans la "vallée intérieure" que l'augmentation est la plus spectaculaire avec plus de 2 m.

A la date du **11/12/93**, deux mois après les dernières pluies, la carte (fig. V-11), montre que la nappe a disparu sur la partie amont du site. Elle existe encore en aval et particulièrement au droit de la zone dépressionnaire de l'horizon "vert pistache". Cette disparition se fait de façon progressive de l'amont vers l'aval du site. Elle est plus rapide sur la ligne de partage des eaux et sur le côté droit de la figure. Elle est lente dans la zone de la "vallée intérieure" où l'épaisseur de la nappe est très importante. On retrouve ici un important effet de la topographie de l'HVP.

#### *3.2.2 EVOLUTION DE L'EPAISSEUR DE LA NAPPE PERCHEE DANS LE SITE B*

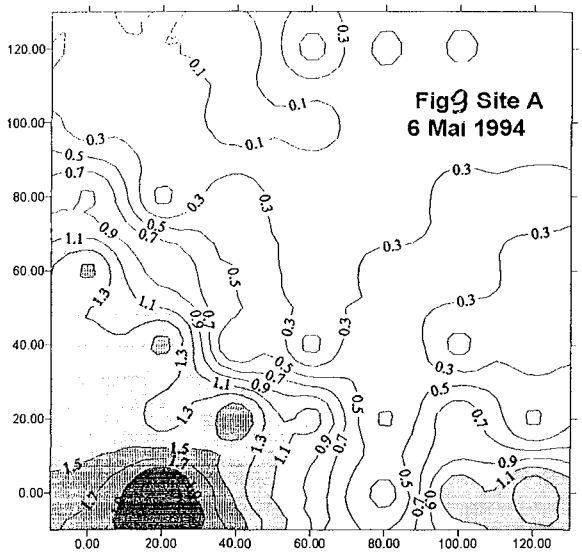
A la date du **3/05/93**, (figure V-12) l'épaisseur de la nappe paraît homogène et progresse régulièrement de l'amont vers l'aval du site. Il ne semble pas y avoir une zone préférentielle de circulation de l'eau de la nappe. Le relief de l'horizon argileux "vert pistache" est en effet régulier, sans ondulation. La nappe semble se répartir de manière uniforme.

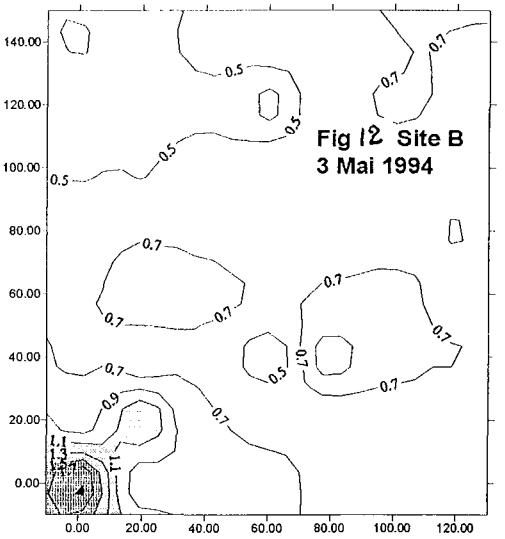
Le **28/09/93**, (fig. V-13) l'allure de la nappe a changé par rapport à la date précédente. La répartition spatiale est plus régulière et plus serrée. On note une augmentation de l'épaisseur qui atteint environ 2 m dans l'angle inférieur gauche de la figure.

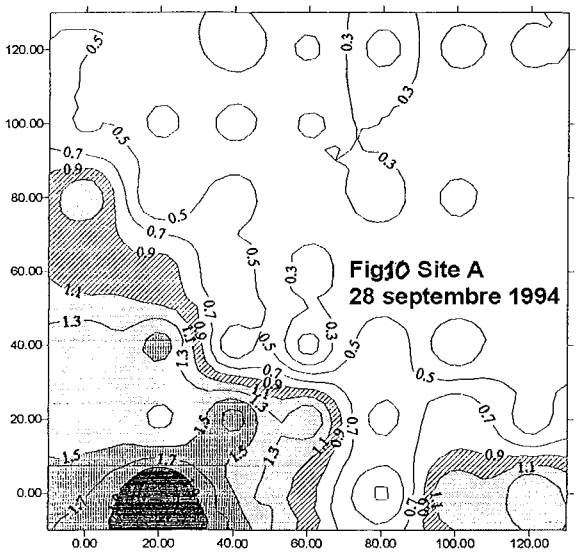
Le **15/12/93** figure V-14 en la période de tarissement de la nappe, celle ci a disparu sur les 2/3 de la surface du site. Le tarissement de la nappe se fait de manière régulière. A l'inverse de ce que l'on a observé pour le site A, il n'existe aucune zone préférentielle de concentration des eaux de la nappe.

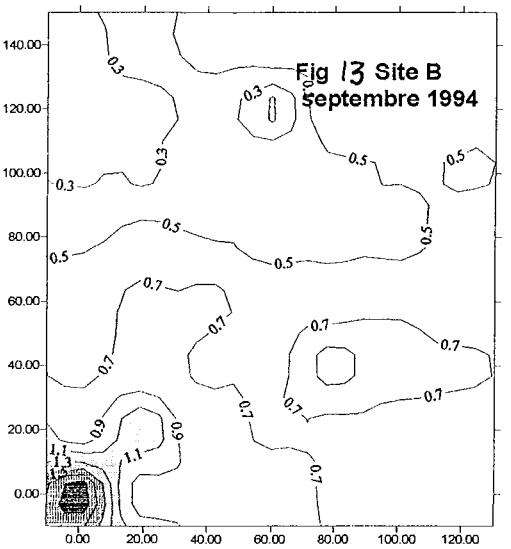
## 4 LA NAPPE D'ALTERITES

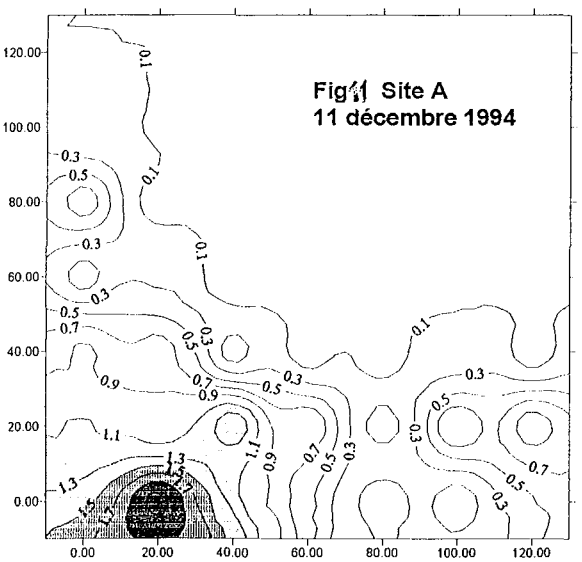
Pour confirmer l'existence de deux nappes, il a été étudié, au cours du temps, les fluctuations de la hauteur de l'eau des piézomètres installés à la profondeur de "l'horizon vert pistache" et dans l'arène micacée. Pour cela deux groupes de piézomètres ont été installés à des profondeurs différentes :

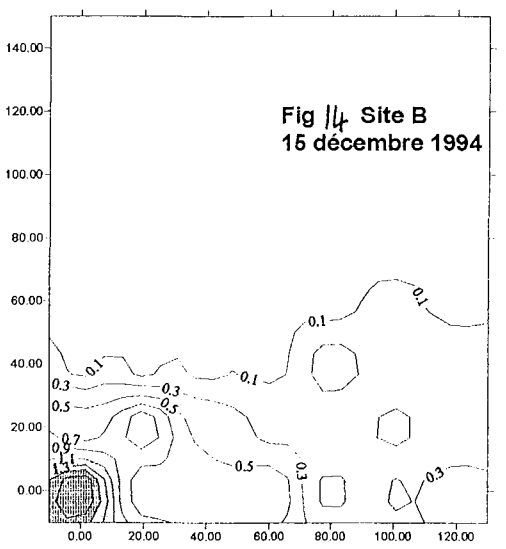



Figures V-9 à 14 Cartes de l'épaisseur de la nappe perchée
(différence entre niveau piézométrique et profondeur de l'horizon vert pistache)
à différentes dates pour les sites A (fig 16 à 18) et site B (fig 19 à 21)
Les zones en grisé sont celles où la nappe a plus de 90 cm d'épaisseur

- un **premier groupe** a été installé jusqu'à la profondeur de l'horizon "vert pistache". Ce groupe de piézomètres concerne la nappe de surface ou nappe perchée. L'installation de ces piézomètres a été faite au moment où il n'y avait pas de nappe.
- un **deuxième groupe** a été installé au delà de l'horizon "vert pistache", dans l'arène micacée. C'est la nappe d'altérite. Les piézomètres ont été installés juste sur le toit de cette nappe.

Ces deux groupes de piézomètres vont nous permettre de savoir si les deux nappes sont indépendantes ou si elles communiquent entre elles. Nous appellerons **N1** la nappe perchée et **N2** la nappe profonde ou nappe d'altérite.

## 4.1 CONFIRMATION DE L'EXISTENCE DE DEUX NAPPES

Aucune nappe n'existait au moment de l'installation des piézomètres au dessus de l'horizon "vert pistache". Par contre dans l'arène micacée une nappe d'eau a été repérée au moment de l'ouverture des profils pédologiques.

Les figures V-15a V-15b et V-15c montrent les fluctuations (d'avril à décembre 1994) des hauteurs piézométriques pour les **PZ6, PZ5** et **PZ2** situés à 20, 40 et 100 m du marigot pour le site. Les niveaux des deux nappes sont distincts pendant toute la période considérée. La forme des courbes de fluctuation des nappes dans le temps est différente. Si les deux nappes montent de 80cm à 1m le gonflement des deux nappes se fait suivant des modalités inégales : la montée de la nappe perchée est très rapide d'où une courbe en marches d'escalier de N1, la montée de la nappe d'altérite N2 est beaucoup plus régulière et plus lente. Mais ce qui paraît plus important c'est le décalage, dans le temps, du maximum de gonflement des deux nappes (fig. V-15a, V-15b) : il se situe vers la fin juin pour N1 alors qu'il faut attendre la mi-novembre pour la nappe d'altérite (N2). Ce décalage de près de cinq mois montre que l'alimentation de ces deux nappes se fait par des voies différentes : courtes et rapides pour N1, lentes et probablement beaucoup plus longues pour N2. Même si l'on peut dire que la dynamique des deux nappes est influencée par le régime des précipitations, il est clair que la nappe perchée est très influencée tandis que la nappe d'altérite ne l'est que peu.

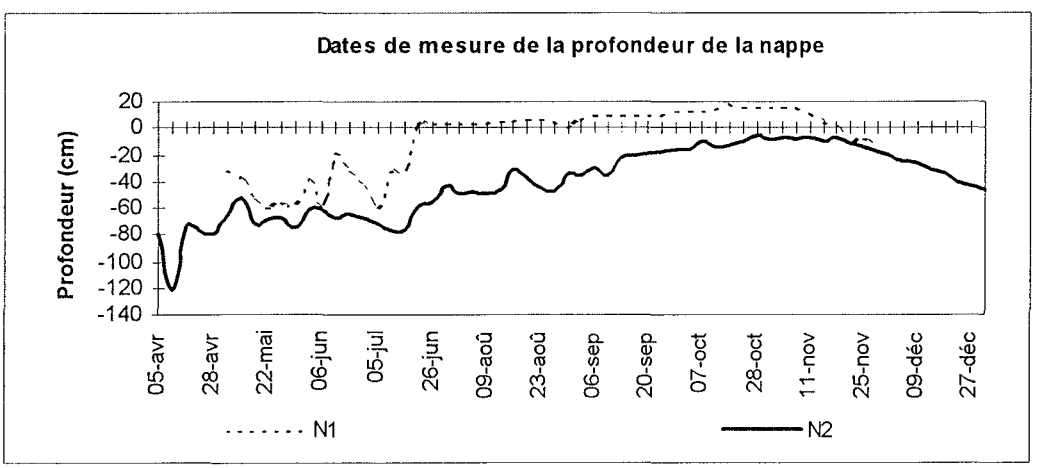



Figure V- 15a Site A Evolution du niveau des deux nappes au piézomètre PZ6 installé à 20 m du marigot

En amont des sols gris (piézomètre 2, situé à une centaine de mètres du marigot, fig. V-15c) les courbes de variation du niveau piézométrique au cours du temps sont quasiment plates ce qui pourrait signifier que les nappes ne fluctuent pas au cours de l'année. Nous pensons que cela peut être interprété autrement. Cette batterie de piézomètres se situe en amont des sols gris et pour nous son emplacement correspond à peu près à la zone où la nappe d'altérite se vidange par dessus l'horizon vert pistache (un peu en aval). A ce niveau la nappe d'altérite est constamment rabattue par le soutirage aval et donc ne varie pas sensiblement. La nappe perchée N1 est ici essentiellement alimentée par N2 et donc n'a aucune raison de montrer des oscillations de niveau importante tant que N2 se déverse par dessus l'HVP. Le tarissement de N1 en décembre alors que N2 paraît constante correspond au début de la baisse de N2 bien visible sur les figures V-15a et 15b.

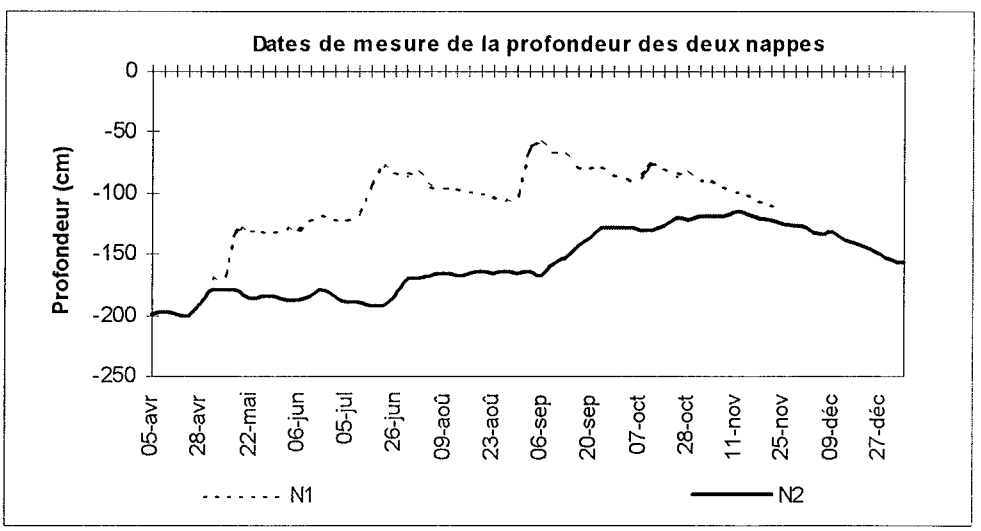



Figure V-15b Site A Evolution du niveau des deux nappes au piézomètre PZ5 installés à 40 m du marigot

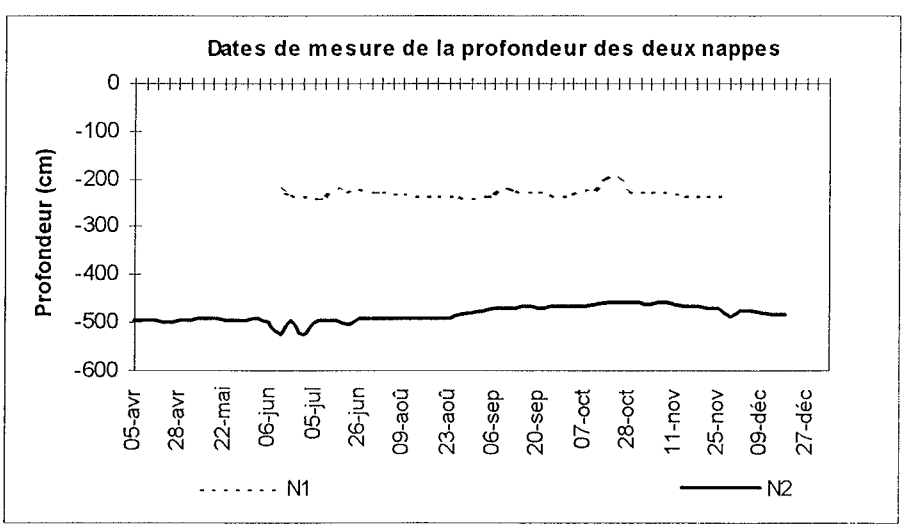



Figure V-15c Site A Evolution du niveau des deux nappes au piézomètre PZ2 installés à 100 m du marigot

## 4.2 FONCTIONNEMENT DE LA NAPPE D'ALTERITES

La particularité de la topographie de la surface de l'horizon "vert pistache" du site A a conduit à choisir deux lignes piézométriques pour étudier la dynamique des deux nappes le long de la toposéquence : la ligne L3 située sur le bourrelet et L7 située dans la zone de concentration maximum des eaux.

Le problème était plus simple au niveau du site B où la topographie de l'horizon argileux "vert pistache" est régulière. Une seule ligne a donc été choisie (**L5**) pour étudier le fonctionnement des deux nappes le long de la toposéquence.

### *4.2.1 Comparaison de la Dynamique des nappes*

Aussi bien dans le site A (fig. V-16a et fig. V-16b) que dans le site B (fig. V-17), le toit de la nappe perchée est régulièrement incliné vers le bas-fond, ce qui indique que N1 s'écoule de l'amont vers l'aval. La nappe alimente donc le marigot. Elle est généralement affleurante à subaffleurante dans le bas versant; elle devient profonde (environ 70 à 80 cm) dans la zone médiane et très profonde (environ 120 cm) dans la zone amont. La figure V-16b montre que la nappe est au-dessus du niveau du sol. On a observé un suintement de l'eau en surface sous forme de sourcins. Ceci indiquerait que la nappe est en charge à la date du 9 septembre.

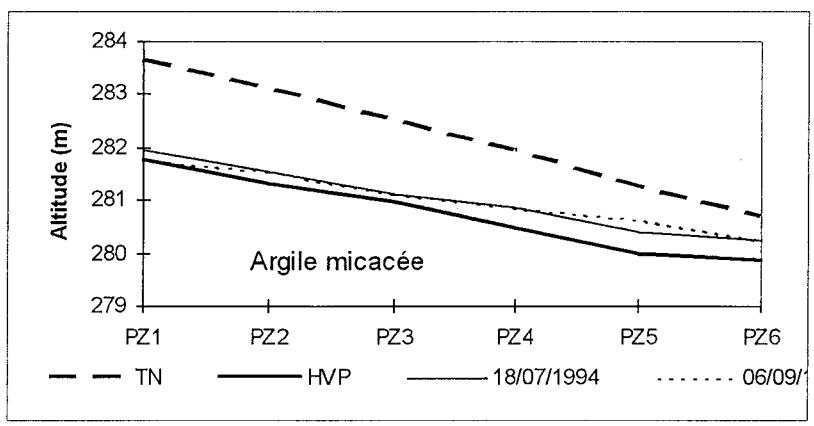



Figure V-16a Site A Ligne 3 Evolution du niveau piézomètrique de la nappe perchée le 18/7 et le 6/9/94.

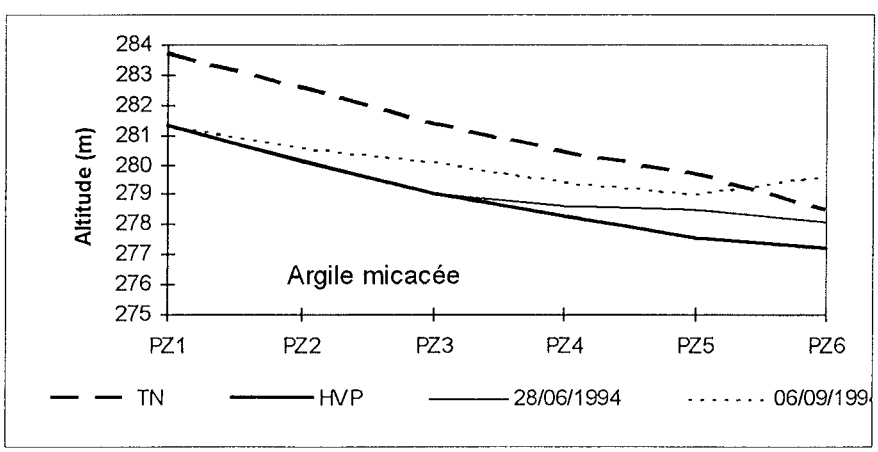



Figure V-16b Site A Ligne 7 Evolution du niveau piézomètrique de la nappe perchée le 18/7 et le 6/9/94.

Dans le site A, la nappe perchée a un fonctionnement différent selon que l'on se trouve sur le bourrelet (L3) ou dans la "vallée intérieure" (L6). En effet, le tableau V-3 donne l'épaisseur de la nappe trois jours après une pluie de 102 mm dans les piézomètres PZ5 et PZ6 installés respectivement sur le bourrelet et dans la "vallée" intérieure. PZ6 est en aval de PZ5. Le tableau indique que sur le bourrelet (L3), l'épaisseur de la nappe est inférieure à celle mesurée dans la "vallée intérieure". Cela confirme une accumulation d'eau plus importante dans la partie basse du site tandis que sur le bourrelet, l'eau circule et ne s'accumule pas.

| Piézomètres | PZ5 | PZ6 |
|---|---|---|
| Bourrelet (L3) | 21 | 107 |
| "Vallée intérieure"(L6) | 66 | 128 |

Tableau V-3. Epaisseur de la nappe (cm) 3 jours après une pluie de 102 mm.

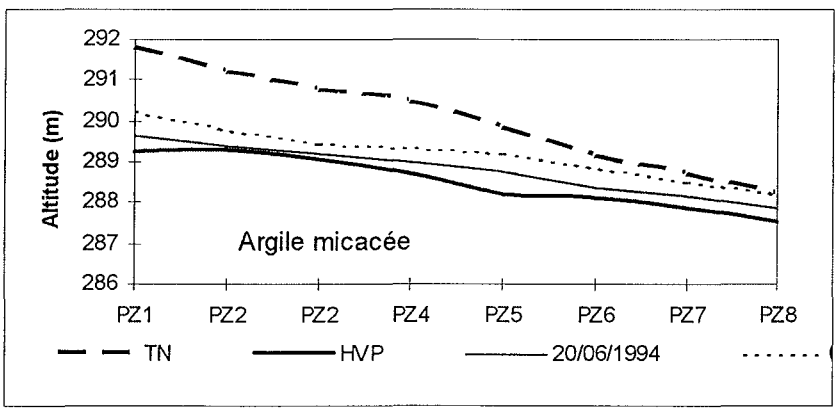



Figure V-17 Site B ligne 5 Evolution du niveau de la nappe perchée le 20/6 et le 5/9/94

La dynamique d'écoulement de la nappe d'altérite a été étudiée à plusieurs dates sur les deux sites. Ces dates ont été choisies pendant la saison des pluies et la petite saison sèche, pour suivre le comportement de la nappe profonde au cours de la saison des pluies : (fig. V-18a, V-18b et V-18c).

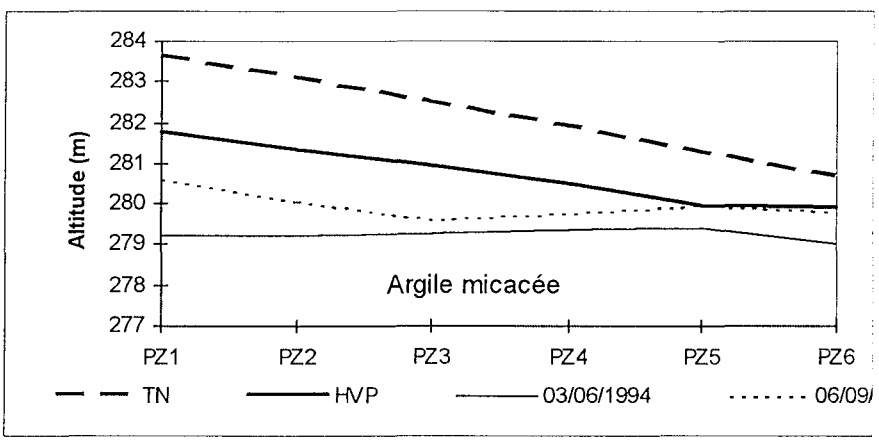



Figure V-18a Site A Ligne 3 Dynamique d'écoulement de la nappe profonde les 03/06/94 et 6/09/94

Pour le site A, on note que le comportement de la nappe est différent selon que l'on se trouve sur le bourrelet ou dans la "vallée intérieure". En effet, les figures indiquent que sur le bourrelet (L3), la nappe reste toujours sous l'horizon "vert pistache" (HVP). Elle semble s'écouler de l'amont vers l'aval

pendant les fortes pluies de la deuxième saison pluvieuse (fig. V-18a). L'écoulement est inversé lorsque la hauteur de l'eau dans le marigot est élevée. Dans la zone aval de la "vallée intérieure" (fig. V-18c), la nappe est passée par dessus HVP dans les piézomètres. Elle semble être en charge et s'écoule alors de l'aval vers l'amont.

