

THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE PARIS 6.

Spécialité : Pédologie.

Présentée

par M. Henri ROBAIN

pour obtenir le titre de docteur de l'Université de Paris 6.

ORGANISATION ET TRANSFORMATIONS DANS UNE COUVERTURE  
FERRALLITIQUE DE GUYANE FRANÇAISE.

Soutenue le 26 Mai 1989,

devant le jury composé de :

MM. A. MARIOTTI (Président)  
F.X. HUMBEL (Rapporteur)  
G. PEDRO (Rapporteur)  
C. CHEVERRY (Examineur)  
D. TESSIER (Examineur)

Ce travail est dédié :

à ma famille :

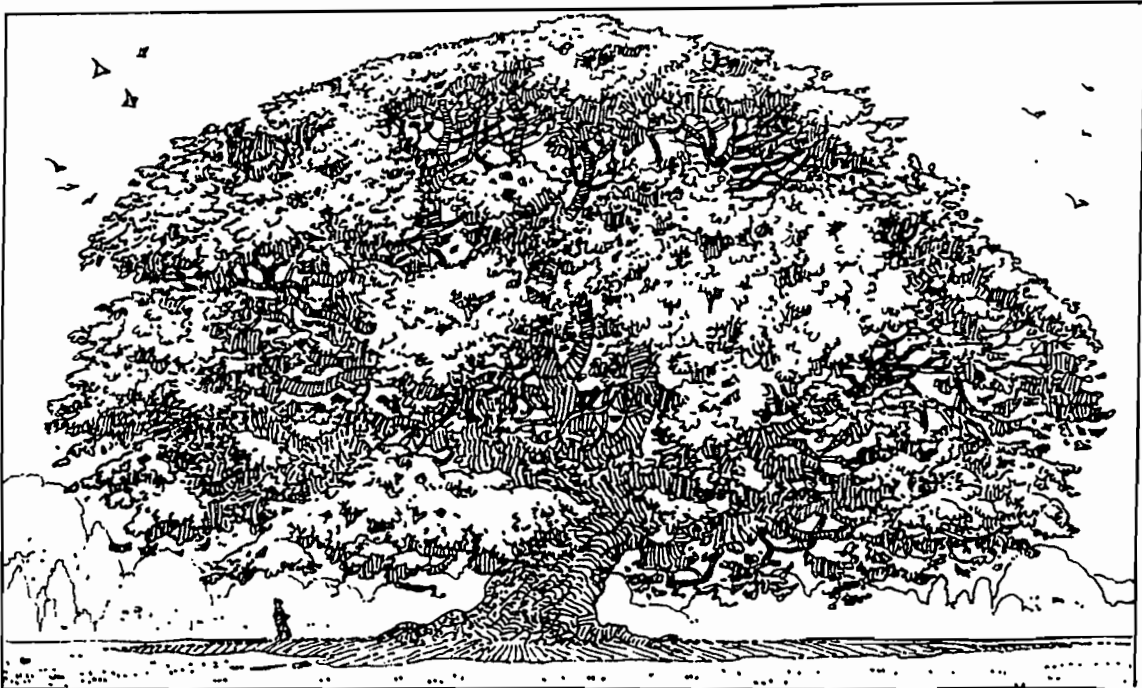
Mes parents;

Ma soeur, Anne-Marie;

Mon épouse, Agnès;

et mes enfants, Thibaut, Guillaume et Gauthier.

Sans eux, rien n'aurait pu exister pour moi.



MORPILS

"L'humble attend tout de DIEU,  
et rapporte tout à DIEU."

Pasteur BEGENER.

"Science et foi ne s'excluent pas et ne se contredisent  
pas car elles ne se situent pas sur le même plan. L'une  
étudie ce qui est repérable et général, l'autre  
s'attache à ce qui est individuel et unique."

Jean DELUMEAU ("Le savant et la foi")

## REMERCIEMENTS.

Je tiens ici à rappeler que ce travail n'est pas l'oeuvre d'un seul individu. En effet, Un grand nombre de personnes aux compétences et aux responsabilités très diverses m'ont permis de travailler dans de bonnes conditions et de beaucoup apprendre :

A. MARIOTTI, le président de mon jury de soutenance. Il a accepté d'aplanir pour moi, et ceci de façon exceptionnelle, un grand nombre de difficultés administratives.

G. PEDRO, le premier rapporteur de mon jury de soutenance. Il a obtenu une bourse MRST pour financer ce travail et a réussi le tour de force de me faire rédiger ce mémoire en moins de quatre mois.

F.X. HUMBEL, le second rapporteur de mon jury de soutenance. Dès mon travail de DEA, il m'a ouvert les yeux sur la valeur de l'approche dite de "l'analyse structurale".

D. TESSIER, examinateur de mon jury de soutenance. Il m'a accueilli dans son laboratoire pour le "rush" final et m'a apporté à cette occasion un soutien moral et scientifique de tout premier ordre.

C. CHEVERRY, examinateur de mon jury de soutenance. Il conservera toujours, pour moi, la paternité de ma vocation de pédologue et de chercheur, car c'est lui et ses collaborateurs qui m'ont formé au cours des enseignements reçus à l'ENSAR.

R. BOULET, bien qu'absent de mon jury de soutenance, il m'a encadré pendant tout le temps passé en Guyane Française et surtout a réussi à me communiquer son enthousiasme pour la discipline et en particulier pour "l'analyse structurale. De plus, il m'a énormément appris, tant sur le terrain que devant un microscope optique.

A ce "noyau dur" se rattache encore un très grand nombre de personnes.

En Guyane Française :

J. TISSANDIER et J. MICHOTTE, directeur successifs du centre ORSTOM de Cayenne; qui se sont toujours intéressés de près ou de loin à mes travaux et ont rendu mon séjour en Guyane matériellement très agréable.

B. COLLETTE, E. DELACOUR, Mme AGNES, Mme SAINTINE, Mme GANTEAUME, agents administratifs toujours efficaces et disponibles du centre.

P. MAZOYER, chef du garage ORSTOM; qui a toujours mis à ma disposition de "bons" véhicules et m'a appris énormément de choses dans le domaine de la mécanique auto.

M. et C. GRIMALDI, L. VEILLON, P. MEINDRE, collègues de la section de pédologie de l'ORSTOM Cayenne; auprès de qui j'ai énormément appris que ce soit dans le domaine de l'analyse structurale, de la physique du sol, de la géochimie ou de la micro-informatique.

J.J. ROSTAN, "Tonton" ZEPINA, agents techniques de la section de pédologie; je garderais longtemps le souvenir d'une certaine mission de deux semaines où nous portâmes près de 2 tonnes d'eau du campement au site d'étude.

Lewan, Théo, Simon, Desmo; Manoeuvres extrêmement compétants et efficaces dans un milieu forestier parfois oppressant, mais qu'ils connaissent parfaitement.

E. PREVOST, VAT IFREMER et ami de l'ENSAR; qui m'a conseillé pour les traitements statistiques des données.

En France Métropolitaine :

Mme DORE, agent administratif de l'ORSTOM rue LaFayette, malheureusement décédée; qui réussit à débrouiller des situations administratives souvent complexes.

Mme MASCRET, secrétaire du centre ORSTOM de Bondy; qui malgré son age respectable fît la queue au service des inscriptions de l'université, alors que j'étais en Guyane.

C. GENCE, M. GERARD, S. LOCATI, G. BELIER, M. DELAUNE, Mme MILLOT, Agents du centre ORSTOM de Bondy; qui m'ont grandement aidé au cours d'un séjour d'un peu plus de 6 mois à Bondy, pendant lequel j'ai travaillé sur des problèmes minéralogiques (MEB couplé à une microsonde, préparation d'argile pour DRX)

F. ELSASS, J.C. MILLOT, J. LAPEYRONIE, M. HERVIO, agents du laboratoire des sols du CNRA de Versailles; qui m'ont aussi aidés pour les questions de minéralogie (MET) et m'ont soutenus lors du "rush" précité.

Toujours au CNRA, il faut ajouter le personnel de l'imprimerie et les gardiens de nuits... qui m'apportèrent un large soutien logistique, comme la reliure rapide de ma thèse (4 heures) ou l'ouverture de batiments en dehors de toute heure "raisonnable".

Enfin, et toujours à propos de ce "rush final", je dois aussi remercier mes beaux parents qui m'hébergèrent pendant tout ce temps, afin que je ne perde aucun temps avec les problèmes d'intendance (il fallait bien se nourrir pour mener à bien la tâche qui m'était confiée...)

P. CURMI, P. AUROUSSEAU, O. QUIDU, agents de l'INRA de Rennes; avec qui, bien qu'elles ne fussent pas aussi importantes qu'elles auraient pu l'être, j'ai conservé des relations de travail dans le domaine de "l'analyse structurale", de la microscopie optique et de la minéralogie.

Le personnel technique "soft" et "hard" d'AMSTRAD France; qui, oubliant toute commande rémunératrice, réussit à récupérer en dernière limite 10 Mégas Octés de fichiers perdus sur un disque dur défectueux.

et tout ceux qui m'excuseront d'avoir oublié leur nom, mais pas les services qu'ils m'ont rendus.

Que toutes ces personnes  
Qui m'ont aidé dans mes recherches  
M'ont suivi dans les moments d'enthousiasme,  
Et m'ont soutenu dans les moments difficiles  
Soient ici remerciées de tout coeur,  
Car sans elles ce travail n'aurait pu aboutir.

## INTRODUCTION GENERALE

Les couvertures ferrallitiques de la zone intertropicale représentent une partie importante des sols qui se développent à la surface du globe terrestre. Ils sont encore souvent occupés par la forêt équatoriale humide. De nombreux auteurs ont déjà souligné que, du fait de fortes contraintes, ces sols ne présentent généralement pas un potentiel agricole élevé (on peut se rapporter à ce propos à l'ouvrage de synthèse de J.BOYER-1982) Ces contraintes sont nombreuses et leur intensité est variable. La connaissance de la nature et de l'origine des processus qui siègent au sein de ces sols est donc une base indispensable pour orienter le choix des régions à aménager en priorité et celui des spéculations les mieux adaptées.

En Guyane Française, les infrastructures (tant matérielles, que sociologiques...) qui permettraient de mettre en valeur l'intérieur de ce département sont, pour l'instant, extrêmement limitées. L'effort des instances chargées du développement et de l'aménagement du territoire, porte donc essentiellement sur une bande littorale n'excédant pas une quarantaine de kilomètres de largeur.

La connaissance détaillée des sols de cette zone, entreprise depuis plus de dix ans, est déjà bien avancée. En 1978, une cartographie synthétisant les études alors abouties a été établie (*Atlas de la Guyane-1979*). Mais les études de détail se poursuivent afin de connaître plus précisément les mécanismes de la genèse des différents systèmes de sols recensés. Elles concernent les couvertures pédologiques développées tant sur le socle cristallin (R.BOULET, J.M.BRUGIERE et F.X.HUMBEL-1979 ; R.BOULET-1981 ; J.M.GUEHL-1984 ; E.FRITSCH-1984 ; E.FRITSCH et al.-1986...), que sur les formations sédimentaires de la plaine côtière ancienne (J.F.TURENNE-1975 ; R.BOULET et al.-1984 ; Y.LUCAS et al.-1986 et 1988). Dans la majorité des cas ces sols présentent des variations latérales importantes. Il s'est avéré que cette hétérogénéité résulte de diverses pédogénèses ou évolutions actuelles, dont la dynamique est essentiellement latérale.

Dans ce mémoire, nous nous proposons d'étudier une couverture pédologique située, dans une région occidentale de Guyane Française (Saint Laurent du Maroni), dont l'organisation apparaît originale par rapport à l'ensemble de connaissance déjà acquis.

Ce travail a été réalisé au sein de l'équipe de pédologie du centre ORSTOM de Cayenne. Il constitue une contribution à la connaissance détaillée des systèmes pédologiques qui se développent sur le socle cristallin de la Guyane Française.

Le plan de l'étude comprend trois parties :

L'introduction présente les caractéristiques du milieu naturel de la zone d'étude. Ces caractéristiques sont replacées dans le contexte plus général de la Guyane Française.

I- La première partie présente l'anatomie de la couverture pédologique. L'organisation bidimensionnelle du sol est décrite en détail au long de toposéquence caractéristiques. Puis les différents volumes mis en évidence sont étudiés aux échelles macro- et microscopique. Cette étude met en évidence de grands ensembles de différenciation pédologique.

II- La deuxième partie présente les caractéristiques analytiques (chimiques et physiques) de la couverture pédologique étudiée.

- D'une part, la description statistique multivariable d'un vaste recueil de données analytiques, classiques en science du sol, permet de valider les distinctions entre les différents domaines de la couverture de sol, et de préciser la nature de certains processus de différenciation.

-D'autre part, la différenciation structurale majeure au sein de cette couverture de sol est étudié en détail grâce à un ensemble de mesures physiques.

III- La troisième partie présente la variabilité tridimensionnelle de la couverture de sol, qui permet de cerner la dynamique relative des différentes transformations et leurs relations avec la forme du modelé. Puis après une synthèse des diverses données, des enseignements généraux à retirer de cette étude seront proposés.

\*  
\* \*

SOMMAIRE.

INTRODUCTION GENERALE.

INTRODUCTION.

PRESENTATION DU MILIEU NATUREL.

- 1- Situation de l'étude.
- 2- Nature du couvert végétal.
- 3- Le cadre climatique.
- 4- Le cadre géologique.

PREMIERE PARTIE.

CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA  
DIFFERENCIATION DE LA COUVERTURE DE SOL.

CHAPITRE I.

DEMARCHE ET NOMENCLATURE ADOPTEE.

- 1- Présentation de la démarche de l'analyse structurale.
- 2- Définition d'une nomenclature.

CHAPITRE II.

PRESENTATION GENERALE DE L'UNITE DE PAYSAGE ETUDIEE.

- 1- Topographie.
- 2- Organisation de la couverture pédologique.

CHAPITRE III.

CARACTERISATION DES TROIS DOMAINES  
DE L'AMONT DE LA COUVERTURE DE SOL.

- 1- Etude du domaine rouge : Fosses T1 et T2.
- 2- Etude du domaine intermédiaire : Tranchée T3.
- 3- Etude du domaine brun-jaune : Fosses T4 et T5.

CHAPITRE IV.

PRINCIPAUX TRAITS DE LA DIFFERENCIATION  
DE L'AMONT DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

- 1- Le manteau d'altération.
- 2- Spécificité de la différenciation pédologique des trois domaines.
- 3- Conclusions.

SECONDE PARTIE.

ETUDE DE LA VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES  
GEOCHIMIQUES ET HYDROPHYSIQUES.

CHAPITRE V.

CONFRONTATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE MORPHOLOGIQUE A UNE  
CARACTERISATION ANALYTIQUE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

- 1- Présentation des données.
- 2- Analyse multidimensionnelle.
- 3- Conclusion.

CHAPITRE VI.

*ETUDE DE LA PEDOGENESE A L'INTERFACE DES DOMAINES INTERMEDIAIRE ET BRUN-JAUNE. MISE EN EVIDENCE DE DIFFERENTS NIVEAUX D'EVOLUTION DE LA STRUCTURE.*

- 1- Présentation du site étudié.
- 2- Caractérisation de la pédogénèse par des mesures physiques.

**TROISIEME PARTIE.**

**EVOLUTION DU PAYSAGE ET SYNTHESE DES PROCESSUS MAJEURS MIS EN JEU DANS LA DIFFERENCIATION LATERALE DE LA COUVERTURE DE SOL ETUDIEE.**

CHAPITRE VII.

*ETUDE TRIDIMENSIONNELLE DES DOMAINES DE DIFFERENCIATION.*

- 1- Choix des courbes d'isodifférenciation.
- 2- Disposition des courbes et relation avec le modelé.
- 3- Conclusion.

CHAPITRE VIII.

*CONVERGENCES ET ORIGINALITES DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE DE LA REGION DE SAINT LAURENT DU MARONI PAR RAPPORT AUX AUTRES SYSTEMES DE TRANSFORMATIONS DE GUYANE FRANÇAISE.*

- 1- Processus pédogénétiques majeurs conduisant à la différenciation actuelle de la couverture pédologique.
- 2- Enseignements généraux.

**CONCLUSION GENERALE.**

\*  
\* \*

**INTRODUCTION.  
PRESENTATION DU MILIEU NATUREL.**

**1- SITUATION DE L'ETUDE.**

L'étude présentée a été menée en **Guyane Française**. Ce département d'Outre-mer est situé au Nord-Est du continent Sud Américain. Il s'étend entre les 2 et 6 degrés de latitude Nord et entre les 54 et 56 degrés de longitude Ouest, sur une surface d'environ 90000 km<sup>2</sup> (Fig.1).

L'unité de paysage étudiée se situe au Nord-Ouest de la Guyane Française, à une vingtaine de kilomètres au SSE de la ville de Saint Laurent du Maroni.

**2- NATURE DU COUVERT VEGETAL.**

La végétation correspond à une formation forestière secondaire. Elle résulte de la conjugaison d'une exploitation agricole traditionnelle et itinérante (la culture d'abattis) et d'une exploitation des essences de valeur par l'industrie forestière. L'intensité de ces deux modes d'exploitation de la forêt a été relativement importante. Le sous bois est donc dense et assez difficilement pénétrable. La hauteur, mais surtout, le diamètre des arbres sont peu importants par rapport à l'image que l'on se fait généralement de la forêt équatoriale. Par contre, le nombre très important d'essences différentes, d'épiphytes et de lianes répond au cliché habituellement reçu pour ce milieu.

Trois formations végétales assez distinctes semblent se développer (Fig.2). Elles sont en relation assez étroite avec les grands traits géomorphologiques de l'unité de paysage:

- 1- Sur le haut des collines, le sous-bois est relativement dégagé et des arbres de dimension importante s'élèvent de place en place.
- 2- Dans le bas des versants, au niveau de zones planes, le sous bois devient rapidement extrêmement dense et la taille des arbres est plus modeste. Un nombre très important de chablis (Trouée dans la voûte forestière occasionnée par la chute d'un ou plusieurs arbres) rend la pénétration de ces zones encore plus difficile.
- 3- Enfin, dans les bas fonds, un peuplement dense de petits palmiers (*Euterpe Oleracea*) se développe. Ces zones sont noyées pendant la majeure partie de l'année. Pour échapper à ce milieu asphyxiant les racines présentent souvent des coudes au dessus de la surface du sol.

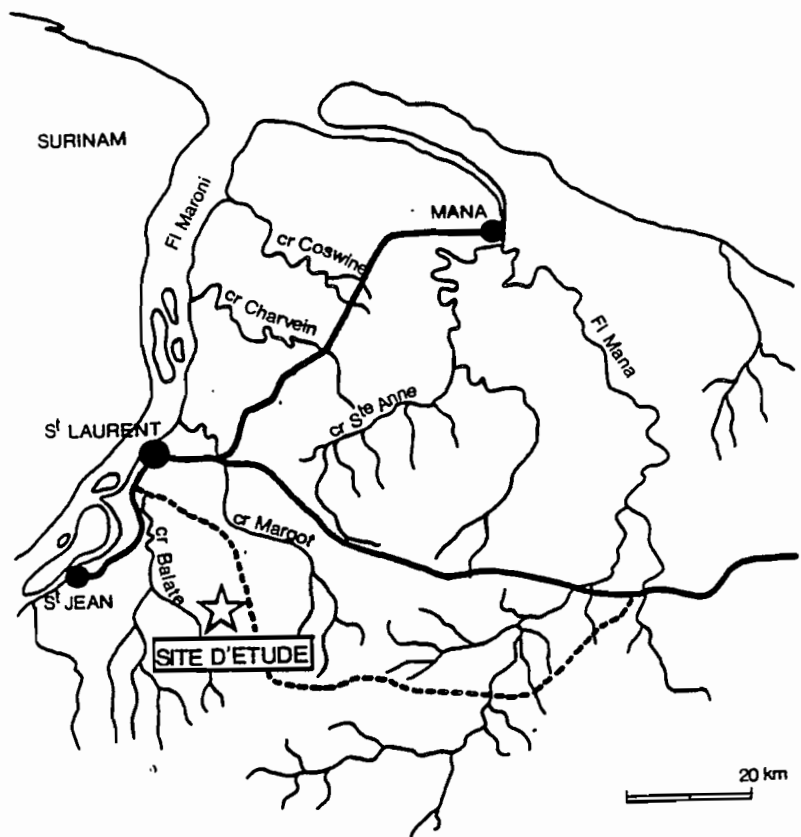
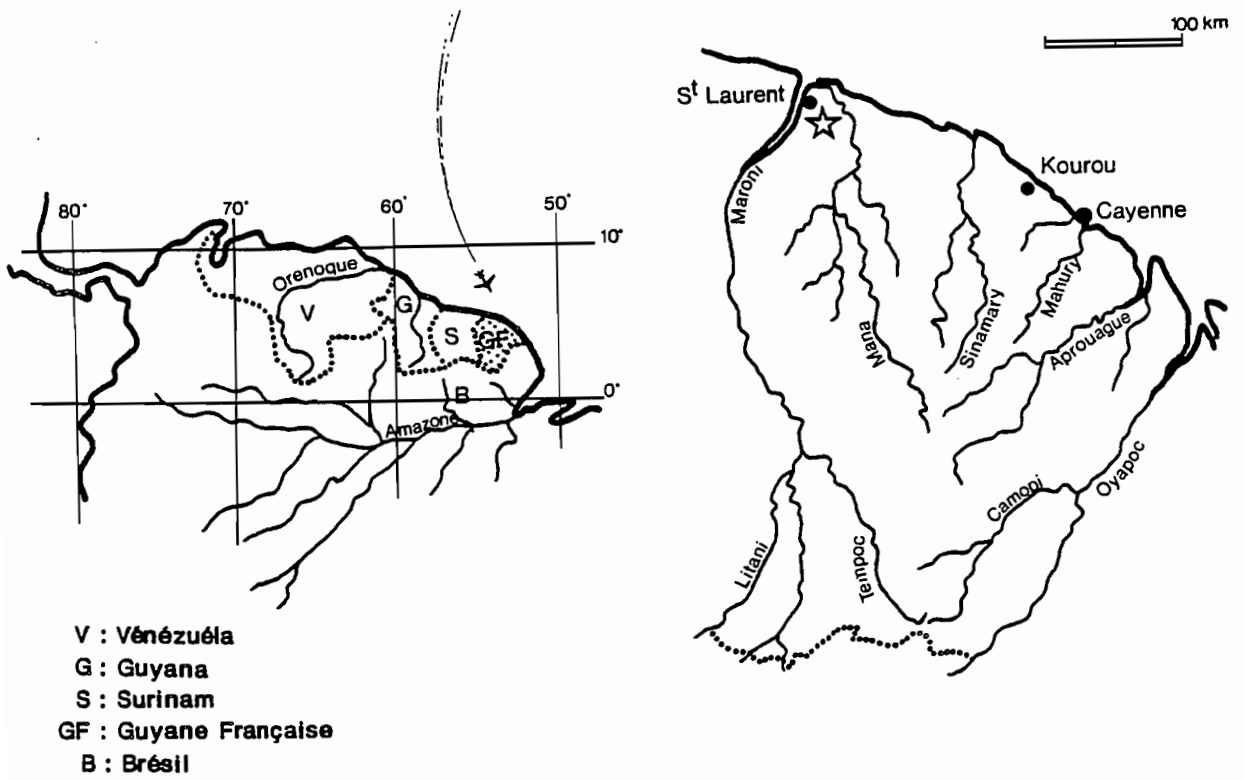


Figure 1 : Localisation de l'étude.

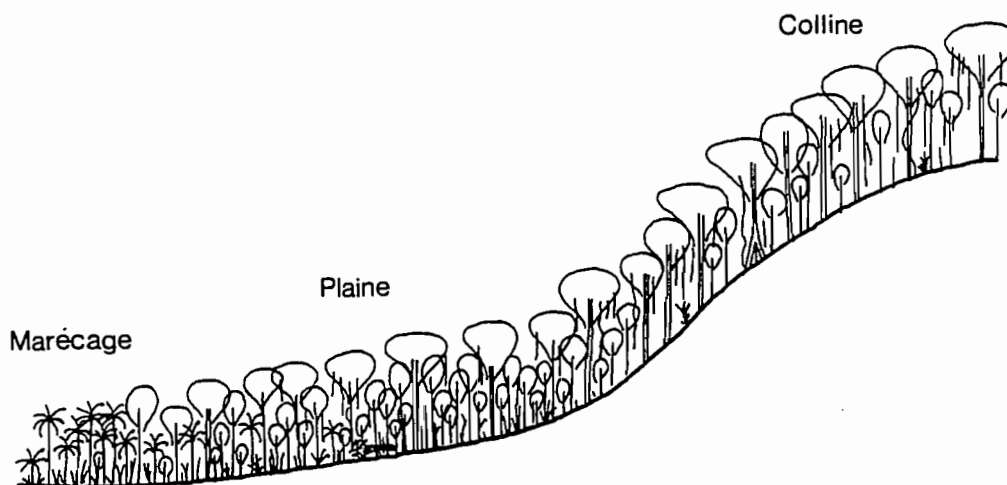


Figure 2 : Aspect de la forêt le long de l'unité de modelé étudiée.

### 3- LE CADRE CLIMATIQUE.

La connaissance de la climatologie est une donnée importante pour la détermination du cadre de l'évolution pédologique générale d'une zone (G.PEDRO-1984). Les valeurs moyennes des caractéristiques pluviothermiques définissent les grandes lignes du type et du degré d'altération. Mais il est aussi important de connaître les caractéristiques de l'humidité atmosphérique, ainsi que la variabilité de l'ensemble de ces paramètres. En effet, cet aspect de la climatologie conditionne en grande partie l'état du système eau-argile. De plus, ce sont les conditions extrêmes (périodes de stress) qui marquent, souvent de façon irréversible, l'histoire hydrique de ce système.

#### 3.1- REGIME CLIMATIQUE DE LA GUYANE FRANÇAISE

Les caractéristiques climatiques de la Guyane Française sont assez typiques de la zone équatoriale Nord (M.BOYE, G.CABAUSSEL, Y.PERROT-1978). Cependant, cette région présente l'originalité d'être alternativement soumise à l'influence des alizés de NE et de SE. Ainsi, au cours de l'année, la Guyane française est balayée par une zone de basse pression relative qui correspond à la convergence des alizés (la Zone Intertropicale de Convergence ou ZIC). Le déplacement de la ZIC est causé par la variation relative d'activité des deux principaux centres anticycloniques de l'Atlantique intertropical (Anticyclone des Açores au Nord, et anticyclone de Sainte Hélène au Sud).

Pendant neuf mois, de Novembre à Juillet, la ZIC se déplace progressivement vers le Sud, puis revient vers le Nord. La Guyane est donc soumise aux masses d'air humide des alizés de NE qui occasionnent les fortes averses de la saison des pluies (Cependant, les plus fortes précipitations corres-

pondent aux mois où la ZIC traverse la Guyane Française). En revanche, d'Aout à Octobre, quand la ZIC occupe une position Septentrionale, la Guyane est soumise aux alizés de SE qui amènent des masses d'air plus chaud et plus sec, caractéristiques de la saison sèche. Cette double influence entraîné une très grande variabilité interannuelle.

De plus, les paramètres climatiques présentent une grande variabilité selon les stations. En effet, les influences respectives de l'éloignement de la mer, de la position des reliefs et de l'orientation de la côte, se conjuguent de façon diverse selon la direction des vents dominants, définissant ainsi différentes zones climatiques. Un découpage basé sur la hauteur de précipitation annuelle, la durée de la saison sèche et les caractéristiques de l'inflexion de pluviométrie au cours de la saison des pluies (le "petit été de Mars"), a été proposé (Ph.GODON-1981). Il correspond à un zonage agro-climatique qui rend bien compte des contraintes imposées à l'agriculture par le climat de la Guyane.

### 3.2- DONNEES CLIMATIQUES DE LA REGION DE SAINT LAURENT DU MARONI.

La région de Saint Laurent du Maroni présente des caractéristiques climatiques interannuelles relativement plus régulières que les autres zones du littoral (au sens large). En effet, cette région se trouve dans le prolongement d'une unité géomorphologique nommée la chaîne Septentrionale. Bien que le relief de cet ensemble soit faiblement accusé, il joue un rôle de tampon, "essorant" en grande partie les masses d'air venant de l'Est. Les valeurs présentées dans ce paragraphe correspondent aux moyennes établies sur la période Mai 1949-Mai 1988. (Tableau 1)

Les fluctuations intermensuelles sont assez modérées, présentant des amplitudes relativement faibles.

La pluviométrie totale (plus de 2600 mm par an) et la température moyenne (26,5 C) sont relativement élevées. Ces deux premiers paramètres climatologiques définissent un contexte d'altération intense (G.PEDRO-1984).

	Moyenne*	Minimum	Maximum
Température	26,5 C	22,0 C**	32,7 C**
Pluviométrie	218 mm	97 mm	382 mm
Evaporation Piche	50 mm	35 mm	64 mm
Humidité relative	80,4 %	55,2 %**	98,3 %**
Insolation	183 h	141 h	241 h

Tableau 1. Caractéristiques Climatiques annuelles de la région de Saint Laurent du Maroni.

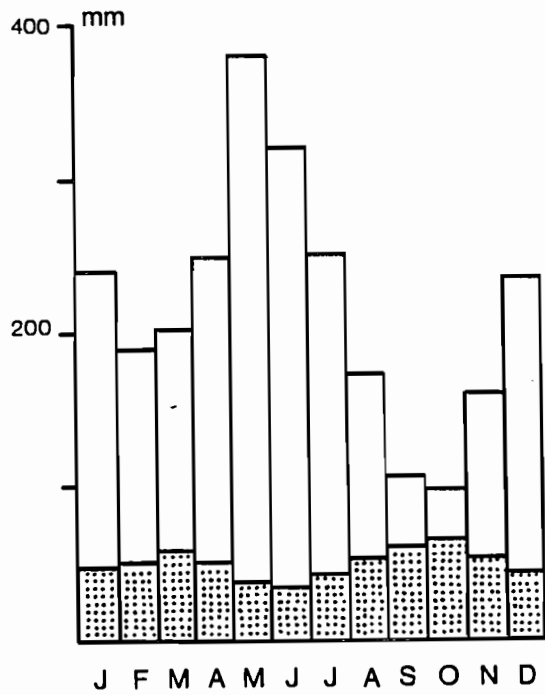
\* Des moyennes mensuelles.

\*\* Des extrema moyens mensuels

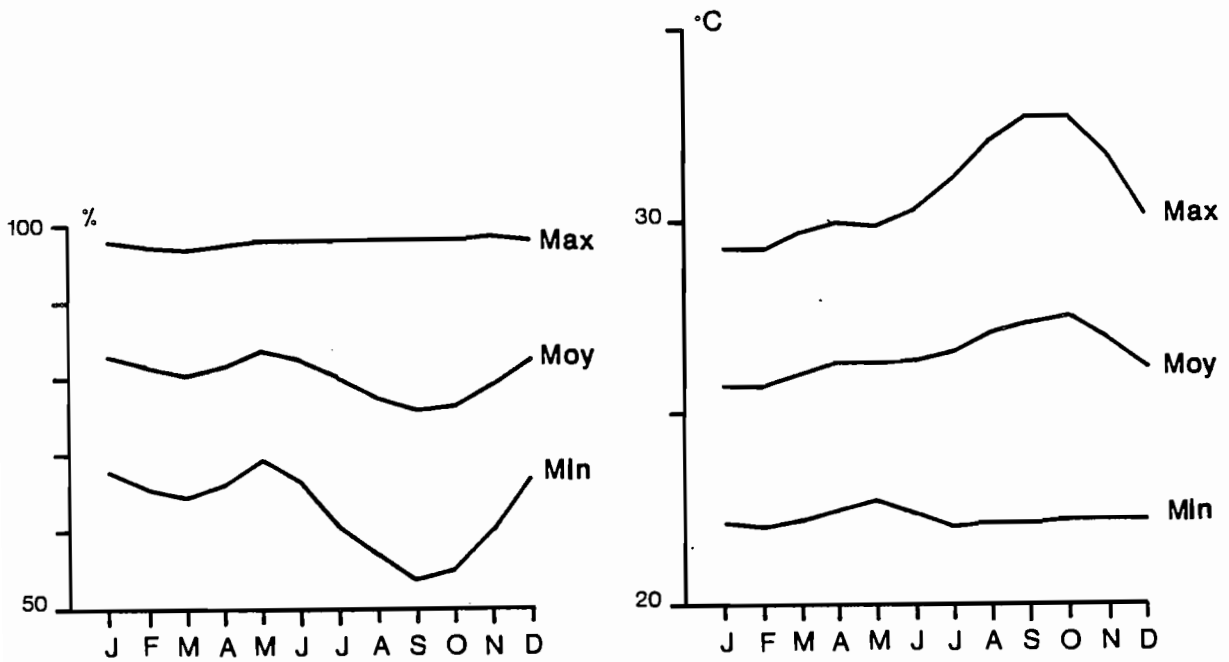
Au cours de l'année, la pluviométrie présente un minimum centré sur les mois de Septembre, Octobre et Novembre (saison sèche) et une légère inflexion pendant les mois de Février et Mars ("Petit été") (*Fig.3a*). Les fluctuations de la température moyenne et de la moyenne des maxima, présentent un profil inverse à la pluviométrie, les maxima correspondant aux périodes les moins pluvieuses. Par contre, la moyenne des minima présente un profil plus régulier avec une légère augmentation centrée sur le "petit été" (*Fig.3c*).

Le niveau de l'évaporation, mesurée au Piche, est relativement modéré (environ 600 mm). Au cours de l'année, il fluctue en sens inverse du niveau de pluviométrie, mais ne le dépasse jamais, même pendant les mois correspondant à la saison sèche (*Fig.3a*). De ce point de vue, la dénomination de saison sèche prend donc un aspect relatif, car le stress qu'a à subir la végétation est, en moyenne peu important.

Enfin, l'humidité relative moyenne est élevée, fluctuant légèrement autour de 80%, parallèlement à la pluviométrie (*Fig.3b*). Cependant, du fait de valeurs maximales pratiquement constantes (environ 98%, avec une légère diminution centrée sur le "petit été"), cette moyenne masque des valeurs minimales nettement plus contraignantes, de l'ordre de 55%, pendant les mois de saison sèche. Il est donc à prévoir que le système eau-argile de ces sols subit en surface des contraintes relativement importantes pendant une partie de la période diurne des mois de saison sèche, qui de ce nouveau point de vue mérite bien sa dénomination.



-A-



-B-

-C-

Figure 3 : Fluctuations intermensuelles des paramètres climatologiques de la station de St Laurent du Maroni (Source : Météorologie Nationale).

-A- Pluviométrie et évaporation Piche.

-B- Humidité relative.

-C- Température

L'ensemble des considérations concernant les paramètres caractérisant le cycle saisonnier peut être synthétisé sur un graphique résultant d'une analyse factorielle (analyse en composantes principales, ou ACP) du tableau croisant les mois de l'année (lignes ou individus) et les paramètres climatiques (colonnes ou variables). En effet, les fortes corrélations qui existent entre les fluctuations intermensuelles de la plupart des paramètres climatiques permettent d'intégrer la quasi totalité des informations météorologiques sur un seul graphique (Fig.4).