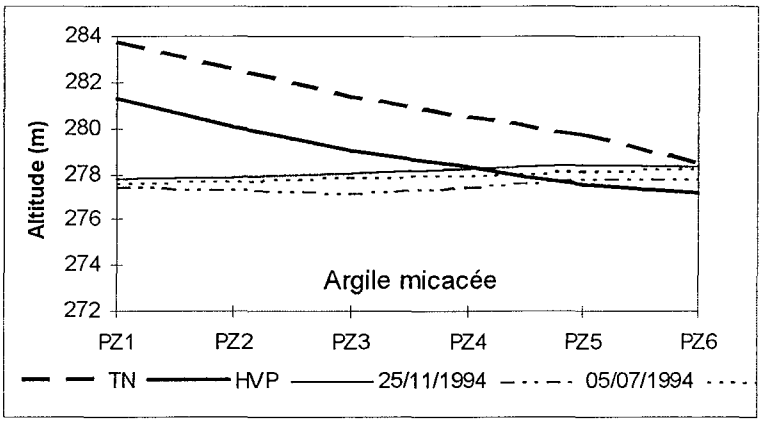



Figure V-18b Site A Ligne 3 Dynamique d'écoulement de la nappe profonde les 5/7, 6/9 et 25/11/94

En début des pluies la nappe profonde semble s'écouler de l'amont vers l'aval, comme la nappe perchée, mais en pleine saison des pluies lorsque le débit de l'eau dans le marigot augmente, l'écoulement s'inverse.

Dans le site B, le comportement de la nappe est comparable à ce qui a été vu dans le site A. On remarque un écoulement de la nappe de l'amont vers l'aval surtout pendant les deux saisons de pluies. Les dates du 2 mai 1994 et 2 janvier 1995 le confirment dans les figures fig. V-18c. Il semble aussi d'après le graphique que l'écoulement de la nappe s'effectue de l'aval vers l'amont. Ce mouvement est cependant peu marqué par rapport à ce qui se passe dans le site A. La topographie du site B caractérisée par un long versant et une pente faible (1 à 3%) pourrait influencer ou modérer l'écoulement de l'eau de la nappe de l'aval vers l'amont après la saison pluvieuse.

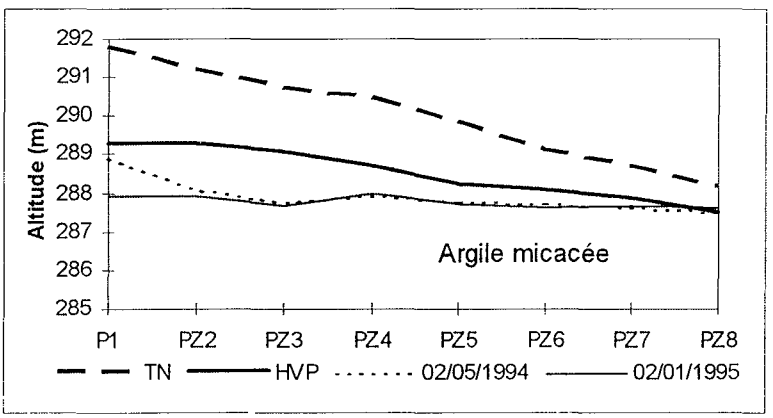



Figure V-18c Site B Ligne 5 Dynamique d'écoulement de la nappe profonde les 2/5/94 et 2/1/95

*4.2.2 SYNTHESE*

L'étude de l'évolution du niveau piézométrique des deux nappes le long de la toposéquence a révélé que :

- les deux nappes semblent indépendantes. Elles ne seraient pas mélangées. L'horizon "vert pistache" semble constituer un écran difficilement franchissable, tout au moins dans la zone médiane et la zone aval des sites.
- la nappe perchée s'écoule de l'amont vers l'aval des sites. Le marigot est en grande partie alimenté par cette nappe.
- la nappe profonde paraît s'écouler d'amont en aval au cours des deux saisons de pluies (de Mai à Juin et de Septembre à début Novembre). Cet écoulement est inversé après la saison de pluies.
- les fluctuations de la nappe perchée sont faibles dans les zones amont et aval des sites, elles sont élevées dans la zone médiane.

## 4.3 COMPOSITION CHIMIQUE DES DEUX NAPPES

*4.3.1 MATERIEL ET METHODES*

Il s'agit ici d'étudier au cours du temps la composition minérale de l'eau des deux nappes. Cette étude permettra de différencier les deux nappes et surtout de connaître la quantité d'éléments minéraux qui transitent par ces deux nappes. Pour cela un prélèvement d'eau a été effectué le long de la toposéquence. La veille du prélèvement, les piézomètres sont vidés à l'aide d'une pompe Jappy afin de renouveler l'eau. Pour éviter de prélever de la matière solide qui se trouverait dans le tube du piézomètre, le prélèvement a été fait par siphonnage en faisant le vide dans le flacon devant recueillir l'eau. Le pH de l'eau est immédiatement mesuré avec un pH mètre portatif. Quelques gouttes de formol sont ajoutées à l'eau pour stabiliser les nitrates. Les échantillons d'eau sont stockés au laboratoire, dans un réfrigérateur à une température d'environ 4°C. Toutes les analyses ont été faites au laboratoire des sols, plantes et eaux de l'ADRAO à Bouaké

*4.3.2 ANALYSE DES RESULTATS OBTENUS*

Le tableau V-4 contient la moyenne et l'écart type des concentrations de l'eau des deux nappes.

| | Nappes | pH | NH4 | NO3 | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Site A | N1 | 6.07 ±0.53 | 0.0219 ± 0.022 | 0.034 ± 0.033 | 0.286 ± 0.209 | 0.239 ± 0.853 | 0.101 ± 0.165 | 0.485 ± 0.243 |
| | N2 | 6.7 ± 0.287 | 0.0241 ± 0.0236 | 0.038 ± 0.041 | 0.409 ± 0.422 | 0.807 ± 0.397 | 0.064 ± 0.032 | 1.00 ± 0.31 |
| Site B | N1 | 5.5 ± 0.697 | 0.029 ± 0.026 | 0.123 ± 0.152 | 0.325 ± 0.265 | 0.371 ± 0.247 | 0.0523 ± 0.0396 | 0.250 ± 0.174 |
| | N2 | 6.5 ± 0.43 | 0.023 ± 0.019 | 0.089 ± 0.117 | 0.453 ± 0.276 | 0.908 ± 0.469 | 0.08 ± 0.536 | 0.650 ± 0.285 |

Tableau V-4: Moyenne (méq/100g) et écart type du pH et des concentrations chimiques de l'eau des deux nappes mesurées dans les deux sites pendant toute la saison des pluies

#### 4.3.2.1 Le pH

La figure V-19 représente l'évolution du pH de l'eau des deux nappes au cours du temps dans les trois zones du site B. Le pH de la nappe profonde (N2) est supérieur à celui de la nappe perchée (N1). Il varie (tableau V-4) entre 5 et 7 pour la nappe d'altérite et entre 4 et 6 pour la nappe perchée. Il varie très peu avec le temps de prélèvement. Les variations du pH de l'eau des deux nappes du site A sont du même type que dans le site B. On remarque qu'en amont des sites le pH des deux nappes sont voisins tandis qu'en aval les pH de N2 sont supérieurs à ceux de N1

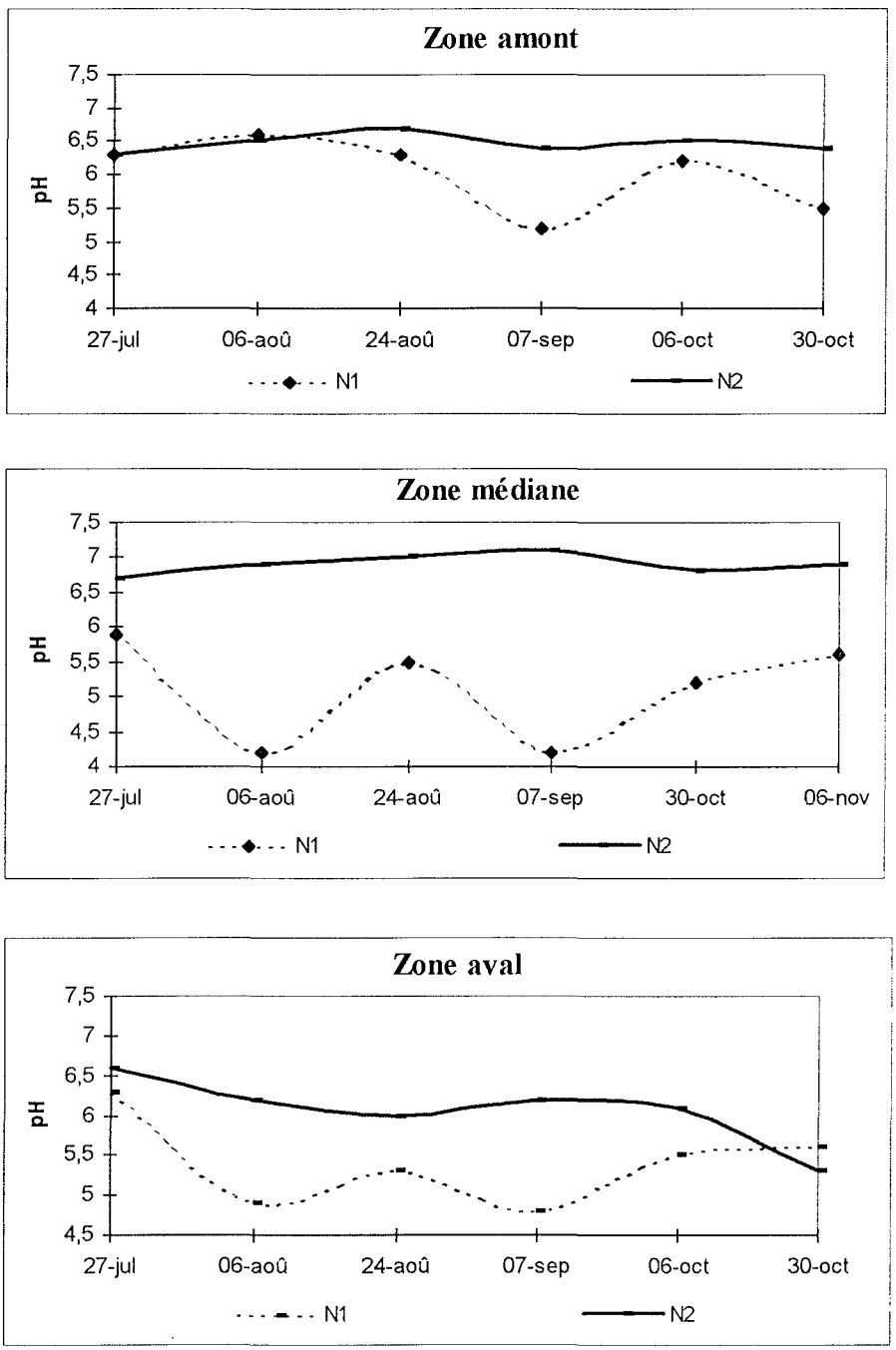



Figure V-19 Site B Comparaison du pH de la nappe d'altérites N2 et de la nappe perchée N1 suivant la position topographique et les dates de prélèvement.

#### 4.3.2.2 Les ions ($NH_4^+$) et ($NO_3^-$)

Les concentrations de l'eau des nappes en $NH_4^+$et $NO_3^-$ sont en général faibles. La concentration en $NO_3^-$ est cependant la plus élevée. Les valeurs les plus élevées se trouvent dans l'eau de la nappe perchée.

#### 4.3.2.3 Concentration des eaux des nappes en calcium, magnésium, potassium et sodium

La conductivité électrique de l'eau des deux nappes est faible. La moyenne est de 0.256 µS avec un écart type de 0.134 pour le site A, 0.134 µS avec un écart type de 0.098 pour le site B.

Les concentrations du calcium sont systématiquement plus fortes dans la nappe d'altérite.

Cette différence (fig. V-20 site B) est encore plus marquée pour le magnésium puisque les concentrations sont trois ou quatre fois plus élevées dans la nappe d'altérite que dans N1. Cela est vrai quelle que soit la position topographique ou la date de prélèvement. Les teneurs élevées du magnésium dans la nappe profonde sont sans doute dues à la richesse de l'arène micacée en minéraux ferromagnésiens tels que les micas. On trouve en effet beaucoup de biotite dont l'altération peut libérer des ions $Mg^{++}$ dans la nappe d'altérite. Cela est aussi à relier à un mauvais drainage de la nappe d'altérite et par suite à son confinement.

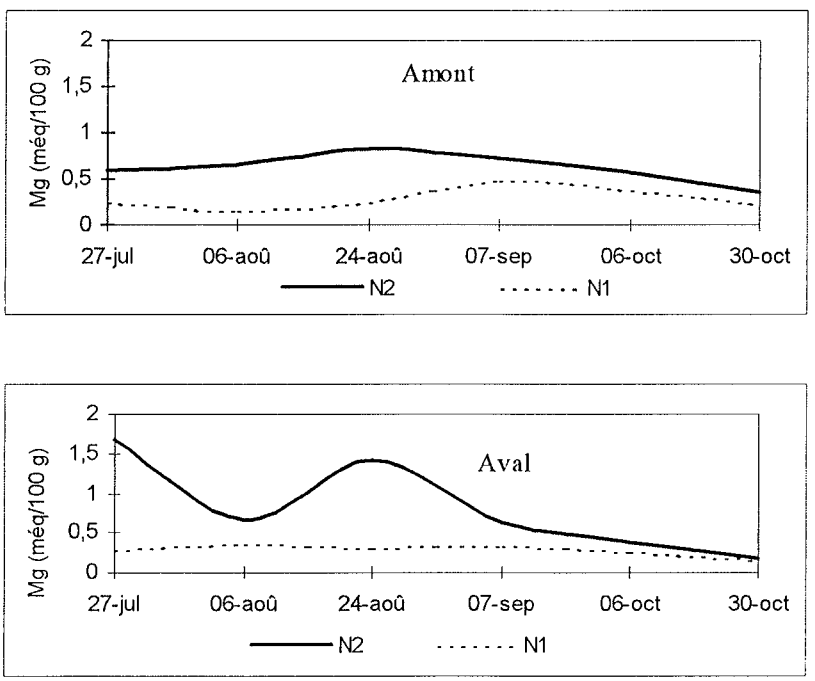



Figure V- 20 Site B Comparaison des teneurs en magnésium de la nappe d'altérite N2 et de la nappe perchée N1 suivant la position topographique et les dates de prélèvement.

Cependant, dans la zone aval du site B, la concentration en $Mg^{++}$ diminue très nettement au cours des dernières dates de prélèvement correspondant à la période de début de tarissement des nappes.

Par contre les teneurs en potassium de la nappe d'altérite sont systématiquement inférieures à celles de la nappe perchée. On observe une diminution de K avec le temps.

Le sodium (Fig. V-21 site B) a une teneur plus élevée dans la nappe profonde (altération des feldspaths?).

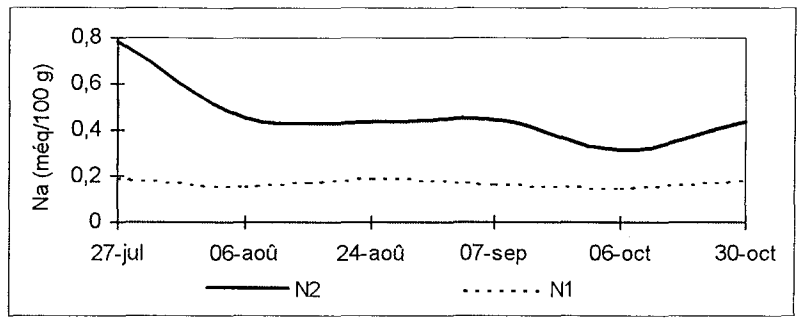



Figure V- 21 Site B Zone aval Comparaison des teneurs en Sodium de la nappe d'altérite N2 et de la nappe perchée N1 suivant les dates de prélèvement.

## 5 INTERPRETATION ET CONCLUSION

L'étude du fonctionnement de la nappe dans le bas versant a permis de montrer :

- qu'il y avait deux nappes : une **nappe perchée N1** reposant sur l'horizon argileux "vert pistache", et une deuxième **nappe profonde** ou **nappe d'altérite N2**, localisée dans l'arène micacée. Les fluctuations du niveau piézométrique de ces nappes au cours du temps a montré que si la **nappe perchée** est directement liée au régime pluviométrique, par contre, la montée de la **nappe d'altérite** se faisait lentement et avec un fort décalage temporel par rapport à N1. Les deux nappes semblent donc indépendantes. Cela est confirmé par la composition chimique des eaux. Les eaux de la nappe d'altérite sont nettement plus concentrées que celle de la nappe perchée.

L'étude des fluctuations des deux nappes au cours du temps a montré qu'elles étaient inféodées au régime pluviométrique de la région. Plus particulièrement la nappe perchée qui présente deux maximum de montée (mai et juin, puis septembre octobre) et une descente (juillet, août) pendant la petite saison sèche. Elle est donc sous la stricte dépendance du régime bimodal des pluies.

L'horizon argileux "vert pistache" (IIBr) est à l'origine de l'existence de la nappe perchée. Cette nappe est essentiellement alimentée par les eaux de pluies infiltrées le long de la toposéquence; soit au niveau du "biseau cuirassé" **(impluvium)** dont les sols sont poreux à porosité tubulaire, soit au niveau des sols gris sableux (**compluvium**) également poreux du bas versant (fig. V-22 et 23). Cependant la permanence d'un écoulement de N1 plusieurs mois après la fin des pluies accrédite l'hypothèse selon laquelle la nappe d'altérite participerait à l'alimentation de la nappe perchée. Cela est rendu possible par la forme ondulée du sommet de l'HVP.

L'écoulement de la nappe perchée est très différent suivant la topographie de la surface de l'horizon "vert pistache" :

- si la topographie de l'HVP est régulière, la nappe circule d'une manière uniforme sur l'ensemble du bas versant en s'épaississant régulièrement d'amont en aval;
- si elle est ondulée, les eaux s'écoulent suivant des directions ou des axes privilégiés vers les dépressions relatives, les creux de l'horizon argileux, la nappe y est alors très épaisse et perdure

longtemps après la fin des pluies, par contre sur les zones en relief de la topographie de l'HVP, la nappe est peu épaisse et les écoulements y sont brefs.

Il apparaît aussi que la nappe perchée s'écoule de l'amont vers l'aval ; elle alimente le marigot. La nappe profonde s'écoule d'amont vers l'aval au début de la saison des pluies et en saison sèche, mais la direction de cet écoulement est peut être localement inversée à l'extrême aval lorsque la hauteur de l'eau dans le marigot est élevée, au maximum ou à la fin de la saison pluvieuse.

Cet écoulement des deux nappes de l'amont vers le marigot peut-il être mis en relation avec l'accumulation de smectites dans le bas versant et surtout dans le bas-fond ? Doit-on évoquer la possibilité d'une invasion des bas fonds par la smectite ? Par néogenèse ? Par accumulation de particules mobilisées ailleurs ? Nous pensons en effet que cela est possible.

Ces résultats s'accordent avec les points essentiels du chapitre II, c'est à dire la superposition dans le bas versant de trois matériaux pédologiques bien distincts :

- Un matériau sableux, poreux, aéré et drainant. L'infiltration des eaux de pluies y est rapide. C'est un milieu où la nappe perchée, du fait de sa circulation évacue les éléments minéraux solubles. D'où la faible concentration minérale de cette nappe. La circulation de l'eau peut contribuer à la mise en suspension des argiles de l'horizon "vert pistache" et à leur transport vers le marigot.
- L'horizon argileux "vert pistache" est le plancher sur lequel repose la nappe perchée. C'est un milieu argileux compact qui sépare la nappe perchée de la nappe d'altérite.
- Un milieu argilo-sableux, à porosité fine, où l'eau circule très lentement d'autant plus que l'HVP constitue un obstacle continu à sa vidange dans le marigot. Le gradient hydraulique y est faible. C'est un milieu confiné où les éléments minéraux dissous sont mal évacués. Ceci expliquerait la concentration relativement élevée de l'eau de la nappe d'altérite en éléments minéraux comme le calcium, le potassium et surtout le magnésium et le sodium. C'est un milieu favorable, par son confinement relatif, à la néogenèse des minéraux 2:1.

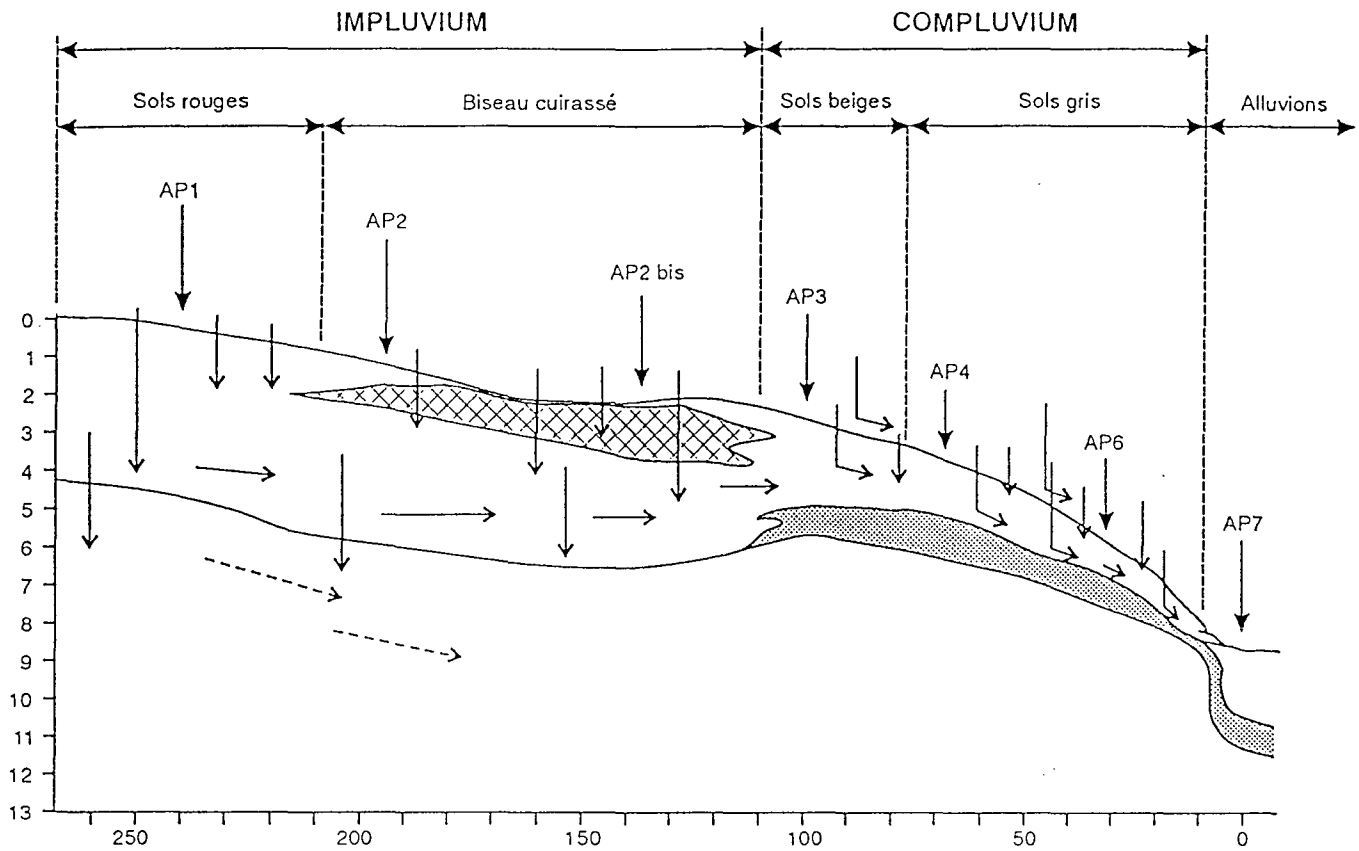



Figure V-22 Site A Origine et fonctionnement de la nappe perchée

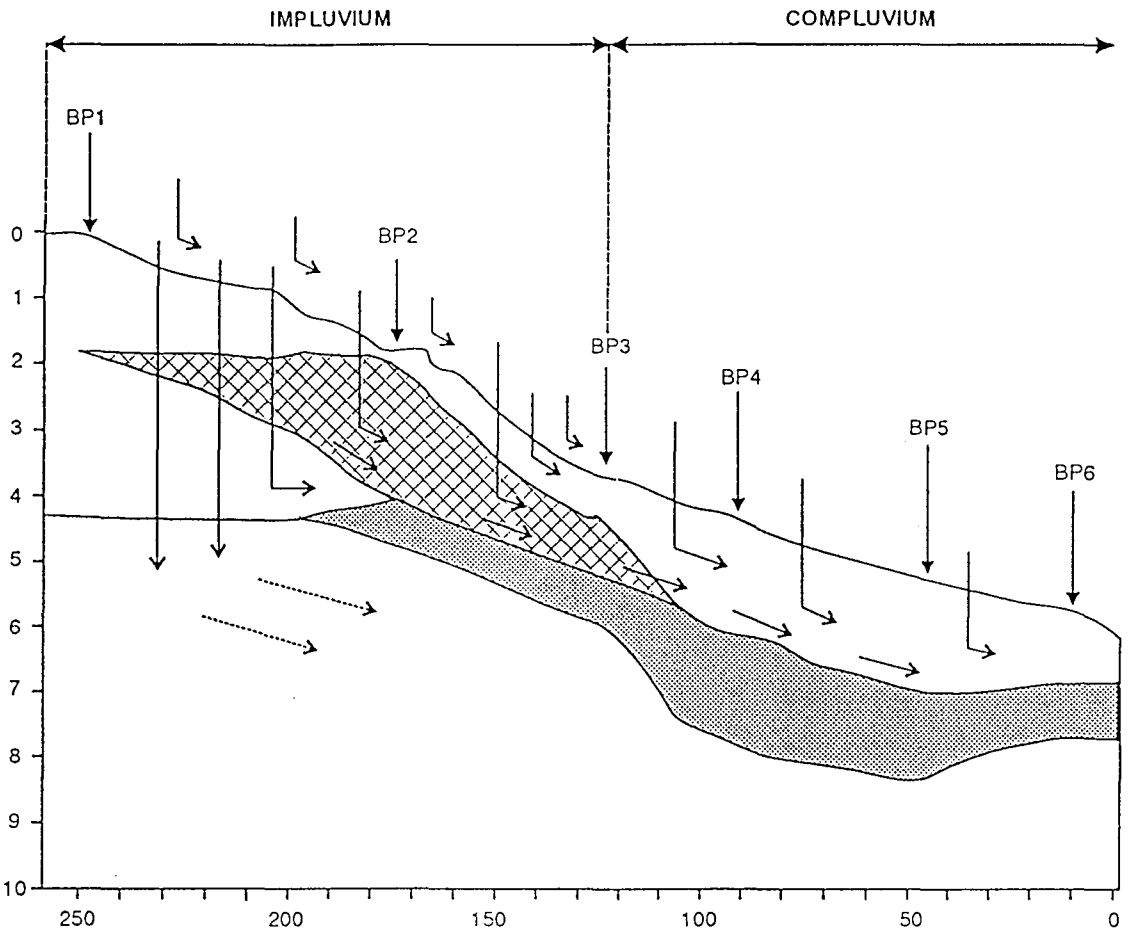



Figure V-23 Site B Origines et fonctionnement de la nappe perchée

# QUATRIEME PARTIE

# RESULTATS AGRONOMIQUES

# CHAPITRE VI

# PRODUCTION DU RIZ DANS LE BAS DE VERSANT

## 1 MATERIEL ET METHODES

Deux variétés de riz pluvial ont été cultivées pendant deux années (1993 et 1994) dans des bandes de 20 m sur 120 m, orientées dans le sens de la toposéquence. Ces bandes encadrent les lignes piézométriques. Ainsi 7 bandes par site ont été cultivées. A l'intérieur de ces bandes, des placettes de 5 x 5 m et espacées de 20 m ont été délimitées pour le calcul du rendement. Ces placettes encadrent les piézomètres installés en leur centre. On a ainsi délimité 5 placettes par bande pour le site A et 6 placettes par bande pour le site B. Ces placettes serviront à relier les rendements du riz aux propriétés physico-chimiques du sol et à la profondeur de la nappe phréatique. Pour cartographier en détail le rendement du riz obtenu dans les deux sites, on a délimité des placettes plus petites de 4 m x 4 m en bordure de chacune des bandes de culture, depuis l'amont jusqu'à l'aval des sites.