L'axe horizontal (premier axe factoriel) intègre les fluctuations d'un ensemble de paramètres fortement corrélés deux à deux (taux de corrélation de 75 à 90%): pluviométrie, humidité relative minimum, température maximum, insolation et évaporation. Les variables corrélées positivement sont proches, alors que les variables corrélées négativement sont diamétralement opposées par rapport à l'origine. L'ensemble des mois de l'année est classé selon ce facteur, avec une nette séparation entre les mois de saison sèche (Aout, Septembre, Octobre et Novembre) et les mois pluvieux. C'est l'information majeure contenue dans le tableau de données car elle représente 59,8% de son inertie.

L'axe vertical (deuxième axe factoriel) correspond uniquement à l'humidité relative maximum. Il sépare le "petit été de Mars" des autres mois pluvieux, pendant lesquels ce paramètre est relativement plus élevé. Cette information représente 22,6% de l'inertie du tableau de données.

Seule la température minimum est mal représentée dans ce graphique ; elle correspond au troisième axe factoriel qui représente 11,6% de l'inertie. Par rapport à la forme du cycle saisonnier exprimée sur ce graphique, elle permet de distinguer les mois d'Avril et de Juillet, la température minimum étant plus élevée quand on se dirige vers le maximum pluviométrique que lorsque l'on s'en éloigne.

Cette représentation inhabituelle des fluctuations climatiques saisonnières présente l'avantage d'offrir une vision cyclique du climat, plus parlante que les classiques histogrammes.

\*  
\* \*

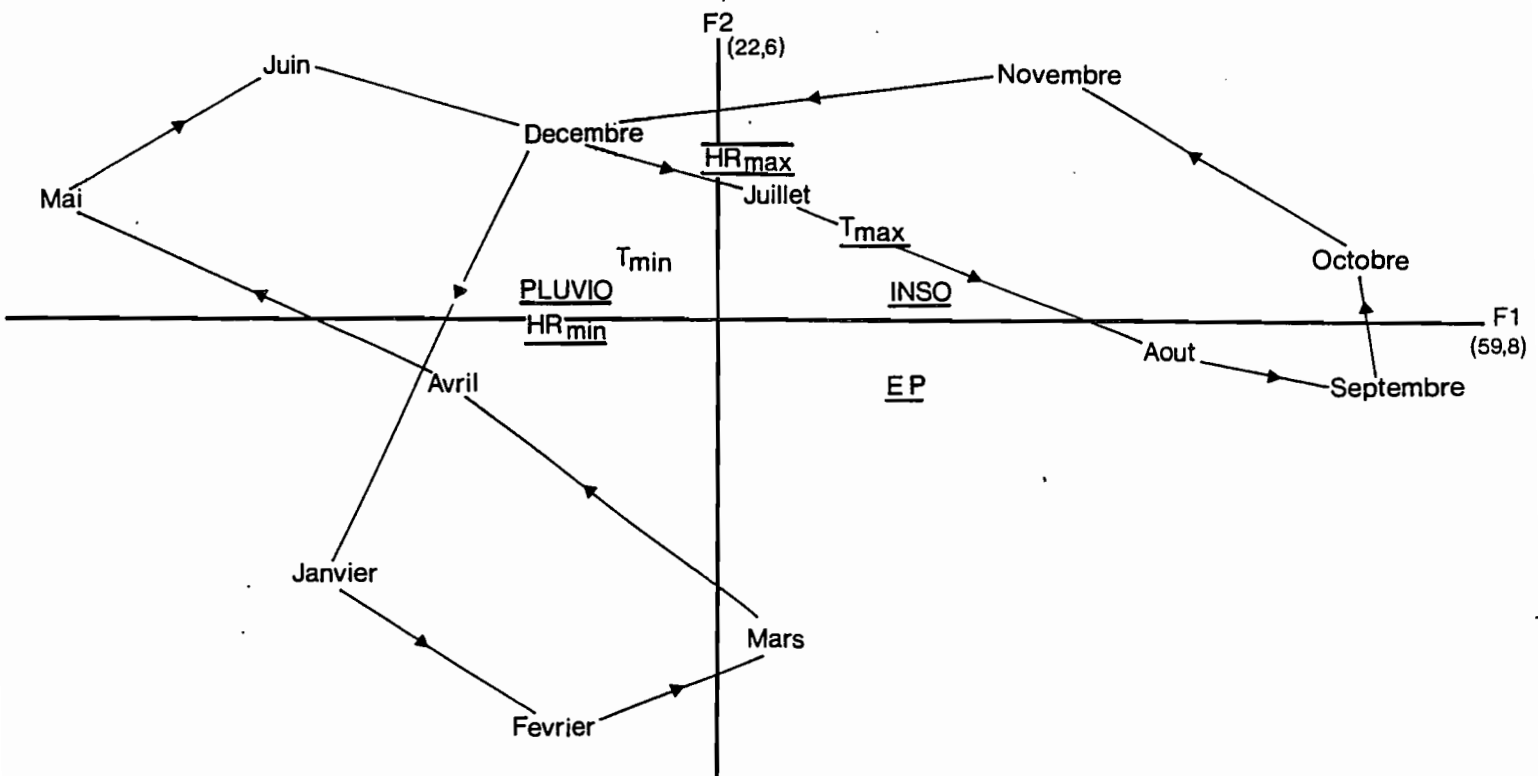


Figure 4 : Premier plan factoriel de l'analyse en composante principale des paramètres climatologiques mensuels.

#### 4- LE CADRE GEOLOGIQUE.

##### 4.1- LE CONTEXTE GENERAL DE LA GUYANE FRANÇAISE.

La Guyane Française fait partie d'un ensemble beaucoup plus vaste qui s'étend de l'Orénoque (au Vénézuéla) jusqu'à la région de l'Amapa (au Brésil): le bouclier Guyanais.

Il s'agit d'un domaine géosynclinal très ancien (la chaîne Guyano-Eburnéenne). Il a connu plusieurs mégacycles géologiques qui s'étagent de l'âge Hyléen jusqu'à l'âge Caraïbe. Chacun de ces cycles comporte des phases de sédimentation, puis d'orogénèse et enfin de granitisation et de métamorphisme (B.CHOUBERT-1974). Des phases d'érosion très actives se sont souvent intercalées entre ces différents événements. Celles ci ont contribué à un aplanissement continu du relief général, mais aussi à la mise en place d'une géologie extrêmement complexe, en révélant progressivement une véritable mosaïque de formations caractéristiques de tous les mégacycles.

La portion du bouclier Guyanais correspondant à la Guyane Française (Fig.5), comprend une vaste plate forme (le massif central) flanquée par deux alignements montagneux de faible altitude (La chaîne Inini-Camopi et la chaîne Septentrionale).

Le massif Central est relativement caractéristique de l'ensemble du bouclier Guyanais. C'est une mosaïque de formations stabilisées, ne se déformant plus que sous l'action du lent soulèvement général du bouclier #. Les deux chaînes qui le bordent sont des domaines géosynclinaux où, au cours des âges Précambriens, se sont déposés des sédiments d'origine différente: d'abord Flyshoïdes, puis détritiques continentaux (série Bonidoro) et enfin argilo-schisteux (série de l'Orapu).

Ces terrains ont subi des plissements et des recristallisations métamorphiques d'intensité variable, à l'occasion de divers épisodes de granitisation. La dernière en date est d'âge Caraïbe (2 à 1,8 milliards d'année).

Ce premier ensemble occupe plus des neuf dixièmes de la surface de la Guyane Française. Il est recouvert, sur la bande littorale, par différentes formations sédimentaires d'âge tertiaire et quaternaire. Leur largeur augmente progressivement d'Est en Ouest, pour atteindre une vingtaine de kilomètres dans la région de Saint Laurent du Maroni.

# La portion du bouclier Guyanais qui correspond à la Guyane Française, se soulèverait relativement plus rapidement que les portions des pays voisins. Les deux grands bassins sédimentaires fonctionnels de l'Orénoque et de l'Amazone seraient à l'origine de cette surrection.

Différents épisodes de transgression ont pu être distingués (M.BOYE-1963) :

- La série détritique subcontinentale de base (SDB), constituée de sables et de graviers riches en minéraux lourds.
- La série Coswine, constituée d'argiles marines et de sables.
- La série Démérara, essentiellement argileuse.

L'épaisseur de ces formations est modérée en Guyane française. Elle augmente progressivement d'Est en Ouest, pour atteindre une centaine de mètres d'épaisseur dans la région de Mana. Cet épaissement se poursuit jusqu'à la fosse de Berbice, au Guyana, où l'on observe quelques 2000 mètres de sédiments.

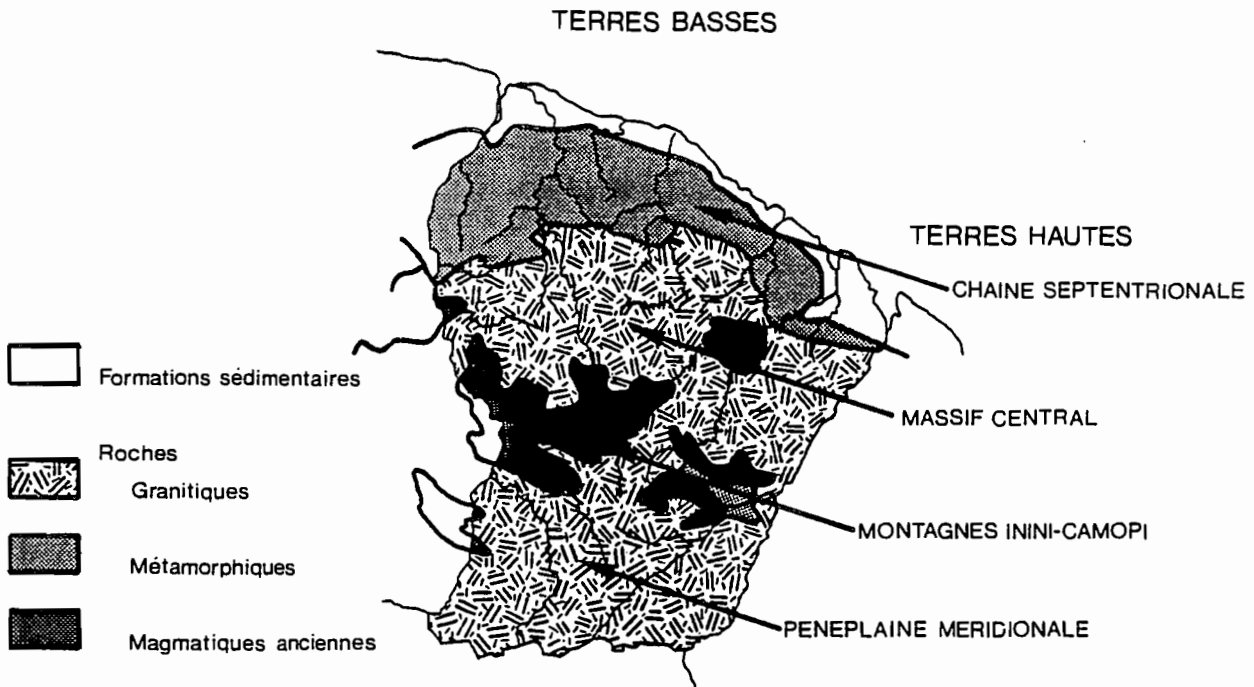


Figure 5 : Grands domaines géologiques de la Guyane Française.

#### 4.2- GEOLOGIE DE LA ZONE ETUDIEE.

##### 4.2.1- DONNEES DE LA CARTE GEOLOGIQUE.

Le site étudié est localisé à proximité de l'interface de deux domaines géologiques de nature différente: les formations précambriennes de la chaîne septentrionale et les formations sédimentaires du littoral (Fig.6).

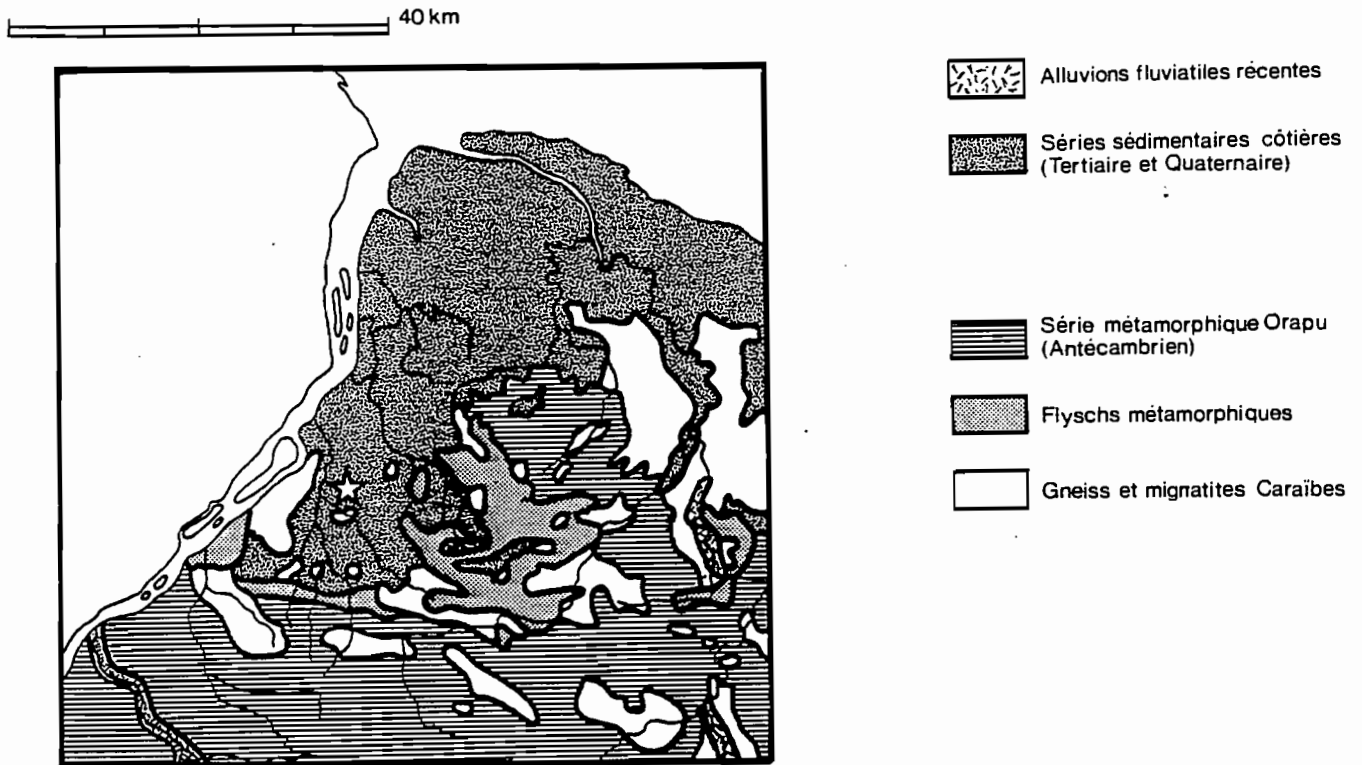


Figure 6 : Contexte géologique du Sud-Ouest de la Guyane Française.

La carte géologique au 1/100.000 (G.C.BROUWER-1961) précise la constitution de ces formations (Fig.7) :

-Les roches Précambriennes présentes dans le secteur de la zone d'étude correspondent essentiellement à des schistes de la série Bonidoro.

Ils forment un bombement anticlinal de structure complexe, fortement tectonisé, qui se termine vers l'Ouest sous les formations postérieures de la série de l'Orapu. Ces roches flanquent donc le synclinorium Septentrional.

Elles présentent un faciès de métamorphisme de contact où la série des séricito-schistes est transformée en micaschistes à staurotide, biotite, rutile et tourmaline. Cette transformation a été causée par des venues de granite métamorphique, d'âge Caraïbe, syn-antéogénétique aux séries Bonidoro et de l'Orapu.

Ce socle granitique est souvent révélé, dans les zones axiales des bombements du massif précédent, par le jeu de l'érosion et de mouvements positifs. Il forme ainsi des massifs circonscrits qui se regroupent en deux unités structurales distinctes. Les unités du Nord de la zone correspondent à une vaste pénéplaine, composée de synclinaux et d'anticlinaux de faible amplitude, qui s'ennoie sous les séries métamorphiques. Par contre, les unités du Sud de la zone correspondent à une bande d'anticlinaux granitisés en concordance structurale parfaite avec les synclinaux des séries métamorphiques qui les séparent.

Le niveau de granitisation de ces roches est peu élevé, il s'agit de granites gneisso-migmatiques. Ils présentent un grain fin, sont nettement orientés, et contiennent de la biotite, souvent écrasée et concentrée, provoquant un litage de la roche.

L'ensemble de ces formations cristallines est parcouru dans toutes les directions par de nombreux filons ou filonets de quartz. En outre, il est fortement affecté par un réseau dense de failles, correspondant à divers épisodes d'orogénèse de la zone.

-Ce massif cristallin plonge, à l'Ouest sous les formations tertiaires de la SDB, ne laissant apparaître que quelques pointement granitiques isolés.

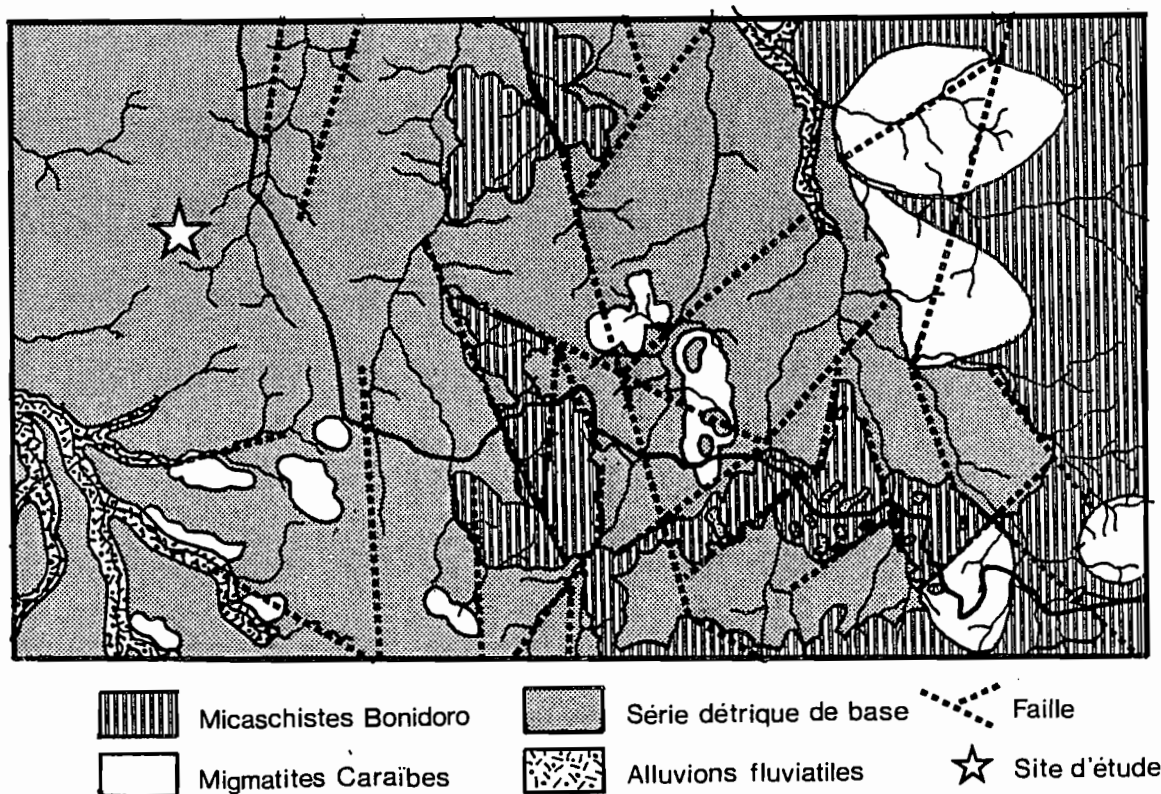


Figure 7 : Géologie des environs du site d'étude.

#### 4.2.2- SUBSTRAT DE LA ZONE ETUDIEE.

La carte géologique situe la zone étudiée au sein de l'unité correspondant à la SDB (Fig.7). Cependant, on soulignera que la détermination cartographique de cette formation semble ici s'appuyer essentiellement sur des critères de cote relative.

En effet, B.CHOUBERT ayant montré qu'à chaque ensemble géologique correspondait un modelé spécifique, ce critère géomorphologique a, par la suite, servi à délimiter les unités des cartes géologiques d'autres zones. Ainsi, on constate ici que les principaux ensembles géologiques reportés sur la carte se callent sur les contrastes géomorphologiques que l'on peut observer grâce à la carte des pentes établie par la D.D.A.F de Guyane # (Fig.8). Les zones où les pentes sont notables sont associées aux roches cristallines : lorsque le relief est émoussé et que les pentes sont comprises entre 12 et 20% le substrat correspond aux roches métamorphiques ; alors que pour les roches granitiques, les pentes sont généralement plus fortes et le relief plus accidenté, avec des sommets accusés. En revanche, les zones où le relief est très avachi avec des pentes faibles sont associées à la SDB.

Il convient dès à présent de signaler que, malgré la forme du modelé, le substrat géologique de l'unité de paysage étudiée correspond à des roches gneisso-migmatiques du socle cristallin et non aux formations sédimentaires de la SDB. Cette convergence morphologique résultant des mécanismes de la genèse des formations superficielles de cette zone, que nous nous proposons maintenant d'étudier.

\*  
\* \*

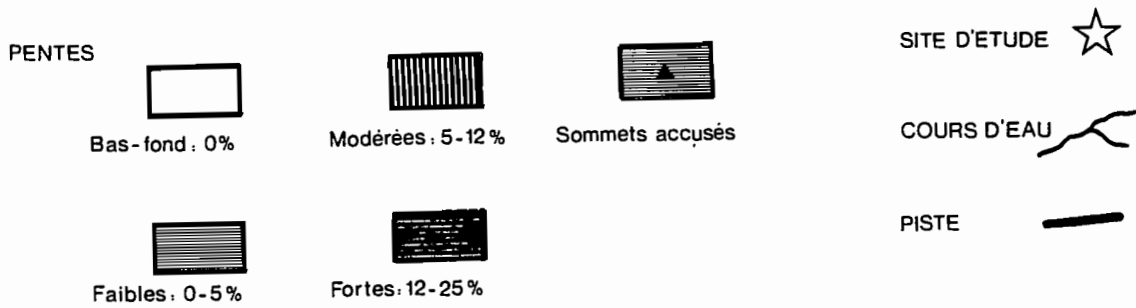
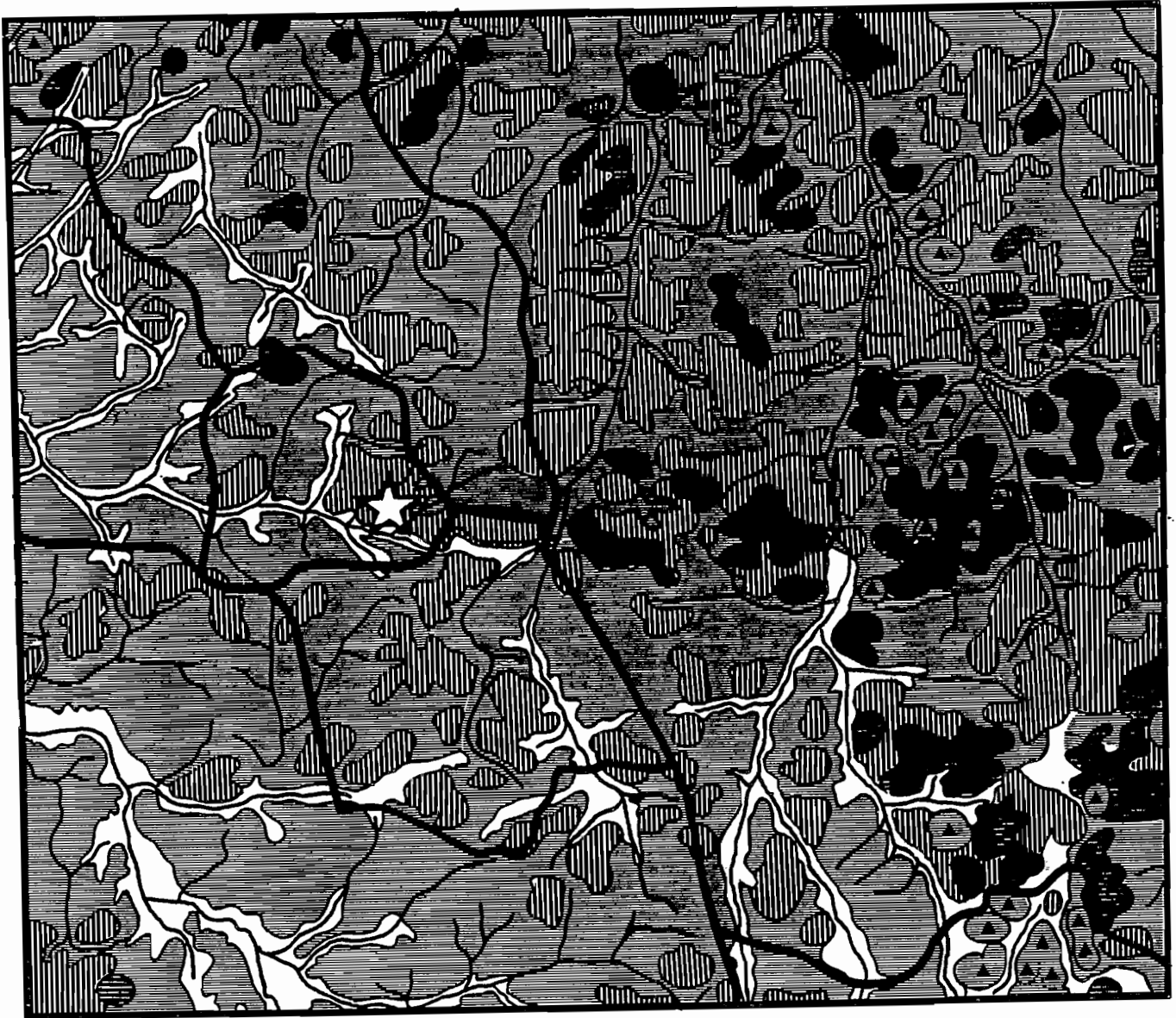


Figure 8 : Carte de pente des environs du site d'étude.

(établie par photo-interprétation  
par la D.D.A.F de Guyane Française)

**PREMIERE PARTIE :  
CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA  
DIFFERENCIATION DE LA COUVERTURE DE SOL.**

## CHAPITRE I. DEMARCHE ET NOMENCLATURE ADOPTEES.

### 1- PRESENTATION DE LA DEMARCHE DE L'ANALYSE STRUCTURALE.

Ce paragraphe introduisant la première partie ne s'attachera pas à une description méthodologique de "l'analyse structurale". En effet, cette démarche a déjà été clairement décrite (R. BOULET et al, 1982). Toutefois, il convient de préciser qu'il ne s'agit en aucun cas d'une méthodologie rigide, elle s'adapte à l'échelle et à la nature de variabilité de chaque couverture pédologique étudiée.

En revanche, une présentation du développement de cette approche met en évidence ses objectifs et ses fondements.

Elle s'est progressivement développée à la suite du travail de G. BOCQUIER (1971) qui montre que les différents volumes de sol, qui se succèdent au long d'un versant, sont en filiation génétique. Ils se transforment progressivement du fait de la propagation de déséquilibres successifs entre les organisations élémentaires et les conditions "pédobioclimatiques". Il était ainsi démontré que la différenciation latérale du sol pouvait résulter des mécanismes de la pédogénèse et non de variations du substrat géologique ou de situations topographiques particulières (la pédogénèse s'avérant être un facteur important de l'évolution du modelé). Il faut souligner que la mise en évidence de ce "système de transformation" n'a été possible que grâce à une étude détaillée des relations latérales entre les diverses organisations. C'est à dire grâce à une analyse structurale telle qu'elle est conçue par les géologues.

Un certain nombre d'études de toposéquences continues a fait suite à ce travail novateur. Elles établissent la nature et le sens de développement des divers processus siégeant (ou ayant siégé) au sein de couvertures pédologiques complexes et conduisant à leur différenciation latérale actuelle (R. BOULET-1974 ; J. F. TURENNE-1975 ; D. NAHON-1976 ; A. CHAUVEL-1977 ; J.C. LEPRUN-1979 ; E. FRITSCH-1984).

Puis, en Guyane Française, il s'est avéré que les diverses toposéquences établies sur une même unité naturelle ne présentaient pas nécessairement une organisation similaire. L'étude de la continuité de cette nouvelle variabilité est à l'origine de la représentation tridimensionnelle de la couverture pédologique. Elle permet d'approcher de façon plus exhaustive l'anatomie des couvertures de sol en relation avec le modelé et donc de mieux cerner les divers processus pédogénétiques ayant conduit à leur organisation actuelle.

En outre, Il faut signaler que les cartes issues de cette analyse fine permettent de "caler" diverses études complémentaires sur l'organisation réelle de la couverture pédolo-

gique. Elles peuvent concerner le fonctionnement hydrodynamique (J.M.GEHL-1984 ; P.ANDRIEUX et al-1986 ; Y.LUCAS et al-1986), la composition géochimique des eaux (C.GRIMALDI-1988) ou le comportement des cultures (R.BOULET et al-1984 et 1985).

## 2- DEFINITION D'UNE NOMENCLATURE

Pour nommer les différents volumes de la couverture pédologique étudiée, un système de nomenclature descriptif a été adopté. Ces volumes, délimités par une enveloppe qui n'est pas nécessairement parallèle à la surface topographique et dont le contenu peut présenter un gradient de variation ordonné, seront nommés horizons. Chacun des horizons recensés est symbolisé dans le texte par un sigle mnémotechnique qui synthétise les traits majeurs de ses caractéristiques macro-morphologiques.

La couleur et la disposition des principales phases sont systématiquement précisées, ainsi qu'une appréciation globale du développement de la macro-porosité.

Certains traits particuliers sont ajoutés afin de souligner des aspects originaux.

### Couleur :

bg : Brun-gris.  
gb : Gris-brun.  
ga : Gris acier.  
gw : Gris pâle.  
o : Ocre.  
jb : Jaune-brun.  
bj : Brun-jaune.  
b : Brun.  
bs : Brun sombre.  
br : Brun-rouge.  
rb : Rouge-brun.  
r : Rouge.  
rv : Rouge-violacé.  
w : Blanc.

2bj : 2 phases brun-jaunâtres peu contrastées, sont associées.

<bj à jb> : Phase brun-jaune passant progressivement à jaune-brun selon un gradient orienté au sein du même horizon.

### Disposition des phases :

T(o) : Taches filamenteuses ocre associées à la porosité.  
V(r) : Taches rouges à limite plus ou moins diffuses.  
D(b) : Taches brunes à limites très diffuses ("délavées").

- bg N bj : Phase brun-gris dominante interpénétrée avec une phase brun-jaune.
- r R j : Phase rouge dominante parcourue par un réseau jaune plus ou moins anastomosé.
- bs-bg : Phases brun sombre et brun gris associées sans relation géométrique précise.
- B(w,r) : Volume contenant de très nombreuses phases ("bariolé") dont les principales sont blanche et rouge.

Porosité :

- P : Volume à macro-porosité très développée.
- p : Volume à macro-porosité notable.
- C : Volume à macro-porosité très faible.

Traits particuliers :

- Hum : Horizon humifère au sens large.
- Qz : Concentration de graviers de quartz.
- Nod : Concentration de nodules.
  - (qz) ... contenant de nombreux quartz.
  - (cut) ... à cuticule noire.
  - (cor) ... cortifiés.
- Glé : Glébules indurés à structure lithorelictuelle.
- Alt : Altérite de migmatite.
  
- S : Volume "sec au toucher" en toute saison.
- H : Volume gorgé d'eau en toute saison.

La couverture pédologique étudiée présentant un grand nombre de volumes différents, ce système descriptif semblait plus adéquat qu'un simple système comportant des chiffres et des lettres, sans sens intrinsèque, où le lecteur se perdrait assez rapidement. Ici, il n'est pas nécessaire de mémoriser le nom de chaque horizon, puisque qu'à chaque fois qu'il y est fait référence, les grands traits de ses caractéristiques macro-morphologiques sont rappelés.

Par exemple, le sigle "bg N bj-T(o) P" symbolise un horizon dont la phase dominante est brun-gris, elle est interpénétrée avec une phase brun-jaune à taches ocres associées à la porosité. Sa macro-porosité est très développée. Une quantité d'information relativement importante est donc contenue dans les sigles, sans pour autant qu'il soit extrêmement complexe de les comprendre.

Grâce à cet outil, nous examinerons dans un premier temps l'organisation générale de la couverture pédologique. Il sera ainsi possible de sélectionner des superpositions d'horizons caractéristiques, pour jalonner la différenciation latérale de ces sols. Dans un second temps, celles-ci seront alors étudiées en détail au niveau de fosses.

CHAPITRE II.  
PRESENTATION GENERALE DE  
L'UNITE DE PAYSAGE ETUDIEE.

1- TOPOGRAPHIE.

L'unité de paysage étudiée représente une surface d'environ 16 ha (Fig.9).

Elle correspond à peu près à un bassin versant élémentaire. En effet, au nord du site, la zone étudiée dépasse légèrement la ligne de partage des eaux. De plus, l'exutoire du bassin versant n'a pu être repéré avec précision, car un bas fond perpétuellement immergé se développe dans les parties les plus basses.

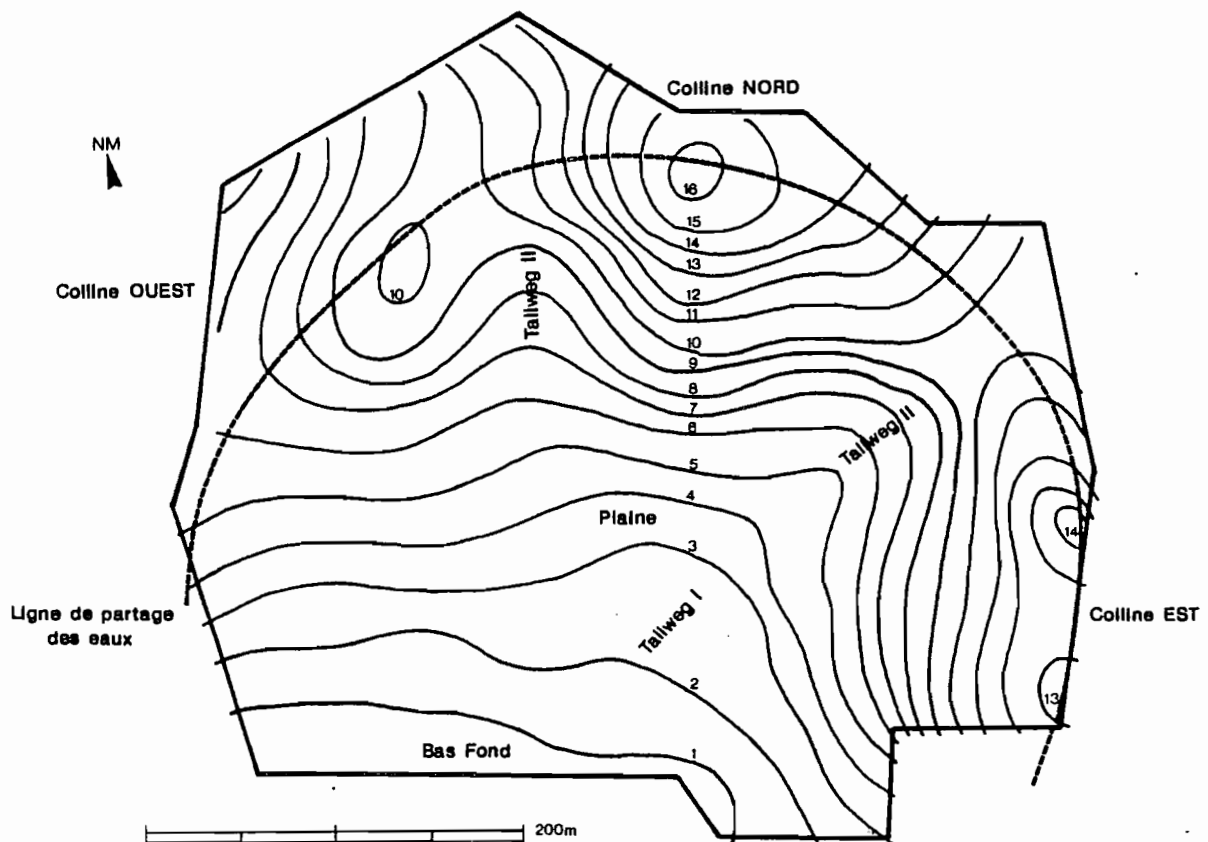


Figure 9 : Modelé de l'unité de paysage étudiée.  
Equidistance des isohypses = 1 m.

Cette partie immergée s'étend de façon variable au cours de l'année, sur une zone de pente faible (1 à 3 %) qui occupe près de 60 % de la surface du bassin versant (Fig.10). Durant la saison sèche, elle se retire approximativement jusqu'à l'isohypse notée 1 m #. Pendant la plus grande partie de la saison humide elle s'étend, dans la partie centrale du bassin versant, jusqu'à l'isohypse notée 4 m. Enfin, au cours de très fortes précipitations elle progresse, de façon éphémère, sur pratiquement toute la zone, approximativement jusqu'à l'isohypse notée 6 m. Cette zone noyée est alimentée par deux talwegs où un réseau de drainage anastomosé et mal hiérarchisé concentre les eaux de ruissellement. Ce réseau est marqué par un ensemble de figures (griffes, micro-chenaux, petits dépôts sableux,...) témoignant d'une érosion assez importante.

La partie haute correspond à une zone collinaire complexe qui occupe les 40% restants du bassin versant. Elle a la forme générale d'un haricot dont la concavité est orientée vers le centre du bassin versant. Les sommets sont arrondis et les

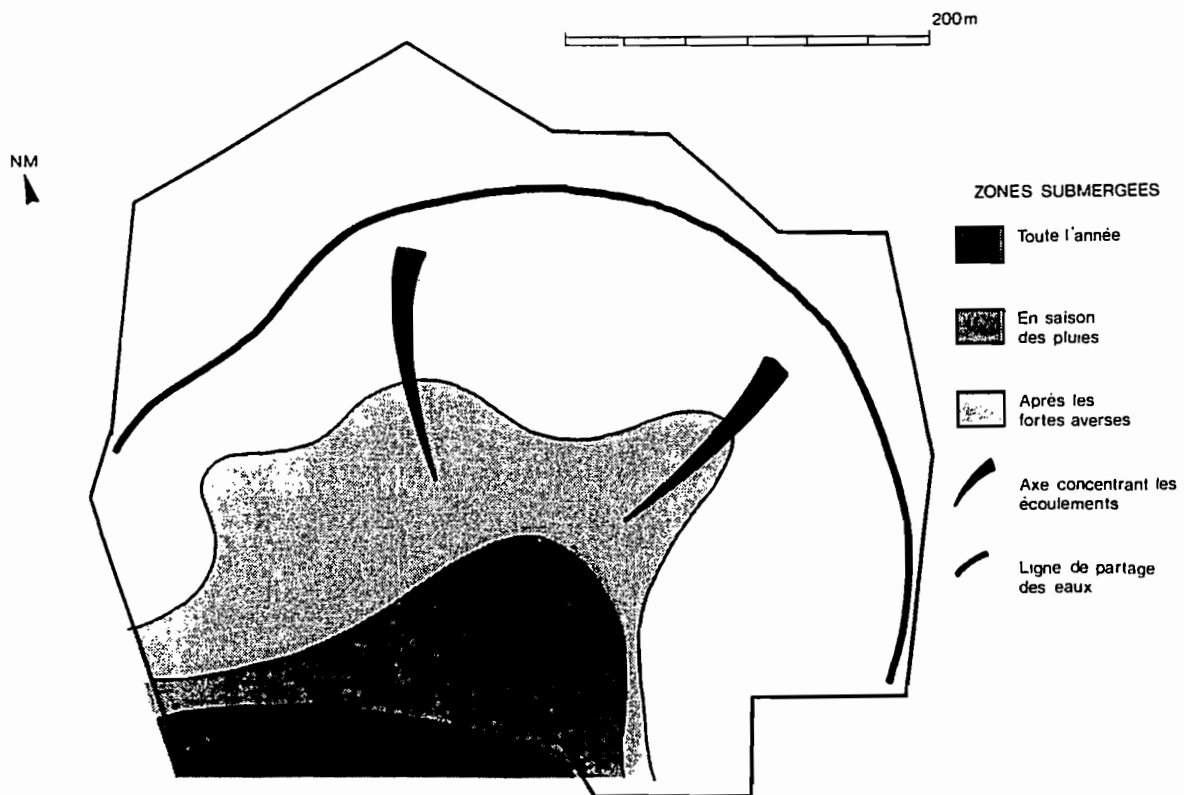


Figure 10 : Fonctionnement hydrodynamique de surface.  
(d'après les observations de terrain au cours de l'année)

# La topographie de la zone a été établie grâce à un levé au clisimètre de tous les transects ouverts pour l'étude pédologique, selon un pas d'environ 15 m. Les différents cheminements, établis à posteriori, bouclent toujours en dessous de 40 cm. Cette précision tout à fait satisfaisante permet de calculer, par interpolation linéaire, des isohypses distantes d'un mètre. La cote des isohypses correspond à la différence relative au point mesuré le plus bas, qui a été coté arbitrairement 0.

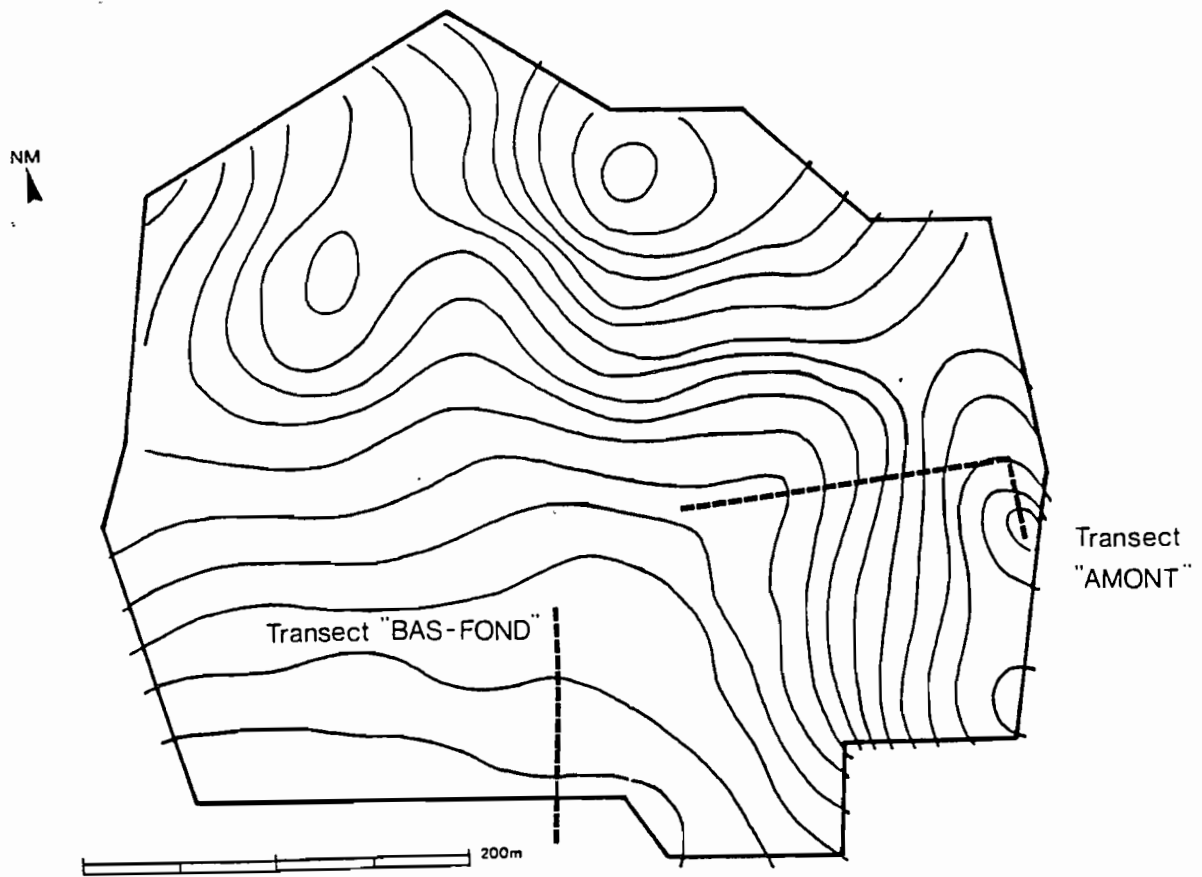


Figure 11 : Localisation des 2 transects de présentation de la couverture pédologique.

versants présentent un profil général de forme convexo-concave. A l'ouest, on distingue un éperon qui culmine à un peu plus de 10 m. La pente de son versant est faible (5 à 7%). Il se raccorde par un col, situé dans le prolongement d'un talweg, à un ensemble présentant un versant de pente plus importante (environ 10%). La largeur de ce versant se réduit aux abords des talwegs. Cet ensemble de collines à pente forte présente trois sommets assez peu accusés, culminant à 16, 14 et 13 m ; ils sont respectivement séparés par un col, situé lui aussi dans le prolongement d'un talweg, et par un ensemlement. La pente des domaines séparant les points culminants est relativement faible (environ 5 %).

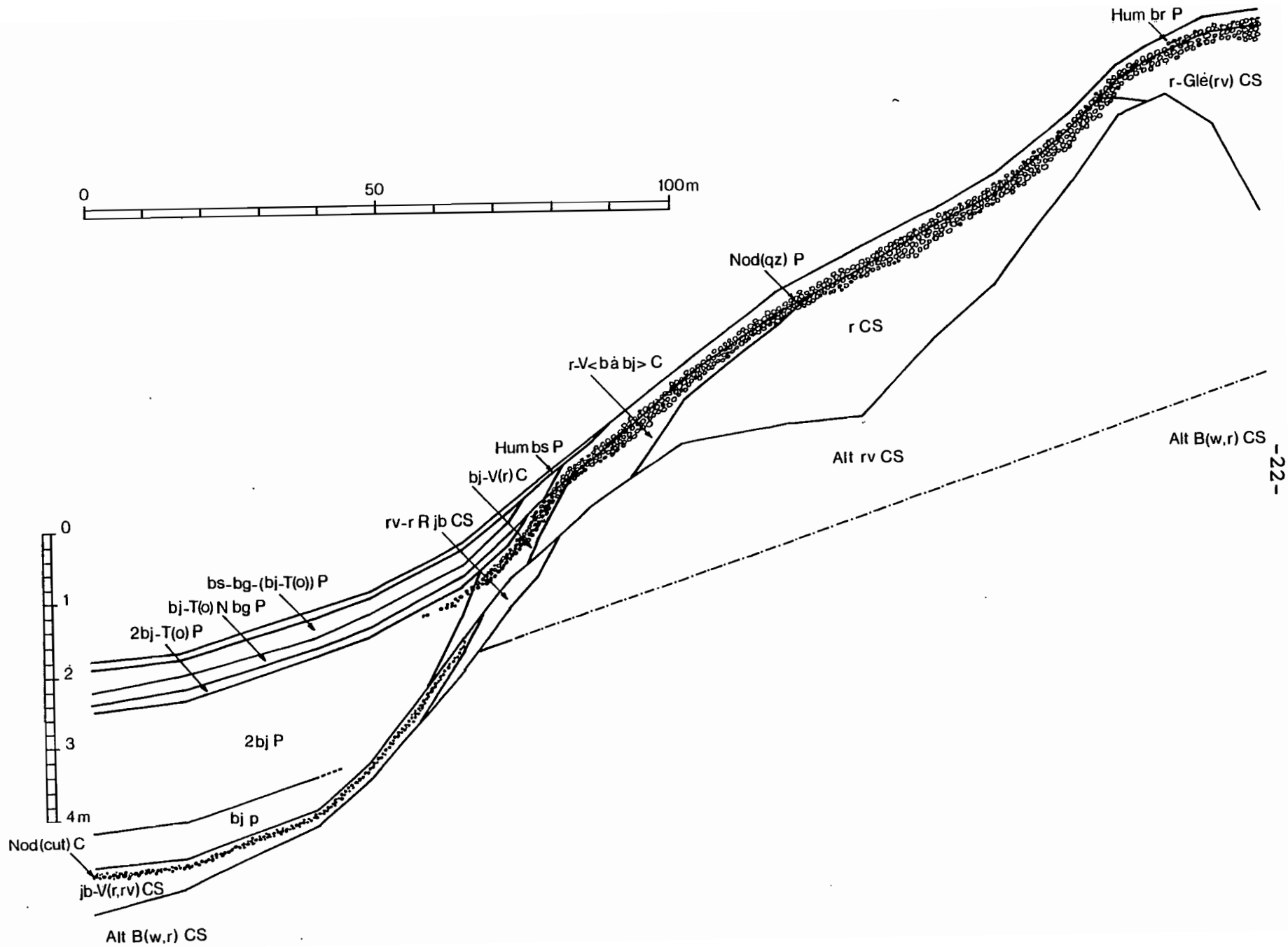
## 2- ORGANISATION DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

La couverture pédologique étudiée présente une organisation latérale relativement complexe. Les traits majeurs de son organisation sont présentés ici grâce à deux toposéquences. Celles-ci s'étendent respectivement sur 200 m, du sommet d'une des collines jusqu'à la plaine, et sur 150 m à proximité du bas fond (*Fig.11*).

Leur étude a été réalisée grâce à une série de sondages à la tarière positionnés progressivement selon le protocole de "l'approximation géométrique" (*R.BOULET et al.-1982*).

Nous étudierons successivement l'organisation de ces deux toposéquences.

Figure 12 : Représentation en coupe de la couverture pédologique, du sommet d'une colline jusqu'à la plaine.



## 2.1- DU SOMMET VERS LA PLAINE.

Cette toposéquence est représentée sur la figure 12.

Trois ensembles d'horizons seront distingués (Fig.12b) :

(i)- Les horizons profonds qui correspondent au manteau d'altération. La structure hétérogène de la migmatite sous-jacente y est, au moins partiellement, conservée.

(ii)- Les horizons médians, où les traits structuraux des altérites sont effacés.

(iii)- Les horizons superficiels et sub-superficiels, souvent occupés par un important lacis racinaire et présentant des phases organiques plus ou moins évoluées.

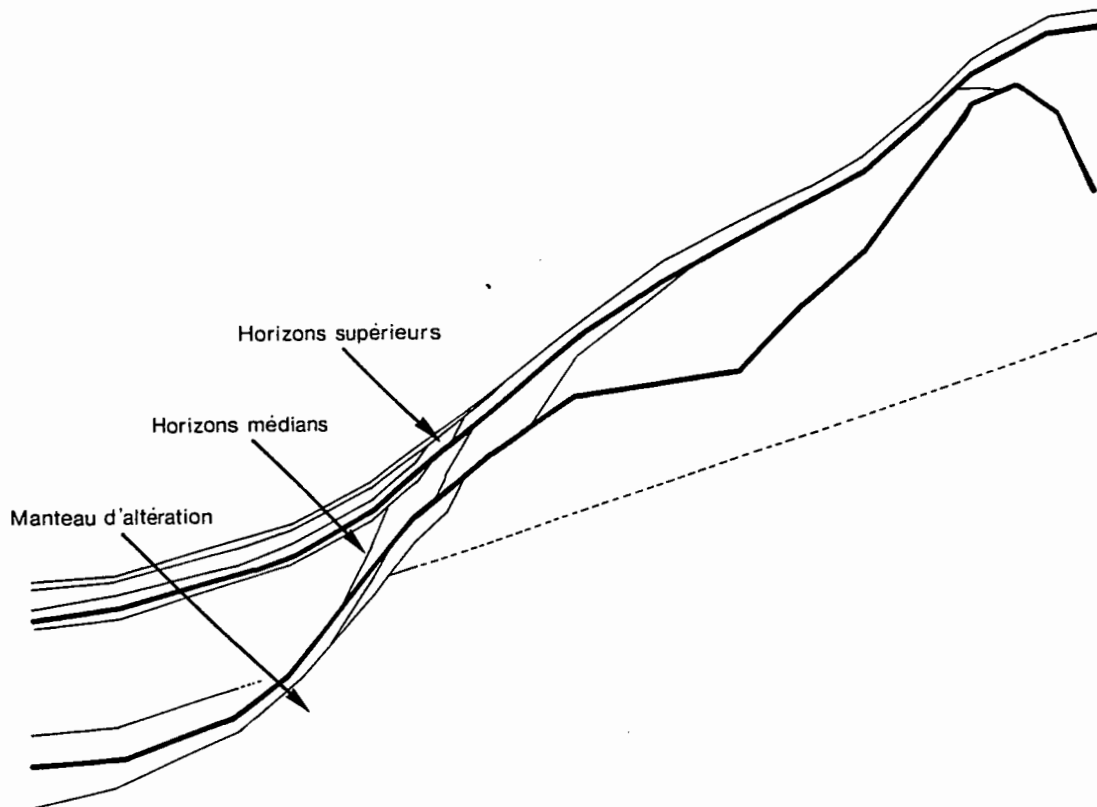


Figure 12b : Définition des trois ensembles d'horizon.

### 2.1.1- Horizons profonds.

Le manteau d'altération présente deux niveaux d'organisation d'extensions différentes.

(i)- En profondeur on observe systématiquement une altérite de faciès hétérogène où de nombreuses phases sont associées (blanc et rouge plus ou moins sombre). Il s'agit d'une isaltérite de migmatite, nommée "Alt B(w,r) CS".

Au sommet de la toposéquence la profondeur d'apparition de cet horizon est importante (5 m). Elle diminue vraisemblablement le long du versant pour atteindre le minimum observé à la base de la colline (1,5 m). Au niveau de la plaine, on observe un nouvel approfondissement. L'extrémité de la toposéquence correspond à son maximum (3,5 m).

(ii)- Ce premier niveau d'altération est surmonté par un horizon de couleur homogène rouge-violacée, "Alt rv CS", qui lui succède très progressivement. Il s'agit d'une altérite transformée que l'on n'observe qu'au niveau de la colline.

Au sommet, cet horizon est épais (2 m) et n'apparaît qu'à une profondeur importante (3 m). En deux endroits, il se rapproche de la surface topographique (1 m): dans la partie supérieure du versant où il reste épais (plus de 1,5 m) et dans la partie inférieure où il s'amincit et finalement disparaît. Sa disparition coïncide avec la profondeur minimale de "Alt B(w,r) CS".

Au milieu du versant, on observe un nouvel approfondissement (2 m) qui coïncide avec un décrochement du profil de la pente. Ce décrochement pourrait correspondre à un artéfact lié au changement de direction de ce transect (Fig.11). Toutefois, il semble bien que, pour l'ensemble de la colline, les isohypses se resserrent à ce niveau (Fig.9).

### 2.1.2- Horizons médians.

La succession latérale des différents horizons médians est décrite à partir du sommet de la colline.

(i)- A ce niveau, un horizon épais (2,5 m), "r-Glé(rv) CS", succède progressivement à "Alt rv CS". Il présente deux phases qui varient verticalement à partir de la base. Une phase meuble de couleur rouge, qui s'éclaircit et devient plus brune. Cette première phase isole des volumes de quelques centimètres de diamètre, de constitution analogue à l'horizon sous-jacent. Ces volumes glébulaires constituent la seconde phase de cet horizon. Ils deviennent très progressivement plus cohérents vers le sommet du sol, puis s'indurent brusquement pour conduire à un niveau de concentration nodulaire fortement macro-poreux, "Nod(qz) P".

(ii)- Jusqu'à la base de la colline, cet horizon nodulaire débute à une dizaine de centimètres de la surface, et présente une épaisseur de 40 à 50 cm. Puis, au pied de la

colline, il devient nettement plus mince (20 cm), un peu plus profond (30 à 40 cm), de plus en plus discontinu et finalement disparaît.

Depuis le sommet de la colline jusqu'à la partie inférieure du versant, la phase meuble de cet horizon nodulaire est composite: la partie supérieure est similaire à l'horizon organique brun-rouge sus-jacent ("*Hum br P*") et la partie inférieure aux différents horizons rouges sous-jacents, "*r-Glé(rv) CS*", "*r CS*" ou "*r-V<b à bj> C*".

La porosité de l'horizon nodulaire est cependant beaucoup plus importante que celle de ces différents horizons qu'il surmonte.

A la base de la colline, la phase meuble de l'horizon nodulaire ne varie plus verticalement comme cela vient d'être décrit pour le versant. La phase meuble devient moins poreuse et est similaire à "*bj-V(r) C*". A mesure que ce nouvel horizon s'épaissit, il s'étend de part et d'autre du niveau nodulaire.

C'est au sein de "*bj-V(r) C*" que la densité de nodules diminue radicalement. Toutefois, ceux-ci se retrouvent sporadiquement à la partie supérieure de l'horizon "*2 bj P*".

Les différents horizons signalés dans le paragraphe précédent apparaissent successivement au long du versant.

(iii)- L'horizon de couleur rouge homogène, "*r CS*", s'insère en coin à la base de "*r-Glé(rv) CS*" et le remplace latéralement. Il s'épaissit sur le versant, puis disparaît peu avant le niveau minimum de l'apparition de "*Alt rv CS*".

(iv)- A mi-pente, l'horizon hétérogène rouge à volumes bruns, "*r-V<b à bj> C*", apparaît au sommet de "*r CS*". Il présente un gradient de variation latérale: les volumes bruns s'étendent et deviennent plus jaunes au sommet de cet horizon, à mesure qu'il s'épaissit aux dépens de "*r CS*".

(v)- Au pied de la colline, la phase jaune l'emporte sur la phase rouge. On définit alors un deuxième horizon "*bj-V(r) C*", qui se superpose à "*r-V<b à bj> C*" et le remplace en s'épaississant à ses dépens.

Latéralement la phase rouge de "*bj-V(r) C*" devient moins abondante, son contraste diminue et finalement elle disparaît.

(vi)- On observe alors l'apparition progressive d'un horizon "*2bj P*" qui atteint 2 m d'épaisseur à l'extrémité de la séquence. Il présente deux phases brun-jaune peu contrastées et, à l'inverse des volumes précédents, de nombreux vides ayant la forme de fins chenaux très irréguliers définissent une macroporosité importante.

(vii)- Lorsque "*2 bj P*" atteint près d'1 m d'épaisseur, on note l'apparition à sa base d'un horizon "*bj p*", homogène, relativement moins poreux et d'une épaisseur assez constante, légèrement inférieure à 1 m.

Alors que sur le versant la transition avec le manteau d'altération est progressive et peu différenciée, au pied de la colline apparaissent deux horizons de transition avec les horizons du manteau d'altération. Des volumes à structure plus ou moins conservée et des volumes pédoturbés y sont juxtaposés.

(viii)- A la base de "bj-V(r) C", on observe un horizon hétérogène, "rv-r R jb CS" qui constitue tout d'abord une transition avec "Alt rv CS". Toutefois, il s'étend au delà de la limite de disparition de "Alt rv CS" et se superpose alors à "Alt B(w,r) CS".

La phase jaune de ce nouvel horizon forme un réseau qui se développe latéralement et vers le bas, à partir de sa partie supérieure.

(ix)- Au niveau de la plaine, on observe une transition avec "Alt B(w,r) CS" qui s'épaissit progressivement. Sa morphologie est très similaire à la partie supérieure de "rv-r R jb CS". L'ensemble de ce volume a donc été regroupé en un seul horizon, "jb-V(r,rv) CS", caractérisé par une phase pédoturbée jaune-brun largement dominante, isolant quelques volumes glébulaires violacés à structure lithorelictuelle et des volumes rouges où cette structure des matériaux d'altération a disparu.

(x)- A sa partie supérieure, cet horizon présente un mince niveau de concentration nodulaire: "Nod(cut) C".

Ces nodules "profonds" ont une organisation différente de celle des nodules "sub-superficiels" du versant de la colline: ils présentent un épaisse cuticule noire et les quartz y sont pratiquement absents.

### 2.1.3- Horizons supérieurs.

(i)- La quasi totalité du versant de la colline présente un horizon brun-rouge très finement structuré, "Hum br P", épais de 30 à 40 cm. Il contient un grand nombre de racines réparties de façon homogène sur toute son épaisseur.

(ii)- Peu avant le pied de la colline, un horizon brun sombre, épais d'une dizaine de centimètres, "Hum bs P", apparaît au dessus de "Hum br P". Il se maintient jusqu'à l'extrémité de la toposéquence. Les racines y sont nettement plus abondantes, formant un lacis très dense.

(iii)- A la base de la colline, un horizon présentant deux phases interpénétrées, brun-jaune à taches ocre et brun-gris, "bj-T(o) N bg P", apparaît en coin entre "Hum bs P" et "Hum br P". Ce dernier disparaît alors rapidement.

Les taches ocres de la phases brun-jaune sont peu contrastées au niveau de l'apparition de "bj-T(o) N bg P". Elles deviennent plus nettes et plus abondantes latéralement.

(iv)- Puis un horizon de transition, "bs-bg-(bj-T(o)) P", caractérisé par la juxtaposition des phases constitutives des deux horizons "Hum bs P" et "bj-T(o) N bg P" se développe

latéralement. Il atteint près de 40 cm d'épaisseur à l'extrémité de la toposéquence.

(v)- Au même niveau, "2bj-T(o) P" apparaît à la base de "bj-T(o) N bg P". Il est similaire à "2 bj P", mais comporte des taches ocres filamenteuses nombreuses et contrastées.

\*  
\* \*

Les discordances et les relais entre les différents horizons de cette toposéquence caractérisant l'amont de la couverture pédologique nous amènent à penser que nous sommes ici en présence d'un système de transformation où nous distinguerons trois domaines de différenciation morphologique (Fig.13) :

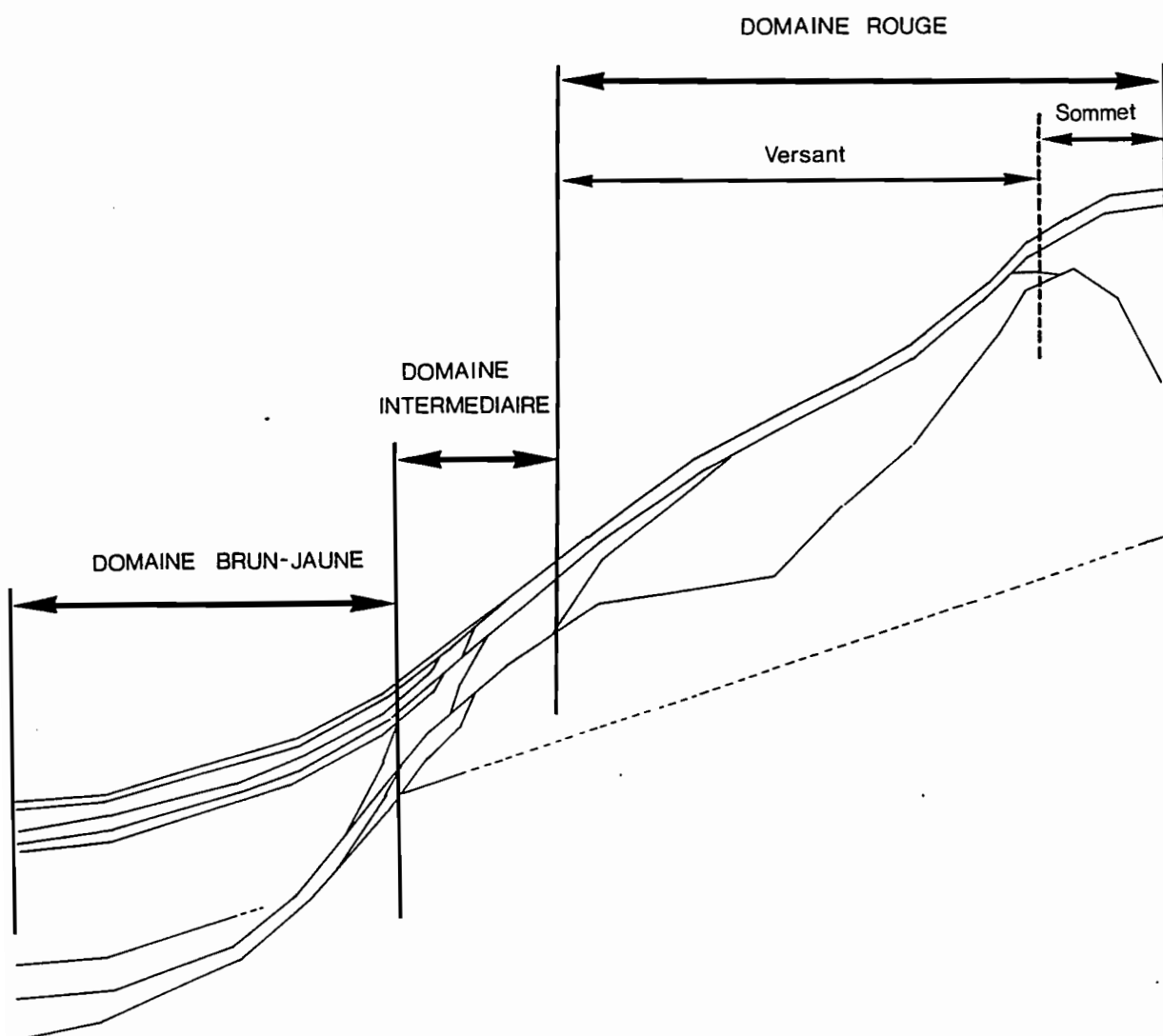
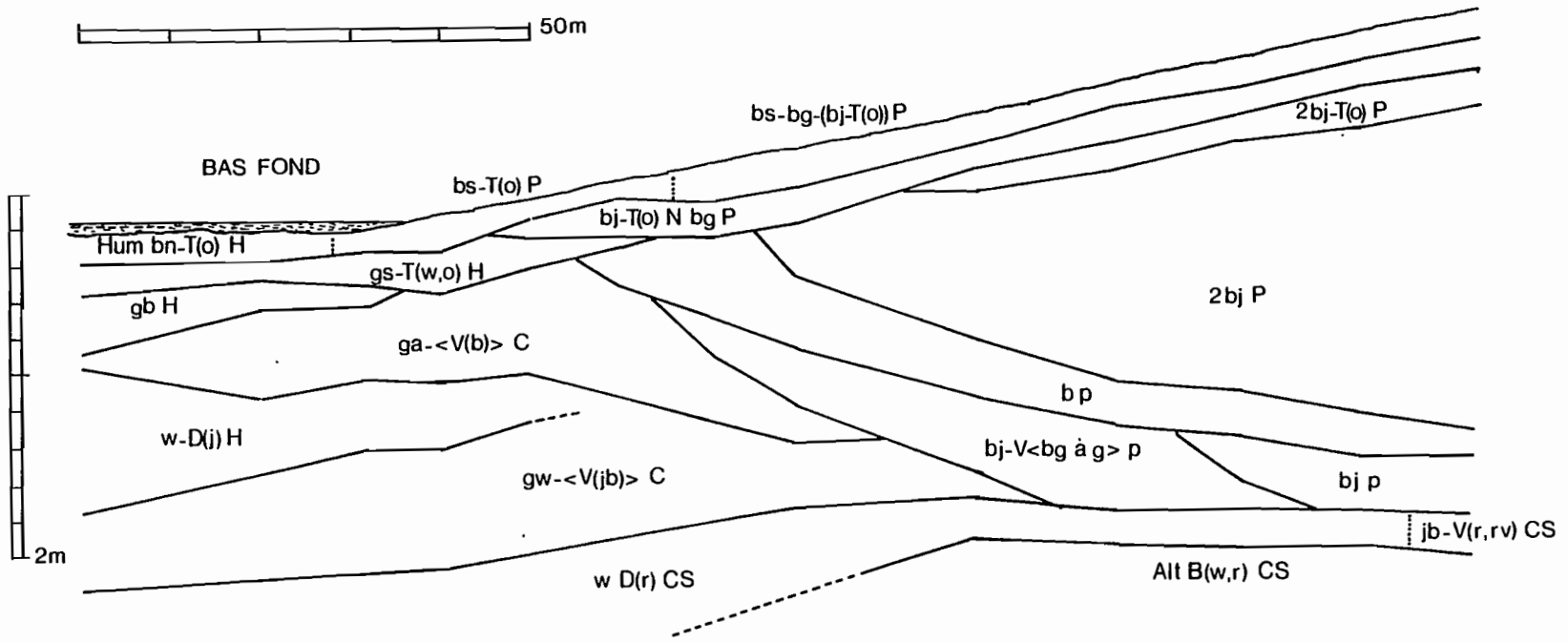


Figure 13 : Définition de trois domaines de différenciation morphologique au long de la toposéquence caractérisant l'amont de la couverture pédologique.

Figure 14 : Représentation en coupe de la couverture pédologique, de la plaine jusqu'au bas-fond.



(i)- Un domaine localisé sur le sommet et le versant de la colline, caractérisé par un ensemble d'horizons de coloration rouge et ne présentant pas d'humectation sensible aux doigts, quelle que soit la saison ("caractère sec au toucher"). Ce domaine est analogue aux couvertures pédologiques très fréquemment observées sur en Guyane Française sur le socle cristallin, notamment sur le site d'ECEREX (R.BOULET et al.-1979 et 1982), et appelées antérieurement "sols à dynamique de l'eau principalement superficielle" (DPS).

(ii)- Un domaine localisé dans la plaine de très faible pente, caractérisé par un horizon brun-jaune à forte macroporosité et un ensemble d'horizons de sub-surface présentant deux phases interpénétrées (brun-jaune et brun-gris) et une hydromorphie de type pseudogley.

Ce passage aval d'un ensemble à DPS à un ensemble macroporeux n'a jamais été observé auparavant en Guyane Française. Son étude constitue l'un des objectifs majeurs de ce travail.

(iii)- Le pied de la colline correspond à un domaine intermédiaire de transformation. Son extension latérale est moins importante que celle des deux domaines précédents.

Il se caractérise par une succession latérale d'horizons présentant une juxtaposition de plages rouge et brun-jaune et un caractère "sec au toucher", qui ne s'affirme qu'en profondeur.

La description macro-morphologique de ces différents domaines sera précisée et complétée par des données micro-morphologiques dans le troisième chapitre de cette première partie. Et ceci grâce à des fosses, correspondant aux diverses différenciations verticales ainsi qu'aux variations latérales de la toposéquence.

\*  
\* \*

## 2.2- VERS LE BAS-FOND...

Le bas-fond n'a pas été étudié en détail. Son engorgement quasi permanent nous a empêché d'ouvrir des fosses hors d'eau car nous ne disposions pas d'une pompe suffisamment puissante pour évacuer l'énorme volume d'eau des nappes perchées et des nappes profondes (même les sondages à la tarière ont été très difficiles à réaliser). Il en résulte, que les prélèvements à structure conservée, nécessaires à une étude micro-scopique, n'ont donc pas pu être effectués.