En 1993 deux variétés de riz pluvial ont été cultivées dans les deux sites : une première variété à cycle court (90 jours) WAB 56-104 et une deuxième variété à cycle moyen (120 jours) IDSA 6. Ces variétés ont été cultivées avec et sans engrais. L'apport d'engrais a été effectué à raison de 150 kg/ha de N.P.K (10.18.18) et de 100 kg/ha d'urée dont 50 au tallage et 50 à la floraison. Il n'y a pas eu de répétition dans le dispositif expérimental.

En 1994, une seule variété de riz IDSA 6 est cultivée avec apport uniforme d'engrais complexe NPK (150 kg/ha 10.18.18 et 100 Kg/ha d'urée) dans les deux sites pour pouvoir faire une cartographie du rendement et en illustrer la variabilité spatiale sur l'ensemble des sites.

L'objet principal de l'étude est d'évaluer l'effet de la nappe sur le rendement du riz; l'analyse des résultats obtenus portera : **1)** sur la réponse de l'unique variétés pour la campagne agricole 1994; **2)** sur la réponse des deux variétés et sur l'effet à l'apport d'engrais pour la campagne 1993.

## 2 EFFET DE LA NAPPE PHREATIQUE SUR LE RENDEMENT GRAINS

En 1994, une seule variété de riz à cycle moyen a été cultivée dans les deux sites, de manière à pouvoir étudier le rendement sur le plan spatial, ses relations avec la nappe phréatique et les propriétés physico-chimiques des sols. Une carte des rendements a été dressée sur l'ensemble des deux sites pour permettre des comparaisons avec les caractéristiques physico-chimiques des sols (cf. Chap. III).

Dans le site B, (fig. VI-1a), le rendement a révélé de manière très distincte les trois zones déjà citées plus haut (cf. chap. III) : la zone amont, la zone médiane et la zone aval :

**Dans la zone aval**, où la nappe est très peu profonde. Le rendement moyen obtenu est d'environ 2.8 t $ha^{-1}$. Le riz dans cette partie du site est assisté par la nappe phréatique. La croissance du riz se fait normalement. Aucune maladie (pyriculariose, helminthosporiose) n'a été observée. A l'extrême aval, cependant on note une légère baisse des rendements qui est attribuée au fait que la variété pluviale utilisée n'est pas adaptée à ce milieu où la nappe affleurante induit des conditions asphyxiantes quasi permanentes. Des variétés aquatiques mieux adaptées à ce milieu auraient donné de meilleurs résultats.

**Dans la zone médiane**, la nappe est profonde (plus de 100 cm). Elle n'intervient plus dans l'alimentation hydrique du riz. Le riz est alors soumis au stress hydrique et se développe très difficilement. On observe un échaudage très sévère des panicules et surtout de sérieuses attaques de pyriculariose. Le rendement atteint difficilement 500 kg $ha^{-1}$ malgré l'apport de 150 kg $ha^{-1}$ d'engrais complexe NPK complété par de l'urée (100 kg $ha^{-1}$ en deux fois 50). Dans cette zone, l'eau est le principal facteur limitant.

**Dans la zone amont**, le rendement augmente très nettement tout en restant cependant inférieur à celui de la zone aval. Cette différence est bien sûr liée à l'absence de l'influence de la nappe devenue très profonde (plus de 200 cm) dans cette zone. L'augmentation du rendement est à relier avec les teneurs élevées des sols en carbone et en argile améliorant la capacité de rétention en eau des sols.

Dans le site A (fig. VI-1b), les trois zones sont moins distinctes. Ainsi :

**Dans la zone aval**, le rendement obtenu est de l'ordre de 3.8 t $ha^{-1}$. Comme dans le site B, la croissance du riz s'est effectuée correctement, sans attaque de maladie et la maturité a eu lieu plus tôt que prévue (10 à 13 jours). Dans cette zone, la nappe phréatique a une profondeur moyenne d'environ 50 cm. Dans la partie où elle affleure, les rendements ont tendance à baisser à cause de l'inadaptation de la variété aux conditions asphyxiantes des zones d'affleurement de la nappe.

**Dans la zone médiane**, la profondeur de la nappe est à plus de 80 cm de profondeur. Son influence ne se fait plus sentir sur la croissance du riz. On note cependant que le rendement obtenu dans cette zone est de 1.8 t $ha^{-1}$. Il est très légèrement inférieur à celui obtenu dans la zone aval. Ce rendement est en accord avec les teneurs élevées des sols du site A en carbone, argiles et bases échangeables (cf. chap. AI). En d'autres termes la fertilité des sols du site A est bien meilleure que celle du site B.

**Dans la zone amont**, le rendement est comparable à celui obtenu dans la zone médiane. On se trouve dans une zone où la nappe phréatique est très profonde (plus de 200 cm). Le riz se développe en conditions pluviales strictes. Il profite dans ces conditions de la fertilité élevée des sols de cette zone.

## 3 VARIABILITE SPATIALE DU RENDEMENT DANS LES DEUX SITES.

La figure VI-2, présente la carte et une vue en perspective des rendements obtenus sur toute la superficie du site B. Cette carte montre très nettement trois zones :

- **dans la zone amont**, la variabilité spatiale du rendement est modérée avec un pic de 1.8 t $ha^{-1}$ situé dans la partie où les propriétés physico-chimiques sont meilleures. Elle est légèrement chaotique à l'image de la distribution spatiale des éléments minéraux (cf. chap. III). Il semble donc que les variations de rendement soient liées ici à la fertilité minérale .

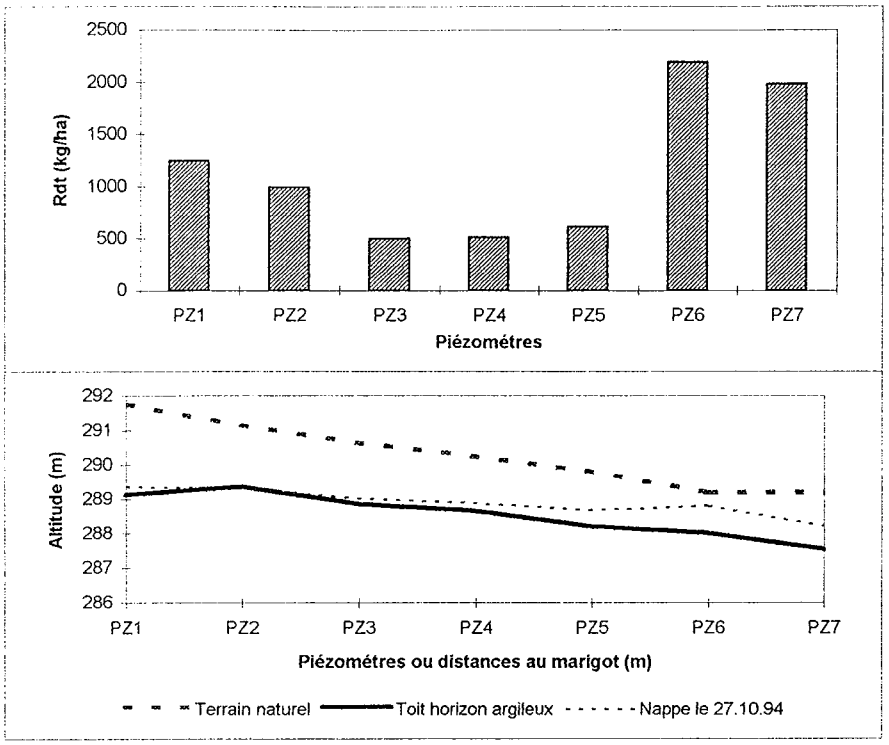



Figure VI-1 a : Site B. Effet du niveau de la nappe sur le rendement de IDSA 6 le long de la toposéquence. Ligne 4 . Campagne 1994

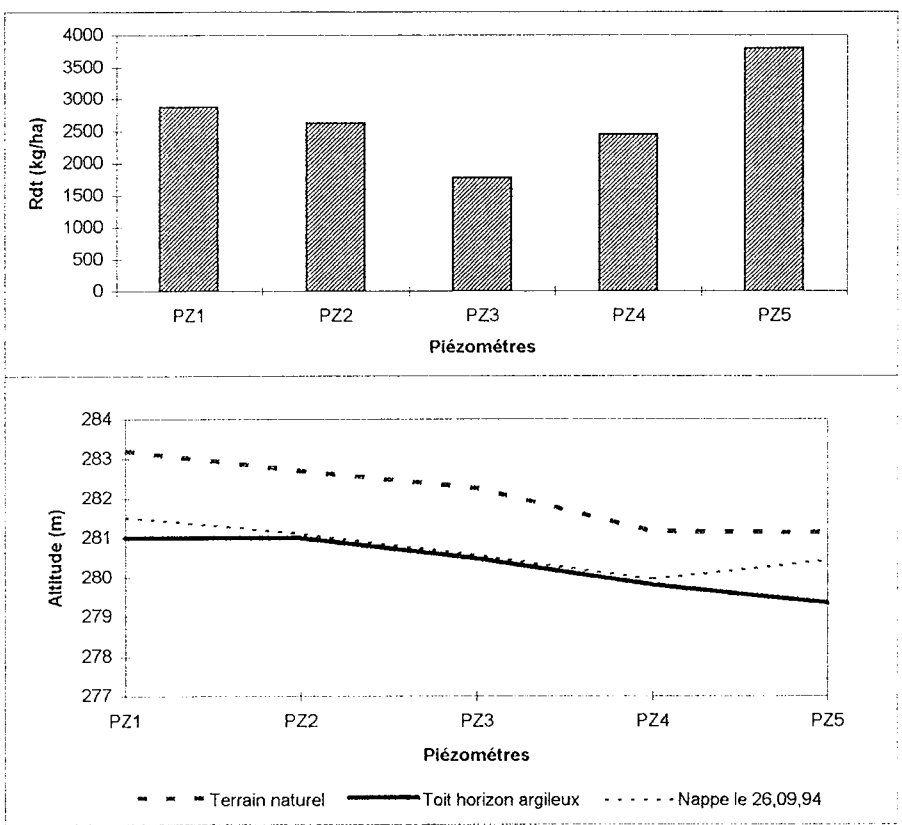



Figure VI-1b. : Site A. Effet du niveau de la nappe sur le rendement de IDSA 6 le long de la toposéquence. Ligne 2. Campagne 1994

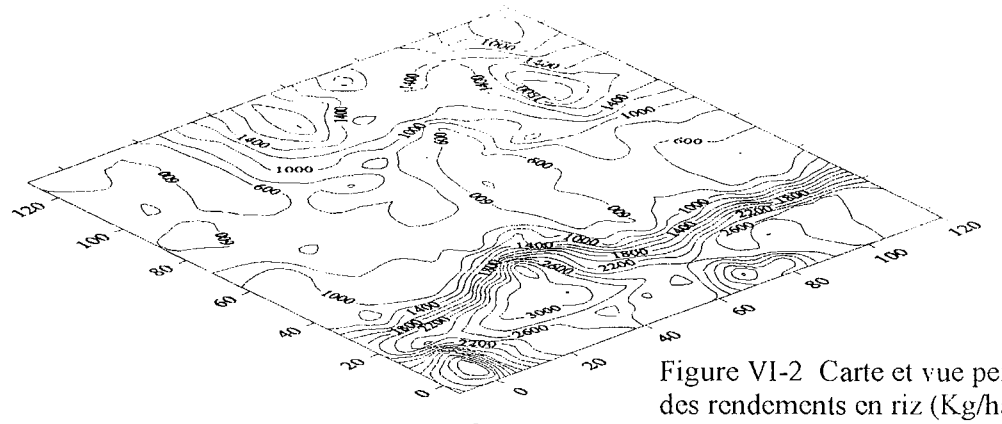
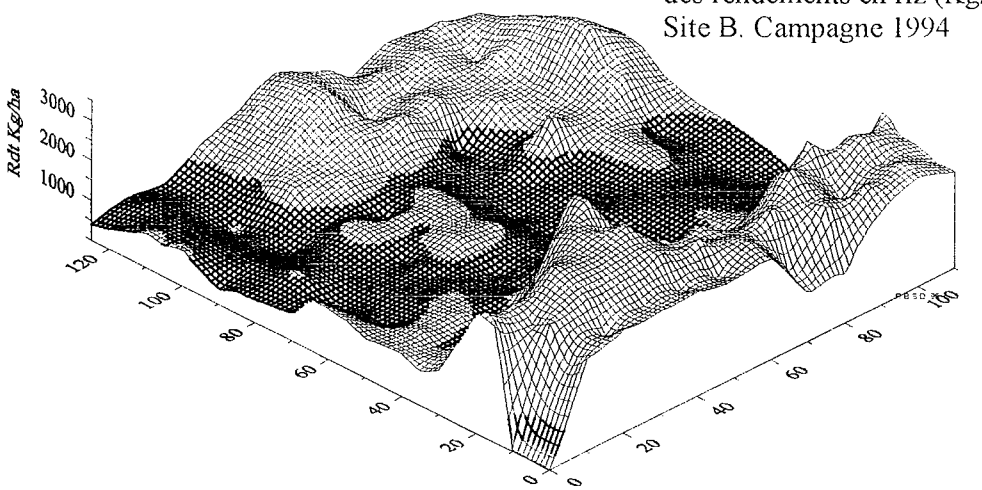


Figure VI-2 Carte et vue perspective des rendements en riz (Kg/ha). Site B. Campagne 1994



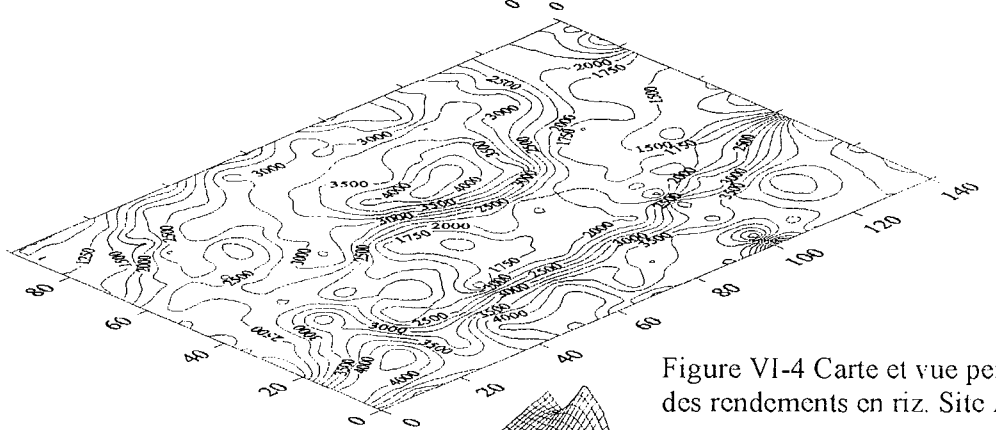
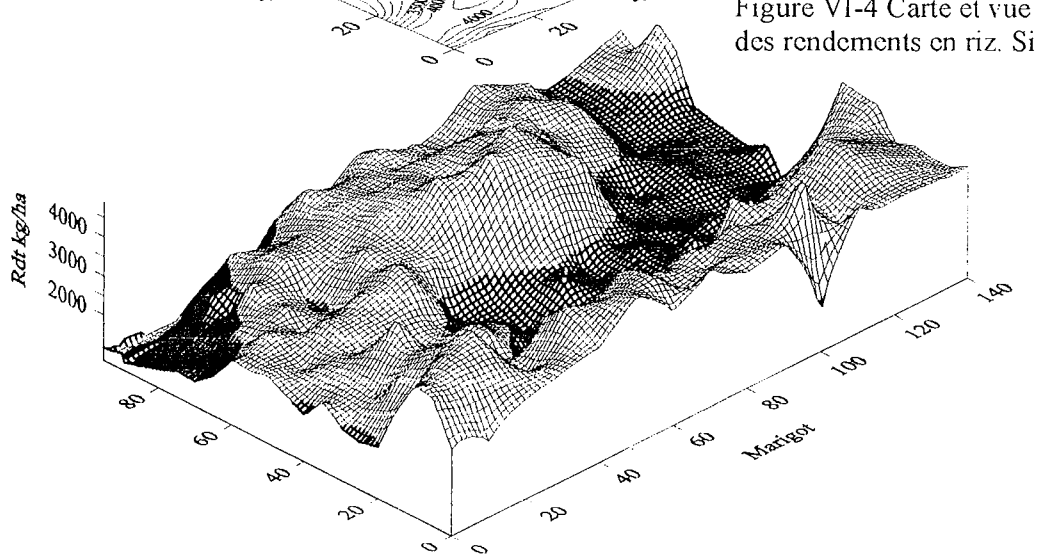



Figure VI-4 Carte et vue perspective des rendements en riz. Site A 1994



- **la zone médiane** est large et présente une variabilité spatiale faible et non chaotique. Le rendement est d'environ 600 kg $ha^{-1}$. Dans cette zone le facteur limitant est l'eau, la nappe phréatique y est en effet profonde pour être utilisée par les racines du riz.

- **dans la zone aval,** on observe une augmentation spectaculaire du rendement qui se situe aux environs de 2.800 kg $ha^{-1}$. La variabilité spatiale du rendement y est modérément forte et chaotique dans les la ligne piézométrique parallèle au marigot et situé à 40 m de celui-ci (cf. bloc diagramme de la fig. VI-2). C'est la zone où la nappe phréatique est proche de la surface sans être affleurante. Le riz y est alimenté par les remontées capillaires.

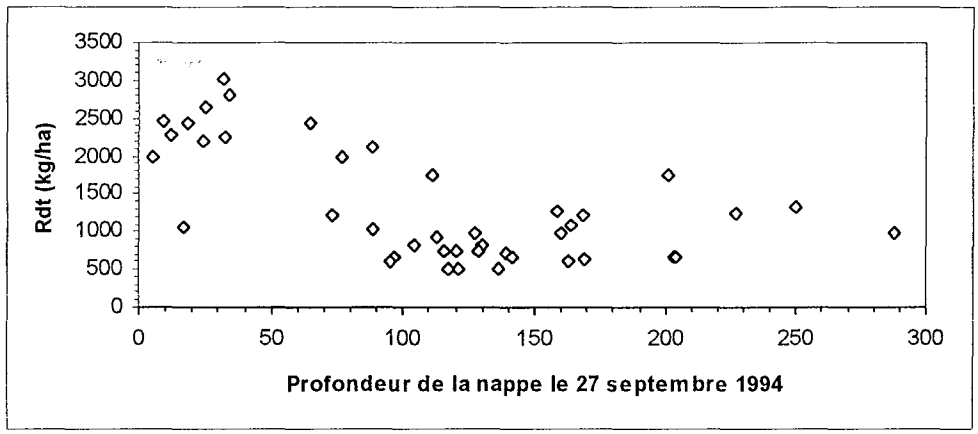



Figure VI-3 : Site B. 1994. Effet de la profondeur de la nappe sur le rendement du riz .

La droite de régression linéaire entre le rendement et la profondeur de la nappe (VI-3) confirme bien la liaison entre le rendement et la profondeur de la nappe.

Dans le site A (VI-4), la même organisation des rendements que dans le site B a été observée. Cependant, on peut noter que :

-**dans la zone amont** (rendement moyen supérieur à 2.000 kg $ha^{-1}$), la variabilité spatiale du rendement est légèrement chaotique avec un pic d'environ 3800 kg $ha^{-1}$ dans la partie centrale de la zone. Ces rendements correspondent à la partie où les teneurs en argile, carbone, bases échangeables et les valeurs de la CEC et de la somme des bases échangeables sont les plus élevées (cf. chap. III).

-**dans la zone médiane**, (rendement moyen environ 1.800 kg $ha^{-1}$), la variabilité spatiale du rendement est faible. La carte montre que le rendement augmente brutalement et atteint 3.000 kg $ha^{-1}$ dans la partie inférieure gauche de la carte (fig. VI-4). Cette augmentation est étroitement liée à ce que l'on a appelé "vallée" intérieure où la nappe a une forte épaisseur (environ 2 m). Les rendements les plus bas sont localisés sur la zone de partage des eaux évoquée plus haut (cf. chap. V).

- **dans la zone aval,** proche du bas-fond, le rendement augmente sensiblement, la nappe phréatique est peu profonde. La variabilité spatiale du rendement y est modérée et chaotique pour les placettes situées à 40 m du marigot (rendements de 4.000 kg $ha^{-1}$) alors que l'on se trouve dans une zone sableuse à très faible fertilité comme dans la zone précédente. La variabilité spatiale est par contre non chaotique dans les placettes situées à 20 m du marigot. C'est la zone d'affleurement de la nappe. L'augmentation brutale du rendement dans cette zone aval est exclusivement due à la présence de la nappe phréatique. Les besoins du riz en eau et en éléments minéraux sont largement satisfaits grâce à la présence de la nappe. Le riz est totalement assisté par la nappe phréatique.

# 4 PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL ET RENDEMENTS

## 4.1 EFFET DE L'HUMIDITE GRAVIMETRIQUE

Des prélèvements d'échantillons de sols ont été effectués à 0-20 cm dans les placettes de rendement dans le but de déterminer l'humidité gravimétrique. Ce prélèvement, effectué vers fin septembre (période de remplissage du grain) avait pour objet de mesurer l'effet de l'humidité gravimétrique du sol sur la production du riz.

La figure VI-5 montrent que dans le site B, le rendement augmente avec l'humidité gravimétrique du sol entre 0 et 20 cm de profondeur. Il en est de même pour le site A (fig.VI-6).

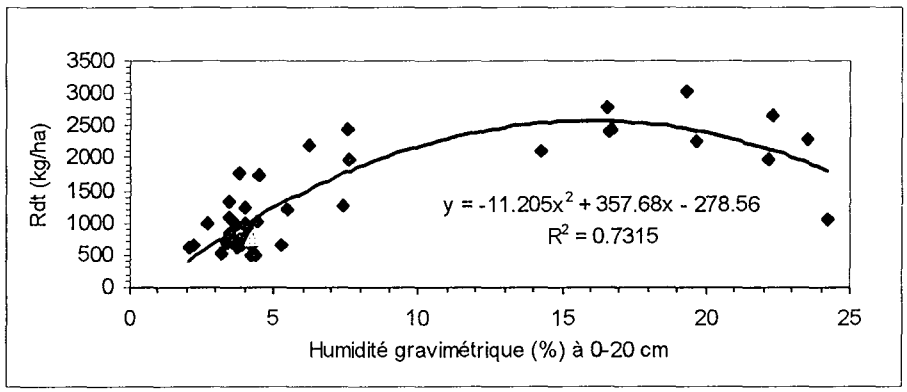



Figure VI- 5 : Site B. Effet de l'humidité gravimétrique (%) mesurée à 20 cm de profondeur sur le rendement du riz.

Par contre dans le site A (fig. VI-6), seule l'humidité de l'horizon 0-20 cm semble avoir une relation étroite avec le rendement. Le graphique indique que le rendement augmente avec l'humidité gravimétrique.

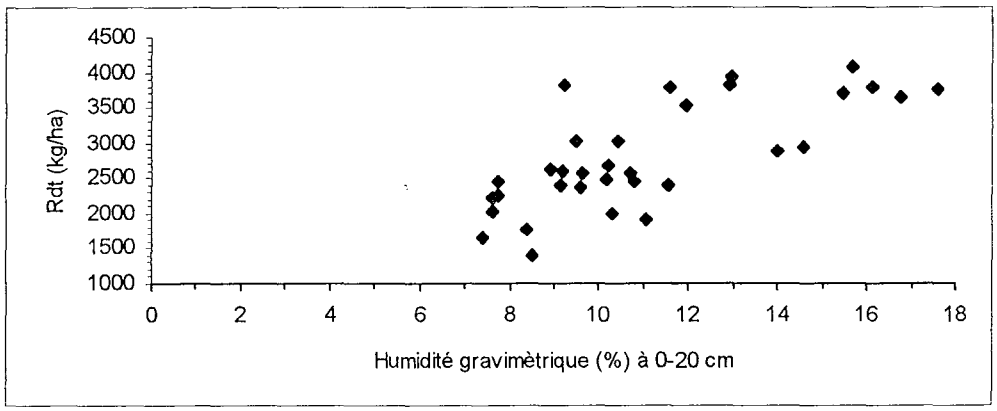



Figure VI-6 : Site A. Effet de l'humidité gravimétrique (%) mesurée à 20 cm de profondeur sur le rendement d riz

Les résultats ont montré également que l'humidité du sol accélère la maturité du riz. Cette maturité survient 10 à 13 jours plus tôt dans la zone aval que dans les zones médiane et amont des sites. De même les observations phytosanitaires montrent que dans la zone d'influence de la nappe, les maladies du riz sont quasi absentes.

### 4.2 EFFET DES PROPRIETES CHIMIQUES

Nous avons montré (chap. III) que la variabilité spatiale des caractères pédologiques (carbone, somme des bases échangeables, capacité d'échange cationique) était plus forte dans la zone amont, faible dans la zone médiane et modérément faible dans la zone aval. Ces variables présentent des valeurs plus élevées en amont et diminuent vers l'aval.

La variabilité spatiale du rendement du riz dans les deux sites est l'image de celle des éléments chimiques des sols. Dans la zone amont les rendements les plus élevés se situent au niveau des pics de concentration des éléments minéraux. La figure VI-7 montre la carte du rendement du riz comparée à celles du carbone organique et du taux d'argile. On remarque que les trois cartes montrent trois zones bien distinctes et qui, sans être totalement superposables ont des similitudes remarquables. Par exemple le rendement suit l'évolution du carbone et de l'argile dans la zone amont et la zone médiane. Mais ce rendement augmente dans la zone aval où les teneurs du sol en carbone organique et en argile sont pourtant faibles. On a donc ici un paradoxe qui ne peut être expliqué que par l'effet de la nappe phréatique, très proche de la surface du sol, sur l'alimentation hydrique et peut être minérale du riz.

Les résultats obtenus avec une seule variété ont montré le rôle prépondérant de la nappe sur la croissance et le rendement du riz. Les rendements les plus élevés ont été obtenus dans la zone aval où les sols ont pourtant une texture très grossière avec une basse fertilité.

## 5 EFFET DE L'ENGRAIS SUR LE RENDEMENT DES DEUX VARIETES

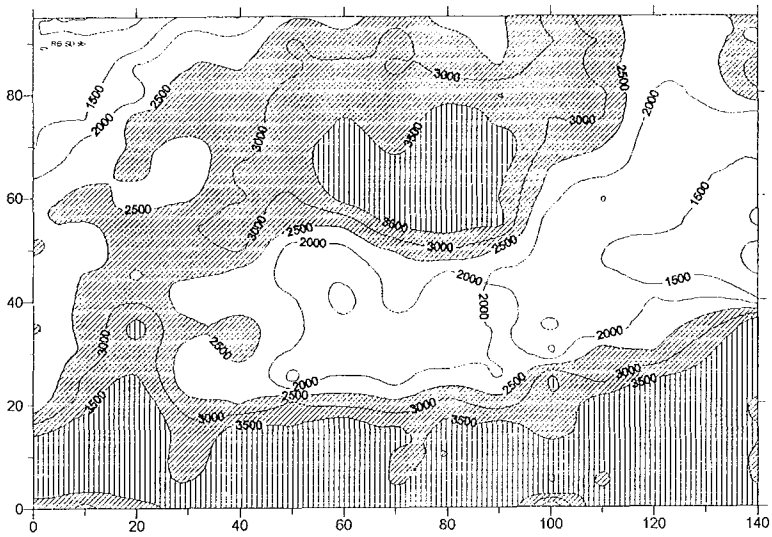
Nous examinerons les rendements grain de deux variétés dans les deux sites pendant la campagne 1993.

### 5.1 PERFORMANCE DE LA VARIETE A CYCLE COURT (WAB56-104)

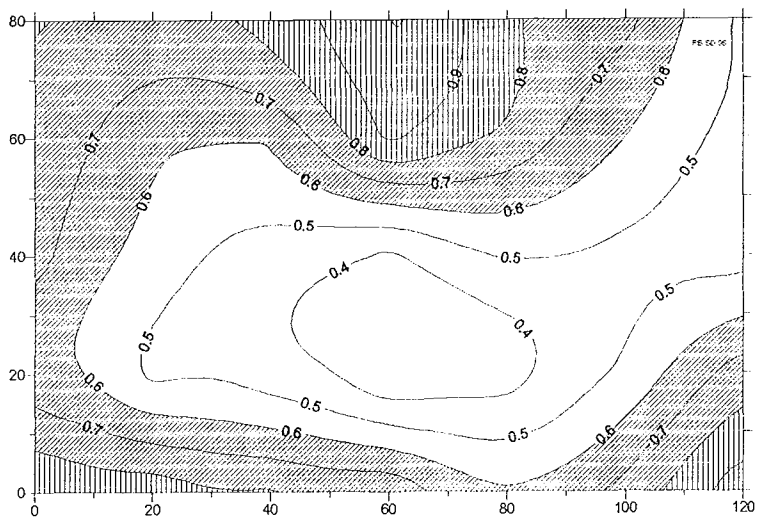
Dans le site B (fig. 8a), l'apport d'engrais permet des gains de rendements importants avec 2783 kg $ha^{-1}$ contre 1461 sans engrais. Le rendement obtenu avec le traitement sans engrais est régulièrement supérieur à 1 t $ha^{-1}$ même dans la zone médiane où la fertilité du sol est basse. L'apport d'engrais a multiplié par deux, voire trois le rendement tout le long de la toposéquence. La réponse de la variété à l'apport d'engrais dans les trois zones est très différente. En effet, dans la zone amont et la zone aval, l'augmentation du rendement est spectaculaire avec un pic de 3000 kg $ha^{-1}$ en amont et 4000 en aval tandis que dans la zone médiane, on passe de 1000 à environ 2000 kg $ha^{-1}$. L'apport d'engrais a été fortement valorisé dans la zone aval par les remontées capillaires. Le rendement le plus bas a été obtenu dans la zone médiane.

Dans le site A (fig. 8b), la variété a donné un rendement moyen de 1279 kg $ha^{-1}$ avec le témoin sans engrais et 2716 kg $ha^{-1}$ avec apport d'engrais. Mais d'une manière générale, l'apport d'engrais a donné un rendement deux à trois fois supérieur à celui du témoin sans engrais. Le rendement avec engrais est très nettement supérieur à celui du témoin tout le long de la toposéquence. Dans les trois zones, ce rendement est élevé à l'exception des placettes extrêmes des zones amont et aval où il est assez bas (fig. 8b). Cette baisse est liée dans la zone aval, à l'inadaptabilté de la variété aux sols engorgés par la nappe, et à la faible profondeur des sols en amont (présence à faible profondeur d'une cuirasse).

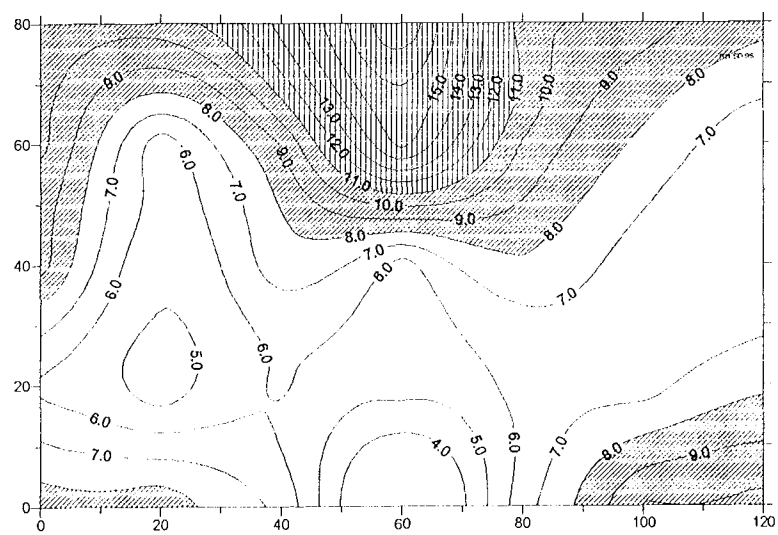
Figure VI-7 : Site A. Comparaison des variations spatiales des rendements, de la teneur en carbone organique et du taux d'argile




Valeurs du rendement en riz. Kg/ha Campagne 1994




Isovaleurs des teneurs en carbone organique en %




Isovaleurs des taux d'argile en %

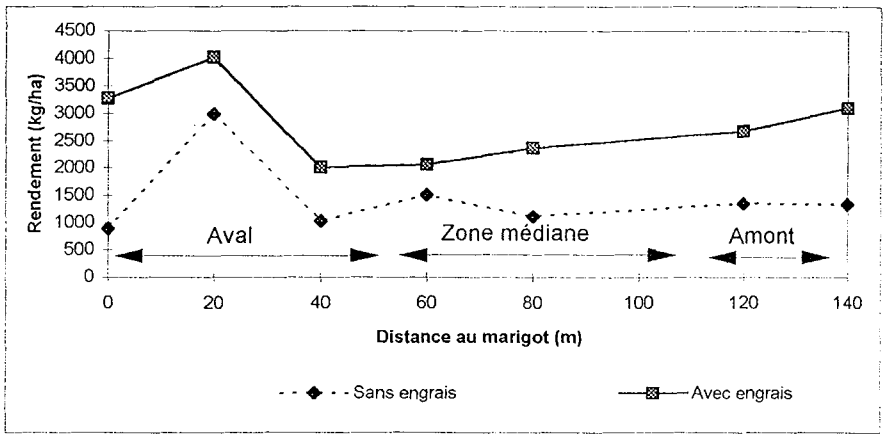



**Figure VI-8a : Site B. 1993. Rendement moyent (kg/ha) de la variété WAB 56-104 cultivée le long de la toposéquence**

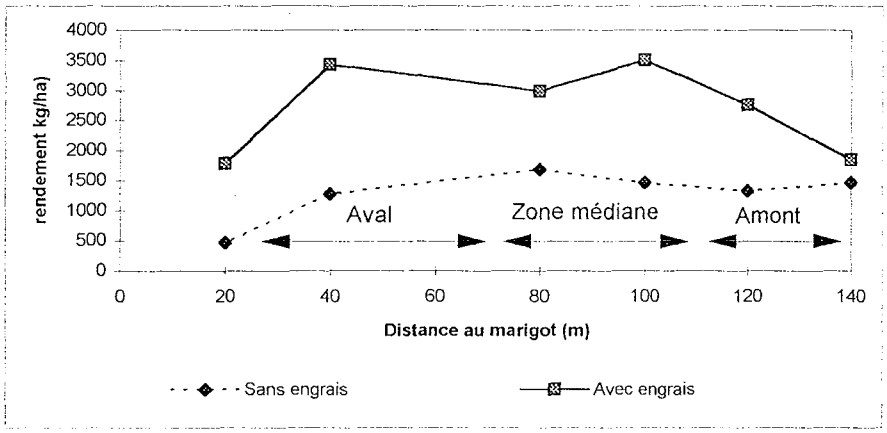



**Figure VI-8b : Site A. 1993. Rendement moyen (kg/ha) de la variété WAB 56-104 cultivée le long de la toposéquence**

5.2 PERFORMANCES DE LA VARIETE A CYCLE MOYEN (IDSA 6)

Dans le site B (fig. VI-9a), la variété a donné les rendements les plus bas dans la zone médiane du site. Quel que soit le traitement, la variété a fait apparaître les trois zones du site définies plus haut, à savoir : la **zone amont**; la **zone médiane** et la **zone aval**. L'apport d'engrais n'a pas beaucoup amélioré le rendement dans la zone médiane, au contraire. En effet l'apport d'engrais a augmenté sensiblement le tallage de la variété qui ne satisfait plus ses besoins en eau pendant la petite saison sèche. Cette période correspondant souvent à la montaison-floraison de la variété, on observe un échaudage systématique des panicules de riz dans la zone médiane, d'où le rendement bas obtenu dans cette zone surtout avec le traitement engrais.

Par contre dans le site A (fig. VI-9b) les rendements obtenus sont en moyenne de 1090 kg $ha^{-1}$ sans engrais et 1737 kg ha-1 avec engrais. La figure montre également que les rendements les plus élevés sont obtenus en zone amont et aval, et les plus bas dans la zone médiane. La variété semble réagir aux trois zones des sites citées plus haut. Dans la zone amont, la fertilité des sols a contribué à l'obtention de rendements supérieurs à une 1 t $ha^{-1}$ même avec le traitement sans engrais. Dans la zone médiane, les rendements bas, reflètent le niveau de fertilité très faible des sols gris sableux. Dans la zone aval, l'apport d'engrais a permis d'obtenir les rendements les plus élevés (plus de 2 t $ha^{-1}$).

En résumé, l'effet de l'engrais est différent sur les trois zones des sites étudiés. Les rendements les plus bas se situent dans la zone médiane. Cet effet a été valorisé dans la zone aval par la présence de la nappe phréatique perchée.

## 6 INTERPRETATION ET CONCLUSION

Les rendements de riz cultivé sur sols gris sableux de bas de versant sont le reflet des propriétés physico-chimiques des sols et du comportement de la nappe perchée. En effet :

* Dans la zone aval et une bonne partie de la zone médiane, le régime hydrique des sols gris sableux de bas de versant est conditionné par la nappe phréatique dont la remontée capillaire de l'eau dans les horizons superficiels et subsuperficiels a contribué efficacement à l'alimentation hydrique du riz. La profondeur de l'horizon "vert pistache" règle celle de la nappe. Nous avons vu en effet (chap. II) que l'horizon "vert pistache" est peu profond dans la zone aval et devenait de plus en plus profond à mesure que l'on allait vers le plateau. Ceci s'est répercuté sur le régime hydrique de la nappe et par conséquent sur celui des sols gris sableux. Les rendements élevés de riz, obtenus dans la zone aval des sites sont donc expliqués non pas par les propriétés physico-chimiques (teneurs très faibles) des sols, mais par le régime hydrique des sols conditionné par la nappe phréatique. Ce rendement devient plus faible lorsque la nappe devient profonde.

* La nappe phréatique a une action importante sur la croissance et la production du riz :
  **1)** elle a une action directe sur l'alimentation hydrique du riz par des remontées capillaires;
  **2)** elle permet au riz d'utiliser correctement les éléments minéraux dissous ou en transit dans l'eau. La smectite contenue dans la suspension de l'eau de la nappe peut intervenir dans l'amélioration de l'alimentation minérale du riz (fixation d'éléments minéraux par les sites négatifs des argiles);
  **3)** elle raccourcit le cycle variétal car pour une même variété de riz, la maturité est obtenue 10 à 13 jours plus tôt dans la zone influencée par la nappe phréatique;

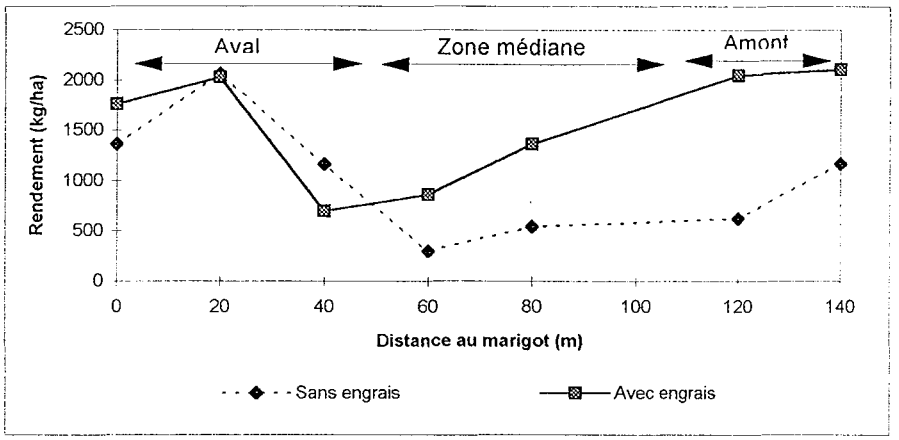



**Figure VI- 9a : Site B. 1993. Rendement moyen (kg/ha) de la variétés IDSA 6 cultivée le long de la toposéquence**

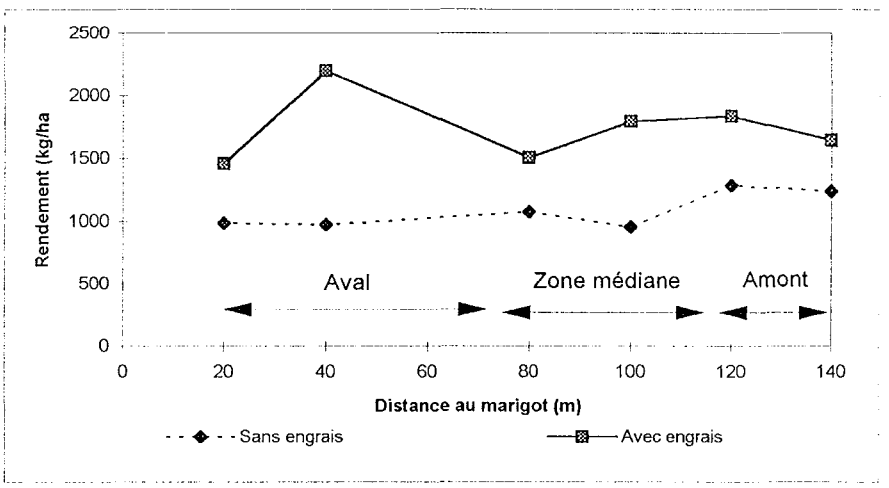



**Figure VI-9b : Site A. 1993. Rendement moyen (kg/ha) de la variété IDSA 6 cultivée le long de la toposéquence**

4) Il a été observé que les maladies du riz telles que la pyriculariose, l'helminthosporiose et la rhynchosporiose sont rares. Le paradoxe des hauts rendements obtenus sur les sols sableux pauvres de bas de versant est ainsi expliqué par l'action directe et indirecte de la nappe phréatique perchée.

   Il a cependant été observé que l'excès d'eau ralentissait la croissance du riz en semis direct, surtout pour une variété non adaptée à ces conditions. Hamadi (communication personnelle) a noté au Mali, que pour des variétés adaptées semées directement dans les bas-fond, leur croissance est ralentie au début par l'excès d'eau dû à la remontée de la nappe phréatique. Mais une fois bien installées, ces variétés ont repris normalement leur croissance.

*. Nous avons vu dans le chapitre III que dans les sols gris de bas de versant, les teneurs en argile, en carbone organique, en bases échangeables ainsi que les valeurs de la CEC étaient faibles. Mais ces teneurs étaient très nettement plus élevées en zone amont que dans les zones médianes et aval. Le rendement est moyen dans la zone amont, faible dans la zone médiane et élevé dans la zone aval. Ce paradoxe, est expliqué par la présence de la nappe phréatique dont la remontée capillaire de l'eau contribue efficacement à l'alimentation hydrique et minérale du riz.

La variété à cycle court a donné les meilleurs rendements dans les deux sites. Sa précocité lui permet d'échapper au stress hydrique observé pendant la petite saison sèche. La variété à cycle moyen supporte difficilement le stress hydrique. Les rendements obtenus pour cette variété sont nettement inférieurs à son potentiel, dans la zone amont et surtout médiane des sites. Elle peut cependant être utilisée dans la zone aval où elle donne des rendements supérieurs à ceux obtenus sur le plateau. Des études antérieures ont également montré que les sols gris de bas de versant sont carencés en azote, comme d'ailleurs les sols de plateau et de bas-fonds proprement dits. Si au Sénégal des rendements élevés ont été obtenus sans apport d'azote pendant plusieurs années, l'apport de cet engrais paraît indispensable dans le cadre de nos sites car les teneurs en nitrates et azote ammoniacal de la nappe perchée sont très faibles (cf. chap. V)..

Dans les conditions de pluviométrie bimodale de la région centre de la Côte d'Ivoire, il serait avantageux d'utiliser des variétés à cycle court dans les sols gris sableux de bas de versant. Ces variétés peuvent être utilisées principalement dans la zone aval. A défaut de variétés à cycle court, on peut utiliser des variétés de bas-fond également à cycle court ou moyen comme la variété IR5931-110-1 cultivée en conditions pluviales en Asie mais qui s'adapte mieux dans la zone aval des bas de versant (rapports annuels ADRAO 1989, 1990 et 1991). A la question posée par l'ADRAO : y a t-il un continuum rizicole entre les bas-fonds et les plateaux, dans la région de notre étude? nous pouvons maintenant répondre Non! Il y a au niveau du bas de versant une zone médiane, certes étroites, mais très nette, dans laquelle la riziculture est contre-indiquée. Dans cette zone médiane où le riz pousse très difficilement, des cultures pérennes (arbres fruitiers) à enracinement profond peuvent être envisagées. Il serait aussi intéressant d'y tester la culture du coton. En effet, Audebert (1993) a obtenu les meilleurs rendements en coton dans la zone médiane tandis qu'en amont et dans la zone aval, la cuirasse et l'excès d'eau ont été les facteurs limitants de la croissance et de la production cotonnière. Worou (1989) a montré au Bénin que le maïs se développait mieux dans la zone médiane. Il est aussi important de souligner que les paysans cultivent le manioc et l'igname dans la zone médiane du bas de versant. Ainsi, l'hétérogénéité du régime hydrique des sols gris sableux peut permettre une diversification des cultures dans le bas de versant.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une discontinuité dans le continuum rizicole défini par l'ADRAO.

# SYNTHESE-CONCLUSION PERSPECTIVES

# CHAPITRE VII

# SYNTHESE ET CONCLUSIONS GENERALES

## 1 SYNTHESE GENERALE

Au terme de ce travail sur la caractérisation morphopédologique et hydrologique des sols gris de bas de versant en vue du développement de la riziculture, il convient de récapituler les principaux résultats obtenus.

L'étude morphopédologique des toposéquences situées dans les deux sites a permis de distinguer trois couvertures pédologiques principales :

**Une couverture pédologique "ferrallitique"** occupe la partie amont des toposéquences et s'étend sur l'ensemble du Moyen glacis versant, jusqu'au centre des interfluves. Sa limite aval est le "biseau cuirassé" Cette couverture à sols rouges "ferrallitiques" profonds plus ou moins gravillonnaires est caractérisée par la succession altéro-pédologique suivante :

- un horizon Bt d'accumulation d'argile, pédoturbé, monosiallitique, à altération totale. Cet horizon contient essentiellement de la kaolinite, de la goethite et du quartz. La valeur faible de la CEC des argiles classe cet horizon dans la catégorie des "low activity clay soils".
- des horizons tachetés (IIBg1) et bariolés (IIBg2), non pédoturbés, quasi-monosiallitiques à altération intermédiaire car on trouve des feldspaths et des micas dans les limons. Ils contiennent principalement de la kaolinite, de la goethite et du quartz. Leur aspect tacheté et bariolé est souvent attribué à des paléo-battements de la nappe phréatique d'altérite. La porosité tubulaire très importante en fait un milieu aéré et de circulation rapide de l'eau où la formation de la kaolinite est dominante (Pédro 1966, 1968).
- un horizon II C non pédoturbé, bisiallitique, à altération incomplète. Cet horizon contient principalement de la smectite, de la kaolinite, de la goethite et des feldspaths, des micas et du quartz. Contrairement aux horizons sus-jacents (II Bg1 et II Bg2), la porosité inter granulaire fine limite la circulation de l'eau. L'horizon est alors engorgé, mal drainé et confiné en permanence favorisant ainsi la néoformation des minéraux 2:1 (Millot 1964) au moins à la base des profils.

En résumé les "sols rouges" voient se succéder, très graduellement, des horizons monosiallitiques, puis des horizons quasi-monosiallitiques puis, dans la lithomarge, des horizons bisiallitiques. Ces sols s'étendent jusqu'au "biseau" cuirassé où ils s'indurent en carapace ferrique (Bsm). Les horizons indurés contiennent des reliques de feldspaths plagioclases séquestrés par le fer et des litho-reliques de la roche mère. Ces horizons Bsm correspondraient aux horizons IIBg1 et IIBg2 où on trouve également de rares feldspath séquestrés dans les nodules ferrugineux et des litho-reliques à la base de

IIBg2. On peut donc penser que pendant que le processus de ferrallitisation se poursuit dans les horizons IIBg1 et IIBg2 des sols rouges du plateau, il s'est trouvé bloqué dans les horizons Bsm des sols rouges indurés. D'où la présence de litho-reliques dans Bsm et leur absence dans IIBg1. et à transition planique :

**Une couverture pédologique hydromorphe,** fait suite à la couverture "ferrallitique" et se situe dans la partie aval ou "bas de versant" des toposéquences. Elle est largement occupée par des sols gris sableux hydromorphes appauvris caractérisés par un profil textural et altéritique très contrasté

* un ensemble sableux blanchi, très appauvri, pédoturbé, constitué par l'horizon A2. Il contient surtout du quartz, un peu de kaolinite et quelques rares feldspaths dont l'origine semble énigmatique. S'agit-il de remontées biologiques ou de résidus d'altération?.
* un ensemble bisiallitique subdivisé en deux sous-ensembles :
  - un sous-ensemble bisiallitique pédoturbé, à altération partielle, constitué par l'horizon "vert pistache" s.s (HVP) ou II Br. La smectite y domine les autres minéraux argileux (kaolinite, goethite). Les feldspaths et le quartz y sont largement abondants. C'est un milieu de néoformation ou d'accumulation de minéraux 2:1;
  - un sous-ensemble bisiallitique non pédoturbé à altération incomplète. Cet horizon IIC, ou arène micacée, contient de la smectite, de la kaolinite, de la goethite, des feldspaths plagioclases et du quartz. La néoformation des minéraux 2:1 y est dominante. Il est en continuité et prolonge vers l'aval jusqu'au dèssous du marigot l'argile micacée de la couverture ferrallitique.