Cependant, afin de ne pas occulter totalement cette portion de la couverture pédologique, une coupe présentant la succession des divers horizons qui se différencient vers le bas fond, sera présentée ici (Fig.14).

Les sigles utilisés pour nommer les horizons permettent de caractériser de façon presque complète les observations à la tarière. Seuls les traits qui n'apparaissent pas, ainsi que texture, humectation et variations latérales seront donc précisés pour la description de cette toposéquence.

A partir d'une superposition identique à l'aval de la toposéquence précédente, on observe une séquence latérale d'horizons qui sont regroupés dans les trois ensembles distingués précédemment.

### 2.2.1- Horizons profonds.

(i)- "Alt B(w,r) CS" n'a été observé qu'à l'amont de cette toposéquence. Au niveau de la zone immergée du bas fond les sondages ne l'on jamais atteint.

(ii)- L'horizon "w D(r) CS" l'y remplace latéralement en s'épaississant rapidement dès que l'on s'engage dans la partie submergée du bas-fond. Toutefois, le gradient vertical de modification morphologique de cet horizon, observé au seuil du bas-fond alors qu'il est peu épais, laisse supposer qu'il surmonte "Alt B(w,r) CS" (au moins à ce niveau).

Par ailleurs, bien que la structure de cet horizon n'ait pu être observée finement (du fait des contraintes évoquées plus haut), son "toucher sériciteux" très affirmé vers sa base, permet de supposer qu'il se rattache à l'ensemble des altérites.

(iii)- "w D(r) CS" succède à une modification latérale progressive de l'horizon de transition "jb-V(r,r<sub>v</sub>) CS" qui n'a pas été repérée avec précision sur cette coupe. En effet, cette modification correspond à un gradient très diffus bien qu'ordonné latéralement:

La phase dominante jaune-brun de cet horizon "jb-V(r,r<sub>v</sub>) CS" devient de plus en plus pâle. Les volumes rouges s'éclaircissent et leur limites deviennent diffuses ou présentent une auréole ocre.

Ainsi, il semble vraisemblable que dans la zone submergée du bas fond, l'horizon "w D(r) CS" remplace l'horizon "jb-V(r,r<sub>v</sub>) CS" au sommet de l'altérite "Alt B(w,r) CS".

### 2.2.2- Horizons médians.

(i)- A l'amont de la toposéquence, entre les horizons "2bj P" et "bj p" et précédant "w D(r) CS", l'horizon "b P" apparaît.

Il est plus foncé que "2bj P" et moins argileux que "bj p". Son épaisseur atteint près de 50 cm, puis il se rapproche de la surface à mesure que "2bj P" s'amincit, pour finalement le remplacer.

(ii)- Après l'apparition de "w-D(r) CS", l'horizon à taches gris-brun, "bj-V<bg à g> p", se développe à la base de "bj p".

Il le remplace rapidement et se rapproche de la surface parallèlement à la diminution d'épaisseur de "2 bj P".

La phase gris-brun s'étend, latéralement et vers la base de l'horizon, aux dépens de la phase brun-jaune. Elle présente un double gradient de coloration: latéralement et au sommet de l'horizon, elle devient plus foncée, tendant vers un gris acier, mais verticalement, pour chaque sondage, elle s'éclaircit toujours, tendant vers un gris très pâle. Cette modification progressive de la phase grise coïncide avec celle de la phase brun-jaune. Elle forme des taches brun à brun très sombre, au sein de la phase gris acier et jaune-brun, plus diffuses au sein de la phase gris pâle.

Ces différentes taches disparaissent progressivement à mesure que l'on se rapproche du bas-fond. On définit donc deux nouveaux horizons:

(iii)- "ga- $\langle V(b) \rangle C$ ", qui s'épaissit et remplace "bj-V $\langle bg \text{ à } g \rangle p$ " puis "b P";

(iv)- et "gw- $\langle V(jb) \rangle C$ " qui apparaît avant "ga- $\langle V(b) \rangle C$ " à la base de "bj-V $\langle bg \text{ à } g \rangle p$ ".

Ces deux horizons ne présentent pas de macro-porosité notable à la tarière. Lors de leur apparition, leur consistance est assez rigide. Ils deviennent plastiques et très humectés au niveau du bas-fond marécageux.

(v)- Entre "ga- $\langle V(b) \rangle C$ " et "gw- $\langle V(jb) \rangle C$ ", apparaît un horizon, blanchâtre à volumes jaunes très diffus et peu contrastés: "w-D(j) H".

Il se caractérise par la présence d'une nappe permanente d'eau libre en charge et par une constitution en sables grossiers presque exclusive.

A mesure que l'on s'engage dans le bas-fond, il s'épaissit aux dépens des deux horizons qui l'encadrent. A l'extrémité de la séquence, il remplace pratiquement "ga- $\langle V(b) \rangle C$ " qui ne mesure plus alors qu'une vingtaine de centimètres d'épaisseur.

(vi)-Ainsi, au coeur de la zone submergée, cet horizon "w-D(j) H", rejoint pratiquement un deuxième horizon, engorgé par une nappe perchée, gris-brun et sableux, "gb H", qui apparaît au dessus de "ga- $\langle V(b) \rangle C$ " au niveau de la limite du marécage.

### 2.2.3- Horizons supérieurs.

Les horizons supérieurs de l'extrémité de la séquence précédente disparaissent dans un ordre sensiblement différent de celui de leur apparition à la base de la colline.

(i)- "2bj-T(o) P" disparaît en premier.

(ii)- Puis vient "bs-bg-(bj-T(o)) P".

(iii)- Ce dernier est remplacé par un horizon uniquement brun sombre à taches ocre, "bs-T(o) P", de texture plus sableuse.

(iv)- Enfin, à la base de "bj-T(o) N bg P" et avant la disparition de "b P", un horizon engorgé, gris sombre à taches blanches et ocres, "gs-T(w,o) H", se développe.

Après avoir remplacé "bj-T(o) N bg P", il se maintient jusqu'à l'extrémité de la séquence.

(v)- Au niveau de la zone perpétuellement noyée, "bs-T(o) P" est remplacé par un épais horizon organique peu évolué, brun-noir à taches ocres, "Hum bn-T(o) H".

(vi)- "Hum bs P" est très mince sur toute la longueur de cette séquence (il n'a pu être dessiné à l'échelle de la coupe). Il disparaît totalement au niveau du marécage.

\*  
\* \*

Cette séquence présente donc un ensemble de transformations qui se développent progressivement à partir de la base des horizons médians de la superposition caractérisant la plaine.

On note une séquence d'organisation qui correspond aux apparitions successives :

(i)- d'horizons à pseudo-gley de profondeur, où le fer est vraisemblablement remobilisé et redistribué (taches diffuses et auréoles ocres).

(ii)- Puis de gleys où le fer semble réduit, à la partie supérieure de l'ensemble des horizons médians (couleur gris acier), ou éliminé, à la partie inférieure (couleur blanche devenant dominante).

(iii)- Ces horizons sont eux même remplacés par des horizons de nappe où les fractions fines sont pratiquement absentes, vraisemblablement sous l'influence d'une dégradation liée à l'engorgement permanent.

\*  
\* \*

**CHAPITRE III.  
CARACTERISATION DES TROIS DOMAINES  
DE L'AMONT DE LA COUVERTURE DE SOL.**

Les trois domaines définis au long de la toposéquence reliant le sommet des collines à la plaine seront étudiés successivement au niveau de fosses caractéristiques de la différenciation morphologique de chacun des domaines. La position de ces fosses est présentée sur la figure 15.

1- Le domaine rouge de la colline et de son versant sera présenté avec les fosses:

T1 (domaine rouge "de sommet")  
et T2 (domaine rouge "de versant").

2- Le domaine intermédiaire du pied de la colline, avec la tranchée T3 (qui comporte l'intégralité des horizons caractérisant ce domaine).

3- Le domaine brun-jaune de la plaine, avec les fosses:  
T4 (marge du domaine)  
et T5 (coeur du domaine).

**1- ETUDE DU DOMAINE ROUGE : FOSSES T1 ET T2.**

Ce domaine est caractérisé par deux séquences verticales majeures. T1 se situe au sommet de la toposéquence. T2 est située 50 m plus loin, peu après la rupture de pente signalée dans le chapitre précédent.

**1.1- LA SEQUENCE VERTICALE DU SOMMET : FOSSE T1.**

**1.1.1- Description macromorphologique.**

Cette séquence a été décrite dans une fosse profonde de 2 m, complétée par un sondage à la tarière jusqu'à 5,2 m, afin d'observer les horizons du manteau d'altération qui apparaissent plus profondément. On y observe la superposition suivante (Fig.16) :

0-10 cm : "Hum br P".

Cet horizon est humifère, de couleur homogène brun-rouge. Sa structure est très fine, à microagrégats polyédriques ou ronds de 1 à 2 mm. La texture est argilo-sableuse. La porosité d'assemblage des agrégats est importante, il s'y ajoute des chenaux tubulaires isodiamétriques d'origine biologique. Les racines sont très abondantes. Elles s'orientent parfois horizontalement au contact de l'horizon nodulaire sous-jacent.

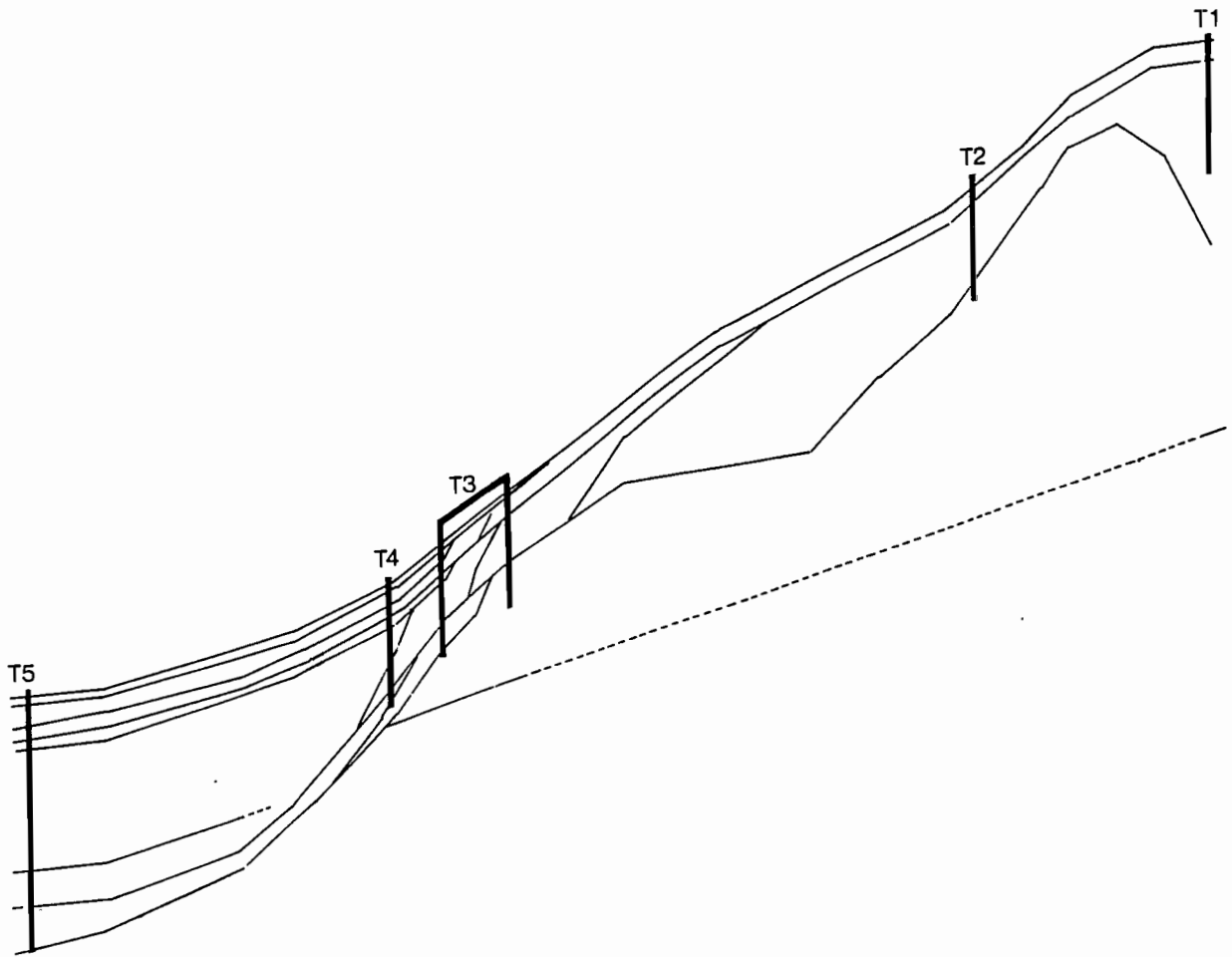


Figure 15 : Localisation des cinq fosses d'étude de la différenciation morphologique des trois domaines de l'amont.

*10-60 cm : "Nod(qz) P".*

Cet horizon contient une quantité importante de nodules qui occupent près de 60% du volume. Leur forme est irrégulière, mamelonnée, sans angles vifs. Ils sont relativement plus petits au sommet de l'horizon (1 à 2 cm) qu'à sa base (jusqu'à 5 cm). Extérieurement, ils sont de couleur homogène, noir-rouge. Quand on les casse, on ne décèle pas de cortex ; en revanche, on observe des domaines contrastés, plus ou moins diffus, rouge, rouge-brun ou ocre inclus dans un fond dominant de même couleur que la surface externe. Ils contiennent des quartz généralement abondants, parfois isolés au sein de petites cavités. La porosité des nodules est assez importante, elle correspond à des lacunes de forme très irrégulière.

La phase meuble qui emballa les nodules présente un gradient de coloration progressif : au sommet, elle est rouge-brun ; vers la base elle devient rouge. La structure est très fine au sommet, polyédrique anguleuse de quelques millimètres de large, parfois microagrégée à agrégats ronds millimétriques. Vers la base, la structure devient plus grossière (environ 1 cm). Cette phase meuble comporte une importante porosité, chenaux tubulaires et fissures, largement ouverte (5 mm à 1 cm). Les racines sont assez abondantes, elles ont une orientation horizontale à la base de l'horizon. La limite inférieure de l'horizon est très nette, légèrement ondulée. Elle correspond à une baisse importante du nombre de nodules, mais aussi à une diminution brutale de la porosité. En saison des pluies, on note une discontinuité d'humectation, le matériau sous-jacent devient sec au toucher en quelques centimètres, alors que la phase meuble de l'horizon nodulaire est gorgée d'eau.

*60-300 cm : "r-Glé(rv) CS".*

Cet horizon présente deux phases contrastées à son sommet. Une phase dominante rouge et argileuse isole des volumes violacés arrondis et indurés, de taille centimétrique. La proportion de ces volumes est relativement constante sur toute l'épaisseur de l'horizon, s'établissant autour de 20%. Vers la base les deux phases deviennent progressivement moins contrastées : les volumes violacés sont moins cohérents, leur texture est limoneuse ; le matériau rouge qui les emballa devient plus violacé.

La structure est identique sur toute l'épaisseur de l'horizon : polyédrique anguleuse grossière et très peu nette (pratiquement massive). Les faces de rupture du matériau présentent quelques fins pores tubulaires de section ronde, séparés par des domaines rugueux où aucun pore n'est visible. Les pores sont relativement plus abondants vers la base de l'horizon. Le caractère "sec au toucher" apparaît nettement dès le sommet de l'horizon. Les racines sont pratiquement absentes.

*300-400 cm : "Alt rv CS".*

On aboutit progressivement à un horizon assez homogène de couleur rouge violacée. Sa texture est argileuse, légèrement plus limoneuse que celle de l'horizon précédent. On note une quantité importante de petites plaquettes de micas de taille généralement inférieure au millimètre. Les échantillons de ce matériau, comme ceux qui lui succèdent, sont très compacts, moulés par les bords de la tarière.

*400-500 cm : Transition progressive entre "Alt rv CS" et "Alt B(w,r) CS".*

Le sommet de ce niveau correspond à l'apparition, au sein du fond violacé de l'horizon précédent, de veines rosâtres à limites diffuses. Ces veines s'éclaircissent, deviennent plus nombreuses, s'anastomosent et forment progressivement, vers la base, un réseau de couleur blanche à limite nette. Parallèlement, la phase violacée devient plus hétérogène avec des volumes rouges plus ou moins foncés. La texture du matériau est argilo-limoneuse, de plus en plus limoneuse vers la base. Cette tendance correspond à une diminution du nombre de grains de quartz, alors que les plaquettes de muscovites deviennent encore plus abondantes.

*A partir de 500 cm : "Alt B(w,r) CS".*

On observe une juxtaposition des phases qui sont progressivement apparues vers la base du volumes de transition précédent. Leurs proportions sont cependant très variables d'un échantillon à l'autre. Ces diverses phases se séparent aisément selon leur limite. La texture du matériau est limono-argileuse.

De l'étude de ce profil on retiendra les points suivants :

(i)- L'évolution verticale, conduisant de la phase meuble violacée et limoneuse de "Alt rv CS" à la phase meuble rouge et argileuse de "rv-Glé(rv) CS", est continue et progressive .

(ii)- Des éléments relictuels violacés se maintiennent puis s'indurent pour constituer un niveau nodulaire au sommet du profil, par concentration relative.

(iii)- La base de ce niveau nodulaire correspond à l'apparition brutale d'une importante macroporosité qui tranche avec la faible porosité des horizons sous-jacents. Cette discontinuité correspond à l'apparition du caractère "sec au toucher".

### 1.1.2- Description micromorphologique.

La présentation des données microscopiques sera faite de la base de la fosse jusqu'à l'horizon de concentration nodulaire. Cet ordre de présentation, qui va des organisations les moins transformées à celles qui le sont plus, semble le plus adéquat pour suivre l'évolution progressive des volumes relictuels et des fonds matriciels meubles le long de cette séquence verticale. On distinguera le squelette (-S-), le plasma (-P-), l'assemblage et la porosité (-A-), et enfin les traits pédologiques (-T-).

#### T1.1 : "r-Glé(rv) CS", 150 cm.

**-S-** Le squelette est essentiellement quartzeux. La taille des grains s'étend de 2 à 3 mm jusqu'à 80  $\mu$ m. Leur forme est irrégulière, anguleuse à sub-anguleuse, avec de nombreux domaines concaves très émoussés. Ces golfes de corrosion, parfois très profonds, sont toujours occupés par le plasma.

En outre, on observe quelques domaines, de forme irrégulière, constitués d'un cristalliplasma gibbsitique grossier et d'un cristalliplasma kaolinitique plus fin. L'abondance relative des deux plasmas est variable d'un domaine à l'autre, mais le plasma kaolinitique se trouve généralement circonscrit au plasma gibbsitique. Le squelette comporte aussi une quantité notable de muscovites, en baguettes de petite taille. Elles présentent tous les intermédiaires entre un pôle sain et un pôle totalement kaolinisé.

**-P-** Le plasma est homogène, de couleur brun-rouge sombre en lumière polarisée (LP). En lumière polarisée analysée (LPA), il est aseptique (presque totalement éteint) avec de petits domaines rouges diffus de la taille des limons.

**-A-** L'assemblage est nettement porphyrosquelique. La porosité est essentiellement fissurale, assez grossière, mais peu développée. De façon localisée, la fissuration est nettement plus importante, définissant des domaines à structure microagrégée. Les agrégats sont généralement anguleux, de 100 à 200  $\mu$ m de large. On observe aussi deux petits domaines réniformes contenant des agrégats arrondis et plus petits (20 à 40  $\mu$ m). L'origine de ces derniers est vraisemblablement biologique.

**-T-** Dans le plasma on note une quantité importante de petits glébules, de 100 à 400  $\mu$ m de diamètre, noir ou rouge très sombre, de forme arrondie, à limite très nette.

Le principal trait correspond aux lithoreliques violacées. Elles mesurent jusqu'à 1 cm et occupent près de 25% de la surface de la lame. Elles sont fortement ferruginisées et comportent :

-des quartz disloqués dont les différents fragments sont séparés par un plasma ferrugineux noir. Ils n'ont pas été déplacés car les différents morceaux conservent une extinction simultanée.

-De larges muscovites kaolinisées et souvent ferruginisées.

-Des domaines, plus ou moins ferruginisés de cristalliplasma essentiellement kaolinitique avec quelques macrocristaux de gibbsite.

#### On retiendra que :

\* l'assemblage est porphyrosquelique, mais présente une porosité fissurale non négligeable.

\* le squelette quartzeux est très corrodé, ce qui est le signe d'une dissolution importante.

\* le fond matriciel ne comporte pas de séparation plasmique ; il n'est donc pas soumis à des contraintes mécaniques suffisantes pour l'orienter. Il comporte un assez grand nombre de muscovites à tous stades d'altération.

\* les lithoreliques, qui ne comportent que quelques domaines kaolinisés issus de minéraux non phylliteux, donnent une idée de la composition de la roche originelle. Elle comporterait surtout des quartz et de la muscovite.

Au sein des lithoreliques, la kaolinisation des muscovites est presque totale alors qu'elle n'est que partielle dans le fond matriciel.

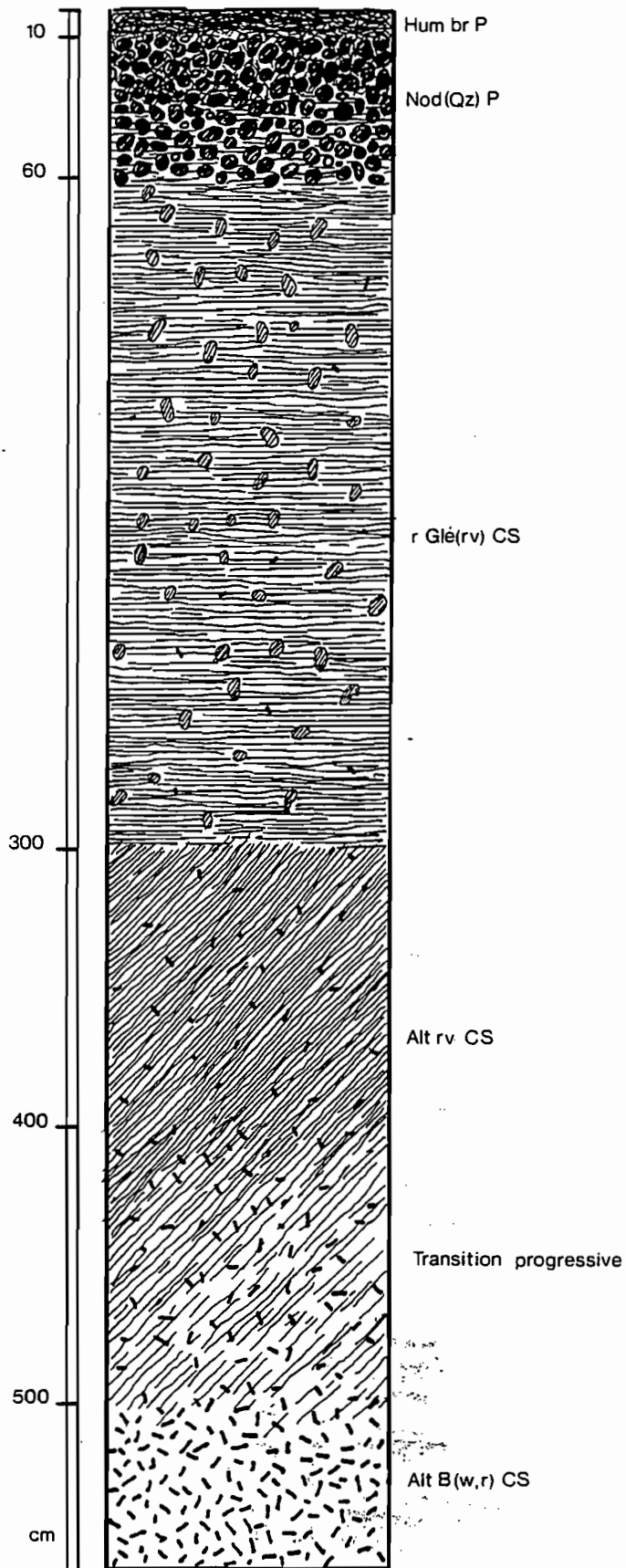


Figure 16 : Séquence verticale du sommet du domaine rouge.  
(fosse T1)

**Tl.2 : "r-Glé(rv) CS", 110 cm.**

**-S-** Le squelette quartzeux présente les mêmes caractéristiques que pour la lame précédente.

On note la présence d'une quantité plus importante de domaines gibbsito-kaolinique ; dans l'un d'eux, la gibbsite se présente en alignements de gros cristaux conservant les clivages du minéral parental. Ces domaines correspondent donc à des fantômes de minéraux primaires altérables #.

Les muscovites sont moins nombreuses, surtout celles du pôle kaolinisé, les muscovites saines présentent fréquemment une auréole biréfringente rouge qui n'existait pas dans le niveau précédent.

**-P-** Le plasma est plus transparent, de couleur rouge-brun en LP. En LPA, il apparaît faiblement insépique, avec de petits domaines orientés diffus jaune-rouge. Des séparations plasmiques vo- et squelsépiques, discontinues et peu contrastées apparaissent sur les bord de quelques vides, et autour des quartz.

**-A-** L'assemblage est toujours nettement porphyro-squelique. La porosité fissurale est moins développée. On note encore un domaine microagrégé, à petits agrégats ronds, d'origine biologique.

**-T-** Le plasma comporte des glébulles noirs à limite nette de forme arrondie. Il présente de façon localisée des orientations liées à des contraintes mécaniques (stress cutanes).

On observe ici une très grosse lithorelique, de plus de 3 cm de large, comportant des quartz disloqués, des muscovites kaolinisées et des domaines gibbsito-kaoliniques très fortement ferruginisés.

**On retiendra que :**

\* le plasma est plus clair et plus orienté. Il est donc soumis à une pédoplasation plus importante que précédemment.

\* Au sein du plasma les muscovites kaolinisées tendent à disparaître par ferruginisation. Par contre les muscovites saines sont directement plasmifiées, sans pseudomorphose préalable par la kaolinite.

\* la porosité est plus faible.

\* les lithoreliques sont du même type pétrographique que précédemment, mais plus fortement ferruginisées.

\* la présence de fantômes gibbsito-kaolinique, conservant la structure de minéraux primaires altérables, indique que l'altération initiale a été gibbsitique.

**Tl.3 : "r-Glé(rv) CS", 70 cm.**

**-S-** Le squelette est essentiellement quartzeux et très corrodé. Les grains sont globalement plus petits et les fractions fines sont relativement plus développées. Elles présentent à la fois des esquilles anguleuses et des grains très arrondis. Certains grains plus gros fortement corrodés présentent des isthmes. Ils indiquent que la seule dissolution des quartz peut fournir ces fragments anguleux.

On note la présence de quelques fantômes gibbsitiques, fortement interpénétrés avec le plasma.

Les muscovites sont plus rares ; elles présentent presque systématiquement une auréole rouge.

**-P-** Le plasma est assez translucide, rouge brun en LP. En LPA, il présente une organisation insépique diffuse. Ces ponctuations anisotropes sont plus claires et plus jaunes. Localement, on note une légère orientation autour des vides et des grains du squelette.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. Une porosité assez importante se développe. Elle comporte surtout des vides allongés à bords irréguliers non concordants dont la largeur est comprise entre 80 et 800 m ("ortho-skew planes" de la terminologie de R. BREWER-1964).

**-T-** Les lithoreliques comportent toujours les mêmes phases très fortement ferruginisées.

Le plasma présente des liserés sombres très diffus au bord de certains vides.

# On distingue les fantômes, qui sont des minéraux primaires altérés isolés dans le fond matriciel et les lithoreliques où plusieurs fantômes sont associés, conservant la structure de la roche mère.

On retiendra que :

- \* l'organisation est toujours du même type mais plus fortement poreuse.
- \* le squelette est plus fortement divisé que précédemment, sous l'influence d'une dissolution importante des quartz.
- \* le plasma conserve une orientation très faible. Il présente des redistributions ferrugineuses en bord de vides.
- \* les muscovites sont rares et généralement plus rubéfiées que précédemment.

Tl.4 : "Nod(qz) P", 50 cm.

-S- Le squelette est presque exclusivement quartzeux, relativement fin. On note toujours quelques fantômes kaolino-gibbsitiques, non ferruginisés. Les micas sont pratiquement absents.

-P- Le plasma est rouge-brun, un peu plus clair en LP. En LPA, son organisation est silasépique.

-A- L'assemblage est toujours porphyrosquelique. La porosité est très importante et généralement large. Les vides sont ramifiés et fortement communicants. Ils définissent une structure en général finement agrégée et anguleuse.

-T- Les lithoreliques sont très abondantes. Elles occupent près de 60% de la surface de la lame et présentent des quartz disloqués, des muscovites kaolinisées et des domaines gibbsito-kaolinitiques. Une porosité importante s'y développe ; celle-ci correspond à des vides de contour très irrégulier, à bords ferruginisés dans les domaines gibbsitiques, à des vides allongés de forme lenticulaire au sein des muscovites transformées, ou à des vides arrondis, comblés par un plasma rouge vif, à forte orientation plus ou moins parallèle aux parois du vide.

Sur les bords des nodules, on observe des golfes, parfois profonds, occupés par le plasma du fond matriciel meuble. L'un de ces golfes contient un fragment de nodule raccordé par un pédoncule rouge plus clair très diffus.

De nombreux assemblages caractéristiques de l'organisation des nodules, fantômes de muscovites kaolinisés, quartz grossiers ferruginisés, sont discordants sur la limite séparant le fond matriciel meuble et le nodule.

Le plasma contient des amas de petits nodules noirs et opaques. Leur disposition respecte la forme d'un nodule plus grossier, disloqué et envahi par le fond matriciel meuble.

L'ensemble de ces faits paraît indiquer que les nodules se plasmifient progressivement.

On retiendra que :

- \* la porosité devient brusquement très importante, définissant localement un assemblage aggloméroplasmique.
- \* le squelette est encore plus finement divisé.
- \* le plasma ne présente qu'une très faible orientation.
- \* les lithoreliques sont extrêmement abondantes. Elles conservent le même type pétrographique que précédemment, encore plus fortement ferruginisé, mais présentent une forte porosité. Elles sont plus ou moins envahies et disséquées par le plasma meuble.

\*

\* \*

En conclusion de cette étude micromorphologique on rappellera les faits les plus importants, en apportant quelques éléments d'interprétation :

(i) - Le fond matriciel rouge meuble correspond, à la base de "r-Glé(rv) CS", à la pédoplasation d'un altéroplasma kaolinitique, sans développement important d'organisations orientées. Une légère orientation insépique apparaît plus haut, mais elle n'existe pas au sein de l'horizon nodulaire.

Ce plasma ne semble donc pas subir de contraintes de retrait-gonflement susceptibles de l'orienter. Soit parce que les argiles ne gonflent pas, soit parce que l'humectation ne fluctue pas au cours de l'année.

Le caractère "sec au toucher" ainsi que la faible orientation insépique dans le seul niveau où une humectation notable a pu être observée, feraient plutôt pencher vers la seconde hypothèse.

(ii)- Ce fond matriciel comprend un squelette quartzéux qui s'affine progressivement vers le sommet du profil.

La morphologie très corrodées des grains indique que cet affinement correspond essentiellement à la dissolution des grains grossiers.

(iii)- A la base, le squelette comporte aussi de nombreuses muscovites plus ou moins pseudomorphosées en kaolinite. Verticalement les muscovites pseudomorphosées disparaissent et les muscovites saines sont directement plasmifiées et rubéfiées sans conservation de leur structure.

Il s'agit vraisemblablement d'une "ferrification plasmifiante".

(iv.1)- La différenciation des nodules correspond à une imprégnation progressive par les oxy-hydroxydes de fer. Ces nodules conservent jusqu'au sommet du profil une organisation lithorelictuelle identique. Ils se concentrent relativement par rapport au plasma rouge.

(iv.2)- Cependant, au sommet de l'horizon nodulaire, on observe aussi leur destruction progressive par intégration au plasma ("plasmification").

Ceci expliquerait le fait qu'ici, l'horizon nodulaire présente toujours à peu près la même épaisseur (lorsque la source des nodules n'a pas disparu) car il s'établit un équilibre entre la concentration relative des nodules et leur "plasmification".

(v)- La concentration relative des nodules coïncide avec une discontinuité brutale de la porosité. Celle ci passe de très faible (horizon "compact") à très importante (horizon parcouru par des chenaux sub-horizontaux) en l'espace d'un décimètre au niveau de l'interface entre les horizons "r-Glé(rv) CS" et "Nod(qz) P".

Ce fait nous indique que le fonctionnement hydrique de ce sol est vraisemblablement l'un des facteurs essentiels à prendre en compte pour comprendre les différents phénomènes évoqués ici.

Ce facteur n'a cependant pas été approché de manière directe et/ou quantitative. Toutefois des mesures physiques et des observations de terrain permettent d'appréhender ce facteur primordial de façon qualitative.

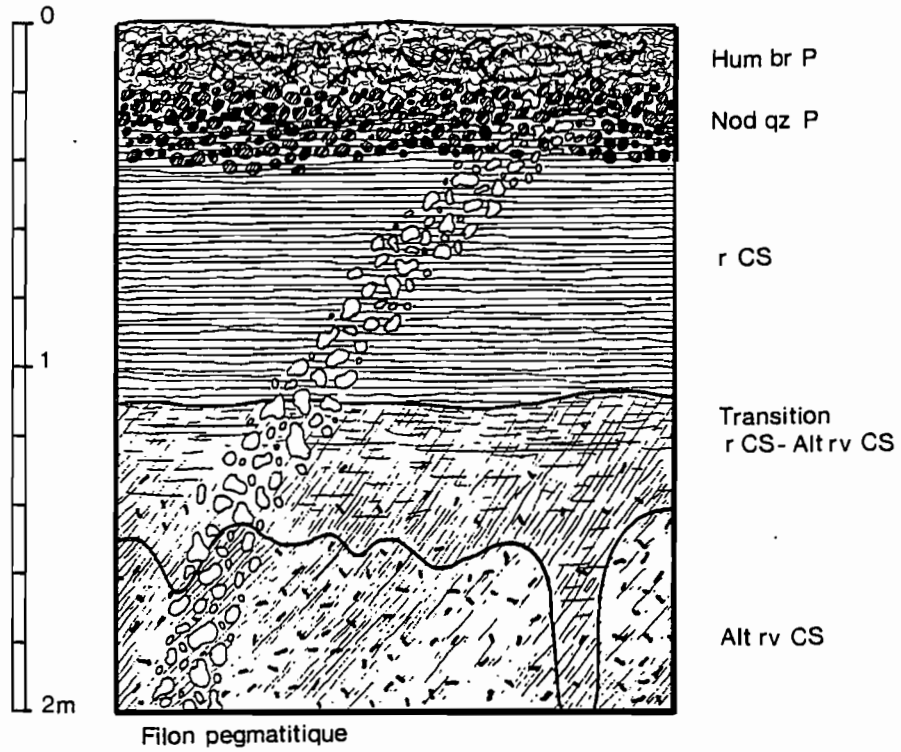


Figure 17 : Séquence verticale du versant du domaine rouge.  
(fosse T2)

## 1.2- LA SEQUENCE VERTICALE DU VERSANT : FOSSE T2.

### 1.2.1- Description macromorphologique.

Une fosse profonde de 2 m permet d'observer cette superposition jusqu'au sommet de "Alt rv CS".