Contrairement à ce qui a été constaté pour les sols rouges, la succession altérologique entre les horizons de surface monosiallitiques et les horizons de profondeur bisiallitiques est, ici, très brutale. L'HVP smectitique et compact est à l'origine de la nappe perchée. La circulation oblique de l'eau de la nappe perchée a contribué à l'appauvrissement et au lessivage prononcés des horizons sableux situés en haut des profils.

**Une couverture pédologique colluvio-alluviale,** fait suite à la couverture précédente et occupe le bas-fond proprement dit. C'est une zone généralement inondée occupée par des sols hydromorphes à pseudo-gley et/ou à gley de profondeur. C'est également une zone de dépôts de matériaux colluvio-alluviaux. Cette couverture montre deux ensembles sédimentaires et altérologiques bien distincts :

- un ensemble allochtone, bisiallitique, colluvio-alluvial, pédoturbé où les minéraux argileux sont constitués de smectite, de kaolinite, de goethite de feldspaths, et de quartz. La smectite y est en faible quantité.
- un ensemble autochtone, bisiallitique, pédoturbé, à altération partielle constitué par l'horizon IIBr. En plus de la smectite, on trouve de la kaolinite, des feldspaths et du quartz.

L'ALTERATION "PISTACHE"

Les études menées au Tchad et au Burkina Faso ont porté essentiellement sur un matériau "pistache" argileux et contenant en grande quantité de la smectite. Son importance était telle que certains auteurs (Kaloga 1984) l'ont appelé "Manteau smectitique". Ce matériau, de couleur gris-verdâtre, est localisé à une profondeur variant entre 2 m et 14 m ou plus (53m au Mali) selon la position topographique et la nature de la roche (Leprun 1979). Des litho-reliques de la roche mère, plus ou moins bien conservées, y sont parfaitement reconnaissables. D'importantes diaclases à larges mailles parcourent ce matériau qui paraît plus humide que les horizons sus-jacents, confirmant ainsi son mauvais drainage. C'est la lithomarge décrite par Tardy.

Dans le cadre de notre étude, nous avons reconnu ce matériau que nous avons appelé arène micacée ou horizon II C. On l'a mis en évidence dans les couvertures pédologiques "ferrallitique", hydromorphe et colluvio-alluviale, c'est à dire sur l'ensemble des toposéquences étudiées. De plus, dans la zone des sols gris sableux du bas de versant, nous avons mis en évidence un deuxième horizon smectitique dont le faciès est très différent de l'arène micacée IIC. Cet horizon II Br ou "horizon vert pistache" s.s (HVP) surmonte l'arène micacée ou *horizon "pistache"*(tel qu'il est décrit au Burkina, au Tchad et au Mali). Ces deux matériaux sont probablement liés génétiquement. L'altéro-plasmation y est partielle. Tandis que l'arène micacée (IIC) n'est pas pédoturbé, l'horizon "vert pistache" (HVP) est entièrement pédoturbé. Il est vraisemblable que le domaine smectitique compact et illuvial identifié au Tchad (Bocquier 1971) et au Burkina (Boulet 1978) correspond à notre HVP ou IIBr. L'HVP n'existe que dans la zone des sols gris de bas de versant.

Pour beaucoup d'auteurs (Boulet, Leprun, Kaloga, Bertrand), l'horizon "vert pistache", ainsi que la lithomarge smectitique qui lui fait suite, serait l'héritage d'une altération sous des paléoclimats plus arides du Quaternaire. Néanmoins, il n'est pas impossible que ce type d'altération soit encore fonctionnelle ou se survive grâce à la présence de l'HVP qui bloque le drainage vers l'aval et entretien un certain confinement à la base des profils, même dans les conditions climatiques régnant actuellement sur nos sites d'études. La limite sud de l'altération "pistache" serait la région centre de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire.

## VARIABILITE SPATIALE DES PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS GRIS

L'analyse spatiale des données physico-chimiques des sols gris de bas de versant a révélé l'existence de trois zones bien distinctes pour chacun des deux sites :

- une zone amont où les teneurs en argile, carbone organique, calcium, magnésium, potassium échangeable et les valeurs de la CEC sont relativement élevées. Ces valeurs augmentent en profondeur avec une variabilité spatiale forte de ces teneurs .
- une zone médiane caractérisée par des teneurs en argile, carbone organique, calcium et magnésium basses et une CEC faible. C'est une zone appauvrie où le lessivage vertical et latéral est important. La variabilité spatiale des teneurs en éléments minéraux y est faible.
- une zone aval, où les teneurs en argile, carbone organique, calcium, magnésium restent faibles mais sont légèrement plus fortes que dans la zone médiane. La variabilité spatiale y est modérée avec des pics correspondant soit à des lobes du marigot, soit à la présence de termitières.

En bref, les sols de bas de versant des deux sites sont hétérogènes ; ils révèlent l'existence d'une zone médiane sableuse dont les propriétés physico-chimiques sont peu favorables pour la végétation et les cultures par rapport aux zones amont et aval. Elle constitue une discontinuité aussi bien physique que chimique ou minérale entre les zones amont et aval des sites.

## REGIME DES PLUIES ET HUMIDITE DES SOLS

L'étude des profils hydriques des sols le long de la toposéquence pendant la saison des pluies a permis de noter que :

- dans la zone amont les profils hydriques présentent un léger front d'humectation très fugace en raison de la texture sableuse et de la forte porosité des sols. Il apparaît aussi qu'à l'amont des sites le ruissellement est important. Ainsi, l'amont jouerait le rôle d'un impluvium qui contribuerait beaucoup à l'alimentation de la nappe phréatique perchée du bas de versant.

- dans la zone médiane, aucun front d'humectation n'a été mis en évidence à cause de l'infiltration et de la circulation verticale très rapides de l'eau dans les horizons sableux des sols. On est dans un compluvium ou zone de rassemblement et d'infiltration très rapides des eaux de pluie et de ruissellement.
- dans la zone aval, les profils hydriques des sols sont, en général, totalement engorgés pendant la saison des pluies : on est dans une zone d'accumulation et de circulation latérale lente de l'eau.

L'étude a surtout montré qu'il existe un écoulement pelliculaire à la surface de l'horizon "vert pistache" (HVP) longtemps après la saison des pluies. Cette observation semble indiquer que même si, en saison des pluies, l'alimentation de la nappe par l'infiltration des pluies est dominante, la contribution de la nappe d'altérite depuis le plateau n'est pas à négliger, d'autant qu'elle se prolonge, au moins localement, pendant toute la saison sèche.

LES NAPPES ET LEUR FONCTIONNEMENT

L'étude du fonctionnement des nappes le long des lignes de piézomètres disposés le long de la toposéquence a permis de montrer qu'il existait deux nappes phréatiques : une nappe perchée, soutenue par l'horizon argileux "vert pistache" s.s (HVP) et une deuxième nappe profonde ou nappe d'altérite localisée dans l'arène micacée. La nappe perchée est à la fois proche de la surface du sol et très épaisse en aval. Elle s'amenuise vers l'amont où elle devient plus profonde. Les fluctuations, ainsi que la composition chimique de ces nappes montrent qu'elles sont indépendantes. On a aussi pu voir que la nappe perchée alimente le bas-fond en s'écoulant d'amont en aval. Cet écoulement est différent suivant la topographie de la surface de l'horizon argileux "vert pistache" s.s (HVP). Si la topographie est régulière, la nappe s'épaissit régulièrement d'amont en aval et le volume mouillé peut être comparé à un prisme à angle très aigu. Par contre, si la topographie de la surface est ondulée, les eaux s'écoulent dans les dépressions, les creux de l'horizon argileux, où la nappe est épaisse et perdure après les pluies; tandis qu'elle est mince et plus fugace sur les points hauts de HVP. Elle circule d'amont en aval suivant la ligne de plus grande pente du toit de HVP.

Toutes ces observations ont pu se faire parce que l'étude de la nappe phréatique a été réalisée à partir d'un réseau de piézomètres installés sur des surfaces et non sur des toposéquences linéaires comme il est habituel de le faire.

En outre, on a pu montrer :

- que la nappe profonde s'écoule aussi de l'amont vers l'aval au début de la saison des pluies. Cet écoulement semble s'inverser, au moins en aval des toposéquences, lorsque le niveau de l'eau dans le marigot est élevé. Il semble également possible que la nappe profonde alimente la nappe perchée.
- que l'écoulement des deux nappes de l'amont vers l'aval peut être à l'origine d'une part de l'appauvrissement de l'horizon A2 des sols gris et d'autre part de l'accumulation de certains minéraux argileux (smectite et kaolinite) dans le bas-fond. Ces minéraux provenant du lessivage vertical et oblique des ensembles quasi-monosiallitiques et bisiallitiques des sols rouges et des sols indurés du "biseau cuirassé". En allant plus loin, les horizons A2 constitueraient le résidu de l'appauvrissement des horizons altéritiques quasi-monosiallitiques (IIBg et Bsm)

La composition chimique des deux nappes confirment que l'on a deux volumes pédologiques :

- un milieu sableux, poreux, aéré et bien drainé où l'infiltration des eaux de pluies est très rapide. L'horizon argileux "vert pistache" s.s en est le plancher sur lequel repose la nappe perchée qui,

grâce à sa circulation rapide évacue les éléments minéraux solubles. Ce qui expliquerait la faible concentration minérale de cette nappe. Mais la faible concentration peut aussi s'expliquer par un effet de dilution de la nappe par infiltration des eaux de pluies. La circulation de l'eau des deux nappes contribue également à la mise en suspension des argiles de l'horizon vert pistache" (HVP) et de l'horizon IIC (arène micacée) et à leur transport vers l'aval où elles peuvent s'accumuler.

- un milieu argileux, à porosité fine et à drainage lent où l'eau circule très lentement. C'est un milieu confiné où les éléments minéraux dissous sont très peu évacués, d'où la concentration relativement élevée de la nappe en calcium, magnésium et sodium. C'est un milieu de néogenèse des minéraux argileux 2:1 comme la smectite. Néanmoins, la circulation de la nappe profonde, quoique lente peut évacuer les argiles et surtout les ions vers l'aval avec pour conséquence une diminution du confinement et une tendance vers la monosiallitisation. C'est d'ailleurs ce que l'on constate puisque le haut de l'arène micacée présente de la kaolinite associée à la smectite.

Les battements de la nappe perchée au cours de l'année sont calqués sur le régime bimodal des précipitations tandis que les fluctuations de la nappe profonde sont plus lentes et largement décalées dans le temps par rapport aux pluies. La nappe perchée est donc strictement inféodée au régime des pluies tandis que la nappe profonde ne l'est que beaucoup moins.

## PRODUCTION DU RIZ DANS LE BAS DE VERSANT

Les sols de bas de versant, des toposéquences étudiées, ont, malgré leur texture grossière, des potentialités importantes pour la production rizicole. Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que la nappe phréatique est sans aucun doute le facteur clé de ces potentialités. En effet, malgré leur fertilité intrinsèque très basse, leur très faible volant hydrique et leur grande pauvreté minérale, ces sols, grâce à la présence de la nappe phréatique autorisent des rendements élevés, comparables à ceux obtenus sur le plateau où les sols sont très nettement plus fertiles.

Cependant, dans la zone médiane où la nappe phréatique est profonde (plus de 100 cm), le riz se développe difficilement par manque d'eau. Les variétés à cycle court pourraient être utilisées à défaut de variété adaptée aux conditions de la zone ; il est aussi envisageable d'utiliser des cultures pérennes qui iraient chercher l'eau de la nappe grâce à leur enracinement profond. C'est ainsi que les nombreuses plantations de manguiers, d'orangers et d'anacardiers prospèrent dans ces zones de bas de versant.

## CONTRAINTES AGRONOMIQUES DES SOLS SABLEUX DE BAS VERSANT

La texture sableuse est l'une des principales contraintes des sols gris de bas de versant. Par ce fait, ces sols ont une capacité de rétention en eau et une fertilité chimique (teneur en carbone organique et en bases échangeables, valeur de la CEC du sol et des argiles) très faibles. Si ce handicap est compensé dans la zone hydromorphe par la nappe phréatique, il l'est moins dans les zones médiane et amont où la nappe est très profonde. Les sols gris sont également hétérogènes; ils présentent une discontinuité physique et chimique le long de la toposéquence. La fertilité la plus basse se trouve dans la zone médiane des toposéquences.

# 2 CONCLUSIONS

## 2.1 DU POINT DE VUE ALTERO-PEDOLOGIQUE

### *2.1.1 ALTEROLOGIE*

Du point de vue altérologique, le fait essentiel de ce travail est la présence dans la région centre de la Côte d'Ivoire (transition savane-forêt) à la latitude 7.5-8°, de l'altération "pistache" bisiallitique, décrit aux latitudes 12 et 13 ° au Burkina Faso par Boulet (1978), Leprun (1979) et Kaloga (1984). Ce fait est une confirmation des hypothèses selon lesquelles, la limite sud de l'altération "pistache" pourrait être la région centre de la Côte d'Ivoire dans la zone de contact savane-forêt. Selon Boulet (1978), la couverture pédologique *d'altération montmorillonique se développe sur les roches granito-gneissiques dans les conditions de climat et de végétation de la zone soudanaise caractérisée par : une température élevée (T. moy. = 28 °), une pluviosité de l'ordre de 800 à 1000 mm, groupée en une saison de 5 mois, et des formations végétales de type savane arborée claire.* Dans le cadre de notre étude, nous avons à peu près la même température moyenne, la même végétation de savane arborée en contact avec la forêt, mais les précipitations sont de l'ordre de 1200 à 1300 mm en deux saisons de trois mois chacune interrompues par une petite saison sèche qui n'est qu'une diminution des précipitations. On ne se trouve donc pas dans une région tropicale à saisons contrastées. Dans ces conditions, on est en droit de se demander si la pédogenèse de bisiallitisation qui semble encore active ne serait pas une survivance de paléoclimats à saisons contrastées qui ont sévi au cours du Quaternaire. Quoiqu'il en soit, la zone de transition forêt-savane de la région centre de la Côte d'Ivoire (latitude 7.5-8°) sera la nouvelle limite sud de l'altération "pistache" décrite en zone Soudano-sahélienne (latitude 12-13°). Ceci est en conformité avec les hypothèses émises par Ségalen (1995), Moormann (1985) selon lesquelles les minéraux argileux 2:1 que l'on trouve ponctuellement dans les bas-fonds sableux ou limoneux des zones de transition forêt-savane, devaient être génétiquement liés à un type d'altération particulière au contact de la roche mère.

### *2.1.2 PEDOLOGIE*

l'organisation interne de la couverture des sols rouges ferrallitiques a fait apparaître deux ensembles altéro-pédologiques :

* un volume strictement pédologique épais (1 à 2 m), pédoturbé et monosiallitique constitué par le sol proprement dit exploité par la végétation naturelle et les cultures. Les analyses chimiques ont montré que les argiles ont une CEC variant entre 11 et 17 méq/100 g. Ce qui rapproche ces sols de la catégorie des "low activity clays" (Soil Taxonomy et FAO).

* un volume altéritique, non pédoturbé, très épais, quasi-monosiallitique à son sommet sur 3 à 4 m d'épaisseur quasi totalement altéroplasmé devenant bisiallitique et très incomplètement altéroplasmé en profondeur et dont la valeur de la CEC des argiles est élevée, le rapprochant des "high activity clays".

La coexistence de ces ensembles monosiallitiques et bisiallitique non pédoturbé ainsi que la présence de minéraux altérables dans les altérites tachetées pose le problème de classification des sols rouges de nos site d'étude.

A cet égard, deux points de vue doivent être examinés, celui du pédologue et celui de l'altérologue :

- Pour les pédologues et agronomes, le sol est la partie superficielle des profils, pédoturbée et éventuellement parcourue par les racines, la macrofaune et la microfaune. Dans ce cas, ces sols

sont indiscutablement des sols ferrallitiques et les altérites sous-jacentes doivent être considérées comme la roche mère des sols.

- Pour les altérologues, la disjonction des caractères minéralogiques à "low activity clay " soils en surface et à "high activity clay" soils en profondeur ne permet pas de considérer ces sols comme des sols ferrallitiques. On peut cependant noter que le profil pédologique à "low activity clay" soils se développe progressivement au dépens du profil altérologique à "high activity clays", la tendance irait vers un épaississement de l'ensemble monosiallitique aux dépens et par transformation de l'ensemble bisiallitique.

Ainsi, compte tenu des implications agronomiques et économiques, ces sols sont à rapprocher des sols ferrallitiques caractérisés par une basse fertilité. Ils s'éloignent des sols rouges fersiallitiques décrits en Inde péninsulaire par Bourgeon (1994), dominés par la présence d'importante quantité de montmorillonite sur l'ensemble du profil, expliquant ainsi leur fertilité élevée.

2.2 DU POINT DE VUE HYDROLOGIQUE.

Les sols gris que nous avons observés sur granite dans la région centre de la Côte d'Ivoire ont des équivalents au Sénégal (Bertrand 1973) et en Gambie (Remington 1990) sur un substratum sableux à sablo-limono-argileux du Continental Terminal. Dans tous les cas on y observe une nappe phréatique perchée et peu profonde dont les fluctuations sont strictement inféodées au régime des pluies et qui jouent un rôle éminent dans la fertilité de ces sols apparemment très pauvres parce que sableux et pratiquement dépourvus de nutriments.

Cependant d'importantes différences doivent être soulignées : les sols gris du Sénégal et de la Gambie, ont une texture sableuse à sables fins, en Côte d'Ivoire, ils sont sableux à sables grossiers. Le contact planique observé en Côte d'Ivoire entre un matériau sableux en surface et un autre matériau argileux en profondeur n'existe pas au Sénégal et en Gambie puisque l'HVP est absent. Au Sénégal, le plancher imperméable est constitué par la nappe générale des plateaux. En Côte d'Ivoire il y a deux nappes quasiment indépendantes séparées par l'HVP, une nappe perchée et une nappe d'altérites profonde. Aussi bien en Côte d'Ivoire qu'au Sénégal les nappes s'écoulent d'amont en aval et alimentent donc le marigot.

Dans nos sites, la nappe perchée est alimentée par les eaux de pluies infiltrées à travers le matériau sableux des sols gris, le "biseau cuirassé" immédiatement voisin et par déversement de la nappe d'altérite par dessus l'HVP, depuis les plateaux. Au Sénégal (Bertrand 1973) l'alimentation se ferait par l'infiltration des eaux de pluies à travers les cuirasses, très étendues et perméables en grand, équivalentes de notre "biseau cuirassé" qui, dans nos sites n'occupe que de très faibles superficies.

Du point de vue agronomique, la nappe des sols gris a une action positive sur la production rizicole. Les résultats obtenus en Côte d'Ivoire sont comparables à ceux du Sénégal et de la Gambie. Cependant, si au Sénégal, les paysans ont obtenu des rendements en paddy élevés pendant plusieurs siècles sans azote en raison des teneurs en nitrates élevées dans la nappe, en Côte d'Ivoire l'apport d'azote est absolument indispensable car la nappe perchée contient très peu de nitrates.

Les résultats obtenus au cours de notre étude ont révélé que les sols gris sableux de bas de versant présentent d'importantes potentialités agronomiques généralement liées à la présence de la nappe phréatique perchée. On obtient, sur ces sols, des rendements plus élevés et plus réguliers au cours du temps que sur les sols des plateaux qui ont pourtant une fertilité plus élevée. Cependant, au Sénégal, comme en Côte d'Ivoire, la zone médiane des sols gris donne des productions en paddy très faibles du

fait de la grande profondeur de la nappe. Cette discontinuité dans le potentiel de production rizicole des toposéquences doit être soulignée.

## 3. PERSPECTIVES

Les résultats obtenus au cours de notre travail, suggèrent des études complémentaires pour éclairer certaines questions restées sans réponse. Ainsi, il serait très important de mener des investigations sur l'extension, vers le plateau, de l'arène micacée. Cette arène est elle homogène ? présente-t-elle plusieurs horizons à composition minéralogique différente ? Notre travail n'a pu qu'effleurer l'étude du régime de la nappe associée à cette lithomarge. Quelle est sa permanence? Sur quelle épaisseur par dessus la roche dure ? Quelle est sa contribution exacte à l'alimentation de la nappe des sols gris? Le principal problème pratique est, alors, celui de l'installation des piézomètres à grande profondeur.

D'une manière générale, l'organisation des bas de versant sur granite en trois parties (amont; médiane, aval) est systématiquement représentée dans presque tous les bas-fonds de la région où nous avons travaillé. Les résultats obtenus peuvent donc être applicables à toutes les vallées intérieures des régions granito-gneissiques du centre de la Côte d'Ivoire. Qu'en est-il pour les bas de versant des zones schisteuses ? Quel est le régime hydrologique des bas de versants des zones à climat soudanien à régime des pluies unimodal où les zones cuirassés sont plus étendues ? Qu'en est-il pour les paysages en demi oranges des régions tropicales plus humides ? Des études spécifiques sont indispensables pour répondre à ces questions.

Nous avons constaté au cours de l'étude que les limons des horizons II Bg contenaient des minéraux 2:1 sous forme de micas. Il serait très utile de le confirmer en étudiant beaucoup plus en détail le spectre minéralogique du sol brut.

L'étude du rendement du riz le long de la toposéquence a montré que celui-ci diminuait systématiquement dans la partie où la nappe phréatique est constamment affleurante. Nous avons attribué cette baisse de rendement aux conditions asphyxiantes du sol. Ne peut-on invoquer aussi des pertes d'azote par volatilisation ? Cette hypothèse serait importante à vérifier afin de mettre au point des itinéraires culturaux adaptés à cette zone.

Pour élargir le champ d'extrapolation de nos résultats il serait enfin utile de faire une évaluation de la superficie des sols gris et de vérifier si l'on retrouve bien une frange de sols gris autour des bas-fonds sur granito-gneiss et si tous les sols gris montrent en profondeur un HVP.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'OUEST (ADRAO) : Rapports annuels 1989, 1990 et 1991.

Ambrosi J.P0 (1986) Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques cuirassés ferrugineux de la région de Douga, Burkina Faso. Thèse Univ. Poitiers. 215 P.

Albergel J., Lamachere J.M., Lidon B., Mokaden A. I., Win Van Driel (1993) : Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet CORAF-RSS 335 p.

Arrivets J. (1973) : Résultats de riziculture sans aménagement en zone soudanienne. L'exemple de bas-fonds du centre Haute Volta. Agron. Trop. 27 (2). 43-53.

Aubert G., (1965) : La classification pédologique utilisée en France. Pédologie. Sympos. Intern. 3, class. Sols. p. 25-56.

Aubert G. et Ségalen P. (1966) : Projet de classification des sols ferrallitiques. cah. ORSTOM, Sér. Pédol., IV, 4, P. 97-112.

Audebert A. (1993). La culture cotonnière sur socle granito-gneissique du Togo. Analyse de la variabilité et déterminisme du comportement. Thèse doctorat Université Montpellier II. 216 P.

Avenard J.M., Eldin M., Girard G., Sircoulin J., Touchebeuf P., Guillaumet J.L., Adjanohoun E., Perraud A. (1971) : Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire. Mémoires ORSTOM n°50. 391 p.

Bartoli F., Burtin G., Herbillon A.J. (1991) : Disaggregation and dispersion of Oxisols : Na resin, a recommended methodolgy. Geoderma, 49 301-317.

Bertrand R. (1973). Contribution à l'étude hydrologique, pédologique et agronomique des sols gris sableux hydromorphes de Casamance. Agron. Trop. vol. 38 n° 12. 1145-1191.

Bertrand R (1989). Organisation morphopédologique du milieu naturel et recherches agronomiques. Agronomie et ressources naturelles en régions tropicales. Montpellier 12-15 septembre 1989. Editeur IRAT Montpellier. 1990. 74 p.

Bertrand R. (1995) : Sols et paysages des zones tropicales humides d'Afrique de l'Ouest. Fertilité du milieu et stratégie paysannes sous les tropiques humides. 69-89

Bertrand R., Siband P., Ganry F, Guillobez S. (1977) : Rice cultivation under hydromorphic conditions on the sandy grey soils of the lower slopes in Sénégal. In Rice in Africa IITA Ibadan p 249-256

Bertrand R., Kilian J., Raunet M., Guillobez S.,Bourgeon G. (1985) : La connaissance du système de paysages naturels, un préalable à la protection du milieu. L'approche morphopédologique. Bul. Agron. Gembloux., 20, (3/4), p 545-549

Bertrand R., Guillobez S. (1974) : Etude morphopédologique de reconnaissance pour l'implantation d'un complexe. Agro-Industriel Sucrier. Région de Marabadiassa (Côte d'Ivoire) (Katiola-Bandama). IRAT, Pédologie. 38 p. + 1 carte.

Bisdom E.B.A. (1967) : Micromorphology of weathered granite near the rio de Arosa (NW Spain). Leid. Geol. Med., 37, P. 33-67.

Boa D. (1989) : Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités des sols gravillonnaires ; cas de Booro-Borotou (région de Touba, nord-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de 3ème cycle, Université d'Abidjan. 136 P. + annexes.