La séquence des horizons d'altération, observée à la tarière jusqu'à l'apparition des veines blanches caractérisant l'horizon de transition entre "Alt rv CS" et "Alt B(w,r) CS", est identique à celle décrite pour la séquence du sommet de la colline. Seule la partie supérieure du profil sera donc décrite ici (Fig.16).

#### 0-20 cm : "Hum br P"

Cet horizon est humifère de couleur brun-rouge devenant progressivement plus rouge vers la base. Au sommet, sa structure est très fine, polyédrique anguleuse de 2 à 3 mm. Vers la base, elle devient moins nette et plus grossière (0,5 cm). Les racines sont très abondantes et s'orientent en tous sens. Au contact de l'horizon sous jacent, les plus grosses prennent une orientation horizontale. La texture est argilo-sableuse. Le sommet du profil est relativement sec, il devient graduellement plus frais vers la base de cet horizon.

#### 20-40 cm : "Nod(qz) P".

Cet horizon comporte une quantité très importante de nodules. Ils occupent plus de 70 % du volume. Leur forme est irrégulière et mamelonnée, leur taille comprise entre 1 et 5 cm. Leur surface est pratiquement noire. Quand on les casse, on observe généralement un cortex plus ou moins continu, dépassant rarement 1 mm d'épaisseur. Leur coeur est hétérogène, similaire à celui des nodules de la fosse T1.

La phase meuble de cet horizon est homogène, de couleur rouge. L'abondance des nodules ne permet pas de définir de structure précise. Cependant, on note une très forte macroporosité de chenaux, présentant parfois de fins revêtements bruns. Leur diamètre est parfois supérieur à 1 cm. L'humectation du matériau meuble est sensiblement plus élevée que celle de l'horizon sus jacent.

A la base de l'horizon, la disparition des nodules est brutale. Elle présente une limite horizontale légèrement ondulée.

#### 40-110 cm : "r CS".

Cet horizon est rouge homogène. Sa structure est très peu nette, polyédrique anguleuse grossière. Les faces de rupture sont rugueuses, avec quelques rares pores tubulaires de section ronde. La texture est argileuse. Le matériau est parfaitement "sec au toucher" dès le sommet de l'horizon. La limite inférieure est graduelle et horizontale.

#### 110-150 cm : Transition progressive entre "r CS" et "Alt rv CS".

Cet horizon présente deux phases juxtaposées : au sommet des volumes centimétriques violacés à limite assez nette, sont isolés dans un matériau rouge équivalent à celui de l'horizon "r CS". Vers la base, les volumes violacés sont plus étendus (décimétriques) et leur limite avec la phase rouge devient moins nette et moins contrastée. La structure est équivalente à celle de l'horizon précédent, mais les faces de rupture présentent une quantité relativement plus importante de pores tubulaires. La texture est argileuse, graduellement plus limoneuse vers la base.

La limite inférieure de ce niveau de transition est très irrégulière avec de profondes invaginations, où la phase rouge reste abondante, qui dépassent la base de la fosse.

150 jusqu'à 200 cm : "Alt rv CS".

Cet horizon est équivalent à celui décrit dans la fosse T1. Sa structure, qui a pu être observée ici est massive à débit polyédrique anguleux. Les faces de rupture présentent cependant un nombre encore plus important de pores tubulaires de section ronde. La porosité est donc notable mais le matériau, observé à différentes périodes de l'année reste toujours "sec au toucher".

Au niveau de cette fosse, l'ensemble des horizons est traversé par un alignement continu d'éléments grossiers d'une dizaine de centimètres de largeur. D'orientation oblique au sein de "Alt rv CS" et "r CS", il s'infléchit et devient sub-horizontale au sein de l'horizon nodulaire. Il est constitué de quartz grossiers et de domaines blancs et ocres friables à la base du profil et progressivement plus durs au sommet. Des volumes similaires à ce filon ont été notés sur l'ensemble du versant reliant les deux fosses, notamment dans les matériaux d'altération sous jacents à la fosse précédente.

\*  
\* \*

De l'étude de ce profil on retiendra les deux points suivants :

(i)- Le développement de la phase rouge de "r CS" aux dépens de "Alt rv CS" est moins progressif que celui de "rv-Glé(rv) CS", observé dans la fosse T1. Son apparition correspond ici à un horizon de transition contrasté dont la limite inférieure est très irrégulière.

Les profil T1 et T2 présentent donc des horizons médians sensiblement différents, alors que le manteau d'altération est le même ("Alt rv CS"). Il semble donc que les conditions de progression du front de pédoturbation soient différentes pour ces deux profils puisqu'elles ne fournissent pas les mêmes organisations alors que le manteau d'altération semble identique.

(ii)- A la différence de la fosse T1, l'horizon "r CS" ne contient pas d'organisations susceptibles d'alimenter l'horizon nodulaire. Pourtant, un filon relictuel traverse l'ensemble des horizons.

Ce fait nous indique donc que l'ensemble de ces différenciations verticales est autochtone. Il en résulte que les conditions de la formation de ces nodules qui existaient antérieurement, ne sont plus actuellement réalisées au sein de l'horizon "r CS".

\*  
\* \*

### 1.2.2- Description micromorphologique.

#### T2.1 : "Alt rv CS", 180 cm.

-S- Le squelette est très abondant, il comporte :

-Des quartz de taille comprise entre 1 mm et 40  $\mu$ m. Les grains grossiers ont des formes très irrégulières, assez anguleuses avec de nombreux golfes concaves. Ils se présentent fréquemment en fragments à extinction commune, séparés par le plasma. Les grains fins ont des formes arrondies ou très anguleuses (esquilles).

-Des muscovites de taille comprise entre 2  $\mu$ m et 100  $\mu$ m. Les plus grosses sont pseudomorphosées par la kaolinite et plus ou moins ferruginisées. Par contre, les plus fines sont peu fréquemment ferruginisées et présentent tous les stades, de la muscovite saine jusqu'au fantôme complètement kaolinisé.

-Quelques fantômes à cristalliplasma kaolino-gibbsitique. Leur limite avec le plasma est progressive. Les zones kaolinitiques de ces fantômes sont localisées en leur centre et ne présentent pas de porosité notable.

-P- Le plasma est rouge très sombre en LP. Son organisation dominante en LPA est faiblement silasépique. Localement on note des séparations plasmiques diffuses d'aspect phylliteux qui correspondent à des restes de muscovites kaolinisées et ferruginisées.

-A- L'assemblage est nettement porphyrosquelique. La porosité comporte des vides arrondis de large diamètre (2 à 0,5 mm) isolés ou prolongés des fissures sinueuses de 40 à 100  $\mu$ m de large, présentant de nombreux étranglements.

-T- Le fond matriciel comporte de nombreux nodules de couleur noire homogène, plus ou moins arrondis, à limite très nette, de taille inférieure à 100  $\mu$ m. Ainsi que des glébules rouges à limite plus progressive de même taille.

On retiendra que :

\* Le squelette représente la majeure partie du fond matriciel. Il comporte des quartz fortement corrodés par une dissolution importante et une quantité remarquable de muscovites saines ou pseudomorphosées par la kaolinite.

\* Le plasma ne présente pas de séparations orientées, ce qui indique une faible pédoturbation sous l'influence des alternances d'humectation et de dessiccation.

\* La porosité est faible. Elle correspond à de larges vides faiblement interconnectés par des fissures irrégulières.

#### T2.2 : "Alt rv CS" filon lithorelictuel, 160 cm.

-S- Le squelette est équivalent en tous points à celui de la lame précédente.

-P- Le plasma est hétérogène. Il comporte une phase équivalente au plasma de la lame précédente et un cristalliplasma kaolino-gibbsitique brun translucide en LP, très fortement silasépique en LPA, dont la limite est diffuse et progressive. Il contient de nombreux accordéons de kaolinite et des muscovites exfoliées, parfois légèrement auréolées par un plasma rouge translucide.

-A- L'assemblage est porphyrosquelique. La porosité est équivalente à celle de la lame précédente.

-T- On note la présence de larges lithoreliques gibbsitiques comportant des alignements de cristaux qui respectent la structure de minéraux primaires altérables : plans de clivage à 60°, macles. Quelques domaines, situés au centre des assemblages de cristaux de gibbsite, présentent un cristalliplasma kaolinitique fin.

Les quartz contenus dans ce fond matriciel sont extrêmement émoussés. Ils sont généralement disloqués, sans déplacement des différents fragments qui conservent une extinction commune. De larges muscovites parfaitement saines, se maintiennent au sein de ces lithoreliques.

On retiendra que :

\* Au sein d'une organisation équivalente à celle de la lame précédente, se maintiennent des lithoreliques qui correspondent à l'altération primaire de domaines riches en minéraux feldspathiques.

Cette altération est gibbsitique. Elle coïncide avec une dissolution intense du squelette quartzeux, alors que les muscovites sont parfaitement conservées.

\* Au centre de domaines délimités par des fentes ouvertes qui, elles, restent bordées de gibbsite, on observe un cristalliplasma kaolinitique plus fin qui efface la structure héritée des minéraux primaires. Il correspond donc à une transformation secondaire du produit de l'altération gibbsitique.

\* Les domaines de cristalliplasma sont progressivement intégrés à un plasma rouge sombre équivalent à celui de la lame T2.1. La présence de muscovites à tous stades d'altération, de la muscovite saine à la muscovite entièrement kaolinisée, dans le plasma indique qu'il s'est formé à partir d'un cristalliplasma gibbsito-kaolinitique où la transformation kaolinitique secondaire est incomplète, épargnant ainsi un grand nombre de muscovites saines.

### T2.3 : Transition "Alt rv CS" - "r CS", 120 cm.

**-S-** Le squelette grossier est presque exclusivement quartzeux, il comporte des grains de forme irrégulière, sans angles vifs. On note fréquemment la présence de fantômes kaolino-gibbsitiques, conservant parfois des traits structuraux de minéraux primaires altérables.

Le squelette fin comporte des grains de quartz de forme arrondie ou très anguleuse, en quantité relativement plus abondante que dans les lames précédentes et des muscovites en quantité toujours très abondante. Elles sont saines ou exfoliées, parfois auréolées par un plasma rouge translucide. Le nombre de muscovites pseudomorphosées par la kaolinite a nettement diminué et leur ferruginisation est beaucoup plus fréquente. Leur répartition est hétérogène, avec des concentrations localisées qui correspondent aux volumes violacés signalés dans la description macroscopique.

**-P-** Le plasma est relativement homogène rouge légèrement plus clair en LP que pour les lames précédentes, faiblement insépique en LPA. Il comporte de minces séparations squelsépiques jaune peu étendues, ainsi que des petits domaines vosépiques discontinus.

**-A-** L'assemblage est toujours porphyroscelique. La porosité correspond à des vacuoles en quantité moins importante que dans les lames précédentes, et à des chenaux sinueux à parois irrégulières. Localement, ils sont assez ramifiés et anastomosés, définissant une structure fragmentaire incomplète avec des agrégats polyédriques anguleux à subanguleux de 2 à 4 mm de large.

**-T-** Le plasma comporte des glébules noirs arrondis à limites nettes et des glébules rouges dont les limites sont progressives de même taille que dans la lame T2.2. Ils sont relativement plus abondants là où l'on observe le plus de muscovites pseudomorphosées.

#### On retiendra que :

\* Le plasma caractérisant le fond matriciel rouge est plus abondant que celui qui est représenté dans le fond matriciel violacé. Il correspond à la plasmification des muscovites pseudomorphosées en kaolinite qui constituaient une partie importante du squelette de l'horizon "Alt rv CS".

\* Bien que le prélèvement ait été effectué à bonne distance du filon lithorelictuel, les fantômes et les lithoreliques gibbsitiques sont abondants.

\* La porosité reste faible et de nature équivalente à celle de "Alt rv CS".

### T2.4 : "r CS", 80 cm.

**-S-** Le squelette est abondant, très rarement de taille supérieure à 1 mm, les grains de quartz grossiers ont un diamètre compris entre 0,5 et 0,8 mm. Des fantômes gibbsitiques ou gibbsito-kaolinitique sont fréquents. Ils mesurent entre 0,1 et 0,5 mm. Leur contours sont généralement irréguliers, plus ou moins interpénétrés avec le plasma rouge environnant.

La fraction fine est nettement plus abondante ; elle comporte surtout des quartz, très arrondis ou en esquille, et des muscovites saines pratiquement systématiquement auréolées par un plasma rouge translucide. Les gros assemblages kaolinitiques phylliteux ont disparus, on n'observe plus que quelques baguettes de petite taille fortement ferruginisées.

**-P-** Le plasma est hétérogène. En LP, il présente des domaines rouge intimement juxtaposés à des domaines brun-rouge. En LPA, l'organisation de ces deux plasmas est similaire, faiblement insépique. Les séparations plasmiques squelsépiques et vosépiques sont relativement plus abondantes, mais toujours assez peu développées. L'abondance relative du plasma le plus brun définit un réseau incomplet, très peu contrasté, qui isole des domaines plus rouges.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. La porosité est plus développée. Elle correspond à des chenaux sinueux d'orientation plutôt verticale. Localement, ils sont fortement ramifiés et interconnectés définissant une structure fragmentaire assez complète. La taille de ces agrégats s'étend généralement entre 2 et 0,5 mm ; ils sont parfois très petits atteignant une centaine de microns.

On note aussi la présence de passages d'origine biologique, partiellement comblés par un matériau micro-agrégé, clair à squelette limoneux.

**-T-** Les glébules noirs et rouges sont toujours présents, mais leur quantité est nettement plus faible et leur taille est généralement plus petite (rarement plus de 50  $\mu$ m).

**On retiendra que :**

\* Le squelette quartzeux fin est plus abondant. Les muscovites pseudomorphosées en kaolinite ont disparues, alors que les muscovites saines sont directement plasmifiées.

\* La couleur dominante du plasma est rouge. Il présente une faible différenciation de couleur plus brune qui ne s'exprime pas par une modification de son organisation.

\* Bien que toujours faible, la porosité est plus développée que précédemment ; son orientation paraît verticale.

*T2.5 : "r CS", filon lithorelictuel, 80 cm.*

Cette lame ne diffère de la précédente que par le trait correspondant au filon lithorelictuel. Seul celui-ci sera donc décrit ici.

Le squelette des domaines lithorelictuels comporte des quartz fortement divisés dont les fragments, de forme arrondie, sont séparés par un cristalliplasma gibbsitique. De larges muscovites parfaitement saines sont toujours présentes. Dans le cristalliplasma kaolinitique, elles sont exfoliées et présentent des zones grises de pseudomorphose en kaolinite.

Le cristalliplasma gibbsitique est généralement grossier. Il se présente souvent sous forme de cloisons ou d'alignements respectant les structures des minéraux primaires altérés. Le cristalliplasma kaolinitique se développe surtout au centre de zones gibbsitiques et ne présente pas de porosité observable.

Ces lithoreliques sont nettement plus poreuses que celles observées à 160 cm. Elles comportent une macroporosité de lacunes délimitées par les alignements gibbsitiques. Les parois de ces vides présentent généralement une auréole ferruginisée qui s'insère entre les cristaux de gibbsite.

La limite entre les lithoreliques et le plasma meuble environnant est extrêmement irrégulière. Elle correspond à des invaginations de plasma rouge qui ne respectent parfois que les cloisons gibbsitiques.

**On retiendra que :**

\* Les lithoreliques présentent le même type pétrographique que celles observées à 160 cm.

\* Elles conservent des muscovites parfaitement saines.

\* Elles sont très nettement plus poreuses et fortement envahies par le plasma environnant.

*T2.6 : "Nod(qz) P", 50 cm.*

**-S-** Le squelette est exclusivement quartzeux, de taille comprise entre 0,5 mm et 20  $\mu$ m. Leur forme est le plus souvent irrégulière très émoussée. Les fractions fines (de l'ordre de 100  $\mu$ m) sont les plus abondantes, on note quelques grains plus grossiers de 1 à 2 mm de diamètre et de rares baguettes de micas totalement ferruginisées.

**-P-** Le plasma est rouge-brun en LP, à dominante silasépique, localement faiblement insépique en LPA. On note quelques séparations plasmiques squelsépiques peu abondantes et localisées entre des grains du squelette proches.

**-A-** L'assemblage est aggloméroplasmique. Les agrégats sont polyédriques subanguleux, généralement très peu poreux mesurant quelques mm de large.

La porosité est extrêmement développée. Elle correspond pour la majeure partie à de très larges chenaux (1 à 3 mm), à bords irréguliers. Localement, ceux-ci sont plus fins et fortement anastomosés, définissant une structure microagrégée. Les agrégats sont polyédriques subanguleux de 100 à 200  $\mu$ m de large.

-T- Le principal trait correspond aux nodules, qui occupent environ 70 % de la surface de la lame. Ils sont très fortement ferruginisés et comportent :

-des quartz finement divisés, dont les fragments sont anguleux et conservent une extinction conjointe.

-des domaines conservant la structure phylliteuse des muscovites sous la forme de cloisons ferrugineuses parallèles.

-des domaines kaolino-gibbsitiques de coloration rouge plus ou moins foncé en LP, silasépique en LPA.

-Un cortex noir très discontinu.

Leur porosité est relativement développée, avec des lacunes nombreuses et des chenaux plus ou moins comblés par un plasma fortement anisotrope orangé, d'orientation vosépique sur les bords.

Le plasma pénètre dans les nodules au niveau d'invaginations ou de chenaux isolant en un site un morceau de cortex du nodule où il s'est formé.

**On retiendra que :**

\* La porosité est extrêmement développée, et tranche nettement avec le niveau sous-jacent. Elle est aussi notablement plus développée que dans l'horizon nodulaire observé au niveau de la fosse T1.

\* Les nodules sont fortement ferruginisés, et présentent localement la différenciation d'un cortex.

\* Ils ont un type pétrographique équivalent à ceux de la fosse précédente.

**T2.7 : "Nod(qz) P", 30 cm.**

-S- Le squelette est quartzeux ; il est nettement plus abondant que dans la lame précédente, mais les fractions fines sont moins bien représentées par rapport aux grains grossiers.

-P- Le plasma est brun-rouge translucide en LP, d'organisation silasépique en LPA. Les séparations squeletiques sont peu abondantes et peu nettes.

-A- L'assemblage est aggloméroplasmique, avec des agrégats polyédriques subanguleux de petite taille (de 0,5 à 1 mm).

La porosité correspond à des chenaux, moins larges que dans la lame précédente mais plus nombreux ; ils sont localement très anastomosés.

-T- Les nodules sont de plus petite taille et occupent une surface plus faible (environ 50 %).

Ils comportent un squelette quartzeux finement divisé et un coeur très ferruginisé rouge opaque assez homogène. Les cortex, pratiquement continus, sont localement recoupés par une différenciation interne aux nodules : un plasma brun-jaune sombre en LP, totalement isotrope en LPA. Sa limite avec le coeur rouge sombre du nodule est très irrégulière, elle correspond à un domaine diffus où se juxtaposent des ponctuations plus ou moins coalescentes correspondant à chacune des deux phases.

**On retiendra que :**

\* Le squelette est plus grossier et domine nettement le plasma.

\* La porosité est plus développée, mais la largeur des pores est plus faible.

\* Les nodules sont moins abondants. Ils sont corticiés et très fortement ferruginisés.

\* Ils présentent des différenciations internes qui effacent les structures lithorelictuelles jusqu'alors préservées.

\*  
\* \*

De cette étude micromorphologique, on fera ressortir ici un certain nombre de faits saillants. En les reportant à ceux de l'étude précédente, il est alors possible d'avancer certaines hypothèses quant à la genèse des horizons caractéristiques du domaine rouge.

(i)- De la même façon que dans le profil précédent, le squelette quartzé s'affine progressivement vers le sommet par dissolution et fragmentation des grains grossiers.

Toutefois, bien que cette tendance soit globalement respectée, au niveau de la fosse T2, les grains de quartz y sont plus fins à la base de l'horizon nodulaire qu'à son sommet. Leur dissolution serait donc plus importante à ce niveau inférieur de l'horizon nodulaire.

(ii)- Au sein de "Alt rv CS", le squelette comporte un nombre très important de muscovites plus ou moins pseudomorphosées en kaolinite. Plus haut, les assemblages de kaolinites à structure phylliteuse conservée disparaissent et les muscovites saines sont directement intégrées au plasma rouge ("ferrification plasmifiante"). Cette séquence d'organisations n'avait pu être observée dans la fosse T1.

(iii)- L'évolution du fond matriciel meuble, au sein des horizons médians, correspond à la pédoplasation d'un altéroplasma, sans développement important d'organisations orientées.

Elle est similaire à celle observée dans la fosse T1. Ce critère ne permet donc pas de distinguer les deux sous-domaines rouges.

(iv)- L'alignement lithorelictuel correspond à un filon pegmatitique riche en minéraux feldspathiques, totalement gibbsitisés. En outre, cet alignement contient de larges muscovites qui restent saines, alors que les quartz présentent des figures de dissolution importante.

Ces lithoreliques subissent une kaolinisation secondaire dans des domaines à faible macroporosité. Elles sont alors progressivement intégrées au fond matriciel de "Alt rv CS" par le biais d'un plasma fortement silasépique.

Plus haut, dans l'horizon "r CS", elles comportent une forte macroporosité et leur plasmification est plus accentuée.

- L'organisation de ce filon pegmatitique montre que l'altération primaire est bien allitique, comme le laissait supposer les fantômes observés dans les glébules et les nodules de la fosse T1.

Cependant, on notera qu'il apparaît ici que ce processus d'altération ne correspond pas strictement à la séquence de stabilité des minéraux établie par GOLDICH. En effet, les

muscovites sont préservées alors que les quartz sont fortement altérés. Ces micas blancs ne sont pseudomorphosées qu'ultérieurement# au sein du cristalli-plasma kaolinitique qui se développe au coeur des fantômes gibbsitiques.

- Une altération monosiallitique secondaire succède donc à l'altération allitique initiale ##.

- Ce sont ces assemblages secondaires, où seuls les quartz et les muscovites sont identifiables, qui se ferruginiseraient au niveau de la fosse T1 (le cristalli-plasma kaolinitique y étant masqué par les oxy-hydroxydes de fer).

(v.1)- L'abondance des muscovites saines au sein du fond matriciel rouge (tant au niveau de cette fosse que pour la fosse T1), montre qu'une partie importante du plasma se développe à partir du fond matriciel de l'altérite primaire, avant qu'il ne soit totalement transformé en kaolinite (macro-cristallites incolores discernables au microscope optique).

Ce développement se ferait essentiellement aux dépens du cristalliplasma gibbsitique; préservant ainsi un grand nombre de muscovites peu altérées.

(v.2)- De plus, on observe alors une transformation directe des muscovites en plasma rouge.

Il semble donc que les conditions nécessaires à la pseudomorphose des muscovites en kaolinites incolores ne sont plus réunies. Elles seraient ici totalement détruites avant de reconstituer le plasma rouge, ne laissant ainsi plus aucune trace des structures épargnées jusqu'alors par l'altération allitique primaire puis par la transformation monosiallitique secondaire.

(vi.1)- Les nodules de la fosse T1 résultent d'une séquence verticale continue de ferruginisation progressive. Ici cette séquence n'existe pas : le niveau nodulaire, de même nature pétrographique que dans la fosse T1, est présent au sommet du profil T2, mais les organisations susceptibles de l'alimenter ne se retrouvent pas dans les horizons sous-jacents. Le filon pegmatitique traversant l'ensemble de ces horizons ("Alt rv CS", "r CS" et "Nod(qz) P") prouve cependant leur autochtonie.

# Le filon pegmatique montre qu'au moins jusqu'au sommet de l'horizon nodulaire, l'ensemble des horizons est en place. Il en résulte que les matériaux pédoturbés les plus "anciens" se trouvent vers le sommet du profil.

Le mot "ancien" est ici placé entre guillemets. En effet, il est impossible, avec les techniques utilisées dans le cadre de ce travail, de se faire une idée de l'âge absolu et de la cinétique de formation des différents horizons décrits ici. Toutefois, la démarche de l'analyse structurale qui a été menée ici, nous permettra d'établir la dynamique relative de formation des horizons caractérisant les différents domaines. Elle permettra aussi de déterminer les horizons qui ne semblent plus fonctionnels actuellement (toujours en termes relatifs).

## La même observation a été faite à Cuhna, Serra do Mar, Brésil, par S.FURIAN (Comm. orale).

Le niveau nodulaire ne peut donc provenir d'un apport latéral par colluvionnement ou solifluction. Il est un témoin (par défaut) de l'extension initialement beaucoup plus importante de "r-Glé(rv) CS".

Cette relique du domaine rouge "de sommet" discordante par rapport aux horizons médians du domaine rouge "de versant" permet d'affirmer que ces deux domaines font partie d'un même système de transformation où le second gagne de façon centripète sur le premier.

(vi.2)- L'étude de la coupe (Fig.12), nous montre que la disparition de cet horizon coïncide avec la remontée du niveau d'apparition de l'altérite violacée.

Sur la zone sommitale de cette colline (décrite par la fosse T1), il y a donc un mécanisme de concentration relative des nodules au sommet du sol, à dynamique plus rapide que la pédoplasation du matériaux d'altération violacé.

En conséquence, il apparaît que l'horizon "r CS" ne correspond pas à une transformation latérale directe de l'horizon "r-Glé(rv) CS", mais à une évolution verticale qui conduit à un enfouissement relatif d'une pédogenèse de nature différente au sein de la même séquence d'altération. Ce phénomène plus récent succède à un rajeunissement du sol par élimination de l'horizon médian "r-Glé(rv) CS" aux dépens de l'horizon nodulaire.

(vi.3)- Il faut souligner que l'épaisseur de l'horizon nodulaire n'augmente, ni ne diminue de façon notable le long du versant.

La destruction des nodules équilibre donc leur formation tant que l'horizon nodulaire est alimenté par une séquence continue (cas de la fosse T1).

En revanche, lorsque la séquence est interrompue (cas de la fosse T2), la destruction des nodules doit devenir moins rapide, vraisemblablement du fait d'un contexte pédogénétique différent. Les nodules ne sont cependant pas "figés". En effet, ils présentent des modifications d'organisation internes qui correspondent à une "dérubéfaction".

(vi.4)- D'autre part la macroporosité de la phase meuble qui emballe les nodules est nettement plus importante au niveau de la fosse T2 qu'au niveau de la fosse T1 (surtout à la base de l'horizon nodulaire).

Ce développement peut être attribué à une augmentation continue du flux hydrique latéral. En effet, en un point du versant, l'horizon nodulaire cumule l'eau qui s'infiltré verticalement jusqu'à sa base et celle, reçue par les points situés en amont, qui circule latéralement au dessus des matériaux "secs au toucher" ("r-Glé(rv) CS" ou "r CS"). Il y aurait donc une sorte d'érosion sub-superficielle, éliminant une part de plus en plus importante de la phase meuble de l'horizon nodulaire le long du versant.

(vi.5)- Quant à la nature de cette érosion sub-superficielle, l'absence de cutane d'illuviation au niveau de ces deux profils nous permet d'énoncer deux hypothèses :

a- Soit les particules constituant le plasma sont éliminées latéralement sous forme solide au sein des chenaux sub-horizontaux de l'horizon nodulaire. Et ceci sans pouvoir se redéposer en cours de chemin, du fait de l'importance des flux hydriques (observés sur le terrain). On parlerait alors "d'érosion vraie".

b- Soit ces particules sont éliminées sous forme d'ions après leur dissolution. Ce qui amènerait à parler "d'érosion géochimique" (l'étude des domaines suivants permettra d'étayer et de nuancer cette seconde hypothèse).

Quoi qu'il en soit, à ce niveau de l'étude il est possible d'avancer des hypothèses fiables quant au fonctionnement de ces deux "sous-domaines" rouges :

- Pour le domaine rouge "de sommet", la formation de l'horizon médian "*r-Glé(rv) CS*" semble ne plus être fonctionnelle relativement à celle de l'horizon nodulaire (le toit du manteau d'altération "remonte"). Mais cet horizon nodulaire se détruit à son sommet aussi rapidement qu'il se forme à sa base (son épaisseur reste constante).

- Le fonctionnement du domaine rouge "de versant" serait pratiquement inverse : la formation de l'horizon médian "*r CS*" semble très active. Alors qu'en revanche, la destruction des nodules devient moins importante (toujours en termes relatifs et sans pouvoir donner l'échelle de temps absolue de ces phénomènes). Toutefois, comme on l'a déjà signalé, ces nodules continuent d'évoluer (dérubéfaction).

\*  
\* \*

## 2- ETUDE DU DOMAINE INTERMEDIAIRE : TRANCHEE T3.

### 2.1- Description macromorphologique.

Les principales modifications morphologiques correspondant au domaine intermédiaire sont observées dans la tranchée T3 qui est située à la base de la colline et mesure 5 m de long.

La description présente dans un premier temps le profil correspondant à la superposition des horizons de l'amont de la fosse. Puis les modifications latérales et les nouveaux horizons sont présentés en suivant leur ordre d'apparition vers l'aval (Fig.18).

A l'amont on observe la superposition suivante :

0-8 cm : "Hum bs P".

Cet horizon est humifère, de couleur brun très sombre. Sa structure est très fine, microagrégée à agrégats millimétriques ronds, parfois plus anguleux. La porosité d'assemblage de ces agrégats est très importante. On observe de nombreux vides tubulaires isodiamétriques d'origine biologique. Les racines sont extrêmement nombreuses, formant un lacis très dense. La limite inférieure de cet horizon est nette, très légèrement ondulée. Elle correspond à une très forte diminution du nombre de racines.

8-35 cm : "Hum br p".

Cet horizon brun-rouge, présente des volumes plus sombres peu contrastés. Vers la base, il devient plus rouge et les volumes sombres disparaissent. Au sommet, la structure est polyédrique anguleuse de 0,5 à 1 cm, avec quelques domaines à structure plus fine de 1 à 2 mm. Vers la base, elle devient moins nette et plus grossière (de 2 à 3 cm). La porosité est moins importante que dans l'horizon précédent. Elle comporte de fins chenaux, des fissures, et quelques tubules biologiques. Les racines sont nombreuses, et s'orientent en tout sens. La texture est argilo-sableuse, mais devient plus argileuse vers la base de l'horizon. La limite inférieure est nette, assez ondulée. Elle correspond à l'apparition des nodules.

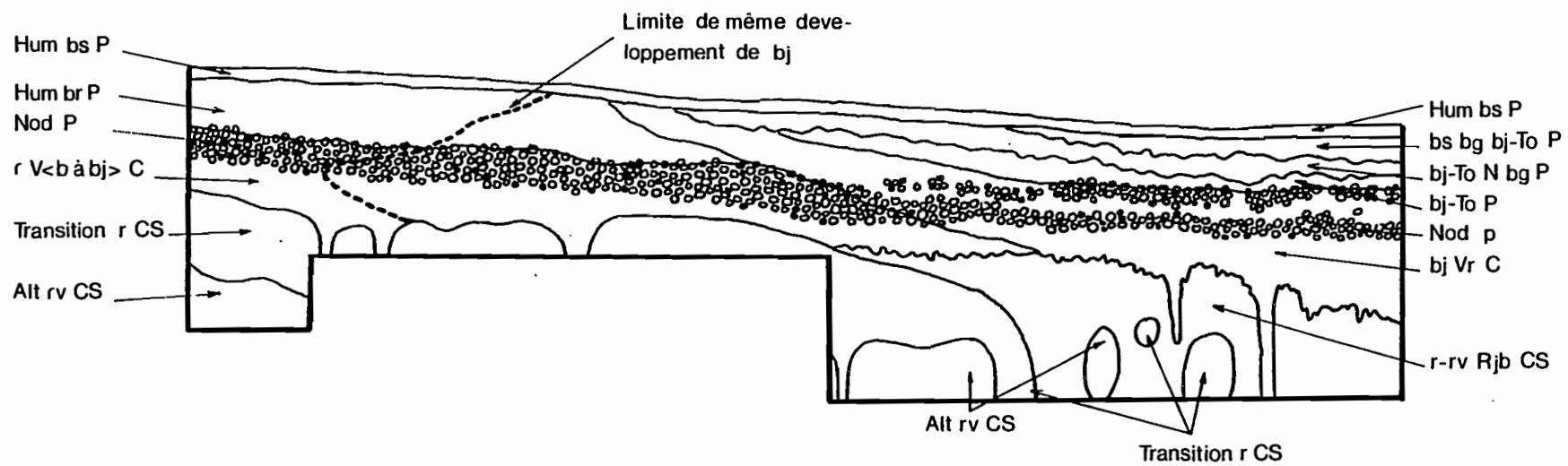
35-60 cm : "Nod P".

Cet horizon correspond à une importante concentration nodulaire. Les nodules, noirs à rouge-noirs, occupent près de 70% du volume. Ils sont généralement arrondis, plus mamelonnés pour les plus gros. Leur taille va de 1 à 5 cm. Ils sont très durs et présentent très fréquemment un cortex continu brun foncé, parfois épais (jusqu'à 2 mm). Leur coeur est souvent hétérogène avec une juxtaposition de phases, noires, rouges et ocre. Le matériau qui les emboîte est rouge. Il présente une forte porosité constituée de chenaux tubulaires dispersés d'orientation horizontale. En saison des pluies, ces vides débitent une quantité d'eau considérable, remplissant totalement la fosse en moins d'une demi-heure.

60-90 cm : "r V(b) C".

Cet horizon de couleur dominante rouge présente à son sommet une quantité assez importante de petites plages brunes, peu contrastées mais à limites nettes. Le nombre de ces plages diminue vers la base de l'horizon. La structure est très peu nette, polyédrique anguleuse de 4 à 5 cm de large. La porosité est peu développée et correspond à des vides tubulaires millimétriques, disposés perpendiculairement aux faces de rupture du matériau. La texture est argileuse et l'humectation très faible. Les racines sont pratiquement absentes. La limite inférieure de l'horizon est très irrégulière. Elle présente des glosses, d'une dizaine de centimètres de large, dont la coloration est hétérogène : au sommet, elles comportent des taches rouges très contrastées sur un fond brun. Vers la base, le fond devient plus jaune et ne contient pratiquement plus de taches rouges. Leur humectation est bien plus importante que celle du reste de l'horizon. Ces glosses coïncident verticalement avec une diminution locale de l'épaisseur du niveau de concentration nodulaire ; sur l'une des faces latérales de la fosse, il présentait même une interruption à l'aplomb d'une glosse.

Figure 18 : Successions latérales du domaine intermédiaire.  
(fosse T3)



*90-130 cm : transition entre "r V(b) C" et "Alt rv CS".*

Cet horizon hétérogène comporte deux phases juxtaposées : une phase rouge isole des volumes violacés à limite nette. Vers la base le réseau rouge devient de moins en moins important, puis disparaît. La structure est très peu nette, polyédrique anguleuse grossière, d'une dizaine de centimètres de large. Les faces de rupture du matériau présentent une quantité plus importante de pores tubulaires que l'horizon précédent. La texture est argileuse, sensiblement plus limoneuse pour les plages violacées. Ce matériau ne présente pas d'humectation sensible au toucher. On n'observe aucune racine. La transition avec l'altérite sous-jacente est progressive et assez peu contrastée.