Bocquier G., (1973) : Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique. Thèse science, Université de Strasbourg et Mémoires ORSTOM n° 62 350 P.

Boegling J. L.,(1990) : Evolutions minéralogiques et géochimiques des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur de Strasbourg. x 240 P.

Boulanger B., Delvigne J. et Eschenbrenner V. (1973) : Descriptions morphologiques, géomorphologiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. ORSTOM. série Géol. vol. V n°1, 59-81.

Boulet R. (1972) : Modalités d'action du lessivage dans les sols tropicaux développés sur granite (Haute Volta). Etude micromorphologique. Cah. ORSTOM. série Pédol. vol X, 4, PP 321-341.

Boulet R., (1978) : Toposéquences de sols tropicaux en Haute - Volta. Equilibre et déséquilibre pédoclimatique. Mémoires ORSTOM n° 85. 272 p.

Bourgeon G. (1994) : Les sols rouges de l'Inde péninsulaire méridionale : Pédogenèse fersiallitique sur socle cristallin en milieu cristallin. Thèse doctorat Université Paris 6. 270 p.

Brewer R. (1964) : Fabric and mineral analysis of soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Australia). John Wiley and Sons, Inc., New York-London- Sydney. 470 p.

Carsky R.,J., Masajo T.M. (1992) : Effect of toposéquence position on performance of rice varieties in inland valleys of West Africa. Resource and Crop Management Research. Monograph n°9. IITA. 24 p.

Carsky R.J., Walker P., Hauser S., Dashiell K. and Dixon A.G.O. (1993) : Response of selected crop association to ground water table depth in an inland valley. Field Crops Research 341 (1-13).

Chopart, J.L., Siband P. (1989) : PROPE programme de bilan de l'eau. Mémoires et Travaux de l'IRAT n° 17. 76 p.

Curfs H.PF. (1976) : Systems development in agricultural mechanisation with special reference to soil tillage and weed control: A case study in west Africa. H. Veenman & Zonen B.V., Wageningen. 120 p.

Direction Et Contrôle Des Grands Travaux (DCGTX) 1988 : Etude morpho-pédologique de la région de Bouaké au 1/100.000. Ministère de l'Agriculture et des Ressources animales. Côte d'Ivoire. 68 p.

Duchaufour Ph. (1977) : Pédologie. Tome 1. Pédogenèse et classification. Masson. Parsi New York Barcelone Milan. 477 p.

Elouard P. (1959) : Etude géologique et hydrologique des formations sédimentaires du Guelba mauritanien et de la vallée du fleuve Sénégal. Thèse SCI. Paris et Mémoires B.R.G.M. 274 p.

Erhart H. (1951) : Sur l'importance des phénomènes biologiques dans la formation des cuirasses ferrugineuses en zone tropicale. C.R. Acad. Sci. Fr., 223, p. 804.

Erhart H. (1956) : La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson, (éd.), Paris, 88 P.

Eschenbrenner V., (1987) : Les glébules des sols de Côte d'Ivoire : nature et origine en milieu ferrallitique, modalités de leur concentration, rôle des termites. Thèse Sci. Université de Bourgogne. Centre des Sciences de la Terre : Dijon, 780 p.

Eschenbrenner V, Barradello L. (1973-1975) : Notice explicative de la carte des paysages morpho-pédologiques de la feuille d'Odienné au 1/200.000. ORSTOM. 123 p.

Fabries J., Touret J., Wersbrod A. (1982) : Détermination des minéraux des roches au microscopes polarisant de Marcel ROUBAULT 4e éd. Edition Lamarre. 382 P.

Faure H. 1962 / Reconnaissance géologiques des formations sédimentaires post-paléozoïque du Niger oriental. Thèse Sci., Paris. Mémoires B.R.G.M., Paris, 47,1966, 630 p.

Flach K.W., Cady J.G.et Nettleton W.D. (1968) : Pedogenetic alteration of highly weathered parent materials. Proc. IXth Internat. congr. Soil. Sci., vol.4, p. 343-351.

Fritsch E., Planchon O., Boa D : (1987) : Les transformations d'un paysage cuirassés au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire sur formations migmatitiques. Séminaire de Yaoundé sur les latérites. Colloques et Séminaires de l'ORSTOM. p?

Fritsch E., (sous presse) : Organisation et fonctionnement de "systèmes sols" en zone de contact forêt-savane du milieu tropical Ouest africain. (Booro-Borotou, Côte d'Ivoire)

Ganry F. (1976) : Culture continue de riz sur la zone hydromorphe de sols gris de Dianaba (Sénégal). Rapport multigr. IRAT-Sénégal. 12 P.

Gigou J., (1973) : Etude de la pluviosité en Côte d'Ivoire. Application à la riziculture pluviale. Agron. Trop. vol. 28-9- p. 858-873.

Guillobez S. (1973) : Compte rendu de l'étude des "sols gris" de Casamance (Sénégal). Campagne 1972-1973). IRAT. 82 p.

Ismail F.T. (1970) : Boitite weathering and clay formation in arid and humid regions, California Soil Sci. vol. 109, n° 4. p. 237-261.

HakkelinG R.T.A., DIATTA S. and Smalling E.M.A. (1993) : Response of upland rice to soil and hydromorphical conditions on a footslope in central Ivory Coast. Geoderma, 59 45-56

Hakkeling R.T.A., Smalling E.M.A. and Diatta S. (1989) : Detail soil survey and land evaluation of the warda experimental area, Bouaké, Côte d'Ivoire. The Winand staring Center for intergrated, soil and water reserach. Report 22. Wgeningen (The Netherlands). 70 p. + 1 carte.

Herbillon A.J. (1995) : Chemical estimation of weatherable minerals present in the diagnostic horizons of low activity clay soils. Internat. congr. Soil Sci. Acapulco, Mexico. 12 p.

Hyperbav (1990) : le fonctionnement hydrodynamique du bas de versant in Structure et fonctionnement hydropédologique d'un petit bassin versant de savane. ?p

Juo A.S.R (1987) : Minéralogical characteristics of lateritic soils with special reference to site selection for soil management research. IITA Ibadan. Nigeria. 14 p.

Juo A.S.R, Moormann F.R. (19 ): Characterisation of two toposequences in South-eastern Nigeria and their relation to potential agricultural land use : Journal of soil science Society of Nigeria. 1 : 45-49.

Juo A.S.R., Ayamlaja S.A., Ogunwale J.A. (1986) : An evaluation of cation exchange capacity measurement for soils in the tropics. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 7 (8) : 751-761.

Kaloga B. (1984) : Le manteau kaolinique des plaines du centre-sud de la haute Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectitique. Etudes et Thèses. Editions ORSTOM. ORSTOM, Paris. 344 p.

Keita S.G. (1995) : Pétrologie et géochimie d'une séquence de profils latéritiques dans le Birimien de la Bagoe. Exemple de l'anomalie aurifère de Nampala (Sud-Mali). 72 p.

Kilian J., Teissier J. (1973) : Méthodes d'investigation pour l'analyse et le classement des bas-fonds dans quelques régions de l'Afrique de l'Ouest : proposition de classification d'aptitudes des terres à la riziculture. Agron. Trop. vol. 28 (2) 156-172.

Kosaki T. and JUO A.S.R. (1986) : Iron toxicity in inland valeys : a case from Nigeria. IITA, Ibadan. In Wetlands and rice. 167-172

Leprun J.C. (1979) : Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse - Transformation - Dégradation. Thèse doctorat d'Etat. Université Louis Pasteur de Strasbourg. 224 p

Levêque A. (1972) : Les trois principaux types de toposéquences et les grand traits de la pédogenèse sur socle cristallophyllien du centre du Togo. Bull. liaison. Thème B, 3, ORSTOM. p. 15-28.

Levêque A. ((1975) : Pédogenèse sur le socle granito-gneissique du Togo. Différenciation des sols, remaniements superficiels. Thèse ULP Strasbourg. et Travaux et Documents de l'ORSTOM 1979. 301 P.

Magnien R., (1958) : Contribution à l'étude du cuirassement des sols en Guinée française. Thèse Sci., Nat. Université de Strasbourg. 336 p.

Michel P. (1969) : Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Thèse Lettres, Strasbourg; 1168 p.

Mollington et al. (1985) : Inland valley swamps and bolis in Sierra Leone : Hydrological and pedological consideration for agricultural development. Z. Geomorph. N.F. Bul. 52:201-222.

Moormann F. R. (1974) : Representative toposequence of soils in southern Nigeria and their pedology. IITA Ibadan. p. 11-29

Moormann F.R., Weldkamp W.J. and Ballaux J.C. (1977) : The growth of rice on a toposequence- a methodology- Plant and Soil 48, 565-580.

Moormann F. R.and Van Breemen (1978) : Rice: soil, land, water. IRRI, Los Banos, Philippines. 150 p.

Moormann F. R. and Juo A.S.R. 1985 Present land use and cropping systems in Africa. In : Proceedings of an International conference on wetland utilisation for rice in subsaharian Africa, 4-6 November , Ibandan Nigeria. 187-194.

Moya T.B.and O'toole J.C. (1976) : A technique for determing the response of rice to varying water table conditions using a toposequence. Annual meeting of the Crop Science Society of the Philippines at Davao City. May 10-12. 15 p.

Muller D. (1979) : Contribution à l'étude de la différenciation des horizons nodulaires de sols ferrallitiques congolais sur granito-gneiss. Thèse Université de Paris 7, 115 P.

Nguu N.V., Gibbson J.W. and Dobson R.L. (1988) : Performance of rice (oriza sativa) on slopes of inland valleys in west Africa. Field Crops Research 18, 113-125.

Pedro G., Andre-Bernard Delmas et Seddoh F.K. (Février 1975) : Sur la nécessité et l'importance d'une distinction fondamentale entre type et degré d'altération. Application au problème de la définition de la ferrallitisation. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 280 825-827.

Pedro G. (1984) : La genèse des argiles pédologiques. Sci. Géol. Bull. 37 (4) : 333-348.

Pedro. G. (1987 A) : Géochimie, minéralogie et organisation des sols. Aspects coordonnés des problèmes pédogénétiques. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., 23 (3) : 169-186).

Peltre P. (1977) : Le "V Baoulé" (Côte d'Ivoire). Héritage géomorphologique et paléoclimatique dans le tracé du contact forêt-savane. Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M. n° 80. - O.R.S.T.O.M. Paris. x pages

Pias J. (1968) : Les formations sédimentairs tertiaires et quaternaires de la cuvette tchadienne et les sols qui en dérivent (République du Tchad). Mémoire ORSTOM, 43, Paris 408 p.

Raunet M., (1985) : Bas-fonds et riziculture en Afrique- Approche structurale comparative. Agron. Tropicale 40-43. ?

Remington T. (1990) : A hydrologic, edaphic and agronomic characterization of two small valley toposequence in Western Gambia : case studies of the Ndemba and Bakalar valleys (Ph D thesis), Visconsin University. USA 135 p.

Rieu, M. (1972) : Etude pédologique et morphologique du bassin versant de Sakassou. Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 231 P. multigr. 3 cartes, 4 pl. H. T.

Segalen P. (1969) : Le remaniement des sols et la mise en place de la "stone line" en Afrique. chier ORSTOM, série Pédologie 7 (1) 113-127.

Segalen P. (1995) : Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. Tome 1. 248 p.

Sanchez, P.A. and Buol S.W. (1984) : Agronomic taxonomy for wetland soils. p. 207-227. In wetland soils : characterisation, classification, and utilization- Proc. worshop 26 March - 5 April - Los Baños, philippines.

Tagini B. (1971) : Carte des roches mères de la Côte d'Ivoire. BRGM.

Tardy Y., (1993) : Pétrologie des latérites et des sols tropicaux. Masson. 459 p.

Trescases J.J. (1973) : L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nikelifères de Nouvelle Calédonie. Mém. ORSTOM Paris 78- 299 p.

Watson J.R. (1971) : Ultrasonic vibration as a methode of soil dispersion. Soils and fertilizers 34, 2, PP : 127-134

Weldkamp W.J. (1979) : Land evaluation of valleys in a tropical rain area. A case study. Wageningen, The Netherlands. Agricultural University - 266 p. Thesis).

Windmeijer P.N., Andriesse W. eds 1993. Inlands valleys in wets Africa : an agri-ecological characterisation of rice-growing environments. ILRI publications 52, Wageningen, ILRI. 158 p.

Worou S, (1989) : L'organisation des sols et la dynamique des nappes perchées semi-permanentes. Un lien fonctionnel et un atout agronomique pour les cultures de contre-saison. In SOLTROP 89 ED. ORSTOM Paris. 129-191.

# Annexes

# Annexe 1

# Les Sols

# ANNEXES 1

# LES SOLS

## LES SOLS DE LA TOPOSEQUENCE DU SITE A

Il s'agit ici de la toposéquence du site A située en aval du marigot.

La situation des profils est donnée par la figure 19

PROFIL AP1

A1 - 0-25 cm. 7.5 YR N3/ (gris très foncé) sec humifère; limono-argileux; non plastique non collant; structure massive à débits polyédriques moyens et à tendance grumeleuse sur les 10 premiers centimètres; cohésion moyenne à forte; porosité fine bonne; activité biologique bonne; nombreux gravillons ferrugineux plus ou moins arrondis; nombreuses racines fines moyennes et grosses, passage graduel à

AB - 25-55 cm. 2.5 YR 3/6 (rouge foncé) sec; légèrement humifère; argileux à limono-argileux, légèrement collant et plastique; massif structure massive à débit polyédrique aisé; cohésion moyennement à forte; porosité fine bonne; nombreux gravillons ferrugineux de petite taille réunis par une matrice argileuse; racines fines sur l'ensemble de l'horizon; activité biologique bonne, passage assez net à

Bt1 - 55-130. cm. 10 R 4/6 (rouge); sec; argileux; plastique et collant; massif à débit polyédrique peu aisé; cohésion forte; porosité fine bonne; nombreux pseudo-sables millimétriques; quelques rares racines très fines, passage net à

Bt2 - 130-230 cm. 10 R 5/8 (rouge) sec; argileux; collant et plastique; massif à débit polyédrique très peu aisé; porosité fine faible dominée par une porosité en grand, cohésion très forte; présence de taches jaunâtres à jaunes rouilles; horizon en cours d'induration caractérisé par la présence de noyaux ferrugineux à cohésion très forte, passage net à

IIBg1 - 230-300 cm. 5 Y 8/1 (blanc) dominante associée à 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); horizon bariolé humide; argileux; collant et plastique; nombreux pores tubulaires tapissés de terre fine rougeâtre et blanchâtre. massif à débit polyédrique aisé; cohésion faible; passage assez net à

IIBg2 - 300-450 cm. 5 Y 8/1 (blanc) 2.5 YR 3/6 (rouge foncé), 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); Horizon humide bariolé; limono-sableux; porosité tubulaire et vésiculaire bonne; horizon plus poreux que le précèdent, collant, plastique; présence par endroit de micas et parfois de feldspaths. passage assez net à

IIC - 450-530 cm 5 Y 8/1 (blanc), 10 YR 6/8 (brun jaunâtre), limono-sableux; poreux à pores tubulaires; nombreux grains de quartz et de fedlspaths ainsi que des paillettes de micas; toucher onctueux ou talqueux; quelques filons de quartz obliques apparaissent à la base de l'horizon.

A1 - AB - Bt1 - Bt2 - IIBg1 - IIBg2 - IIBg2 - IIC -

**Site A Profil AP1** Analyses physico-chimiques CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | AB | Bt1 | Bt2 | II Bg1 | II Bg2 | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-25 | 25-55 | 55-130 | 130-230 | 230-300 | 300-450 | 450-530 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.1 | 5.9 | 6.0 | 5.9 | 5.7 | 5.6 | 5.9 |
| | pH (KCl) | 5.0 | 4.6 | 4.7 | 4.4 | 4.2 | 4.1 | 4.4 |
| | ΔpH | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 |
| | Argile | 30 | 41 | 55 | 37 | 43 | 42 | 18 |
| | Limons fins | 17 | 10 | 8 | 12 | 18 | 19 | 12 |
| | Limons grossiers | 16 | 16 | 6 | 18 | 13 | 16 | 15 |
| | Sables fins | 17 | 9 | 8 | 13 | 10 | 10 | 29 |
| | Sables grossiers | 20 | 24 | 23 | 20 | 16 | 13 | 26 |
| Matière organique (%) | Carbone | 1.38 | 0.84 | 0.36 | 0.04 | 0.07 | 0.04 | 0.02 |
| | Azote total | 0.09 | 0.06 | 0.05 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 2.37 | 1.44 | 0.62 | 0.07 | 0.12 | 0.07 | 0.03 |
| Bases échangeables méq/100) | Ca | 2.62 | 1.06 | 0.60 | 0.85 | 0.30 | 0.16 | 0.12 |
| | Mg | 1.49 | 0.78 | 0.83 | 0.88 | 0.54 | 0.24 | 0.46 |
| | K | 0.14 | 0.08 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.08 | 0.07 |
| | Na | 0.10 | 0.09 | 0.10 | 0.45 | 0.13 | 0.16 | 0.50 |
| | S | 4.42 | 2.01 | 1.58 | 2.24 | 1.01 | 0.64 | 1.25 |
| | CEC = T | 8.04 | 9.88 | 9.63 | 13.68 | 11.14 | 7.98 | 10.26 |
| | S/T | 55 | 20 | 16 | 16 | 9 | 8 | 6 |
| | CECa | 26 | 24 | 17 | 37 | 38 | 42 | - |

PROFIL AP2

A1 - 0-60 cm. 7.5 YR N3/ (gris très foncé) et 5 YR 4/4 (brun rougeâtre); sec; humifère; limono-argileux; grumeleux en surface et massif à débit polyédrique aisé; en profondeur, cohésion moyenne à faible; nodules et concrétions ferrugineuses de forme arrondie et anguleuse; blocs de quartz fissurés avec du fer dans les fissures; nodules concrétions et quartz enrobés d'une pellicule fine terreuse; horizon très poreux à porosité fine, massif à débit polyédrique aisé; activité biologique bonne, nombreuses racines, passage net à

ABsm - 60-115 cm. 10 YR 6/8 (jaune brunâtre) et 2.5 YR 5/6 (rouge) horizon limono-sableux induré (Cuirasse) en cours de démantèlement; massif; cohésion très forte; porosité tubulaire bonne; pores tapissés de terre fine blanchâtre et ocre; argilo-sableux; collant et plastique; nombreuses fissures fines et moyennes remplies de terre fine de surface; nombreux blocs et grains de quartz; activité biologique bonne; quelques racines très fines, passage assez net à

IIBg1 - 115-380 cm. 10 R 3/6 (rouge foncé); 10 YR 5/8 (brun jaunâtre) et 10 YR 7/2 (gris clair); Horizon humide, couleur d'ensemble blanchâtre avec des taches rouges; argileux; collant et plastique; massif à débit polyédrique anguleux; cohésion forte à moyenne; présence de grains de quartz ou de feldspaths translucides en cours d'altération; touché talqueux (talc); porosité à gros pores tubulaires tapissés de terre fine, passage net à,

IIBg2 - 380-460 cm. 5 Y 7/3 (olive); 5 Y 6/3 (olive pâle) 10 R 3/6 (rouge foncé) et 7.5 YR 5/8 (brun foncé); Horizon bariolé moins humide que le précédent; limono-argileux; collant et plastique; toucher onctueux ou talqueux; porosité tubulaire bonne avec des pores revêtues de terre fine, présence de paillettes de micas; grains de quartz limpides plus ou moins durs et parfois farineux (quartz en cours d'altération), Passage progressif à

IIC - 460-550 cm. 5 Y 8/1 (blanc); 2.5 Y 6/8 (jaune olive); 7.5 R 5/8 (brun foncé) Horizon humide saturé, limono-argileux, toucher onctueux, nombreuses paillettes de micas (muscovites et biotite); nombreux grains de quartz et de feldspaths en cours d'altération. C'est la zone d'altération du granite.

**Site A Profil AP2** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | ABsm | II Bg1 | II Bg2 | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-60 | 60-115 | 115-380 | 380-460 | 460-550 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 6.5 |
| | pH (KCl) | 5.2 | 5.6 | 5.2 | 5.2 | 5.0 |
| | ΔpH | 1.4 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.5 |
| | Argile | 28 | 20 | 38 | 39 | 32 |
| | Limons fins | 29 | 6 | 13 | 24 | 29 |
| | Limons grossiers | 20 | 9 | 16 | 19 | 16 |
| | Sables fins | 9 | 22 | 11 | 9 | 7 |
| | Sables grossiers | 15 | 43 | 22 | 10 | 16 |
| Matère organique (%) | Carbone | 0.50 | 0.16 | 0.07 | 0.04 | 0.08 |
| | Azote total | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0;01 |
| | Matière organique | 0.86 | 0.28 | 0.12 | 0.07 | 0.14 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 2.18 | 1.67 | 1.35 | 1.64 | 3.19 |
| | Mg | 0.89 | 0.71 | 1.55 | 2.86 | 3.56 |
| | K | 0.17 | 0.08 | 0.12 | 0.12 | 0.15 |
| | Na | 0.3 | 0.09 | 0.09 | 0.10 | 0.13 |
| | S | 3.37 | 2.55 | 3.11 | 4.75 | 7.03 |
| | CEC = T | 8.77 | 7.67 | 13.00 | 14.65 | 11.44 |
| | S/T | 38 | 33 | 26 | 32 | 61 |
| | CECa | 31 | 38 | 35 | 38 | 36 |

PROFIL AP3

A1 - 0-15 cm. 10 YR 3/2 (brun grisâtre très foncé) légèrement humifère; limono-sableux à sables grossiers massif à tendance grumeleuse; gravillons sub-arrondis à anguleux; sans taches; nombreux grains de quartz plus ou moins ferruginisés; nombreuses racines; activité biologique bonne; poreux à pores grossiers tubulaires; nombreuses racines moyennes et fines, Passage net à

AB - 15-65 cm. 7.5 YR 4/4 (brun) argilo-sableux à sables grossiers légèrement collant; massif à débit polyédrique aisé; cohésion moyenne à faible; nombreux gravillons ferrugineux à la base de l'horizon; Porosité tubulaire bonne; activité biologique bonne; racines fines dans les fissures et sur l'ensemble de l'horizon, Passage assez net à

Bg1 - 65-100 cm. 7.5 YR 5/4 (brun) argilo-sableux; à sables grossiers; collant et plastique; massif à débit polyédrique grossier; cohésion moyenne à aisée; porosité tubulaire bonne; parois des pores tapissées de terre fine; nombreux gravillons ferrugineux; quelques taches rouilles; nombreux grains de quartz plus ou moins délavés; fissures fines empruntés par les racines très fines, Passage graduel à

IIBr - 100-210 cm. 5 YR 5/2 (gris rougeâtre) 5 Y 7/1 (gris clair) et 7.5 YR 5/8 (brun foncé); argilo-sableux à sables grossiers; collant et plastique; massif à tendance prismatique; nombreux gravillons ferrugineux; présence de poches d'altéro-reliques de couleur "vert pistaches" et bordées de taches rouilles d'oxydes de fer; porosité tubulaire bonne présence d'une corniche indurée à la base de l'horizon, due à l'altération des minéraux ferromagnésiens du granite. Passage net à

IIC - 210-290 cm. 5 Y 6/2 (gris olive clair) 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre); limono-argileux à sables grossiers; massif à débit polyédrique assez aisé; cohésion moyenne, horizon "vert pistache" contenant de nombreux grain de quartz yalins; horizon très peu poreux, compact; ce matériau passe en dessous à l'arène micacée contenant des filons de quartz. et de nombreux gravillons de quartz et de feldspaths translucides et limpides.

**Site A Profil AP3** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | AB | Bg1 | Bg2 | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-15 | 15-65 | 65-100 | 100-210 | 210-290 | 290-400 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.6 | 6.6 | |
| | pH (KCl) | 5.3 | 4.6 | 4.7 | 4.7 | 4.5 | 4.5 |
| | ΔpH | 1.4 | 1.5 | 1..5 | 1.5 | 2.1 | 2.1 |
| | Argile | 20 | 37 | 37 | 37 | 34 | 16 |
| | Limons fins | 8 | 6 | 8 | 6 | 9 | 9 |
| | Limons grossiers | 18 | 5 | 8 | 3 | 16 | 23 |
| | Sables fins | 27 | 9 | 10 | 11 | 17 | 16 |
| | Sables grossiers | 28 | 43 | 37 | 43 | 24 | 37 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.76 | 0.38 | 0.24 | 0.09 | 0.04 | 0.02 |
| | Azote total | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 1.31 | 0.65 | 0.41 | 0.15 | 0.07 | 0.03 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 3.14 | 3.64 | 4.03 | 5.64 | 11.13 | 11.85 |
| | Mg | 1.15 | 1.11 | 1.31 | 2.05 | 5.75 | 6.95 |
| | K | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.14 | 0.14 |
| | Na | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.15 | 0.13 | 0.21 |
| | S | 4.52 | 4.90 | 5.49 | 7.92 | 17.17 | 19.15 |
| | CEC = T | 3.31 | 7.43 | 8.82 | 9.16 | 12.96 | 22.48 |
| | S/T | - | 66 | 62 | 86 | - | 85 |
| | CECa | 17 | 20 | 24 | 21 | 51 | - |

PROFIL AP4.

A1 - 0-20 cm. 10 YR 3/1 (gris très sombre) limono-sableux à sables grossiers; non collant et non plastique; massif à débit polyédrique anguleux aisé; cohésion faible; sans taches; porosité fine et moyenne bonne; sans gravillons; nombreuses racines fines et moyennes; activité biologique bonne, Passage assez net à

A21 - 20-55 cm. 7.5 YR 4/3 (brun), limono-sableux à sables grossiers; massif à débit polyédrique subanguleux moyen; cohésion faible à moyen; sans taches; non collant; non plastique; porosités fine et moyenne bonnes; gravillons ferrrugineux, arrondis de petite taille sur l'ensemble de l'horizon; nombreuses racines fines; activité biologique bonne, Passage progressif à

A22 - 55-140 cm. 7.5 YR 4/4 (brun) limono-argilo-sableux à sables grossiers; non collant et non plastique; massif à débit polyédrique peu aisé, nombreuses poches d'altéro-reliques constituées de terre fine jaunâtre et de grains de quartz ferruginisés et incolores; nombreux gravillons ferrugineux indurés et parfois mous; un halo rougeâtre enveloppe parfois les altéro-reliques; présence de blocs de quartz à la base de l'horizon; ces blocs sont présents dans l'horizon sous-jacent; nombreuses racines fines évitant le plus souvent les altéro- reliques plus dures. Passage net à

IIBr - 140-260 cm. 5 Y 6/2 (gris olive clair) et 10 YR 4/6 (brun jaunâtre foncé); argilo-sableux à argileux à sables grossiers; collant et plastiques; massif à débit polyédrique anguleux à subanguleux moyen; nombreuses taches de couleur 10 YR 4/6, couleur générale de l'horizon *"vert pistache";* nombreux grains de quartz et de feldspaths; présence de poches d'altération ferromagnésienne; porosité très faible; drainage également très faible; Passage net à

IIC - 260-380 cm. 5 Y 6/2 (gris olive clair) et 10 YR 4/6 (brun jaunâtre foncé) limono-argileux, massif et parfois orienté; collant et plastique; nombreux grains de quartz et de feldspaths en cours d'altération; altération des minéraux ferromagnésiens donnant lieu à une induration localisée; présence de filons de quartz provenant de la roche mère; on se trouve dans l'arène micacée,

**Site A Profil AP4** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | A21 | A22 | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-20 | 20-55 | 55-140 | 140-260 | 260-380 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 |
| | pH (KCl) | 5.3 | 4.8 | 4.7 | 4.2 | 4.2 |
| | ΔpH | 1.0 | 1.5 | 1.6 | 2.1 | 2.1 |
| | Argile | 11 | 16 | 22 | 47 | 35 |
| | Limons fins | 10 | 6 | 6 | 6 | 9 |
| | Limons grossiers | 14 | 10 | 12 | 3 | 12 |
| | Sables fins | 31 | 30 | 21 | 13 | 17 |
| | Sables grossiers | 34 | 38 | 38 | 30 | 27 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.54 | 0.34 | 0.24 | 0.05 | 0.03 |
| | Azote total | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 0.3 | 0.58 | 0.41 | 0.09 | 0.05 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 1.85 | 1.05 | 1.19 | 9.79 | 11.19 |
| | Mg | 0.94 | 0.53 | 0.73 | 7.40 | 9.10 |
| | K | 0.15 | 0.05 | 0.05 | 20 | 0.16 |
| | Na | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.26 | 0.37 |
| | S | 3.02 | 1.73 | 2.07 | 17.65 | 20.82 |
| | CEC = T | 2.22 | 1.88 | 3.18 | 16.28 | 16.27 |
| | S/T | - | 92 | 65 | - | - |
| | CECa | 20 | 12 | 14 | 35 | 46 |

PROFIL AP6

A1 - 0-35 cm. 10 YR 3/1 (gris très foncé); Humifère; limono-sableux; massif à débit polyédrique moyen; cohésion faible; non collant non plastique; porosité fine bonne; nombreuses taches rouilles fines et allongées; activité biologique bonne; chevelu radiculaire dense sur l'ensemble de l'horizon, Passage assez net à

A2 - 35-55 cm. 10 YR 7/1 (gris clair); limono-sableux à sables grossiers ferruginisés; ces sables ferruginisés peuvent être confondus avec les taches rouilles; sur 10 cm environ à la base de l'horizon on note un niveau sableux sans taches représentant la zone de circulation de la nappe phréatique; dans cette zone les sables incolores sont plus abondants que les sables colorés ou ferruginisés; nombreuses racines fines sur l'ensemble de l'horizon; ces sables délavés reposent sur un niveau compact sablo-argileux, Passage net à

IIBr - 55-190 cm. 5 Y 6/3 (pâle olive); 2.5 Y 4/4 (brun olive) et 5 BG 6/1; limono-argilo-sableux à sables grossiers; collant et plastique; grains de quartz réunis par du ciment argileux et laiteux; présence de quartz et de feldspaths blanc translucides; porosité très faible, pas de racines; c'est l'horizon *"vert pistache";* présence de taches de réduction (gley) à la base de l'horizon, Passage progressif à

II C - 190-210 cm. 5 B 6/1 (vert); limono-argilo-sableux collant et plastique; massif; porosité faible; taches de réduction (gley) de couleur 2.5 Y 6/6 (jaune olive); apparition de micas,

**Site A Profil AP6** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | A2 | II Br |
|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-35 | 35-55 | 55-190 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 5.7 | 6.3 | 6.8 |
| | pH (KCl) | 4.2 | 4.7 | 5.3 |
| | ΔpH | 1.5 | 1.6 | 1.5 |
| | Argile | 13 | 11 | 32 |
| | Limons fins | 8 | 5 | 6.3 |
| | Limons grossiers | 17 | 6 | 5.0 |
| | Sables fins | 39 | 46 | 32 |
| | Sables grossiers | 23 | 33 | 26 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.60 | 0.09 | 0.03 |
| | Azote total | 0.04 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 1.03 | 0.15 | 0.05 |
| Bases (méq/100) | Ca | 0.95 | 0.34 | 4.81 |
| | Mg | 0.38 | 0.60 | 3.73 |
| | K | 0.07 | 0.10 | 0.067 |
| | Na | 0.13 | 0.13 | 0.022 |
| | S | 1.53 | 1.17 | 8.93 |
| | CEC = T | 1.61 | 1.08 | 6.80 |
| | S/T | 95 | 100 | - |
| | CECa | 12 | 10 | 22 |

PROFIL AP7

A1 - 0-30 cm. 10 YR 5/1 (gris) et 10 YR 3/4 (brun jaunâtre foncé); limono-argileux; collant et plastique; grumeleux en surface et prismatique grossière en profondeur; nombreuses taches fines et larges; parfois allongées de couleur 5 YR 3/4; porosité moyenne à faible; cohésion forte; nombreuses fines et moyennes sur l'ensemble de l'horizon; activité biologique bonne; fentes remplies de sables parfois purs; Passage graduel à

Bg - 30-117 cm. 10 YR 5/1 (gris); limono-argileux; collant et plastique; massif à tendance prismatique grossière; porosité tubulaire moyenne, cohésion forte; nombreuses taches diffuses de couleur 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre) et 3/2 (brun rougeâtre foncé); 7.5 YR 5/8 (brun foncé); quelques racines fines; nombreux grains de quartz et de feldspaths;Passage graduel à

IIBg - 117-177 cm. 5 Y 6/2 (gris olive clair); limono-sableux; collant et plastique; nombreux grains de quartz et de feldspaths; blancs translucides, porosité très faible; quelques taches de couleur 2.5 Y 6/8, horizon *"vert pistache;* Passage net à

IIBr - 177- 245 cm. 5 G 6/1 (vert olive) limono-sableux; légèrement collant et plastique; grains de quartz et de feldspaths; porosité faible; drainage mauvais; quelques gravillons ferrugineux; présence de micas.

**Site A Profil AP7** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | Bg | II Bg | II Br |
|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-30 | 30-117 | 117-177 | 177-245 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.1 | 6.8 | 6.8 | 7.3 |
| | pH (KCl) | 4.8 | 5.3 | 5.8 | 5.8 |
| | ΔpH | 1.3 | 1.5 | 1.0 | 1.5 |
| | Argile | 37 | 39 | 18 | 20 |
| | Limons fins | 18 | 14 | 4 | 6 |
| | Limons grossiers | 18 | 12 | 7 | 17 |
| | Sables fins | 19 | 18 | 33 | 22 |
| | Sables grossiers | 8 | 17 | 39 | 36 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.84 | 0.22 | 0.06 | 0.06 |
| | Azote total | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.011 |
| | Matière organique | 1.44 | 0.38 | 0.10 | 0.10 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 4.53 | 3.37 | 1.20 | 4.72 |
| | Mg | 2.50 | 3.21 | 2.16 | 3.20 |
| | K | 0.08 | 0.06 | 0.16 | 0.11 |
| | Na | 0.23 | 0.48 | 0.26 | 0.25 |
| | S | 7.94 | 7.12 | 3.78 | 8.28 |
| | CEC = T | 10.06 | 6.92 | 2.69 | 7.10 |
| | S/T | 73 | - | - | - |
| | CECa | 21 | 18 | 15 | 35 |

## LES SOLS DE LA TOPOSEQUENCE DU SITE B

La situation des profils pédologiques est donnée dans la figure 20.

PROFIL BP1

A1 - 0-15 cm. 7.5 YR 4/4 (brun foncé); humifère limono-argilo-sableux à sables grossiers; non collant; non plastique; grumeleux en surface et massif à débit polyédrique aisé en profondeur; cohésion faible à moyenne; nombreux graviers ferrugineux agrégés par de la terre fine; porosité fine bonne, nombreuses racines fines et moyennes sur l'ensemble de l'horizon; activité biologique bonne; Passage net à

AB - 15-40 cm. 5 YR 4/3 (brun rougeâtre) légèrement humifère; limono-argilo-sableux à sables grossiers; collant et plastique; nombreux graviers ferruginisés et de quartz agglomérés par de la terre fine; massif à débit polyédrique moyen anguleux à subanguleux; porosité fine bonne; activité biologique bonne; nombreuses racines fines et moyennes; Passage progressif à

Bt1 - 40-85 cm. 2.5 YR 4/6 (rouge); argileux; collant et plastique; massif à débit polyédrique aisé, cohésion moyenne, porosité fine bonne; apparition de pseudosables; gravillons ferruginisés arrondis de dimensions variables diminuant avec la profondeur où ils deviennent plus fins; horizon aéré avec une activité biologique bonne; Passage progressif à

Bt2 - 85-175 cm. 2.5 YR 4/6 (rouge); argileux à limono-argileux; collant et plastique; massif à débit polyédrique grossier à moyen; cohésion moyenne à faible; porosité tubulaire et fine bonnes; nombreux pseudosables rouges contenant des grains de sables ferruginisés; présence de taches de couleur 10 YR 6/6 (jaune brunâtre) à la base de l'horizon; horizon traversé obliquement par une du quartz et de nombreux gravillons ferruginisés de forme arrondie; nombreuses racines fines; Passage progressif à

IIBg1 - 175-295 cm. 2.5 YR 4/6 (rouge); argileux; massif à débit polyédrique peu aisé; cohésion moyenne à forte; poreux à pores tubulaires tapissés de terre fine collant et plastique; horizon tacheté (taches de couleur jaunâtre) avec la couleur rouge dominante; quelques racines très fines; nombreux micas et quartz carié et parfois poudreux; Passage progressif à

IIBg2 - 295-480 cm. 5 Y 8/1 (blanc) avec des taches de couleur 7.5 YR 4/6 (brun foncé) et 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); horizon bariolé altérite, limono-argileux; collant et plastique; massif; poreux à pores tubulaires et alvéolaires tapissés de terre fine de couleur blanchâtre; nombreuses paillettes de micas, Passage progressif à

IIC - 480-585 cm. 5 Y 7/1 (gris clair), avec des taches de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre) et 10 YR 5/4 (brun jaunâtre); limono-argileux, collant et plastique; quartz carié et feldspaths en cours d'altération, nombreux micas (biotite et muscovite), zone de l'arène micacée.

Site B. **Profil BP1** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | AB | Bt1 | Bt2 | II Bg1 | II Bg2 | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-15 | 15-40 | 40-85 | 85-175 | 175-295 | 295-480 | 480-540 |
| | pH (eau) | 5.4 | 6.4 | 5.9 | 5.9 | 6.2 | 5.9 | 5.9 |
| | pH (KCl) | 4.7 | 5.4 | 4.6 | 5.3 | 4.8 | 4.9 | 4.61 |
| | ΔpH | 1.7 | 1.0 | 1.3 | 0.6 | 1.4 | 1.0 | 1.3 |
| | Argile | 31 | 30 | 43 | 40 | 46 | 38 | 32 |
| Granulométrie (%) | Limons fins | 10 | 11 | 10 | 12 | 18 | 23 | 25 |
| | Limons grossiers | 8 | 11 | 6 | 10 | 12 | 16 | 16 |
| | Sables fins | 21 | 34 | 17 | 15 | 8 | 11 | 10 |
| | Sables grossiers | 30 | 28 | 25 | 23 | 16 | 12 | 18 |
| Matière | Carbone | 0.84 | 0.68 | 0.58 | 0.34 | 0.10 | 0.04 | 0.04 |
| organique (%) | Azote total | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 1.44 | 1.17 | 1.00 | 0.58 | 0.17 | 0.07 | 0.06 |
| | Ca | 1.20 | 2.19 | 1.44 | 1.59 | 1.16 | 0.81 | 1.45 |
| | Mg | 0.82 | 1.11 | 0.78 | 1.12 | 1.23 | 2.32 | 3.59 |
| | K | 0.21 | 0.08 | 0.09 | 0.11 | 0.10 | 0.12 | 0.21 |
| Bases échangeables | Na | 0.10 | 0.12 | 0.15 | 0.10 | 0.11 | 0.10 | 0.14 |
| (méq/100) | S | 2.33 | 3.50 | 2.45 | 2.92 | 2.60 | 3.35 | 5.39 |
| | CEC = T | 6.16 | 6.66 | 6.70 | 7.76 | 11.56 | 11.49 | 9.80 |
| | S/T | 38 | 53 | 36 | 38 | 23 | 29 | 58 |
| | CECa | 11 | 14 | 11 | 17 | 24 | 30 | 29 |

PROFIL BP2

A1 - 0-30 cm. 7.5 YR 3/4 (brun foncé) humifère, limono-sableux à sables grossiers; grumeleux avec de nombreux gravillons ferrugineux et arrondis; porosité fine bonne; très nombreuses racines fines et moyennes, activité biologique bonne; Passage assez net à

Bsm - 30-230 cm. 10 R 4/6 (rouge) avec des taches de couleur 5 YR 4/3 (brun rougeâtre) et 10 YR 7/1 (gris clair); limono-sableux à sables grossiers; légèrement collant et plastique; massif à débit polyédrique peu aisé; horizon induré, poreux à pores tubulaires et alvéolaires verticaux, obliques et parfois horizontales; pores tapissés d'éléments fins blanchâtres ou rougeâtres; présence de zones blanchâtres finement litées pouvant être une relique de la roche mère; certains pores sont totalement fermés,; présence de gravillons ferrugineux et de blocs de quartz anguleux et ferruginisés dans les fissures; Passage net à

IIBr - 230-290 cm. 2.5 Y 6/2 (gris brunâtre clair) avec des taches de couleur 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre) et 10 YR 6/6 (jaune brunâtre); limono-argileux à argileux, collant et plastique; massif à débits polyédriques grossiers avec une cohésion moyenne à forte; très poreux à pores grossiers, tubulaires et parfois alvéolaires tapissés de terre fine blanchâtre et brunâtre; présence de quelques petits blocs de quartz, de feldspaths et de quelques micas, Passage net à

IIC1 - 290-450 cm. 2.5 Y 6/2 (gris brunâtre clair), avec des taches larges et fines, allongées et parfois diffuses de couleur 10 YR 6/6 (jaune brunâtre) et 5 YR 4/6 (rouge jaunâtre); limoneux, très poreux à gros pores tubulaires tapissés de terre fine blanchâtre ou remplis d'argile; nombreux micas en particulier de la muscovite; toucher onctueux caractéristique de la présence de talc; filons de quartz altéré (farineux) à la base de l'horizon, Passage net à

IIC2 - 450-480 cm. Argiles micacées de couleur 5 Y 4/3 de couleur olive; limono-argilo-sableux à limono-argileux, très nombreuses paillettes de micas (biotite et muscovite); présence de filons de quartz farineux de couleur 5 GY 7/1,

Site B. **Profil BP2** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | Bsm | II Br | II C1 | II C2 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-30 | 30-230 | 230-290 | 290-450 | 450-480 |
| Granulométrie (%) | pH (eau) | 6.0 | 5.9 | 5.6 | 5.9 | 6.4 |
| | pH (KCl) | 4.9 | 5.2 | 5.0 | 4.4 | 4.4 |
| | ΔpH | 1.1 | 0.7 | 0.6 | 1.5 | 2.0 |
| | Argile | 14 | 16 | 40 | 25 | 10 |
| | Limons fins | 5 | 6 | 10 | 11 | 9 |
| | Limons grossiers | 6 | 10 | 9 | 28 | 24 |
| | sables fins | 32 | 23 | 10 | 18 | 22 |
| | Sables grossiers | 42 | 45 | 30 | 34 | 36 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.72 | 0.18 | 0.12 | 0.07 | 0.02 |
| | Azote total | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 1.24 | 0.31 | 0.21 | 0.12 | 0.03 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 3.54 | 2.84 | 6.04 | 8.10 | 6.74 |
| | Mg | 0.79 | 0.82 | 1.73 | 3.4 | 3.93 |
| | K | 0.22 | 0.20 | 0.30 | 0.20 | 0.16 |
| | Na | 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.21 | 0.18 |
| | S | 4.74 | 4.04 | 8.25 | 11.91 | 11.01 |
| | CEC = T | 5.95 | 5.79 | 23.25 | 26.69 | 5.67 |
| | S/T | 80 | 70 | 35 | 45 | - |
| | CECa | 24 | 32 | 57 | 105 | 56 |

PROFIL BP3

A1 - 0-20 cm. 10 YR 4/2 (brun grisâtre foncé); limono-sableux à sables grossiers; non collant non plastique; horizon massif, lamellaire en surface; quelques gravillons de petite taille; poreux à porosité fine et grossière; activité biologique bonne; nombreuses racines fines et moyennes; Passage progressif à

AB - 20-70 cm. 7.5 YR 5/4 (brun); limono-argilo-sableux à sables grossiers; non collant et non plastique; massif à débit polyédrique moyen à grossier; taches de couleur 5 YR 5/6 (rouge jaunâtre); nombreux gravillons ferruginisés hérissés de grains de quartz reliés par un ciment ferrugineux; porosités grossière et fine bonnes , activité biologique bonne; Passage net à

Bsm - 70-160 cm. 10 YR 8/6 (jaune) avec des taches de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); limono-argilo sableux à sables grossiers; collant et plastique; horizon induré massif à cohésion forte; porosité bonne à pores tubulaires en général tapissés de terre fine blanchâtre; nombreux grains de quartz enrobés de terre fine argileuse; Passage assez net à

IIBr - 160- 230 cm. 10 YR 8/1 (blanc) avec des taches de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); argilo-sableux à sables grossiers; horizon massif plus ou moins indurés; porosité bonne à pores tubulaires parfois revêtus de terre fine,; par endroits, présence de plages de sables meubles; quelques petits blocs de quartz enrobés de terre fine argileuses; Passage net à

IIC - 230-270 cm. 5 Y 6/3 (olive pâle) avec des taches de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); limoneux, nombreux grains de quartz et de feldspaths; nombreux filons de quartz en cours d'altération; nombreuses passées de gneiss à structure orientée; nombreuses paillettes de micas (biotite et muscovite),

Site B. **Profil BP3** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | AB | Bsm | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Granulométrie (%) | Profondeur (cm) | 0-20 | 20-70 | 70-160 | 160-230 | 230-270 |
| | pH (eau) | 6.2 | 5.6 | 5.7 | 6.2 | 6.5 |
| | pH (KCl) | 5.0 | 4.5 | 4.8 | 4.9 | 4.5 |
| | ΔpH | 1.2 | 1.1 | 0.9 | 1.3 | 2.1 |
| | Argile | 17 | 27 | 28 | 35 | 23 |
| | Limons fins | 6 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | Limons grossiers | 16 | 4 | 4 | 2 | 26 |
| | Sables fins | 36 | 19 | 16 | 16 | 23 |
| | Sables grossiers | 25 | 45 | 46 | 41 | 22 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.50 | 0.40 | 0.32 | 0.10 | 0.03 |
| | Azote total | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique. | 0.86 | 0.69 | 0.55 | 0.17 | 0.04 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca. | 1.41 | 1.34 | 2.96 | 7.89 | 6.84 |
| | Mg | 0.55 | 1.00 | 1.12 | 2.13 | 5.51 |
| | K | 0.14 | 0.14 | 0.28 | 0.20 | 0.13 |
| | Na | 0.14 | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.20 |
| | S | 2.24 | 2.63 | 4.53 | 10.39 | 12.68 |
| | CEC = T | 4.28 | 8.66 | 13.6 | 23.86 | 14.640 |
| | S/T | 52 | 30 | 33 | 44 | 79 |
| | CECa | 15 | 27 | 45 | 67 | 63 |

PROFIL BP4

A1 - 0-10 cm. 10 YR 5/2 (brun grisâtre); sans taches; limono-sableux à sables grossiers; non collant et non plastique; massif à structure lamellaire en surface; porosité bonne à pores fins et moyens; nombreuses racines moyennes et fines sur l'ensemble de l'horizon; activité biologique bonne; quelques rares gravillons ferruginisés arrondis; Passage progressif à

A12 - 10-30 cm. 10 YR 5/3 (brun); sec, légèrement humifère; limono-sableux à sables grossiers; massif à éclats polyédriques moyens; cohésion faible; porosité tubulaire bonne; sans taches; nombreuses racines fines; Passage net à

A21 - 30-70 cm. 10 YR 6/3 (brun pâle) avec des taches de couleur 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre); limono-sableux à sables grossiers; non collant et non plastique; massif à éclats polyédriques moyens; cohésion faible; porosités fine et grossière très bonnes; activité biologique bonne; racines fines; Passage progressif à

A22 - 70-130 cm. 10 YR 6/3 (brun pâle) avec des taches diffuses de couleur 7.5 YR 5/6 (brun foncé); sablo-limoneux à sables grossiers; massif à éclats polyédriques grossiers à moyens; Gravillons ferruginisés hérissés de grains de quartz; porosité grossière et fine bonne; blocs de quartz anguleux dans la masse de l'horizon; nombreuses racines fines; Passage net à

A23 - 130-175 cm. 10 YR 5/3 (brun) avec des taches et des gravillons ferruginisés de couleur 10 YR 6/8 (jaune brunâtre); limono-sableux à sables grossiers; massif à parfois boulant; cohésion moyenne à faible; gravillons ferruninsés et nombreux grains de quartz cimentés par du fer; ancien horizon de circulation de la nappe en cours d'induration; le caractère meuble, boulant de l'horizon disparaît en effet; présence également de grains blanc nacrés (feldspaths?) dans la masse de l'horizon); porosité grossière et fine très bonnes; grain de quartz plus ou moins délavés; Passage net à

IIBr - 175-185 cm. 10 YR 5/8 (brun jaunâtre) avec des taches de couleur 5 Y 6/2 (gris olive clair); limono-argilo-sableux à sables grossiers; collant et plastique; blocs de quartz anguleux enrobés de terre fine argileuse; gravillons ferruginisés sur l'ensemble de l'horizon et diminuant de taille vers la base de l'horizon;, Passage assez à

IIC - 185-340 cm; 5 Y 5/2 (gris olive clair) avec des taches de couleur 5 Y 5/4 (olive) et 10 YR 4/6 (brun jaunâtre foncé); limono-argilo-sableux à sables grossiers; collant et plastique; massif à éclats polyédriques moyens; cohésion forte; porosité faible; nombreux grains de quartz et de feldspaths hyalins et enrobés de terre fine argileuse de couleur laiteuse; à la base de l'horizon présence de nombreuses paillettes de micas (biotite et muscovite);

Site B. **Profil BP4** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | A12 | A21 | A22 | A23 | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Granulométrie (%) | profondeur (cm) | 0-10 | 10-30 | 30-70 | 70-130 | 130-175 | 175-185 | 185-340 |
| | pH (eau) | 5.8 | 6.1 | 5.6 | 5.5 | 6.1 | 6.1 | 6.6 |
| | pH (KCl) | 5.4 | 4.8 | 4.3 | 4.5 | 4.8 | 5.0 | 4.4 |
| | ΔpH | 0.4 | 1.3 | 1.3 | 1.0 | 1.3 | 1.1 | 2.2 |
| | Argile | 12 | 12 | 13 | 11 | 14 | 31 | 23 |
| | Limons fins | 4 | 5 | 7 | 4 | 1 | 8 | 5.5 |
| | Limons grossiers | 15 | 17 | 17 | 19 | 7 | 7 | 17 |
| | Sables fins | 39 | 38 | 40 | 31 | 21 | 25 | 28 |
| | Sables grossiers | 30 | 28 | 23 | 35 | 57 | 29 | 27 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.30 | 0.20 | 0.12 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.03 |
| | Azote total | 0.52 | 0.34 | 0.21 | 0.09 | 0.09 | 0.12 | 0.25 |
| | Matière organique. | 0.52 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 0.69 | 0.37 | 0.08 | 0.22 | 1.58 | 7.95 | 6.41 |
| | Mg | 0.29 | 0.30 | 0.18 | 0.20 | 7.11 | 1.93 | 6.45 |
| | K | 0.09 | 0.04 | 0.04 | 0.10 | 0.28 | 0.14 | 0.12 |
| | Na | 0.12 | 0.16 | 0.18 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.18 |
| | S | 1.19 | 0.87 | 0.48 | 0.67 | 2.53 | 10.21 | 10.28 |
| | CEC = T | 7.12 | 2.62 | 4.17 | 18.26 | 2.78 | 15.00 | 20.81 |
| | S/T | 16 | 33 | 12 | - | 91 | 68 | 53 |
| | CECa | 50 | 22 | 32 | - | 20 | 48 | 48 |