*130 jusqu'à 180 : "Alt rv CS".*

Cet horizon est relativement homogène, de couleur violacée. Il contient une quantité importante de plaquettes de micas de taille millimétrique. La structure et la porosité sont équivalentes à celles de l'horizon précédent. La texture est argilo-limoneuse.

Les modifications latérales correspondent aux apparitions successives des horizons suivants :

*"r V<b à bj> C".*

La première différenciation qui apparaît correspond à un développement très progressif de la phase brune de l'horizon "r V(b) C". Les plages deviennent légèrement plus nombreuses, plus larges et plus contrastées ; leur limites sont souvent diffuses. La coloration de ces plages passe progressivement de brun à brun-jaune à mesure qu'elles s'étendent. Cette modification commence à la base de l'horizon nodulaire. Elle se développe vers le bas, jusqu'à l'horizon de transition avec l'altérite, et vers le haut en recoupant l'horizon de concentration nodulaire et l'horizon "Hum br P". En se fixant un échantillon de cet horizon variant, on met en évidence que le développement de cette différenciation correspond à une langue. Elle est représentée par la ligne tiretée qui figure sur le dessin de la fosse. Cette limite très progressive n'est pas assez nette pour définir un nouvel horizon. On a donc choisi de regrouper l'ensemble du volume dans un même horizon variant latéralement : "r V<b à bj> C".

Ce choix est conforté par le fait que le développement de la phase brun-jaune n'affecte pas notablement la structure des horizons qu'elle recoupe.

*"bj V(r) C".*

A partir de la base de "Hum bs P", apparaît l'horizon "bj V(r) C", sa limite avec "r V<b à bj> C" est nettement moins progressive que celle de la langue présentée dans le paragraphe précédent, ce qui a permis de distinguer un nouvel horizon. Cette différenciation correspond à un développement rapide de la phase brun-jaune. Les taches s'anastomosent et forment un réseau continu qui isole des taches rouges moins foncées que dans l'horizon précédent. La limite qui sépare ces deux horizons est oblique, légèrement ondulée. En revanche la limite qui sépare "bj V(r) C" du niveau de transition avec l'altérite violacée est extrêmement irrégulière. Elle présente des glosses à limite très nette de même nature qu'à l'amont.

La structure de "bj V(r) C" est assez nette, polyédrique anguleuse de 1 à 2 cm de large. La porosité est plus développée mais reste assez faible. Elle correspond à des vides tubulaires de section généralement ronde parfois très irrégulière. Latéralement, à mesure que l'horizon s'épaissit, on observe, à son sommet, des domaines plus poreux avec des vides tubulaires de section irrégulière. Cette tendance coïncide avec une diminution de l'importance de la phase rouge (qui, à l'aval, disparaît pratiquement au sommet de l'horizon) et une modification de la texture, qui latéralement devient plus sableuse (en se référant à une même profondeur). Les racines sont assez peu nombreuses, elle s'enfoncent généralement verticalement.

*"Nod p".*

L'horizon "bj V(r) C" recoupe donc le niveau de concentration nodulaire. Ce dernier conserve une épaisseur relativement constante, mais il se dédouble et sa partie supérieure devient discontinue, avec des volumes allongés d'épaisseur variable où les nodules dominent nettement la phase meuble de l'horizon "bj V(r) C". En revanche, la limite inférieure de

"Nod p" correspond à un niveau de concentration de nodules relativement continu de 5 à 10 cm d'épaisseur. De l'amont à l'aval de la fosse, la profondeur de l'ensemble nodulaire reste donc à peu près constante. Ce n'est que le niveau continu qui devient plus profond du fait de son amincissement.

Les nodules sont plus petits qu'à l'amont de la fosse, la présence d'une cuticule est plus généralisée. Les larges pores tubulaires observés au sein de ce niveau à l'amont de la fosse n'existent plus quand il commence à se disloquer.

#### *"r-rv R jb CS".*

Lorsque l'horizon "bj V(r) C" commence à recouper l'horizon de concentration nodulaire, on note l'apparition, à la base de "r V(b à bj) C", d'un horizon très hétérogène : "r-rv R jb CS". Il présente la juxtaposition de phases rouge et rouge-violacée à limites nettes, séparées par un réseau jaune-brun très contrasté. Cet horizon s'épaissit très rapidement jusqu'à la base de la fosse, mais il contient de larges volumes nettement moins hétérogènes qui correspondent au volume de transition entre "r V(b) C" et "Alt rv CS" de l'amont ou à l'horizon "Alt rv CS".

Sa structure est polyédrique anguleuse grossière très peu nette et sa texture argileuse. Il ne présente pas d'humectation sensible au toucher en dehors des glosses qui le traversent.

#### *"bj-T(o) N bg P".*

A la partie supérieure du profil, entre "Hum bs P" et "bj V(r) C" et peu après l'apparition de ce dernier, on observe l'horizon "bj-T(o) N bg P" où deux phases assez peu contrastées, brun-jaune et brun-gris clair, sont interpénétrées avec des limites très nettes. L'épaisseur de cet horizon est relativement constante ; elle s'établit rapidement entre 10 et 15 cm. Sa limite inférieure est oblique, fortement ondulée.

La structure est polyédrique subanguleuse assez nette de 1 à 2 cm de large. La phase brun jaune présente une sous-structure polyédrique anguleuse très fine qui n'existe pas dans la phase brun-gris. En revanche, cette dernière présente une fine porosité tubulaire plus importante qu'au sein de la phase brun-jaune. Celle-ci comporte surtout de fins vides fissurés. Latéralement, on observe un développement du contraste entre les deux phases, la phase brun-gris devenant plus foncée, et l'apparition de taches ocres filamenteuses très contrastées associées préférentiellement à la porosité de la phase brun-jaune. La texture est sablo-argileuse. Les racines sont nombreuses, orientées en tout sens.

#### *"bj-T(o) P".*

Lorsque les taches ocres deviennent plus contrastées au sein de la phase brun-jaune de "bj-T(o) N bg P", on note l'apparition, à sa base, de "bj-T(o) P" qui présente les mêmes taches d'hydromorphie mais où la phase brun-gris est absente. La limite de cet horizon est oblique et assez régulière. Elle rejoint le sommet du niveau de concentration nodulaire, puis se maintient à cette profondeur jusqu'à l'extrémité de la fosse. L'épaisseur de l'horizon fluctue alors entre 5 et 15 cm selon les ondulations de l'horizon qui le surmonte. La structure est polyédrique anguleuse assez nette, de l'ordre de 2 cm de large. La porosité est importante, elle correspond à des fissures et à des tubules de section très irrégulière qui se disposent perpendiculairement aux faces des mottes. La texture est argilo-sableuse. Les racines sont toujours présentes, mais nettement moins abondantes que dans l'horizon sus jacent.

#### *"bs-bg-(bj-T(o)) P."*

Le dernier horizon qui apparaît dans cette tranchée est "bs-bg-(bj-T(o)) P". Il correspond à la juxtaposition des deux phases de "bj-T(o) N bg P" aux quelles s'associe une phase brun sombre correspondant vraisemblablement à des pénétrations organiques. Cette dernière présente des limites diffuses, parfois nettes quand elle correspond à des tubules isodiamétriques de remplissage biologique. Verticalement, la phase brun-jaune à taches ocres diminue pour finalement disparaître vers le sommet de l'horizon aux dépens de la phase brun-gris. Latéralement, cet horizon s'épaissit progressivement pour atteindre 20 cm à l'extrémité de la fosse. Sa limite inférieure est oblique et légèrement ondulée.

La structure est polyédrique subanguleuse fine, les agrégats mesurant généralement moins de 1 cm. La porosité est très importante. Elle correspond à des fissures, des vides tubulaires de section irrégulière et des tubes biologiques cylindriques. La texture est sablo-argileuse, la fraction sableuse étant encore plus importante que dans l'horizon "bj-T(o) N bg P".

De l'étude de cette tranchée, on retiendra les points suivants :

(i)- A l'amont de la tranchée, on observe une succession verticale assez semblable à celle observée dans la fosse T2 : Seul l'horizon médian diffère. Il est moins épais que "r CS" et présente à son sommet, des taches brunes peu contrastées qui n'existaient pas auparavant.

(ii)- Latéralement, la phase brune se développe et devient très progressivement plus jaune. Elle recoupe l'horizon médian et l'ensemble des horizons supérieurs sans en modifier la structure. En suivant une courbe d'égale différenciation de cette phase, on met en évidence une langue dont l'extrémité coïncide avec la base de l'horizon nodulaire.

(iii)- Tranchant nettement avec ce développement très progressif, on observe, à partir de la base de l'horizon humifère, une limite oblique où la phase jaune s'étend rapidement aux dépens de la phase rouge (horizon "bj V(r) C"). Ce développement correspond à l'apparition d'une structure fragmentaire assez nette, plus fine que celle des horizons de l'amont, mais la porosité ainsi que l'humectation restent faibles. Cet horizon s'épaissit rapidement vers l'aval de la tranchée. La phase rouge devient latéralement de moins en moins abondante et contrastée.

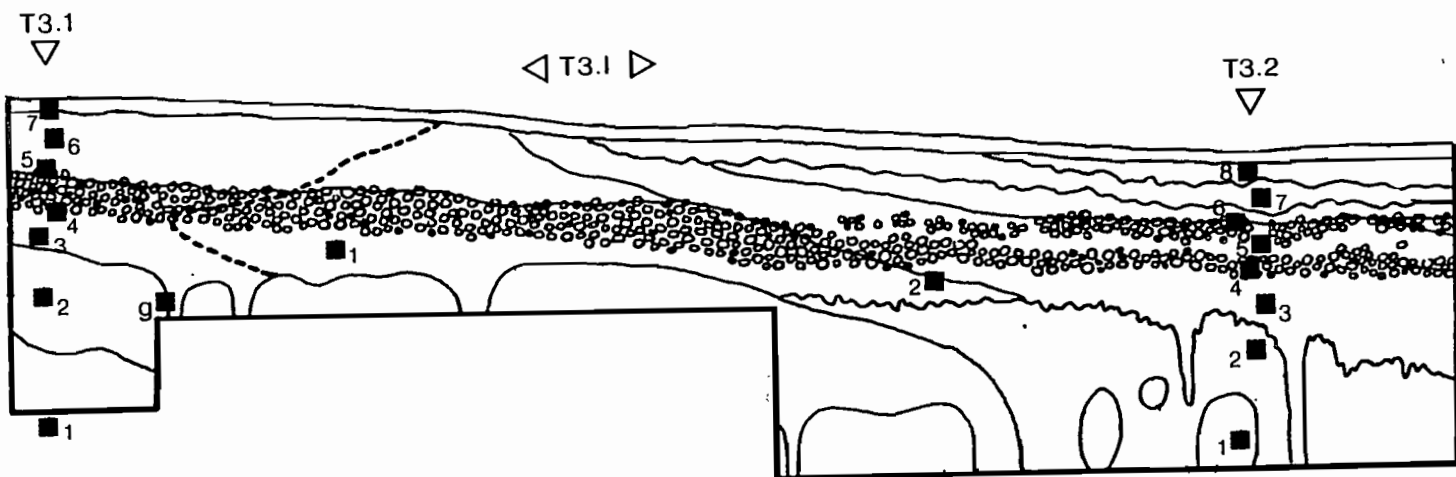
(iv)- Au sein de l'horizon "bj V(r) C", le niveau de concentration nodulaire se dédouble et sa partie supérieure se disloque. Les larges chenaux qui parcouraient horizontalement sa base à l'amont disparaissent. Les nodules présentent presque systématiquement un cortex épais. Leur taille devient généralement plus petite vers l'aval de la tranchée.

(v)- Le sommet du manteau d'altération présente un niveau supérieur très hétérogène, qui se développe très rapidement aux dépens de la transition progressive qui caractérise l'amont de la fosse.

(vi)- A la partie supérieure du sol apparaissent un ensemble d'horizons hétérogènes marqués par une hydromorphie de type pseudogley qui se met en place latéralement. Ces horizons présentent deux phases majeures, brun jaune et brun-gris. La seconde, fortement poreuse, se développe progressivement aux dépens de la première, qui présente une hydromorphie plus marquée.

\*  
\* \*

Figure 19 : Position des lames minces dans la fosse T3.



## 2.2- Description micromorphologique.

La description micromorphologique présente deux profils verticaux de lames, respectivement situés à l'amont et à l'aval de la tranchée (T3.1 et T3.2). Quelques lames intermédiaires (T3.I) permettent de mieux cerner la différenciation latérale progressive qui s'effectue au sein de l'horizon "r V < b à bj > C", conduisant de l'horizon "r V(b) C" à l'horizon "bj V(r) C" (Fig.19).

### 2.2.1- Amont de la tranchée : profil T3.1

#### T3.1.1 : "Alt rv CS", 140 cm

**-S-** Le squelette comporte des quartz, dont la taille varie entre 1,5 mm et 40 m. Les grains de diamètre supérieur à 400 m sont largement dominants. Leur forme est très irrégulière avec de nombreux golfes, parfois des isthmes.

On note un grand nombre de muscovites. Elles sont totalement pseudomorphosées par la kaolinite et très fréquemment ferruginisées. Leur taille est comprise entre 1 et 0,1 mm de long et 200 à 10 m de large. Elles se présentent le plus souvent sous la forme de baguettes. A proximité des grains des quartz, les baguettes s'orientent parfois de façon squelsépique. On observe aussi des éventails et des paquets de cristallites trapus, localement très abondants.

**-P-** Le plasma est rouge sombre en LP. Son orientation est bimasépique nette en LPA. Autour de certains grains du squelette on note de légères séparations squelsépiques.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique, les grains du squelette étant dispersés au sein du plasma.

La porosité est très faible. Elle correspond à quelques fissures, assez rectilignes, d'orientation verticale et à des vides isolés de contour irrégulier ("orthovughs" de la terminologie de R.BREWER-1964).

**-T-** Le plasma présente de nombreux nodules noirs, arrondis, à limite nette, de 200 à 50 m de diamètre et des glébules rouge foncé à limites diffuses de taille identique.

On observe une lithorelique à limite très irrégulière, avec de profonds golfes occupés par le plasma du fond matriciel. Au sein d'un plasma ferrugineux noir, elle présente des quartz grossiers fortement divisés, de très larges fantômes de muscovites totalement kaolinisés et plus ou moins fortement ferruginisés, ainsi que des domaines de cristalliplasma kaolinitique ferruginisé non identifiables.

On retiendra que :

\* Le squelette est constitué par des quartz dispersés fortement corrodés et un grand nombre de muscovites généralement totalement transformées en kaolinite et ferruginisées.

\* Le plasma présente une forte orientation bimasépique.

\* La porosité est très faible.

\* Des lithoreliques de même type pétrographique que celles observées au niveau de la fosse T1 se maintiennent à nouveau. Leurs limites sont très fortement interpénétrées avec le plasma du fond matriciel.

#### T3.1.2 : sommet de la Transition "Alt rv CS" - "r V(b) C", 100 cm.

**-S-** Le squelette quartzueux s'étend entre les mêmes bornes que dans la lame T3.1.1, il présente les mêmes caractéristiques de forme. On note cependant une augmentation du nombre de grains compris entre 200 et 100 m. Leur forme est très fréquemment arrondie.

En revanche les fantômes de muscovites kaolinisées sont nettement moins abondants et leur taille plus petite (de 100 à 200 m de long et très rarement plus de 30 m de large). Leur ferruginisation reste variable.

**-P-** La phase dominante est rouge en LP. En LPA, l'orientation bimasépique est encore plus développée que précédemment. Elle présente de larges séparations squel- et vosépiques.

En outre, on note :

-des domaines moins translucides en LP, contenant une quantité relativement plus importante de muscovites kaolinisées. Une orientation bimasépique est suggérée en LPA, par

l'agencement de ces cristallites, mais l'opacité du plasma ne permet pas de la discerner.

-Des domaines plus bruns en LP, d'organisation silasépique en LPA.

-**A**- L'assemblage est porphyrosquelique, les grains du squelette quartzeux sont légèrement plus rapprochés que précédemment.

La porosité est plus développée, mais reste faible. Elle comprend quelques chenaux et des fissures sinueuses, à bords irréguliers, rarement concordants. Ces vides allongés sont localement plus abondants. Cette augmentation coïncide avec la présence d'un squelette grossier plus reserré. Les "orthovughs" sont plus fréquents que pour T3.1.1. Ils présentent des bords très irréguliers et sont systématiquement prolongés par des fissures les reliant parfois entre eux.

-**T**- Les petits nodules noirs sont nettement moins abondants et plus petits, les glébules rouges ont pratiquement disparus. On les trouve surtout au sein du plasma le moins translucide.

**On retiendra que :**

\* La fraction fine du squelette quartzeux est plus importante, mais les grains restent dispersés. Leur morphologie indique une importante corrosion. La dissolution du squelette quartzeux ne s'accompagne donc pas ici d'une élimination notable du plasma. Il est possible que la pédoplasmation des fantômes de muscovite compense les pertes éventuelles.

\* Le plasma est très fortement orienté, vraisemblablement sous l'influence de contraintes mécaniques liées aux alternances d'humectation et de dessiccation.

### *T3.1.G : Glosse, 120 cm.*

Cette lame correspond au bord d'une glosse traversant l'horizon décrit dans la lame précédente.

Le squelette de la glosse présente des quartz fins, de taille inférieure à 0,5 mm, de forme extrêmement irrégulière pour les plus gros et généralement arrondie pour les plus fins. On observe aussi un nombre important de fantômes de muscovite pseudomorphosée en kaolinite et non ferruginisés.

Le plasma est brun en LP, à très forte orientation bimasépique en LPA. On observe quelques petites taches brun-rouge en LP, avec une limite diffuse très sombre.

L'assemblage est porphyrosquelique, avec un squelette dispersé. La porosité est forte ; elle correspond à un grand nombre de fissures ramifiées et interconnectées, à bords irréguliers et souvent concordants.

Une zone de transition de 3 cm de large précède la glosse.

Cette zone correspond à l'apparition et au développement du plasma observé au niveau de la glosse. Ces plages présentent des limites diffuses avec le plasma rouge bimasépique de la lame précédente. Les domaines rouges plus opaques, disparaissent progressivement dans la zone de transition. Ils ne sont jamais en contact direct avec le plasma brun, s'auréolant toujours de plasma rouge bimasépique. Ceci suggère que l'orientation bimasépique existe dans les domaines rouges, opaques en LP, mais est masquée par le fer.

**On retiendra que :**

\* Le squelette de la glosse est nettement plus fin que celui de l'horizon qu'elle traverse.

\* Le plasma brun de la glosse est fortement bimasépique. Il correspond une dérubéfaction du plasma du fond matriciel rouge de la lame T3.1.2, sans modification de son organisation.

\* La très forte porosité fissurale observée au niveau de la glosse pourrait correspondre à un artefact de dessiccation.

### *T3.1.3 : "r V(b) CS", 70 cm.*

-**S**- Le squelette est presque exclusivement quartzeux. Il présente la même fourchette de taille que dans les lames T3.1.1 et T3.1.2, mais les grains de l'ordre de 100 m de diamètre sont encore plus nombreux que pour la lame T3.1.2.

On observe encore des baguettes de muscovites ; certaines sont moins nettement kaolinisées que dans les lames précédentes.

En outre, on note deux fantômes gibbsitiques arrondis, absents des lames précédentes.

**-P-** Le plasma est très faiblement hétérogène en LP. Il présente une phase dominante brun-rouge d'organisation insépique en LPA (domaines anisotropes striés). De fortes séparations squelsépiques existent toujours, les séparations vosépiques sont rares. Les taches observées macroscopiquement correspondent à des amas de domaines millimétriques, plus ou moins anastomosés, entourés par le plasma brun-rouge. Cette nouvelle phase est brune en LP et son organisation, fortement silasépique en LPA. En lumière réfléchie (LR), cette hétérogénéité est plus contrastée, mais ses limites sont diffuses.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique, mais avec un squelette quartzueux nettement plus concentré que dans les lames précédentes.

La porosité est légèrement plus importante que dans la lame T3.1.2 ; elle correspond surtout à de fines fissures à bords concordants. On observe aussi quelques rares "orthovughs" et des zones où des fissures de largeur très variable sont anastomosées, délimitant des agrégats à bords anguleux très irréguliers de 2 à 4 mm de diamètre.

**-T-** Le plasma contient encore des glébules rouges de l'ordre de 100 m de diamètre. En revanche, le nombre et la taille des nodules noirs ont fortement diminué.

On observe un glébulé de 0,5 cm de diamètre, à plasma rouge noir opaque en LP. Sa limite présente généralement un liseré diffus très sombre ; elle est parfois plus nette et précédée par des fragments isolés au sein du fond matriciel. Il comporte un squelette quartzueux grossier, assez dispersé et non divisé, ainsi qu'un grand nombre de fantômes de muscovite kaolinisée et fortement ferruginisés. Son organisation est donc similaire à celle du fond matriciel de la lame T3.1.1.

#### On retiendra que :

\* Le squelette est plus finement divisé que précédemment, et qu'il s'est nettement concentré.

\* On observe à nouveau les fantômes gibbsitiques décrits dans les fosses T1 et T2. Ils permettent d'affirmer qu'ici aussi l'altération primaire a été gibbsitique. Il est possible que l'importante pédoplasmation des horizons sous jacents les ait détruits. Cependant on a aussi noté que le squelette y était très dispersé. La probabilité d'observer ces fantômes dans une lame mince de petite taille (3 X 4,5 cm) est donc faible.

\* Le plasma semble nettement moins orienté que dans les lames précédentes, mais les larges séparations squelsépiques montrent qu'il subit quand même des contraintes mécaniques liées aux alternances d'humectation et de dessiccation. Il est donc possible que la taille des cristallites de kaolinite ait fortement diminué dans cet horizon, les domaines d'orientation parallèle devenant trop petits pour être observés au microscope optique.

\* Des amas de petits domaines silasépiques en LPA se différencient. Ils correspondent à la phase brune observée macro-morphologiquement.

\* Une pédorelique de l'altéroplasma de l'horizon "Alt rv CS" a été conservée par une ferruginisation importante. Ses limites nous montrent qu'elle est progressivement plasmifiée et s'intègre dans le fond matriciel environnant et que le fer se concentre de façon centripète.

#### T3.1.4 : base de "Nod P", 60 cm.

**-S-** Le squelette est presque exclusivement quartzueux. Il comporte quelques très gros grains (jusqu'à 4 mm), mais la grande majorité mesure moins de 400 m. Les formes observées sont toujours les mêmes. Les fantômes de muscovite sont moins abondants et de petite taille (200 m au plus). On note encore la présence de quelques fantômes gibbsitiques ; l'un d'eux est presque totalement plasmifié. Il ne présente plus que quelques alignements entrecroisés de macrocristaux (restes de cloisons gibbsitiques).

**-P-** Le plasma est équivalent à celui de la lame précédente, mais les ilots silasépiques sont plus nombreux.

**-A-** L'assemblage est toujours porphyrosquelique avec un squelette dont les grains sont très proches.

La porosité est nettement plus développée que dans les lames précédentes. Elle correspond à des "orthovughs" et à des chenaux de 1 à 4 mm de diamètre. Ces vides sont très

fréquemment prolongés par de larges fissures à bords irréguliers, non concordants. Ils se localisent dans la partie supérieure de la lame, là où les nodules sont très abondants.

-T- Le principal trait correspond aux nodules qui occupent 80% de la moitié supérieure de la lame. Deux types pétrographiques peuvent être distingués.

- Les gros nodules sont nettement lithorelictuels. Ils présentent de larges domaines à structure phylliteuse conservée (fantômes de muscovite) soulignée par les cloisons noires opaques ; des grains de quartz grossiers fortement divisés, dont les différents fragments, séparés par un plasma noir, conservent une extinction commune et des domaines de cristallinisme kaolino-gibbsitique fortement ferruginisés. Ils sont donc équivalents aux nodules observés dans les fosses T1 et T2. Ils présentent généralement un cortex rubané assez continu, à limite nette, précédé par quelques esquilles isolées au sein du fond matriciel. Parfois la limite est rouge foncée diffuse, avec une zone très sombre en retrait. Comme à la partie supérieure de T2, il apparaît une différenciation de couleur jaune en LR, isotrope en LPA. Cette phase est généralement interne au nodule, se situant en deçà du cortex. Lorsqu'elle est plus étendue, elle peut l'interrompre. La limite de cette phase avec le fond matriciel est généralement nette, respectant la forme initiale du nodule.

Un trait nouveau est systématiquement observé : les vides ménagés entre les cloisons ferrugineuses des fantômes de muscovite sont bordés d'alignements de macrocristaux de gibbsite. Ces alignements se retrouvent aussi au bord des autres vides intranodulaires.

- Les plus petits nodules ne présentent pas de structure lithorelictuelle identifiable. Leur cortex est continu, rubané et très épais (jusqu'à 2 mm). Leur coeur est homogène, rouge-noir opaque, et présente un squelette quartzeux assez fin, peu divisé et souvent très émoussé. La porosité et les cavités de dissolution des quartz, sont presque entièrement comblées par des remplissages hématitiques, orangés à extinction roulante en LPA. Dans l'un de ces nodules, on distingue quelques petites baguettes de muscovite, très fortement ferruginisées.

#### On retiendra que :

\* Au sein d'un fond matriciel équivalent à celui de la lame T3.1.3, les domaines de plasma silasépique sont plus nombreux.

\* Une très forte porosité de chenaux apparaît soudainement.

\* Une partie des nodules présente le même type pétrographique que dans les fosses T1 et T2. Leur différenciation interne est cependant plus avancée : les zones à structure lithorelictuelle conservée sont peu étendues et la phase jaune qui apparaissait seulement à la partie supérieure du niveau de nodule de la fosse T2 est ici développée dès la base. De plus, on observe une néoformation secondaire de gibbsite, recoupant la structure conservée des muscovites et bordant les vides.

\* Des nodules sans structure lithorelictuelle s'associent à ce premier type. Ils peuvent correspondre à une ferruginisation très importante des nodules du premier type, occultant totalement les structures pétrographiques héritées. Mais la morphologie de l'un d'entre eux indique qu'ils peuvent aussi correspondre à une ferruginisation importante des pédo-reliques observées dans la lame T3.1.3. Une nouvelle séquence nodulaire s'établirait donc ici, réalimentant l'horizon nodulaire hérité de l'amont.

#### T3.1.5 : "Nod P", 40 cm.

-S- Le squelette quartzeux est similaire à celui de la lame précédente. Quelques grains sont très gros et présentent une forte fissuration comblée par de fins filons d'oxydes de fer. On observe toujours quelques fantômes de muscovite et de rares fantômes kaolino-gibbsitiques.

-P- Le plasma est brun rouge en LP. En LPA, il est pratiquement isotrope (faiblement insépique), avec quelques séparations squelsépiques, moins nettes que précédemment. Les domaines bruns fortement silasépiques sont absents. En revanche, il subsiste quelques taches plus rouges présentant une organisation insépique striée nette.

-A- L'assemblage est porphyrosquelique avec un squelette encore plus abondant que précédemment. La porosité est moins développée qu'à la base de l'horizon. Elle correspond surtout à de fines fissures, parfois nombreuses quand le squelette quartzeux est très resserré. On note aussi quelques vides allongés, à bords irréguliers et anguleux non concordants, présentant de nombreux étranglements.

**-T-** Les nodules sont de petite taille et n'occupent plus que 20% de la surface de la lame. Bien que généralement très transformés, on retrouve systématiquement des domaines lithorelictuels, ou des quartz grossiers fracturés. Parfois, ces quartz sont fortement corrodés ; ils présentent alors des fragments à extinction commune "flottant" dans un large vide qui reproduit leur forme initiale. Les vides comblés d'hématite bien cristallisée, anisotrope en LPA, que l'on observait surtout dans les nodules du second type, sont nettement plus nombreux qu'à la base.

Le cortex est très discontinu et présente fréquemment des figures de "desquamation". Les limites de la phase jaune avec le fond matriciel sont souvent moins nettes que précédemment.

**On retiendra que :**

\* Le squelette est encore plus abondant, et essentiellement quartzeux. Il présente de gros grains ferruginisés qui pourraient correspondre à des témoins d'anciens nodules totalement plasmifiés.

\* Le plasma devient brun-rouge relativement homogène, pratiquement isotrope.

\* Les nodules sont nettement plus petits qu'à la base et les grains de quartz y sont nettement plus corrodés. Tous les nodules observés présentent des indices qui montrent leur nature lithorelictuelle, mais ils sont fortement transformés par le développement interne d'une phase jaune isotrope en LPA.

**T3.1.6 : "Hum br p", 30 cm**

**-S-** Le squelette est similaire à celui de la lame précédente, mais les quartz fins sont encore plus abondants et les fantômes de muscovite plus rares.

**-P-** Le plasma est homogène, brun rouge en LP, très faiblement insépique en LPA. Des séparations squelsépiques ténues sont associées aux grains grossiers du squelette.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. Le squelette présente une répartition assez hétérogène avec des zones où les grains sont jointifs et assez grossiers et par ailleurs, des zones où le plasma domine et où les grains de quartz sont plus fins.

La porosité est notable, correspondant encore essentiellement à des fissures. Mais l'on note aussi des chenaux isodiamétriques à bords réguliers, d'origine biologique, et des lacunes fortement interconnectées associées aux zones où le squelette quartzeux est resserré.

**-T-** On observe encore quelques petits nodules de taille millimétrique. Ils possèdent généralement une cuticule épaisse (avec parfois des quartz pointant dans le fond matriciel). L'un d'eux en est exempt ; il présente une organisation similaire à celle des nodules fortement transformés de la lame précédente, la phase jaune étant pratiquement exclusive.

Les vides biologiques sont parfois partiellement comblées par un plasma brun plus translucide, formant des agrégats ronds (100 m) coalescents.

**On retiendra que :**

\* Le squelette se concentre de façon localisée, en des sites qui coïncident avec le développement important d'une porosité d'assemblage des grains.

\* Quelques nodules sont toujours présents, Leur morphologie indique que deux processus différents concourent à leur destruction. Ils peuvent être envahis par le développement interne d'une phase jaune isotrope qui recoupe les cortex et s'intègre ensuite au fond matriciel, ou bien présenter une diminution de volume qui correspond au développement centripète d'un cortex rubané.

T3.1.7 : "Hum bs P", 10 cm.

-S- Le squelette est exclusivement quartzeux, de même taille que précédemment. Sa distribution est relativement homogène.

-P- Le plasma est hétérogène, la phase dominante est brun sombre en LR, très translucide en LP et faiblement silasépique en LPA. Elle isole de petits volumes, à limites diffuses, brun en LR et très faiblement insépique en LPA.

-A- La phase dominante est généralement aggloméroplasmique en petits agrégats de forme irrégulière et émoussés, parfois ronds et plus ou moins coalescents. Les taches plus brunes présentent un assemblage porphyrosquelique fortement fissuré.

La porosité est très développée et fortement interconnectée. Elle correspond à un assemblage lâche des agrégats et du squelette quartzeux. On observe un grand nombre de chenaux biologiques partiellement comblés par des microagrégats ronds.

-T- Les agrégats de la phase dominante contiennent un grand nombre de débris organiques.

On retiendra que :

\* Le squelette quartzeux est extrêmement abondant, dominant nettement le plasma.

\* Le plasma devient finement agrégé ; il intègre de nombreux fragments organiques.

\* Une importante activité biologique affecte la quasi-totalité de l'horizon.

\*  
\* \*

On a souligné que ce profil présentait une organisation macroscopique assez similaire à celle observée dans la fosse T2. L'étude micromorphologique met en évidence des différences plus importantes.

(i)- De même que dans les profils précédents, le squelette quartzeux s'affine et se concentre progressivement vers le sommet. Les muscovites sont toujours très abondantes au sein de l'horizon "Alt rv CS", mais elles sont totalement pseudomorphosées par de la kaolinite. Il est donc vraisemblable que la transformation kaolinitique du matériau d'altération gibbsitique soit ici plus complète, pseudomorphosant ainsi l'intégralité des muscovites qui étaient préservées à l'amont. En effet, l'observation de quelques fantômes gibbsitiques dans les horizons où le squelette devient plus concentré nous montre que dans ce cas aussi l'altération primaire a été allitique.

(ii)- Dès le niveau d'altération "Alt rv CS", on observe une forte orientation du plasma. Elle correspond à une pédoturbation importante du fond matriciel. Ainsi, bien que cet horizon semble "sec au toucher" durant toute l'année (en dehors des gloses), il doit tout de même subir des variations d'humectation entraînant le retrait et le gonflement des minéraux argileux. Les contraintes mécaniques qui se développent alors, orienteraient le plasma.

Les orientations bimasépiques ne sont plus perceptibles dans l'horizon "r V(b) CS", mais les séparations squelsépiques montrent que la pédoturbation reste importante. La taille des cristallites de kaolinite diminue donc vraisemblablement assez

fortement dans cet horizon, ne permettant pas d'observer au microscope optique des domaines de même orientation. Au sein de cet horizon de petites punctuations silasépiques apparaissent. Elles sont plus développées à la base de l'horizon nodulaire et disparaissent à son sommet.

(iii)- Les glosses correspondent à l'apparition d'une phase brun-jaune où le squelette quartzéux est fortement corrodé. En revanche le plasma et les fantômes de muscovite restent abondants et leur organisation est similaire à celle du matériau rouge avoisinant. Ils ne subissent donc qu'une dérubéfaction qui laisse intacts les assemblages de kaolinite.

(iv)- La majorité des nodules possède le même type pétrographique que celui observé dans les fosses T1 et T2. Cependant, leur transformation (disparition des structures lithorelictuelles) est plus avancée et ils présentent une néoformation secondaire de gibbsite au niveau de la macroporosité intranodulaire. Ces nodules se détruisent selon deux voies distinctes : soit par cortification et concentration centripète du fer, soit par développement interne d'une phase jaune-brun qui s'intègre progressivement au fond matriciel environnant.

A la base de l'horizon nodulaire, on note la présence de nodules conservant l'organisation de l'horizon "Alt rv CS". Ceux-ci correspondent à la réapparition d'une séquence verticale continue d'alimentation de l'horizon nodulaire. Elle fournit cependant nettement moins de nodules que celle observée à l'amont.

### 2.2.2- Aval de la tranchée : profil T3.2.

#### T3.2.1 : "Alt rv CS", 150 cm.

-S- Le squelette comporte un grand nombre de quartz. Les grains ont des formes très irrégulières, mais leur angles sont généralement émoussés. La fraction la plus importante mesure entre 1.2 et 0.4 mm. Les muscovites saines sont absentes, mais les fantômes pseudomorphosés par la kaolinite et plus ou moins colorés par les oxydes de fer sont nombreux. Ils sont cependant moins abondants qu'au sein de la lame T3.1.1.

-P- Le plasma est hétérogène. Il comporte : des domaines rouge sombre pratiquement opaques en LP, très faiblement insépiques en LPA (domaines biréfringents diffus et peu contrastés) ; et des domaines plus translucides, rouge sombre en LP, à fortes orientations masépiques en LPA.

Les séparations plasmiques squelet- et vosépiques sont ténues, mais abondantes au sein des deux phases.

-A- L'assemblage est porphyrosquelique. Les vides sont peu abondants et correspondent essentiellement à de fines fissures (40 à 200 m de large), assez peu ramifiées et peu communicantes. Elles sont pratiquement absentes du plasma le plus opaque. Dans la phase plus translucide, on note aussi quelques "orthovughs", souvent interconnectés par les fissures qui les prolongent.

-T- De larges fantômes de muscovites, sont associés à un plasma ferrugineux noir isotrope.

La phase rouge sombre opaque présente un nombre important de nodules noirs et de glébules rouges de forme arrondie et d'une centaine de m de diamètre. Ces traits sont nettement moins abondants dans la phase translucide.

Enfin, on observe des domaines de quelques mm de large, d'orientation laminaire et à squelette quartzéux plus fins dont l'origine semble biologique (isotubules).

**On retiendra que :**

\* Le squelette quartzéux est similaire à celui décrit pour l'horizon homologue du profil T3.1. En revanche, les muscovites sont plutôt moins abondantes et surtout de plus petite taille. Elles sont généralement entièrement pseudomorphosées par la kaolinite et colorées par les oxydes de fer.

\* Le plasma est hétérogène, avec l'individualisation d'une phase opaque. Cette différenciation masque l'orientation masépique de la phase plus translucide.

\* L'assemblage est porphyrosquelique faiblement fissuré.

\* Les traits correspondant à des concentrations locales d'oxydes de fer sont très abondants au sein du plasma opaque.

**T3.2.2 : "r-rv R jb CS", 110 cm.**

Cette lame est très hétérogène. En LR, on observe trois phases majeures : un fond rouge isole des volumes glébulaires rouge violacé et est traversé par des volumes jaune-brun allongés verticalement.

**-S-** Le squelette quartzéux varie dans la même gamme de taille que dans la lame précédente. La proportion de grains fins (<200 m) varie selon la couleur des différentes phases. Dans la phase rouge-violacé, elle est équivalente à celle de la lame précédente ; dans la phase rouge elle est plus importante ; enfin dans la phase jaune-brun elle est plus faible, mais les grains sont plus resserrés que dans les deux autres phases. Les fantômes de muscovites sont nombreux dans les trois phases, mais c'est la phase rouge sombre qui en contient le plus (équivalent à la lame T3.2.1). Dans les deux autres phases, la taille de ces fantômes est plus petite. De plus, dans les deux phases rouges, ils sont très fréquemment colorés par les oxydes de fer, alors que dans la phase jaune-brun ils sont généralement incolores.

**-P-** La phase rouge-violacée présente un plasma opaque rouge sombre en LP, très faiblement insépique en LPA. Une forte orientation est cependant suggérée par la disposition des fantômes de muscovite. La phase rouge présente un plasma translucide rouge-brun en LP, à forte orientation masépique en LPA. La taille de ces séparations plasmiques est plus petite que dans la phase analogue de la lame précédente. Enfin, la phase jaune-brun est brune en LP, à très forte orientation bimasépique en LPA. Dans les trois phases, on note des orientations quel- et vosépiques. C'est dans la troisième phase qu'elles sont le mieux marquées. Les limites entre les différentes phases sont nettes.

**-A-** Les trois phases présentent un assemblage porphyrosquelique. La fissuration varie selon les phases. Pour la phase rouge-violacée elle est très faible ; pour la phase rouge les fissures sont larges (>200 m), à bords irréguliers et faiblement ramifiées ; pour la phase jaune-brun les fissures sont plus nombreuses, généralement fines et fortement ramifiées. Dans ces deux dernières phases, on observe quelques "orthovughs", souvent interconnectés par les fissures.

**-T-** Au sein de la phase rouge violacée on observe un grand nombre de petits nodules et glébules (<100 m). Dans la phase rouge ils sont moins abondants. Ils disparaissent pratiquement au sien de la phase jaune-brun : on n'observe que de toute petites ponctuations noires (<40 m) à limites très nettes.

**On retiendra que :**

\* Trois phases contrastées sont juxtaposées. Une phase rouge servant systématiquement d'intermédiaire entre des glébules rouge violacé et des langues verticales jaune-brun.

\* La phase rouge violacée est semblable en tout point au fond matriciel à plasma opaque de la lame T3.2.1. Elle correspond donc à une pédorelique.

\* L'ensemble des trois phases présente un plasma à forte orientation. C'est au sein de la phase jaune-brun que celle-ci est la plus importante. Le développement de ces orientations peut être relié aux contraintes mécaniques que subit ce matériau lors des alternances d'humectation et de dessiccation.

\* Les différentes phases présentent un gradient de fissuration croissant de la phase rouge-violacée à la phase jaune-

brun. Cette porosité correspond vraisemblablement à un artefact de séchage de l'échantillon avant son imprégnation. Il rend compte du comportement des différentes phases au cours de la dessiccation. Pour la phase rouge-violacé, le retrait est très faible. Pour les deux autres phases, il est important, mais occasionne une structuration plus fine pour la phase jaune-brun que pour la phase rouge.

### T3.2.3 : "bj V(r) C", 80 cm.

En LR on observe plusieurs phases : la phase dominante est brun jaune. Elle est parcourue par un réseau brun-rouge peu contrasté et à limites diffuses. En outre, on observe quelques plages arrondies rouges à limites nettes, au contact des deux phases précédentes.

**-S-** Le squelette quartzeux est nettement plus concentré que dans les lames précédentes. La taille des grains varie entre 0,5 mm et 20  $\mu$ m, mais la fraction de diamètre inférieur à 200  $\mu$ m est nettement dominante. Il existe de légères différences entre les différentes phases repérées en lumière réfléchie : c'est dans la phase rouge que l'on observe les plus gros grains ; dans le réseau brun-rouge, les grains sont légèrement plus dispersés que dans la phase brun-jaune. Les fantômes de muscovite kaolinisés sont très peu abondants et de taille plus petite que dans la lame T3.2.2. Ils sont généralement incolores et leur bord sont fréquemment peu nets. A l'inverse des lames précédentes, on observe aussi des muscovites faiblement transformées.

**-P-** Il n'y a aucune différence entre le plasma du réseau brun-rouge et le plasma de la phase brun-jaune : il est brun, peu translucide en LP et insépique en LPA (domaines anisotropes à limites diffuses). Les séparations plasmiques squelet- et vosépiques sont nombreuses mais ténues. Les plages rouges sont rouge-brunes et opaques en LP. Une assez forte orientation est suggérée en LPA par la disposition des fantômes de muscovites qui sont plus abondants dans cette phase que dans les deux autres (équivalent au fond matriciel rouge de la lame T3.2.2).

**-A-** L'assemblage de l'ensemble de ces phases est porphyrosquelique. La porosité est faible et presque exclusivement fissurale. Les fissures sont fines (<100  $\mu$ m), ramifiées mais peu communicantes. Au niveau des plages rouges, les fissures sont moins nombreuses et plus larges (200  $\mu$ m).

**-T-** On observe deux nodules cortifiés ronds de petite taille. Leur coeur est homogène sans aucune structure lithorelictuelle identifiable. Vers l'intérieur du nodule, le cortex devient de plus en plus sombre. Sa limite avec le coeur est diffuse. A sa partie externe, des petits fragments desquamés sont isolés au sein du fond matriciel.

Dans la phase brun-jaune, on observe fréquemment en bord de vide, des liserés diffus de couleur noire. Cette différenciation est en continuité avec les organisations du fond matriciel (néoferrane).

Enfin, alors qu'ils étaient totalement absents des lames précédentes, on trouve à nouveau des fantômes gibbsitiques. Ils sont fortement transformés par un cristalliplasma kaolinitique.

#### On retiendra que :

\* Le squelette quartzeux est nettement plus concentré et de plus petite taille que dans l'ensemble des phases de la lame T3.2.2.

\* Les fantômes de muscovites kaolinisés, ont pratiquement disparu. La morphologie de leur bord prouve qu'ils s'intègrent au plasma. La réapparition d'une quantité notable de muscovites peu transformées semble résulter de la concentration du squelette.

\* Le fond matriciel est constitué de deux phases peu contrastées, brun-rouge et brun-jaune, à limites diffuses d'organisation insépique diffuse similaire. Le plasma est relativement moins abondant au sein de la phase brun-jaune.

\* Des pédoreliques de la phase rouge de la lame T3.2.2 se maintiennent, mais leur forte orientation masépique est masquée par les oxydes de fer qui imprègnent l'ensemble du plasma.

\* La phase brun-jaune présente des néoferranes.

**T3.2.4 : base de "Nod p", 65 cm.**

**-S-** Le squelette devient presque exclusivement quartzeux, et sa concentration augmente encore. La gamme de taille est plus étendue que dans la lame T3.2.3 (jusqu'à 1 mm), mais le diamètre de la fraction dominante est plus petit (autour de 100  $\mu$ m). Les fantômes de muscovites ont disparus, mais on observe toujours des muscovites saines.

**-P-** Le plasma est brun-jaune homogène et faiblement translucide en LP. Cependant, en LR on observe quelques rares plages rouge-brun assez contrastées, à limites diffuses. L'organisation du plasma est toujours insépique, mais les domaines anisotropes sont encore moins nets que pour la lame T3.2.3. Les séparations squelsépiques sont aussi présentes. Les séparations vosépiques ont disparues. Sur le bord de quelques vides, on observe de petits domaines jaunes, translucides en LP et silasépiques en LPA (ponctuations anisotropes allongées).

**-A-** L'assemblage est toujours porphyrosquelique. La porosité est plus importante, tout en restant faible. Elle comporte de larges vides (200 à 400  $\mu$ m), allongés et à bords irréguliers non concordants et de fines fissures (<100  $\mu$ m), sinueuses qui prolongent fréquemment les vides précédents. Localement ces fissures sont très ramifiées et anastomosées, définissant une microstructure fragmentaire anguleuse assez nette. En dehors de ces zones, la structure est peu nette (polyédrique sub-anguleuse) du fait de la faible interconnexion des différents vides.

**-T-** Les nodules occupent près de 60% de la surface de la lame, leur taille s'échelonnant de 1 cm à plus de 3 cm. Ils présentent une morphologie assez similaire à celle des nodules du premier type pétrographique de la lame T3.1.4, avec une disparition des structures lithorelictuelles encore plus avancée : un plasma noir homogène occupe la majeure partie du coeur des nodules ; le plasma jaune est plus développée à la périphérie des nodules, recoupant fréquemment leur cortex ; les domaines kaolino-gibbsitiques sont plus fortement ferruginisés ; seules les cloisons ferrugineuses parallèles à la foliation des larges fantômes de muscovite sont maintenues.

La bordure de certains vides du fond matriciel est imprégnée par un fin liséré diffus noir.

**On retiendra que :**

\* Le squelette quartzeux se concentre et la classe de taille dominante devient plus fine.

\* Les fantômes de muscovite kaolinitiques ont disparus, mais il subsiste toujours des muscovites saines.

\* Le fond matriciel dominant est brun-jaune. Il isole des plages diffuses rouges, dont l'organisation microscopique est similaire en tout point.

\* Des néoferranes de plus petite extension que dans la lame T3.2.3 sont toujours présents.

\* Le faciès lithorelictuel des nodules est fortement transformé par des modifications internes du même type que celles observées pour les nodules du profil T3.1. Cependant, les cristaux de gibbsite secondaire associés aux vides sont absents.

**T3.2.5 : "bj V(r) CS" au sein de "Nod p", 50 cm.**

**-S-** Le squelette est équivalent à celui de la lame précédente, mais continue à se concentrer devenant localement jointif.

**-P-** En LP, le plasma présente deux phases à limites diffuses. Le plasma dominant est brun-jaune peu translucide et faiblement insépique en LPA. Le plasma jaune plus translucide et fortement silasépique en LPA, est associé aux bords de la majorité des vides. Il se développe aussi dans les zones où le squelette est le plus concentré. Les plages brun-rouges ne contiennent pas ce nouveau plasma. Elles sont de plus petite taille que dans la lame T3.2.4 et leur contraste a diminué. On ne les distingue qu'en LR.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. La porosité devient notable. Elle correspond à des vides de même forme que pour la lame T3.2.4, auxquels s'associent de larges "orthovughs" (jusqu'à 5 mm). Les domaines où les fissures sont très ramifiées et anastomosées sont plus nombreux, définissant une microstructure fragmentaire importante mais localisée.

-T- Deux petits nodules lithorelictuels à cuticule rubanée épaisse sont isolés au sein du fond matriciel. La limite de la cuticule avec le coeur du nodule est diffuse. Des quartz de forme plus anguleuse que ceux du fond matriciel sont à cheval sur sa limite extérieure.

On retiendra que :

\* Le squelette est essentiellement quartzeux ; localement les grains sont jointifs.

\* Le plasma brun-jaune se développe aux dépens des plages brun-rouges. Il présente une différenciation fortement silasépique et plus translucide. Elle est associée aux bords des vides et aux zones où le squelette est le plus concentré.

\* Dans cette interruption de l'horizon nodulaire, il ne subsiste que quelques nodules à structure lithorelictuelle de petite taille. Ceux-ci se détruisent par concentration centripète du fer.

#### *T3.2.6 : Sommet de "Nod p", 40 cm.*

-S- Le squelette présente toujours la même composition, mais la gamme de taille des quartz est plus étendue que dans les lames précédentes. Les grains grossiers (jusqu'à 7 mm), contiennent fréquemment des filons ferruginisés. Il est par ailleurs plus concentré, les zones où les grains sont jointifs étant fréquentes.

-P- Les plages rouges ont disparu. Le plasma est brun-jaune homogène en LR. En LP, le plasma est hétérogène. Le plasma dominant est brun-jaune, peu translucide et faiblement insépique en LPA. Le plasma jaune translucide, silasépique en LPA, est plus abondant que dans la lame T3.2.5. Il se développe en un fin réseau à limite progressive avec le plasma brun-jaune opaque, délimitant de petits domaines d'une centaine de  $\mu$ m de diamètre. Ce plasma jaune se localise sur le bord de tous les vides et dans des zones à squelette jointif parfois fortement poreuses.

-A- L'assemblage est porphyroscuelique fortement fissuré. Localement (et de façon plus fréquente que dans la lame précédente) les fissures sont très ramifiées et anastomosées, définissant une microstructure polyédrique anguleuse. Dans les domaines où les nodules sont abondants, on note aussi un nombre important de larges chenaux (jusqu'à 5 mm) à bords irréguliers non concordants.

-T- Les nodules occupent 40% de la surface de la lame. Ils sont plus petits que dans la lame T3.2.4 et ne présentent plus que des indices de structure lithorelictuelle. Certains correspondent à un type pétrographique différent, avec un squelette quartzeux abondant et de petites muscovites saines.

On retiendra que :

\* Certains grains du squelette quartzeux contiennent des filons ferrugineux, qui seraient issus de la dissolution des nodules.

\* Le plasma brun-rouge a disparu. La transformation du plasma brun-jaune opaque en plasma translucide silasépique se poursuit. Elle est localisée aux bords des vides et dans des sites où le plasma a été fortement éliminé.

\* La transformation interne des nodules lithorelictuels s'est accrue par rapport à la lame T3.2.4. Des nodules pédorelictuels leur sont associés.

#### *T3.2.7 : "bj-T(o) N bg P", 25 cm.*

-S- Le squelette est presque exclusivement quartzeux, avec encore quelques petites muscovites saines. Il est très abondant, mais sa répartition est hétérogène avec de nombreux domaines où les grains sont jointifs et généralement grossiers.

-P- Le plasma présente les deux mêmes phases que dans la lame précédente. Dans les domaines à squelette grossier jointif, on ne retrouve que quelques fragments de plasma translucide accolés aux bords des grains de quartz. Ce sont ces zones qui apparaissent brun-gris macroscopiquement.

-A- L'assemblage varie selon l'importance relative des deux types de plasma. Les domaines où le plasma dominant est brun-jaune opaque en LP sont porphyroscueliques fortement fissurés. Ces fissures sont fines et peu interconnectées. Dans les domaines où ce

plasma est envahi par le plasma translucide en LP, les fissures sont plus larges, plus ramifiées et fortement interconnectées, définissant une microstructure agrégée sub-anguleuse. Enfin, dans les domaines de concentration du squelette, l'assemblage tend à devenir aggloméroplasmique (R.BREWER-1964), la porosité correspond à des lacunes fortement interconnectées. Dans l'ensemble de ces différents domaines, on observe aussi de larges "orthovughs" prolongés par des fissures plus ou moins larges et des chenaux à parois lisse d'origine biologique.

**-T-** Les zones porphyrosqueliques, dans lesquelles le plasma dominant est brun-jaune opaque en LP, comportent de nombreux liserés noirs diffus associés aux bords des vides.

De petits nodules arrondis (2 à 4 mm) à cuticule épaisse et à coeur homogène sont isolés au sein du plasma. On observe aussi un nodule à cuticule fine et discontinue, envahi par la phase jaune décrite pour les nodules lithorelictuels des lames précédentes.

#### On retiendra que :

\* Les domaines où le squelette quartzueux est jointif sont abondants. L'abondance des grains de quartz par rapport au plasma leur donne une couleur brun-gris.

\* Le plasma translucide en LP se développe progressivement aux dépens du plasma brun-jaune opaque. Son développement coïncide avec une diminution importante du plasma par rapport au squelette.

\* Au niveau du fond matriciel dont le plasma est jaune opaque, le fer migre vers les vides. L'absence de ces néoferanes au niveau des plages brun-gris peut s'expliquer par la très faible quantité de plasma qui y subsiste.

#### T3.2.8 : "bs bg bj-T(o) P", 15 cm.

**-S-** Le squelette est exclusivement quartzueux, à grains fins (<0,5 mm) jointifs sur presque la totalité de la lame.

**-P-** On observe trois types de plasma différents : le plasma dominant est brun sombre en LP et isotrope en LPA ; puis vient le plasma jaune translucide en LP et fortement silasépique en LPA ; le plasma brun jaune opaque en LP et insépique en LPA, se limite à quelques domaines parcourus par un réseau anastomosé du plasma précédent.

**-A-** L'assemblage varie selon le type de plasma. Pour le premier, l'assemblage est aggloméroplasmique, avec des microagrégats très émoussés généralement séparés des grains du squelette. La porosité est importante ; elle correspond à des fissures anastomosées sinueuses et ramifiées, présentant de nombreux étranglements. Leurs bords sont irréguliers, non concordants et émoussés. Pour le second, la tendance aggloméroplasmique est moins affirmée, les fragments du plasma adhérant aux grains de quartz. L'assemblage de ces grains, généralement assez grossiers (0,2 à 0,4 mm) ménage des cavités importantes et fortement interconnectées. Pour le dernier, l'assemblage est porphyrosquelique fortement fissuré. Les fissures sont généralement larges et peu ramifiées. Un nombre important de chenaux biologiques isodiamétriques traverse l'ensemble de ces différents assemblages.

**-T-** Le fond matriciel qui correspond au premier type de plasma contient de nombreux fragments organiques plus ou moins humifiés

Des liserés noirs diffus sont associés à la majorité des vides des domaines porphyrosqueliques. Ils débordent fréquemment sur le fond matriciel correspondant aux deuxième type de plasma.

#### On retiendra que :

\* Le squelette quartzueux est fin et généralement jointif. Il ne subsiste que quelques domaines porphyrosqueliques à plasma brun-jaune opaque en LP où les grains de quartz sont plus dispersés.

\* Le plasma jaune translucide se développe encore aux dépens du plasma jaune opaque. Cette transformation recoupe les néoferanes qui étaient seulement associés à ce dernier dans l'horizon sous-jacent.

\* Un fond matriciel microagrégé, marqué par l'humification, apparaît.

L'étude micromorphologique de ce profil met donc en évidence un certain nombre de convergences avec celui observé à l'amont de la tranchée. Il présente cependant des différences majeures. Les traits les plus importants sont les suivants :

(i)- Le squelette quartzeux suit une évolution verticale similaire à celle constatée pour l'ensemble des séquences précédentes. Il devient de plus en plus abondant et subit une forte corrosion, qui conduit à un affinement progressif des grains. Au sommet des horizons médians, il présente des concentrations localisées de grains assez grossiers qui sont nouvelles. Elles correspondent à une élimination très importante de plasma et à une dissolution accrue du quartz éliminant la majeure partie des grains fins.

(ii)- A la base du profil, le squelette comporte un nombre important de fantômes de muscovite kaolinisés, qui disparaissent pratiquement au sommet du manteau d'altération. Dès l'horizon "Alt rv CS", leur pédoplasation est plus importante et/ou avancée que dans le profil précédent. Dans les horizons médians ("bj V(r) CS" et "Nod p"), quelques muscovites peu altérées réapparaissent et se maintiennent jusqu'à l'horizon sub-superficiel "bj-T(o) N bg P". Les conditions tant de leur pseudomorphose que de leur pédoplasation ne sont donc plus réunies ici. Comme dans la séquence T3.1, elles correspondent vraisemblablement à des minéraux ayant échappé à la transformation de l'altérite gibbsitique, et qui se concentrent en même temps que le squelette quartzeux.

(iii)- Comme pour le profil T3.1, le plasma de l'horizon "Alt rv CS" présente une forte orientation (organisation masépique). Cependant, des oxydes de fer masquent cette organisation au niveau de domaines diffus où un grand nombre de nodules et de glébules témoignent d'une concentration locale importante.

Ces deux organisations se maintiennent dans l'horizon "r-rv R jb CS", mais la taille des domaines anisotropes de la phase la plus translucide diminue. Ces assemblages seraient donc protégés dans les domaines qui comportent le plus d'oxydes de fer. Un fond matriciel jaune-brun où le squelette est légèrement plus concentré se juxtapose à ces deux premières phases. Son plasma présente aussi une forte orientation masépique. Cette nouvelle phase est très similaire à celle observée au niveau des glosses dans la séquence précédente. Il semblerait donc qu'il y ait une densification du nombre de voie de circulation verticale de l'eau.

Dans l'horizon "bj V(r) C", le plasma dominant devient brun-jaune d'orientation faiblement insépique. L'organisation du plasma des volumes rouges est masquée par les oxydes de fer. La présence de néoferranes indique que la dérubéfaction importante qui est observée à ce niveau, s'accompagne d'une migration des oxydes de fer vers les vides. Les modalités du développement de cette phase seront précisées par l'étude des lames intermédiaires situées entre les horizons "r V(b) CS" et "bj V(r) C".

Plus haut le plasma brun-jaune devient hétérogène : aux bords des vides et dans les zones où le squelette quartzéux est le plus concentré, un réseau diffus de plasma fortement silasépique pénètre le plasma faiblement insépique. Le développement de cette phase coïncide avec une élimination importante du plasma. Il est à l'origine du biphasage de l'horizon "bj-T(o) N bg P". En effet, la phase brun-gris correspond à des domaines où le plasma est exclusivement silasépique. Il est limité à de petits fragments anguleux, accolés aux bords des grains de quartz. L'assemblage de ces derniers délimite une importante porosité lacunaire. La ségrégation des taches d'hydromorphie à la seule phase brun-jaune, s'explique donc par la quasi absence de plasma dans les zones brun-gris.

(iv)- La majorité des nodules de l'horizon "Nod p" présente un faciès de type lithorelictuel fortement transformé par des modifications internes (disparition de la plupart des structures héritées). Ils se détruisent selon deux voies différentes : par cortification et concentration centripète du fer, ou par développement interne d'une phase jaune qui s'intègre ensuite au fond matriciel environnant. Le second processus interrompt le premier.

Des nodules de faciès pédorelictuel se retrouvent au sommet de l'horizon "Nod p" ; ils ne se détruisent que selon la première voie. On notera cependant que, par rapport au profil T3.1, la cortification des pédoreliques est plus précoce : elle se réalise au sein de l'horizon "bj V(r) C". Une séquence verticale continue de formation de nodules existe donc bien au niveau de ce profil. Elle n'aboutit cependant pas à l'alimentation d'un horizon de concentration relative subsuperficiel, car les nodules se détruisent plus rapidement que le plasma s'élimine. Il en résulte que les nodules pédorelictuels du sommet de ce profil sont, pour la majeure partie, hérités de la séquence de formation du profil précédent.

### 2.2.3- Lames intermédiaires.

T3.I.1 : "r V<b à bj> C", 80 cm.

-S- Le squelette comporte surtout des quartz dont la répartition est hétérogène avec des zones de concentration plus importante. Leur taille varie de 1,5 mm à 40  $\mu$ m, mais la fraction dominante se situe autour de 100  $\mu$ m. Les fantômes de muscovite kaolinisés sont assez nombreux, mais de petite taille (<200  $\mu$ m). Ils sont généralement ferruginisés.

-P- Le plasma présente deux phases peu contrastées équivalentes à celles décrites pour la lame T3.1.3.

-A- L'assemblage du plasma brun-rouge est porphyrosquelique à squelette dispersé. Il contient des petites taches isolées (de 0,1 à 0,3 mm) qui correspondent au plasma brun silasépique. Ce plasma se retrouve aussi au niveau de domaines où le squelette quartzéux est plus concentré. La limite de ces domaines est diffuse et de petites ponctuations brun-rouge se retrouvent fréquemment dans le plasma brun en retrait de la limite. La porosité d'ensemble est faible et essentiellement fissurale. Les fissures sont plus abondantes et interconnectées dans les zones où le squelette est le plus dense.

On retiendra que :

\* L'apparition du plasma brun silasépique est ponctuelle. Son développement correspond à la coalescence de ces petits domaines. Ce n'est que lorsque les plages brunes sont étendues que le squelette quartzueux se concentre.

T3.I.2 : Limite "bj V(r) C", 80 cm.

-S- Le squelette quartzueux est équivalent à celui de la lame précédente. En revanche, les fantômes de muscovite sont nettement moins abondants et de plus grande taille. Ils sont généralement incolores.

-P- Le plasma brun-jaune forme un large réseau (0,5 cm) continu. Il présente une organisation masépique, mais les domaines de même orientation sont de très petite taille. Ce plasma isole des domaines de plasma brun-rouge peu translucide et faiblement insépique. La limite entre les deux plasmas est peu nette avec des ponctuations brun-rouge en retrait dans le plasma brun-jaune.

-A- L'assemblage de ces deux types de fond matriciel est porphyrosquelique. Les grains de quartz sont cependant moins dispersés dans le fond matriciel à plasma brun-rouge. Localement, dans le seul plasma brun-jaune, le squelette quartzueux est encore plus resserré, l'organisation du plasma brun-jaune devenant alors plutôt insépique (domaines anisotropes striés de petite taille et dispersés).

On retiendra que :

\* Le plasma brun-jaune présente une organisation masépique. Dans zones où le squelette quartzueux est le plus concentré, son organisation est plutôt insépique.

\* La transformation du plasma brun-rouge est progressive et correspond à une limite diffuse.

\*  
\* \*

L'étude des ces lames intermédiaires permet de préciser les modalités du développement de la phase brun-jaune aux dépens de la phase brun-rouge :

(i)- Lors de son apparition, le développement du plasma brun-jaune est ponctuel et répétitif. Son organisation est silasépique (lames T3.1.3 et TI.1). Les limites diffuses de cette phase, avec de petits volumes brun-rouge situés en retrait dans le plasma brun-jaune, montre qu'il s'agit bien d'une transformation et indique son sens : le plasma brun-rouge est transformé en plasma brun-jaune.

(ii)- Lorsque les plages s'étendent, le squelette quartzueux devient plus resserré (lame TI.1). Il en résulte que l'élimination de plasma est postérieure à la mise en place de cette différenciation. Cette élimination semble plutôt correspondre à une dissolution accrue des minéraux argileux qu'à leur illuviation après dispersion. En effet, on n'a jamais constaté la présence de cutanes dans les horizons sous-jacents.

(iii)- L'organisation des différents fonds matriciels de la lame TI.2 montre que cette perte de plasma se développe moins vite que la transformation du plasma brun-rouge. Les modalités de la poursuite de la transformation sont vraisemblablement différentes de celles qui président à son apparition, car l'organisation du plasma est masépique au

niveau de cette lame (démasquant probablement la forte orientation de la phase brun-rouge qui est suggérée par la disposition des fantômes de muscovite dans les horizons sous-jacents). Le plasma brun-jaune présente des domaines insépiques limités aux seules zones où le squelette quartzéux est le plus resserré, c'est à dire là où l'élimination de plasma est susceptible d'être (ou d'avoir été) la plus forte.

(iv)- Lorsque le plasma brun-jaune devient dominant (lame T3.2.3), l'organisation masépique disparaît aux dépens d'une organisation faiblement insépique et opaque en LP. Il est possible que les domaines anisotropes hérités de la phase brun-rouge deviennent trop petits pour être observés au microscope optique#.

### 2.3- Apports des analyses a la microsonde.

Avant d'aborder la morphologie du domaine brun-jaune de la plaine, il semble nécessaire de préciser la nature de la dérubeffaction observée au sein des horizons médians de cette tranchée. A cet effet, on présentera les résultats d'une série d'analyses semi-quantitatives réalisées grâce à une microsonde fonctionnant en dispersion d'énergie, couplée à un MEB (Cambridge Stéréoscan 2000).

Les plasmas rouges et bruns puis jaune-bruns, ont été analysés sur les lames T3.1.3, T3.I.1 et T3.2.3, dont la position est précisée sur la figure 18. Les analyses ont porté sur des plages d'environ 50 m X 25 m, exemptes de grains de squelette. Les répétitions montrent que les résultats sont reproductibles à moins d'1% d'oxyde près ce qui, compte tenu de la précision de la méthode de détermination, ne permet pas de définir de différences au sein d'un même fond matriciel. Seules les moyennes de ces analyses seront donc présentées dans le tableau III.1.

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Si/Al
T3.1.3 rouge	35,0	46,0	0,3	1,8	15,9	2,23
T3.1.3 brun	37,2	47,1	0,4	1,0	13,4	2,15
T3.I.1 rouge	37,3	45,2	0,5	1,2	14,7	2,06
T3.I.1 brun-jaune	39,1	47,1	0,5	1,6	10,4	2,05
T3.2.3 rouge sombre	37,0	47,2	0,2	1,2	13,1	2,11
T3.2.3 rouge	38,0	48,0	0,2	1,0	11,7	2,15
T3.2.3 brun-jaune	39,5	50,3	0,2	1,4	7,6	2,16

Tableau III.1 : Résultats en % d'oxydes des analyses stoichiométriques normalisées.

# Les lames faisant 30 m d'épaisseur, plusieurs domaines d'orientation différente peuvent se superposer annulant ainsi leur anisotropie respective et donnant au plasma son aspect insépique diffus.

Dans toutes ces analyses le rapport d'oxydes silice/alumine est légèrement supérieur à 2,0 (qui correspond théoriquement à la kaolinite). Cette tendance générale peut résulter de la présence de grains de quartz très fins, qui n'ont pu être décelés au microscope électronique. L'absence de tendance évolutive nette, indique cependant que la composition chimique de ces minéraux argileux n'évolue pas significativement au cours de la dérubéfaction.

De L'amont vers l'aval de la tranchée, dans la phase rouge de l'horizon "r V<b à bj> CS", la répartition est homogène et passe latéralement de 15,9% à 14,7%. Puis, dans l'horizon "bj V(r) C", la répartition devient hétérogène, avec des domaines rouges plus sombres où les oxydes de fer sont notablement plus concentrés (11,7% et 13,1%).

Au sein de la phase brune puis brun-jaune, la répartition reste homogène et diminue de 13,4% à 7,6%, en passant par 10,4%. La différence entre la phase rouge et la phase brun-jaune, s'accroît donc au sein de l'horizon "r V<b à bj> CS", puis se maintient au même niveau au sein de l'horizon "bj V(r) C".

Ces analyses nous indiquent donc que la séquence de dérubéfaction correspond à une diminution générale de la quantité d'oxydes de fer au sein des fonds matriciels analogues et, par ailleurs, que les plasmas dérubéfiés contiennent une quantité moindre d'oxydes de fer que les plasmas rouges.

On peut donc conclure que la séquence de dérubéfaction de la tranchée T3 correspond à une déferrification.

\*  
\* \*

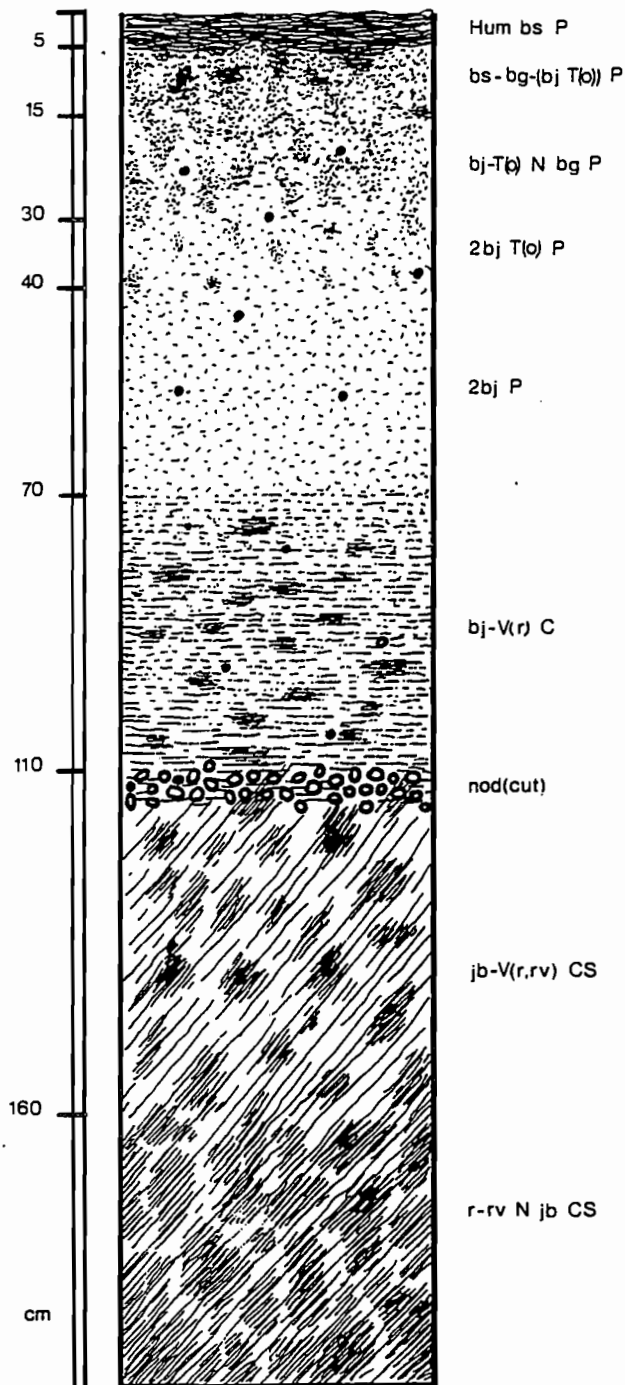


Figure 20 : Séquence verticale de la marge du domaine brun-jaune (fosse T4)

### 3- ETUDE DU DOMAINE BRUN-JAUNE : FOSSES T4 ET T5.

Ce domaine se distingue du précédent par la coloration brun-jaune exclusive des horizons médians, et surtout par la présence d'un épais horizon à forte macroporosité ("*2bj P*").

Deux profils sont décrits pour cette dernière portion de l'amont de la couverture pédologique. Le premier (fosse T4) se situe au pied de la colline 10 m en aval de la tranchée T3 ; le second (fosse T5) est localisé dans la plaine, à l'extrémité de la toposéquence.

#### 3.1- LA SEQUENCE VERTICALE DU PIED DE LA COLLINE : FOSSE T4.

##### 3.1.1- Description macromorphologique.

Cette séquence a été décrite dans une fosse profonde de 1,8 m jusqu'à l'apparition de l'horizon "*r-rv R j b CS*" qui caractérise la base de la séquence T3.2 observée à l'aval de la tranchée T3. Depuis la surface jusqu'à cet horizon, on observe la superposition suivante (Fig.20) :

##### *0-5 cm : "Hum bs P".*

Cet horizon brun sombre est humifère. La structure est nette, polyédrique subanguleuse de 1 à 2 cm. La porosité est très développée, essentiellement tubulaire, mais de diamètre très variable (0,5 cm à moins de 1 mm). Les racines sont très nombreuses, d'orientation plutôt horizontale. La texture est sablo-argileuse. La limite inférieure de l'horizon est nette, horizontale et légèrement ondulée.