PROFIL BP5

A1 - 0-25 cm. 10 YR 4/2 (brun grisâtre foncé); limon-sableux-sableux à sables grossiers; sans taches, ni gravillons ferruginisés; massif à tendance grumeleuse en surface; cohésion faible; porosité fine et grossière bonnes; nombreuses racines fines; activité biologique bonne; Passage assez net à

A21 - 25-140 cm. 7.5 YR 7/4 (gris) avec des taches de couleur 7.5 YR 5/6 (brun foncé) augmentant avec la profondeur; limono-sableux à sables grossiers; massif à éclats polyédriques aisés; cohésion faible; gravillons ferruginisés et petits blocs de quartz sur l'ensemble de l'horizon; quelques racines fines et moyennes; Passage net à

IIBg - 140-165 cm. 7.5 YR 8/2 (blanc); limono-sableux à sables grossiers; meuble et boulant; sans taches; zone de circulation de la nappe phréatique; quelques gravillons ferrugineux (poupées) à la base et dans l'horizon; Passage net à

IIBg - 165-205 cm. 2.5 Y 6/6 (Jaune olive) avec des taches de couleur 10 YR 5/8 (brun jaunâtre); limono-sableux; collant et plastique; massif à éclats polyédriques anguleux peu aisés; cohésion très forte; gravillons ferrugineux au sommet de l'horizon; porosité fine et moyenne bonne; quartz enrobés de lambeaux d'argile; Passage progressif à

IIBr - 205-300 cm. 5 G 6/1 (vert olive), avec des taches de couleur 10 YR 5/8 (brun jaunâtre); argilo-sableux; collant et plastique; massif à éclats polyédriques subanguleux grossiers; cohésion forte; grains de quartz et de feldspaths blancs translucides; Passage progressif à

IIC - 300-330 cm. 5 Y 4/2 (gris olive); zone de l'arène micacée; limono-argileux, nombreux filons de quartz; nombruses taches d'oxydations des minéraux ferromagnésiens,

Site B. **Profil BP5** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | A21 | A22 | II Bg | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-25 | 25-140 | 140-165 | 165-205 | 205-300 | 300-330 |
| | pH (eau) | 5.8 | 5.7 | 6.1 | 6.5 | 6.7 | 6.8 |
| | pH (KCl) | 4.9 | 4.2 | 4.9 | 4.7 | 4.7 | 4.6 |
| | ΔH | 0.9 | 1.5 | 1.2 | 1.7 | 2.0 | 2.4 |
| Granulométrie (%) | Argile | 9 | 12 | 17 | 20 | 38 | 30 |
| | Limons fins | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | Limons grossiers | 9 | 8 | 9 | 7 | 2 | 24 |
| | Sables fins | 36 | 32 | 30 | 29 | 15 | 22 |
| | Sables grossiers | 40 | 42 | 40 | 40 | 40 | 20 |
| Matière | Carbone | 0.22 | 0.14 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| organique (%) | Azote total | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 0.38 | 0.24 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| | Ca | 0.35 | 0.09 | 1.59 | 1.20 | 6.67 | 7.57 |
| | Mg | 0.40 | 0.27 | 0.07 | 0.07 | 9.80 | 8.70 |
| | K | 0.03 | 0.07 | 0.05 | 0.03 | 0.23 | 0.25 |
| Bases échangeables | Na | 0.13 | 0.11 | 0.14 | 0.13 | 0.17 | 0.23 |
| (méq/100) | S | 0.99 | 0.54 | 1.85 | 1.43 | 16.87 | 16.75 |
| | CEC = T | 1.74 | 1.6 | 4.94 | 7.93 | 14.54 | 11.05 |
| | S/T | 52 | 34 | 37 | 18 | - | 8 |
| | CECa | 11 | 10 | 29 | 39 | 38 | 37 |

PROFIL BP6

A1 - 0-25 cm. 10 YR 5/1 (gris); limoneux à limons fins; massif à éclats polyédriques subanguleux aisé; cohésion faible; porosité fine; quelques rares taches rouilles; racines fines sur l'ensemble de l'horizon; sans gravillons ferrugineux; Passage progressif à

A21 - 25-80 cm. 7.5 YR N7/ (gris clair); avec des taches fines à moyennes de couleur 7.5 YR 6/8 (jaune rougeâtres); limoneux à limons fins; non collant et non plastique; massif à éclats polyédriques moyens à grossiers; cohésion faible; poreux à pores tapissés de terre fine; gravillons ferrugineux de petite taille; activité biologique bonne; Passage net à

A22 - 80 -110 cm. 10 YR 8/2 (blanc); sans taches; limono-sableux à sables grossiers; meuble et boulant, zone de circulation de la nappe phréatique; porosité très bonne; nombreux quartz ferruginisés; Passage net à

IIBr - 110-175 cm. 5 Y 7/2 (gris clair), avec des taches de couleur 2.5 Y 5/6 (brun olive clair); limono-argileux; collant et plastique; compact à éclats prismatiques grossiers; très peu poreux, cohésion faible; nombreux quartz et feldspaths translucides, yalins; poreux avec parfois de gros pores empruntant d'anciennes racines mortes; Passage net à

IIC - 175-195 cm. 5 G 6/1 (gris); limono-sablo-argileux à limono-argileux; nombreux filons de quartz; zone des argiles micacées;

Site B. **Profil BP6** Analyses physico-chimiques. CECa= CEC pour 100g d'argile

| | Horizons | A1 | A21 | A22 | II Br | II C |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Profondeur (cm) | 0-25 | 25-80 | 80-110 | 110-175 | 175-195 |
| Granulomérie (%) | pH (eau) | 5.5 | 5.6 | 5.9 | 6.3 | 6.4 |
| | pH (KCl) | 4.4 | 4.2 | 4.5 | 4.2 | 4.3 |
| | ΔpH | 1.1 | 1.4 | 1.4 | 2.1 | 2.1 |
| | Argile | 9 | 10 | 10 | 31 | 29 |
| | Limons fins | 9 | 4 | 8 | -7 | 7 |
| | Limonbs grossiers | 56 | 51 | 20 | 20 | 19 |
| | Sables fins | 19 | 18 | 33 | 22 | 23 |
| | Sables grossiers | 8 | 17 | 29 | 20 | 22 |
| Matière organique (%) | Carbone | 0.40 | 0.14 | 0.03 | 0.04 | 0.03 |
| | Azote total | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | Matière organique | 0.69 | 0.24 | 0.05 | 0.07 | 0.05 |
| Bases échangeables (méq/100) | Ca | 1.08 | 0.44 | 0.35 | 4.58 | 8.10 |
| | Mg | 0.30 | 0.12 | 0.06 | 4.92 | 9.20 |
| | K | 0.14 | 0.05 | 0.01 | 0.08 | 0.25 |
| | Na | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.13 | 0.21 |
| | S | 1.59 | 0.69 | 0.49 | 9.71 | 17.76 |
| | CEC = T | 1.40 | 1.22 | 0.35 | 10.72 | 15.00 |
| | S/T | - | 57 | - | 91 | - |
| | CECa | - | 7 | 3 | 34 | 51 |

# ANNEXES 2
# CONCENTRATIONS MINERALES DES NAPPES PHREATIQUES

Toutes les concentrations sont exprimées en méq/100g

## SITE A.

| Dates | Nappes | pH | $NH_4^+$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 26/08/94 | N1 | 6.6 | - | - | - | - | - | - |
| | N2 | 7.2 | 0.069 | 0.073 | 0.15 | 1.563 | 0.154 | 0.913 |
| 7/09/94 | N1 | 5.5 | 0.01 | 0.0081 | 0.381 | 0.219 | 0.035 | 0.374 |
| | N2 | 6.8 | 0.0201 | 0.0062 | 0.333 | 1.211 | 0.067 | 0.963 |
| | N1 | 6.0 | 0.0011 | 0.0094 | 0.242 | 0.393 | 0.044 | 0.417 |
| 6/10/94 | N2 | 6.7 | 0.0016 | 0.0017 | 0.409 | 0.926 | 0.061 | 1.039 |
| | N1 | 5.7 | 0.01 | 0.0119 | 0.335 | 0.025 | 0.054 | 0.0163 |
| 30/10/94 | N2 | 6.7 | 0.01 | 0.0119 | 1.75 | 0.14 | 0.069 | 1.4 |

**Zone amont**

| Dates | Nappes | pH | $NH^+_4$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27/794 | N1 | 6.1 | 0.036 | 0.044 | 0.05 | 0.082 | 0.128 | 0.174 |
| | N2 | 6.4 | 0.038 | 0.049 | 0.15 | 0.247 | 0.026 | 0.783 |
| 26/8/94 | N1 | 6.4 | 0.064 | 0.104 | 0.45 | 0.822 | 0.077 | 0.565 |
| | N2 | 7.2 | 0.059 | 0.091 | 0.05 | 0.329 | 0.026 | 0.565 |
| 7/9/9 | N1 | 4.8 | 0.0106 | 0.0131 | 0.514 | 0.381 | 0.058 | 0.365 |
| | N2 | 6.7 | 0.0101 | 0.0038 | 0.60 | 0.744 | 0.058 | 0.867 |
| 6/10/94 | N1 | 6.9 | 0.007 | 0.010 | 0.68 | 0.581 | 0.107 | 0.657 |
| | N2 | 7.0 | 0.0006 | 0.001 | 0.37 | 1.023 | 0.082 | 1.045 |
| 30/10/94 | N1 | 6.1 | 0.01 | | 0.505 | 0.016 | 0.013 | 0.274 |
| | N2 | 7.0 | 0.004 | 0.038 | 0.025 | 0.584 | 0.071 | 0.830 |

**Zone médiane**

| Dates | Nappes | pH | $NH^+_4$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N1 | 6.3 | 0.048 | 0.076 | 0.05 | 0.25 | 0.026 | 0.87 |
| 27/7/94 | N2 | 6.2 | 0.038 | 0.047 | 0.35 | 0.99 | 0.026 | 0.913 |
| | N1 | 6.5 | 0.061 | 0.067 | 0.05 | 0.123 | 0.064 | 0.696 |
| 26/8/94 | N2 | 6.5 | 0.056 | 0.073 | 0.4 | 1.028 | 0.077 | 0.63 |
| | N1 | 5.7 | 0.01 | 0.009 | 0.19 | 0.147 | 0.038 | 0.554 |
| 7/9/94 | N2 | 6.6 | 0.01 | 0.006 | 0.55 | 1.07 | 0.067 | 1.522 |
| | N1 | 6.4 | 0.0011 | 0.007 | 0.203 | 0.308 | 0.06 | 0.589 |
| 6/10/94 | N2 | 6.6 | 0.0011 | 0.001 | 0.2 | 0.88 | 0.049 | 0.929 |
| | N1 | 6.0 | 0.0167 | 0.045 | 0.075 | 0.016 | 0.038 | 0.751 |
| 30/10/94 | N2 | 6.7 | 0.02 | 0.13 | 0.39 | 0.565 | 0.063 | 1.61 |

**Zone aval**

## SITE B

| Dates | Nappes | pH | $NH^+_4$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27/7/94 | N1 | 6.3 | 0.045 | 0.071 | 0.3 | 0.25 | 0.015 | 0.26 |
| | N2 | 6.3 | 0.034 | 0.077 | 0.3 | 0.58 | 0.051 | 0.87 |
| 6/8/94 | N1 | 6.6 | 0.083 | 0.096 | 0.15 | 0.16 | 0.017 | 0.174 |
| | N2 | 6.5 | 0.061 | 0.1 | 0.25 | 0.66 | 0.128 | 0.783 |
| 24/8/94 | N1 | 6.3 | 0.011 | 0.066 | 0.2 | 0.25 | 0.021 | 0.26 |
| | N2 | 6.7 | 0.045 | 0.071 | 0.35 | 0.82 | 0.103 | 0.652 |
| 7/9/94 | N1 | 5.2 | 0.0044 | 0.015 | 0.23 | 0.48 | 0.018 | 0.402 |
| | N2 | 6.4 | 0.021 | 0.013 | 0.49 | 0.71 | 0.023 | 0.348 |
| 6/10/94 | N1 | 6.2 | 0.0028 | 0.025 | 0.15 | 0.37 | 0.015 | 0.287 |
| | N2 | 6.5 | 0.0011 | 0.028 | 0.22 | 0.56 | 0.042 | 0.42 |
| | N1 | 5.5 | 0.01 | .392 | 0.23 | 0.21 | 0.009 | 0.375 |
| 30/10/94 | N2 | 6.4 | 0.015 | 0.513 | 0.23 | 0.35 | 0.019 | 0.417 |

**Zone amont**

| Dates | Nappes | pH | $NH^+_4$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27/7/94 | N1 | 5.9 | 0.04 | 0.134 | 1.3 | 1.23 | 0.128 | 0.130 |
| | N1 | 6.7 | 0.004 | 0.051 | 0.95 | 1.56 | 0.231 | 1.435 |
| 6/8/94 | N1 | 4.2 | 0.056 | 0.154 | 0.45 | 0.66 | 0.128 | 0.130 |
| | N2 | 6.9 | 0.044 | 0.075 | 0.75 | 1.64 | 0.154 | 0.96 |
| 24/8/94 | N1 | 5.5 | 0.034 | 0.085 | 0.2 | 0.41 | 0.051 | 0.217 |
| | N2 | 7.0 | 0.041 | 0.077 | 0.65 | 1.23 | 0.103 | 0.96 |
| 7/9/94 | N1 | 4.2 | 0.011 | 0.017 | 0.53 | 0.42 | 0.063 | 0.87 |
| | N2 | 7.1 | 0.011 | 0.0083 | 0.63 | 1.38 | 0.074 | 0.70 |
| 6/10/94 | N1 | 5.2 | 0.001 | 0.043 | 0.35 | 0.36 | 0.047 | 0.134 |
| | N2 | 6.8 | 0.001 | 0.016 | 0.25 | 0.92 | 0.067 | 0.654 |
| | N1 | 5.6 | 0.023 | 0.62 | 0.21 | 0.214 | 0.014 | 0.228 |
| 30/10/94 | N2 | 6.9 | 0.02 | 0.221 | 0.63 | 1.00 | 0.0256 | 0.652 |

**Zone médiane**

| Dates | Nappes | pH | $NH^+_4$ | $NO^-_3$ | Ca | Mg | K | Na |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 27/7/94 | N1 | 6.3 | 0.04 | 0.081 | 0.23 | 0.274 | 0.094 | 0.188 |
| | N2 | 6.6 | 0.004 | 0.061 | 1.117 | 1.672 | 0.103 | 0.783 |
| 6/8/94 | N1 | 4.9 | 0.068 | 0.103 | 0.3 | 0.356 | 0.085 | 0.16 |
| | N2 | 6.2 | 0.044 | 0.083 | 0.367 | 0.658 | 0.111 | 0.45 |
| 24/8/94 | N1 | 5.3 | 0.068 | 0.093 | 0.317 | 0.301 | 0.094 | 0.188 |
| | N2 | 6.0 | 0.041 | 0.074 | 0.317 | 1.425 | 0.068 | 0.435 |
| 7/9/94 | N1 | 4.8 | 0.011 | 0.0123 | 0.368 | 0.319 | 0.052 | 0.167 |
| | N2 | 6.2 | 0.0105 | 0.0083 | 0.247 | 0.631 | 0.048 | 0.441 |
| 6/10/94 | N1 | 5.5 | 0.0016 | 0.0208 | 0.219 | 0.263 | 0.066 | 0.148 |
| | N2 | 6.1 | 0.0011 | 0.0079 | 0.196 | 0.38 | 0.055 | 0.312 |
| | N1 | 5.6 | 0.02 | 0.167 | 0.122 | 0.146 | 0.024 | 0.179 |
| 30/10/94 | N2 | 5.3 | 0.02 | 0.122 | 0.202 | 0.177 | 0.042 | 0.436 |

**Zone aval**



Photo 1. Le site expérimental B semé en riz pluvial depuis trois semaines.

Au premier plan (amont), bonne levée diriz sur sol sablo-argileux du "biseau cuirassé". Au deuxième plan, mauvaise levée sur sol gris sableux de bas de versant à nappe perchée très profonde.

Au troisième plan, juste avant le marigot marqué par la ligne d'arbres, bonne levée du riz sur sol gris sableux du bas de versant à nappe perchée peu profonde.

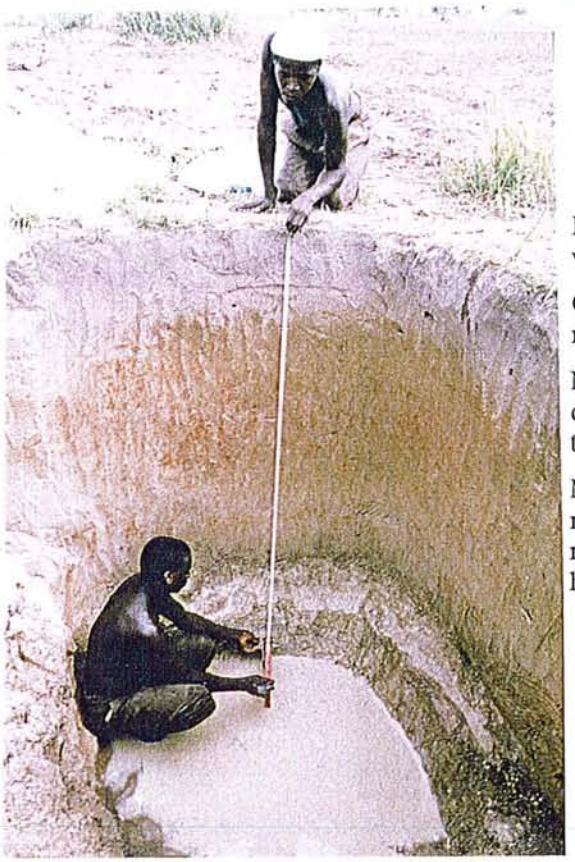


Photo 2. Profil pédologique d'un sol sableux gris de bas de versant deux mois après le début de la saison des pluies.

On remarque l''HVP (horizon vert pistache marqué par un ressaut en dessous des horizons sableux blanchis.

Noter l'écoulement d'un lame d'eau provenant d'un débordement de la nappe d'altérite en amont de la toposéquence.

Mais la présence de cette nappe perchée n'est pas mesurable par les piézomètres à cette période car très mince, seule l'observation de la fosse et les profils hydriques permettent de la détecter.



Photo 3. Site A labouré et semé.

La pente est plus marquée que pour le site B.

Au premier plan "biseau cuirassé"

Au fond, le marigot occupé par une galerie forestière à raphias.



Photo 4.Site Site A labouré et semé.

Au premier plan, l'aval du "biseau cuirassé"

Au fond, le marigot occupé par une petite galerie forestière.



Photo 5 Site B. Infiltration de l'eau de pluie à travers les sols sableux du bas de versant contribuant à l'alimentation et au fonctionnement de la nappe perchée. Les horizon blancs sous l'horizon A1 sont encore secs. Remarquer l'Horizon Vert pistache argileux et compact en dessous des horizons A2 sableux blanchis des sols gris. Entre les deux horizons la cavité a été créée par l'écoulement de la nappe après le creusement de la fosse.



Photo 6. Site B. Infiltration de l'eau des pluies à travers la carapace poreuse en grand contribuant à l'alimentation de la nappe perchée. La carapace sèche apparaît tachetée. Les zones arrondies et de teinte foncée sont humides et indiquent des circulations d'eau dans la porosité tubulaire large de la carapace.



Photo 7. Site A. Profil pédologique d'un sol sableux de bas de versant avant la saison pluvieuse.

Remarquer l'HVP très épais.

Noter l'écoulement de l'eau, visible par la teinte plus foncée des sables, au dessus de l'HVP. Mais, à cette date, la nappe perchée n'est pas détectable au moyen des piézomètres car trop mince.

Compte tenu du fait qu'on se trouve en saison sèche cet écoulement ne peut être attribué qu'au déversement de la nappe d'altérite en amont par desus les argile de l'HVP.

UNIVERSITÉ NANCY 1 BIBLIOTHÈQUE SCIENCES

# Résumé


## Les sols gris de bas versant sur granito-gneiss en région centrale de la Côte d'Ivoire : organisation toposéquentielle et spatiale, fonctionnement hydrologique : Conséquences pour la riziculture.

En Afrique de l'Ouest, les vallées intérieures constituent un potentiel très important pour la production agricole en général et rizicole en particulier. L'utilisation rationnelle de cet écosystème passe nécessairement par la compréhension de son organisation pédologique et de son fonctionnement hydrologique. Les deux toposéquences étudiées sur granite dans la zone de transition forêt-savane de la région centre de la Côte d'Ivoire montrent trois couvertures pédologiques bien distinctes :

**En amont,** une couverture pédologique "ferrallitique", constituée par les sols rouges de plateau épais, plus ou moins gravillonnaires s'indurant à leur limite aval, le "biseau cuirassé". Le profil altéro-pédologique a plus de 10m d'épaisseur, l'altération des minéraux primaires y est progressive. Ce profil comprend : ***1) un matériau pédoturbé et monosiallitique*** à altération totale (A et Bt). La CEC rapportée à la fraction argileuse rapproche ce matériau des LAC ("low activity clay"). C'est le sol proprement dit (1 à 2 m), exploité par la végétation naturelle et les cultures ; *2) un matériau altéritique tacheté, non pédoturbé quasi-monosiallitique* (IIBg), contenant outre la kaolinite, de rares feldspaths et des micas dans les limons. *3) un matériau non pédoturbé, bisiallitique* (IIC) à altération très incomplète. C'est *l'horizon "pistache" ou arène micacée de la lithomarge* bien connue dans les régions tropicales à saisons contrastées. Ainsi, notre étude montre que la limite sud de l'altération "pistache" smectique, décrite au Burkina Faso semble se situer dans la zone de transition forêt-savane de Côte d'Ivoire. La présence des matériaux monosiallitiques en surface et quasi-monosiallitiques puis bisiallitique en profondeur pose le problème de la classification des sols rouges de la région. Pour les pédologues et les agronomes, qui ne considèrent que la partie monosiallitique à LAC, ces sols rouges sont ferrallitiques. Pour les altérologues, qui prennent en compte l'ensemble du profil altéro-pédologique, cela n'est pas le cas.

**En aval,** une couverture pédologique hydromorphe, celle des sols gris sableux du bas versant, est constituée par deux matériaux fortement contrastés : l'un superficiel très sableux et pédoturbé, l'autre pédoturbé, smectique, argileux et compact. C'est l'**"horizon vert pistache" (HVP)**. Une arène micacée lui fait suite vers le bas, en continuité avec la lithomarge des sols rouges "ferrallitiques". Cette couverture hydromorphe, est organisée en deux zones bien nettes : **une zone amont** à sols sablo-argileux et fertilité relativement élevée, une zone aval à sols sableux à sables grossiers et à fertilité très faible.

**Dans le bas-fond,** une couverture pédologique colluvio-alluviale à sols hydromorphes, smectiques est constituée par deux matériaux : le premier superficiel, pédoturbé, est **allochtone**, le deuxième, pédoturbé en surface et non pédoturbé en profondeur est **autochtone**.

L'étude du fonctionnement hydrologique des sols gris de bas versant montre la présence de deux nappes phréatiques. L'une est perchée et repose sur HVP, tandis que l'autre est localisée dans l'altérite profonde. Les deux nappes s'écoulent de l'amont vers l'aval en transportant des éléments fins (smectite, kaolinite, goethite, feldspaths, quartz) provenant de HVP et IIC. Les deux nappes paraissent indépendantes. Cependant, les profils hydriques établis à la sonde à neutrons montrent qu'une mince pellicule d'eau circule sur l'HVP plusieurs mois après la fin des pluies ; cela semble indiquer que la nappe perchée est en partie alimentée depuis l'amont par la nappe d'altérite.

La nappe d'altérite est peu influencée par le régime des pluies et gonfle régulièrement depuis le début des pluies pour culminer en fin de deuxième saison. Les oscillations de la nappe perchée sont fortement influencées par la répartition bimodale des précipitations qui l'alimentent. Dans la partie basse des sols gris, la profondeur de la nappe perchée fait ressortir deux zones : une **zone aval** où le quasi-affleurement de la nappe en améliorant l'alimentation hydrique du riz compense largement la faible fertilité minérale et une **zone médiane** à nappe profonde et à fertilité extrêmement faible. La zone médiane constitue une discontinuité physique, chimique et hydrologique du "continuum rizicole" du bas versant.

Les relevés pédologiques ont montré que l'HVP a une surface ondulée dans un site et régulière dans l'autre. Ceci commande largement l'écoulement et la forme du volume mouillé par la nappe. Lorsque la surface est régulière l'écoulement se fait de façon uniforme et l'épaisseur de l'eau augmente d'amont en aval. Lorsque cette surface est ondulée, l'écoulement se fait suivant des directions préférentielles : dans les dépressions de l'HVP, la lame d'eau est épaisse et perdure tandis qu'elle est mince et fugace sur les parties hautes. Ainsi, la forme de l'HVP a une grande influence de sur l'alimentation hydrique du riz. Les rendements obtenus dans les zones hautes de la surface ondulée sont généralement plus faibles.

Dans les zones médiane et amont où la nappe devient trop profonde pour permettre la culture du riz, d'autres cultures (pérennes ou annuelles) à enracinement puissant peuvent, alors, mettre en valeur la nappe perchée. Les sols gris autorisent donc une diversification des cultures dans les bas versants des vallées intérieures du socle granitique tropical ouest africain. L'apport d'engrais est primordial pour compenser la pauvreté native de ces sols.



**MOTS**