##### *5-15 cm : "bs-bg-(bj-T(o)) P".*

Cet horizon hétérogène comporte trois phases majeures :

- La phase dominante brun-gris
- Des volumes bruns sombres à limites très nettes, qui correspondent probablement à des apports de l'horizon sus-jacent par la faune du sol.
- Des volumes brun-jaunes à limites parfois peu contrastées, mais toujours très nettes. Ces volumes présentent fréquemment des taches ocres filamenteuses associées à leur porosité. Les deux autres phases en sont exemptes.

La structure est assez nette polyédrique subanguleuse de 2 à 3 cm. La porosité est importante et de type tubulaire. La section des tubes est parfois ronde, mais généralement elle est très irrégulière. Ces vides sont plus fins au sein de la phase brun-gris qu'au sein de la phase brun-jaune. Les racines sont nombreuses et s'orientent en tous sens. La texture est sablo-argileuse. La limite inférieure de l'horizon est à rattacher au caractère irrégulière avec de nombreuses invaginations brunes sombres pénétrant l'horizon sus-jacent.

##### *15-30 cm : "bj-T(o) N bg P".*

Au sein de cet horizon, la phase brune sombre a disparu. Vers la base, on observe un développement progressif de la phase brun-jaune à taches ocres aux dépens de la phase brun-gris. Le contraste de cette dernière diminue progressivement, mais ses limites restent nettes jusqu'à la base de l'horizon. Les taches ocres sont contrastées et relativement plus étendues que dans l'horizon précédent. Structure et porosité sont similaires à celles décrites dans l'horizon sus-jacent. Les racines sont moins abondantes, leur orientation est plutôt verticale. Elles présentent souvent une gaine noire qui est à rattacher au caractère assez fortement hydromorphe de cet horizon. La texture est toujours sablo-argileuse, mais la teneur en argile augmente vers la base de l'horizon. La limite inférieure de l'horizon est nette et assez irrégulière ; elle correspond à la disparition de la phase brun-gris.

30-40 cm : "2bj-T(o) P".

Cet horizon comporte deux phases brun-jaunes très peu contrastées, l'une vive et l'autre plus terne. Les taches ocres se retrouvent indifféremment au sein de ces deux phases. Vers la base, les taches ocres deviennent moins contrastées, moins étendues et finalement disparaissent. La structure est assez nette, polyédrique subanguleuse. La porosité est très développée. Elle correspond à un grand nombre de pores tubulaires de section irrégulière, parfois assez larges (jusqu'à 2 mm). Les racines sont encore assez abondantes, d'orientation verticale. La texture est argilo-sableuse. La limite inférieure de l'horizon est assez nette, horizontale et ondulée.

40-70 cm : "2bj P".

A l'exception des taches ocres, qui ont disparu, cet horizon est assez similaire au précédent. On note cependant l'apparition d'une sous-structure très nette en petits agrégats anguleux millimétriques. La porosité est sensiblement plus fine, ne dépassant que très rarement 1 mm. L'abondance de ces fins macrovides donne aux mottes de cet horizon un aspect mat qui permet de le distinguer nettement des horizons peu poreux décrits dans les fosses précédentes, dont les mottes avaient un aspect plus luisant. Les racines deviennent rares, mais leur orientation est toujours verticale.

Sur toute l'épaisseur de cet horizon, on observe de petits nodules noirs, arrondis, de 2 à 3 mm de diamètre et à cuticule épaisse (par rapport à leur taille).

Vers la base de l'horizon, la porosité devient moins abondante et la texture, plus argileuse. La limite inférieure de l'horizon est graduelle et horizontale.

70-110 cm : "bj V(r) C".

Des taches rouges, assez peu contrastées mais à limites nettes, apparaissent et se développent dans le fond brun-jaune de cet horizon. La structure est nette polyédrique anguleuse. Les mottes (de 2 à 3 cm) sont généralement allongées verticalement. La porosité est peu développée ; elle correspond surtout à des fissures, les vides tubulaires de l'horizon précédent étant rares. On observe encore de petits nodules noirs arrondis. La texture est argileuse. Alors que l'ensemble des horizons sus-jacents était fortement humecté, l'humidification devient nettement moins sensible au sein de cet horizon.

110-115 cm : "nod(cut)".

Cet horizon correspond à une forte concentration de nodules noirs à cuticule épaisse. Leur coeur est rouge assez hétérogène ; il ne présente pas de structure lithorelictuelle et les quartz y sont rares, parfois absents. Les nodules sont emballés dans un matériau brun-jaune à taches rouges plus foncées que dans l'horizon précédent. La porosité est faible. La limite inférieure de l'horizon est nette, horizontale et légèrement ondulée.

115-160 cm : "jb V(r,rv) CS".

Cet horizon hétérogène comporte une phase jaune-brun qui isole des volumes rouges, parfois rouge-violacés, à limites très nettes et contrastées. Les volumes rouges ont une consistance plus friable que le fond jaune-brun. Vers la base de l'horizon, les volumes rouges se développent progressivement aux dépens du fond jaune-brun qui forme alors un réseau de veines de 1 à 2 cm de large. Ce réseau coïncide avec une structure prismatique très grossière, de 20 à 30 cm de large, à sous-structure polyédrique anguleuse nette de 4 à 5 cm. La porosité des mottes est faible (leurs faces sont luisantes). Elle correspond à quelques pores tubulaires de section arrondie.

La texture est argileuse. Ce matériau ne présente pas d'humectation sensible (même juste après avoir vidé la fosse de l'eau accumulée pendant une forte averse, ce matériau reste "sec au toucher"). La limite inférieure de l'horizon est nette et très irrégulière, avec de larges invaginations qui dépassent la base de la fosse.

160 jusqu'à 180 cm : "r-rv N jb CS".

Dans cet horizon les phases rouge et rouge-violacée deviennent dominantes, elles sont parcourues par des veines jaune-brunes plus ou moins anastomosées. La structure est peu nette, polyédrique anguleuse d'environ 5 cm de large. La porosité est faible, de même type que dans l'horizon précédent. Le matériau est "sec au toucher".

La description de cette fosse a été complétée par un sondage à la tarière. L'horizon " $r-rv N j\bar{b} CS$ " s'étend jusqu'à 230 cm. La phase jaune-brun devient moins abondante et l'on observe des passées violacées (d'environ 10 cm) qui correspondraient à des reliques de l'horizon " $Alt rv CS$ ". A sa base l'horizon devient à nouveau plus hétérogène et l'on passe progressivement à " $Alt B(w,r) CS$ ".

\*  
\* \*

De l'étude de ce profil on retiendra les points suivants :

(i)- Les horizons sub-superficiels présentent une hydro-morphie plus accentuée qu'au niveau du profil T3.2. Ils se développent sur une épaisseur plus importante.

(ii)- Un horizon à deux phases brun-jaunes peu contrastées s'insère entre l'ensemble des horizons supérieurs et l'horizon " $bj V(r) CS$ ", qui formaient une séquence verticale continue au niveau du profil T3.2. Il présente une importante macroporosité tubulaire fine qui donne un aspect mat aux mottes.

(iii)- Un horizon " $jb V(r,rv) CS$ " à structure prismatique grossière apparaît au sommet de l'horizon " $r-rv N j\bar{b} CS$ ". Vers la base de l'horizon, cette phase jaune-brun présente une humectation importante, qui correspond aux faces de rupture du matériau.

Ces zones correspondraient à l'individualisation de voies de circulation préférentielle de l'eau.

(iv)- Le niveau de concentration nodulaire observé à faible profondeur dans l'ensemble des fosses précédentes a disparu. Les sondages à la tarière montrent cependant qu'il en reste des lambeaux disséminés au sommet de l'horizon " $2bj P$ ". Ils sont absents au niveau de cette fosse, mais on retrouve de petits nodules cortifiés sur toute l'épaisseur du profil qui précède un mince horizon nodulaire de profondeur.

Les nodules de la fosse T3 ne se sont donc pas enfoncés. Ils restent en place et se détruisent.

En revanche, de nouveaux nodules se forment progressivement au sein de l'horizon " $bj V(r,rv) CS$ " et ils se concentrent à la base de l'horizon " $bj V(r) C$ ".

### 3.1.2- Description micromorphologique.

#### T4.1 : "r-rv N jb CS", 165 cm.

**-S-** Le squelette comporte des quartz anguleux mais fortement corrodés (dont la taille s'étend de 3 mm à 40  $\mu$ m, avec une fraction dominante autour de 400  $\mu$ m) et des muscovites saines ou totalement pseudomorphosées.

**-P-** Le plasma dominant est rouge sombre en LP, faiblement insépique en LPA. Il comporte un nombre important de fantômes de muscovite kaolinisée trapus, qui s'orientent selon deux directions quasi perpendiculaires. Il est parcouru par des veines de plasma hétérogène brun-jaune à nombreux domaines diffus rouges en LP. Ce plasma est fortement anisotrope en LPA : il est constitué de petits domaines striés orientés en tout sens, plus ou moins masqués dans les domaines rouges. Les grains de quartz, relativement plus fins que dans le plasma rouge sombre, sont fréquemment auréolés de séparations squelsépiques. Il ne comporte que des muscovites saines en baguettes de petite taille.

**-A-** L'assemblage est porphyroscelique. La porosité est faible et essentiellement fissurale. Pour le plasma rouge sombre, les fissures sont larges et peu nombreuses. Elles se localisent préférentiellement au niveau de la limite de cette phase. Pour le plasma brun-jaune, elles sont plus fines et plus contournées. En outre le plasma rouge sombre comporte quelques "orthovugs" isolés.

**-T-** Le fond matriciel rouge sombre contient des domaines de plasma noir isotrope, emballant de larges fantômes de muscovite fortement ferruginisés et quelques quartz grossiers fracturés. L'extinction des différents fragments est rarement simultanée. Les limites de ces volumes sont diffuses et fortement interpénétrées avec le plasma du fond matriciel qui les entoure.

#### On retiendra que :

\* Les deux fonds matriciels majeurs de cet horizon présentent des caractéristiques bien distinctes :

- L'un est rouge sombre en LP et faiblement insépique en LPA. Une orientation bimasépique est suggérée par la disposition de nombreux petits fantômes de muscovites kaolinisée. Il isole des volumes lithorelictuels à larges fantômes de muscovite et quartz grossiers fracturés dont la disposition initiale est perturbée.

- L'autre est hétérogène avec un fond brun-jaune en LP contenant de nombreuses taches rouges diffuses. Il présente une forte biréfringence en petits domaines anisotropes striés orientés en tout sens. Le squelette de cette phase comporte des quartz plus fins et des muscovites saines en baguettes de petite taille.

#### T4.2 : "jb V(r,rv) CS", 120 cm.

**-S-** Les grains de quartz répartissent dans la même gamme de taille que dans la lame T4.1, mais ils sont généralement émoussés et la fraction dominante est nettement plus fine (200  $\mu$ m). A l'exception de domaines lithorelictuels fortement ferruginisés, les muscovites sont saines et en petites baguettes.

**-P-** Le plasma dominant est hétérogène avec un fond brun-jaune, localement exclusif, et des domaines diffus rouges. En LPA, il présente une organisation insépique diffuse ennoyant de nombreux domaines striés plus biréfringents orientés en tout sens (légèrement masqués dans les domaines rouges) et des baguettes de muscovite de petite taille. En outre, il présente des séparations squelsépiques très ténues. Les domaines striés disparaissent localement au niveau de zones bien circonscrites où le squelette quartzueux est plus resserré.

Des plages de plasma rouge sombre en LP et isotrope en LPA, à contours très disséqués et à squelette quartzueux moins abondant sont isolées au sein de ce fond matriciel.

**-A-** L'assemblage est porphyroscelique. La porosité est faible ; elle comporte de fines fissures et quelques larges chenaux isodiamétriques d'origine biologique, parfois comblés par un matériau à squelette très fin.

**-T-** Des volumes fortement ferruginisés à bords nets sont isolés au sein du fond matriciel dominant. Ils contiennent des quartz disséminés relativement fins et des fantômes de muscovite dont les extrémités forment des éventails incolores.

**On retiendra que :**

\* Le fond matriciel des veines hétérogènes de la lame T4.1 s'est étendu. Sa biréfringence est moins accentuée et la phase brun-jaune y est plus développée.

\* Un plasma brun en LP, d'organisation insépique diffuse en LPA, est associé à des zones de concentration d'un squelette quartzueux grossier et fortement émoussé.

**T4.3 : "nod(cut)", 100 cm.**

Les différents fonds matriciels qui emballent les nodules sont identiques à ceux décrit pour la lame T4.2.

Les nodules présentent un squelette quartzueux fin (500 m au plus) disséminé dans un plasma hétérogène en LP, rouge très sombre à fines veines anastomosés rouges. En LPA, ces deux phases sont isotropes. Leur périphérie présente une cuticule noire (1 à 2 mm d'épaisseur) continue. Elle chevauche parfois les grains de quartz contenus dans le coeur des nodules. Au niveau de larges golfes qui pénètrent le nodule, la cuticule devient plus épaisse et sa limite interne plus diffuse. Le fond matriciel meuble qui occupe ces golfes, contient de petites esquilles noires à limites parfois diffuses.

**On retiendra que :**

\* L'ensemble des nodules présente un faciès pédorelictuel fortement ferruginisé. Ils se détruisent par développement centripète d'un cortex rubané.

**T4.4 : "bj V(r) C", 80 cm.**

**-S-** Le squelette devient nettement plus abondant ; il comporte des quartz émoussés fortement corrodés plus fins que dans les lames précédentes et de fines baguettes de muscovite saine. Les zones de concentration de grains grossiers sont abondantes.

**-P-** Le plasma dominant est brun-jaune hétérogène. Les zones où le squelette est dense présentent un plasma clair en LP, qui isole de petits volumes plus foncés à limites diffuses, plus ou moins coalescents, équivalents au plasma présent dans le reste de ce fond matriciel. En LPA, le plasma clair apparaît fortement silasépique, alors que le plasma foncé est insépique diffus. En outre, ce dernier présente des plages peu contrastées plus rouges en LP et isotropes en LPA. Ces plages coïncident avec un squelette quartzueux plus dispersé et des baguettes de muscovite plus abondantes.

**-A-** La porosité est plus développée, mais reste faible. Elle correspond à des vides allongés, présentant de nombreux étranglements, assez fortement interconnectés. Ils définissent une structure polyédrique sub-anguleuse. L'assemblage au sein de ces agrégats reste porphyrosquelique.

**On retiendra que :**

\* Les zones de concentration de squelette sont plus nombreuses. Elles comportent des grains relativement plus grossiers et coïncident avec la différenciation d'un plasma plus clair en LP, qui isole de nombreux volumes correspondant au plasma dominant du fond matriciel.

\* La porosité est plus développée que dans les horizons précédents, mais reste faible. Elle correspond à des vides allongés assez fortement interconnectés de largeur très irrégulière et se distingue nettement des fissures observées plus bas.

**T4.5 : "2bj P", 50 cm.**

**-S-** Le squelette est équivalent à celui de la lame précédente.

**-P-** Le plasma est brun-jaune avec les deux mêmes phases que pour la lame T4.4. Le plasma le plus clair se dispose de façon discontinue en bord de la majorité des vides. Il est pratiquement exclusif au niveau des zones de concentration du squelette. Les grains de quartz y sont fréquemment jointifs et le plasma se limite à des fragments subanguleux accolés à leurs bords.

**-A-** La porosité est très développée. Elle comporte des vides similaires à ceux de la lame T4.4, auxquels s'ajoutent de larges lacunes à bords irréguliers où les quartz sont "lavés" ; ainsi que les vides qui correspondent à l'assemblage des quartz dans les domaines où le squelette devient jointif et largement dominant par rapport au plasma.

**On retiendra que :**

\* Le plasma brun-jaune le plus sombre en LP est devenu moins abondant par rapport au plasma clair.

\* La porosité devient importante, du fait de l'élimination du plasma dans les zones où le squelette quartzueux est très dense.

**T4.6 :** "bj-T(o) N bg P", 30 cm.

**-S-** Le squelette quartzueux est encore plus concentré que dans la lame précédente. Les domaines à quartz grossiers jointifs sont plus abondants et plus étendus. De plus, on observe de petits domaines à squelette quartzueux très fin (de l'ordre de 50 m) associés à des zones fortement macroporeuses.

**-P-** Le plasma comporte les deux mêmes phases que dans la lame T4.5 : les domaines de plasma brun-jaune clair à ponctuations plus sombres diffuses sont les plus abondants. Le plasma brun-jaune sombre se limite au coeur de petits agrégats polyédriques subanguleux (2 à 3 mm) dont les bords sont généralement occupés par le plasma brun-jaune clair. Dans les zones où le squelette quartzueux est jointif, le plasma brun-jaune clair est exclusif.

Les zones à squelette quartzueux très fin présentent un plasma brun-jaune clair homogène en LP et isotrope en LPA.

**-A-** La porosité présente les mêmes traits que pour la lame T4.5, tout en étant encore plus importante. L'assemblage des domaines où le plasma reste notable par rapport au squelette est toujours porphyroscelique.

**-T-** De nombreux liserés sombres à limites diffuses sont fréquemment associés aux bords des vides qui parcourent la phase brun-jaune sombre. Ils se localisent aussi au niveau de la limite entre les deux phases brun-jaune, mais sont moins contrastés.

**On retiendra que :**

\* L'évolution relative des deux plasmas constituant le fond matriciel se poursuit selon les mêmes modalités que dans la lame T4.5.

\* Un fond matriciel à squelette quartzueux très fins (limoneux) est associé à des zones à forte macroporosité.

\* Des néoferranes s'associent aux bords des vides de la phase brun-jaune sombre et aux limites séparant les deux types de plasma.

**T4.7 :** "bg-bs-(bj-T(o)) P", 15 cm.

**-S-** Le squelette devient exclusivement quartzueux. Les baguettes de muscovites sont rares et se localisent uniquement dans le plasma brun-jaune sombre décrit pour les lames précédentes.

**-P-** En plus des différents plasmas décrit dans la lame T4.6, un plasma brun sombre en LP et isotrope en LPA, apparaît dans des zones allongées verticalement à limites généralement nettes avec les autres fonds matriciels.

**-A-** Ce nouveau plasma présente une organisation aggloméroplasmique (petits agrégats arrondis plus ou moins coalescents isolés des grains du squelette). De plus, il contient de nombreux débris végétaux plus ou moins humifiés.

**-T-** On observe un petit nodule à cuticule épaisse. Il présente le même faciès que les nodules de l'horizon "Nod(cut)". Des nodules similaires sont présents dans l'ensemble des lames T4.4 à T4.6.

**On retiendra que :**

\* La phase brun sombre observée macroscopiquement présente une microagrégation qui coïncide avec l'humification de débris organiques.

Cette étude micromorphologique permet de préciser les différenciations qui correspondent à la mise en place de ce profil.

(i)- La modification de l'évolution verticale du squelette constatée entre les deux profils de la tranchée T3, s'est accentuée:

-Les grains de quartz s'affinent et se concentrent toujours progressivement vers le sommet du profil. Cependant, des domaines de concentration des grains apparaissent dès l'horizon "bj V(r,rv) CS". Dans le profil T3.2, ils ne se développaient qu'au sommet des horizons médians ("Nod p").

-Les fantômes de muscovites kaolinisés sont limités aux seules phases rouges des horizons du manteau d'altération. Dans les phases jaune-bruns et brun-jaunes, on ne retrouve que de petites muscovites saines en baguettes. Elles se maintiennent pratiquement jusqu'au sommet du profil.

(ii)- A l'exception des considérations concernant leur squelette, les diverses phases caractéristiques de l'horizon "r-rv N jb CS" sont très similaires à celles observées à la base du profil T3.2.

- On notera cependant que l'imbrication des deux phases rouge et jaune-brun est beaucoup plus importante. De plus, elles sont fortement pédoturbées (orientations bimasépiques ou masépiques) et la taille des fantômes de muscovite ou des domaines biréfringents diminue.

La pédoplasation de ces horizons de transition entre le manteau d'altération et les horizons pédologiques est donc vraisemblablement plus importante ici que pour la fosse T4.

- Malgré la présence de voies de circulation préférentielle de l'eau dans l'horizon sus-jacent, la dérubéfaction serait ici moins localisée qu'au niveau du profil précédent.

(iii)- La phase rouge suit deux voies de différenciation distinctes.

a- Certains volumes présentent une ferruginisation de plus en plus importante qui conduit à la formation des nodules observés au sommet de l'horizon "jb V(r,rv) CS".

b- D'autres en revanche, présentent des limites diffuses et disparaissent progressivement au sein de la phase brun-jaune de l'horizon "bj V(r) C".

L'organisation du plasma de ces deux fonds matriciels semble suivre une évolution parallèle qui correspond à une pédoplasation progressive. La plus faible concentration du squelette quartzueux indique cependant que l'élimination du plasma est moins importante au sein de ces volumes rouges qu'au sein du fond matriciel brun-jaune.

(iv)- Le plasma brun-jaune faiblement insépique en LPA, caractérisant le fond matriciel de l'horizon "bj V(r) C" de la fosse T3.2, présente une évolution progressive qui s'échelonne au sein des différents horizons de ce profil.

a- Il apparaît au sein de la phase jaune-brun de l'horizon "jb V(r,rv) CS", en réseau au sein du plasma jaune-brun masépique ou au niveau de domaines bien circonscrits où le squelette quartzéux est relativement plus dense.

b- Dans l'horizon "bj V(r) C", il représente la quasi intégralité de la phase brun-jaune à l'exception de domaines où les grains de quartz sont généralement plus grossiers et encore plus serrés. Dans ces domaines, il se restreint à de petits volumes à limites diffuses isolés dans un plasma brun-jaune plus clair en LP et silasépique en LPA.

La différenciation de ce nouveau plasma coïncide donc avec l'élimination de la fraction fine du squelette.

Par ailleurs, la disparition des séparations squelsépiques qui auréolaient les grains de quartz de l'horizon précédent, indique que ce matériau se déforme moins au cours de l'année. Ceci peut résulter d'une moindre propension au retrait et au gonflement, ou d'une humectation du matériau plus constante au cours de l'année, ou encore d'une diminution de la taille des domaines orientés (inférieurs à l'épaisseur de la lame).

c- Dans l'horizon "2bj P", les domaines à plasma hétérogène sont plus nombreux. Le plasma s'y réduit à des fragments sub-anguleux accolés aux bords des quartz. Ceux ci deviennent jointifs délimitant une importante porosité d'assemblage. Par ailleurs, le même type de différenciation se développe de façon discontinue sur les bords de la majorité des vides.

d- Finalement dans l'horizon "bj-T(o) N bg P", le plasma brun-jaune insépique se limite au coeur des agrégats, les domaines à quartz jointifs ne présentant plus que de petits fragments de plasma brun-jaune silasépique. L'affinement du squelette quartzéux donne à ces domaines la couleur brun-grise observée macroscopiquement.

Au total, l'évolution de cette phase le long de cette séquence verticale correspond à un approfondissement des différenciations qui étaient concentrées au sommet du profil T3.2.

(v)- Bien que plus fortement hydromorphe, l'organisation des horizons supérieurs est en tout point similaire à celle des horizons analogues du profil T3.2.

### 3.2- LA SEQUENCE VERTICALE DE LA PLAINE : FOSSE T5.

#### 3.2.1- Description macromorphologique.

Cette séquence a été décrite dans une fosse profonde de 3 m, qui atteint l'horizon d'altération "Alt B(w,r) CS".

Depuis le sommet du profil jusqu'à 180 cm cette séquence est identique à celle décrite pour la fosse T4. La description des horizons ne sera donc pas reprise, seule leur épaisseur (plus importante) est précisée (Fig.21) :

- 0- 5 cm : "Hum bs P".
- 5- 25 cm : "bs-bg-(bj-T(o)) P".
- 25- 45 cm : "bj-T(o) N bg P".
- 45- 60 cm : "bj-T(o) P".
- 60-180 cm : "2bj P".

A partir de 180 cm, la séquence est sensiblement différente, on observe la superposition suivante :

180-220 cm : "bj p".

La couleur de cet horizon devient brun-jaune plus soutenue que dans "2bj P". La structure est nette polyédrique anguleuse. La porosité est assez importante, mais diminue progressivement vers la base de l'horizon. Elle correspond à des vides tubulaires de section irrégulière et à de fines fissures qui n'existaient pas au sein de l'horizon précédent. La texture est argileuse ; elle résulte d'une diminution très progressive de la teneur en sables vers la base de l'horizon "2bj P". La limite inférieure de l'horizon est nette, horizontale et légèrement ondulée.

220-235 cm : "bj V(r) C"

Cet horizon comporte des taches rouges, peu contrastées et à limites diffuses, qui apparaissent dans un fond équivalent à l'horizon précédent. La structure est nette polyédrique anguleuse. La porosité est du même type que dans l'horizon sus-jacent ; elle est cependant plus faible. La texture est argileuse et l'humectation devient moins sensible.

235-240 cm : "nod(cut)".

Cet horizon correspond à un mince alignement de petits nodules noirs, patinés et arrondis à cuticule épaisse. Ils sont emballés dans un matériau équivalent à "bj V(r) C".

240-280 cm : "bj V(r,rv) C".

Vers la base de cet horizon, le matériau devient de plus en plus hétérogène, on observe de nombreux volumes rouges, parfois rouge-violacés et légèrement indurés, isolés au sein d'une phase brun-jaune. Par ailleurs, des volumes diffus jaune-bruns, de plus en plus pâles, se développent aux dépens de cette dernière. La structure est très peu nette, polyédrique anguleuse assez grossière (plus de 5 cm). La porosité est faible ; elle correspond essentiellement à de fines fissures. La texture est argileuse.

280 jusqu'à 300 cm : "Alt B(w,r) CS".

On aboutit donc à l'horizon "Alt B(w,r) CS". En sus des diverses phases présentes à la base de l'horizon précédent, ce niveau comporte de nombreux domaines (de 5 à 10 cm de large) qui correspondent à des reliques cohérentes de la roche altérée. La porosité de ces domaines est très importante, de type lacunaire. Leur morphologie est hétérogène, on observe des domaines blancs et rouges et quelques domaines violacés plus friables.

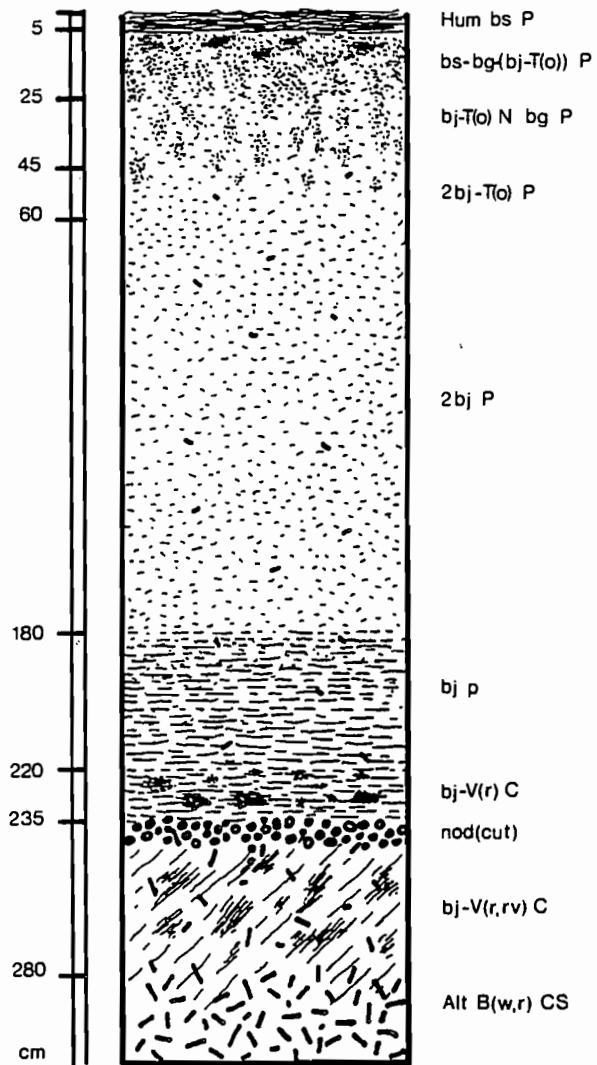


Figure 21 : Séquence verticale du coeur du domaine brun-jaune (fosse T5)

Ce profil présente le développement maximum de l'horizon "2bj P" au niveau de l'unité de paysage étudiée. Par rapport aux éléments apportés par l'étude macroscopique de la fosse T4, on retiendra les points suivants :

(i)- Les différents horizons de la partie supérieure du profil se sont épaissis, sans que leur morphologie ne se modifie de façon notable.

(ii)- Un horizon brun jaune homogène, argileux et à macroporosité peu développée apparaît à la base de "2bj P"

(iii)- Les horizons de transition avec l'altérite sont minces de couleur dominante jaune-brun. Ils ne présentent pas la structure prismatique grossière observée au niveau de la fosse T4.

(iv)- L'horizon "Alt B(w,r) CS" comporte des fragments de roche altérée cohérents.

### 3.2.2- Description micromorphologique.

De même que pour la description macromorphologique, seules les lames correspondant à la base du profil sont présentées, afin d'effectuer une comparaison avec le profil T4.

#### T5.1 : "Alt B(w,r) CS", 290 cm.

Les volumes lithorelictuels et les différents fonds matriciels meubles sont décrits successivement.

##### Volumes lithorelictuels.

**-P-** Les lithoreliques présentent deux types de plasma : un cristalliplasma gibbsitique qui conserve les traits structuraux de minéraux primaires altérables (feldspaths). Le coeur de ce plasma est fréquemment composé d'un cristalliplasma kaolinitique, ne laissant parfois en place que des cloisons de macrocristaux gibbsitiques qui reproduisent la structure des minéraux altérés ; un plasma ferrugineux isotrope où seuls les quartz et les muscovites sont encore identifiables.

**-S-** Le squelette comporte des quartz et des muscovites de grande taille (1 à 3 mm). Les quartz sont fortement corrodés et divisés. Les différents fragments d'un même grain conservent une extinction simultanée en LPA. Selon le type de plasma qui les entoure les muscovites sont saines, mais parfois brisées (cristalliplasma kaolino-gibbsitique) ; ou totalement pseudomorphosées par la kaolinite (plasma ferrugineux noir isotrope).

**-A-** L'assemblage du cristalliplasma reproduit l'organisation de la roche altérée. Il présente une forte macroporosité en lacunes non communicantes à contours irréguliers. Le plasma ferrugineux est porphyrosquelique, faiblement poreux (quelques fissures).

**-T-** Au niveau du seul cristalliplasma, on note en bord de vide, des liserés noirs diffus qui imprègnent les cristaux de gibbsite. Les muscovites qui sont atteintes par ces liserés, commencent à se pseudomorphoser. Parfois intercalés entre ces liserés ou comblant la lumière du vide, on observe de larges domaines de plasma orangé en LP, à extinction roulante en LPA.

##### Fonds matriciels meubles.

**-S-** Le squelette est réparti de façon homogène. Il est plus fin et plus dense que dans les lithoreliques. Il comporte des quartz fortement corrodés, mais plus anguleux que dans les lithoreliques (1.5 mm à 40 m, la fraction dominante se situant autour de 300 m), de très fines baguettes de muscovite saine (200 m de long), de rares fantômes de muscovite kaolinisée de grande taille (500 m) et des fantômes gibbsitiques abondants.

**-P-** Les différents fonds matriciels meubles correspondent à deux types de plasma :

- Un plasma brun-jaune en LP, d'orientation masépique en LPA (petits domaines anisotropes orientés en tout sens). Les grains de quartz sont fréquemment auréolés d'un fin liseré squelsépique. Il comporte quelques domaines essentiellement constitués de larges empilements de kaolinite incolore.

- Un plasma rouge en LP, silasépique en LPA (baguettes de muscovite) et contenant de petits domaines diffus fortement ferruginisés.

Les limites de ces phases sont nettes mais fortement interpénétrées.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. La porosité est faible, essentiellement fissurale et peu communicante. En outre, elle comporte quelques vides isolés à bords irréguliers. Les fissures sont généralement plus larges au sein du plasma brun-jaune.

**-T-** Quelques chenaux d'origine biologique traversent l'ensemble des fonds matriciels ; ils sont parfois comblés d'un matériau à squelette quartzeux de la taille des limons.

**On retiendra que :**

\* Les volumes lithorelictuels comportent deux phases distinctes :

- Un fond matriciel qui conserve l'organisation de la roche altérée. Des alignements de macrocristaux gibbsitiques reproduisent la structure des minéraux altérables. Leur cœur est envahi par un cristalliplasma kaolinitique plus fin, qui efface les structures hérités. Des différenciation ferrugineuses et/ou plasmiques sont associées aux bords d'une importante porosité lacunaire. Les quartz sont divisés et fortement corrodés, mais les fragments d'un même grain conservent leur disposition initiale. Seules les muscovites semblent avoir échappé à l'altération.

- Un fond matriciel fortement ferruginisé, qui conserve partiellement l'organisation de la roche altéré. Les muscovites y sont totalement ferruginisées. Il semble correspondre au développement des liserés ferrugineux du fond matriciel précédent.

\* les différents fonds matriciels meubles sont fortement interpénétrés. Ils correspondent à un plasma brun-jaune d'orientation masépique et à un plasma hétérogène rouge silasépique à domaines diffus plus sombres. Ces deux phases ne comportent que de fines baguettes de muscovite saine, à l'exception de quelques empilements de kaolinite incolore isolés au sein du premier.

*T5.2 : "bj V(r,rv) C", 260 cm.*

**-S-** A l'exception des fantômes de muscovite qui ont disparu du fond matriciel meuble, le squelette est similaire à celui de la lame T5.1.

**-P-** Le plasma dominant est brun en LP, faiblement insépique en LPA (domaines biréfringents diffus). En outre, il comporte des séparations squelsépiques très ténues, ainsi que de nombreuses ponctuations anisotropes correspondant à de petites baguettes de muscovites saines. Il forme un réseau continu, contenant quelques petits domaines d'orientation masépique. Ce réseau isole des plages disséquées à plasma rouge en LP, silasépiques en LPA, qui comportent encore quelques taches diffuses plus sombres.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique, mais l'abondance des grains de quartz est plus élevée dans la phase brune. La porosité est similaire à celle de la lame précédente, mais les fissures sont localement ramifiées et interconnectées au sein de la phase brune.

**-T-** La phase rouge violacée correspond à des lithoreliques à plasma dominant ferrugineux. Elles contiennent des fantômes de muscovite pseudomorphosée et des domaines de cristalliplasma kaolino-gibbsitique fortement ferruginisés, reproduisant localement la structure de minéraux altérables. Les limites de ces volumes lithorelictuels sont peu nettes et fortement interpénétrées avec le plasma du fond matriciel environnant.

Dans les plages rouges, les vides sont fréquemment bordés d'un liseré diffus très sombre.

**On retiendra que :**

\* Seules les lithoreliques ferruginisées se sont maintenues. En revanche, les fonds matriciels meubles contiennent d'assez nombreux fantômes gibbsito-kaolinitiques.

\* La phase rouge de la lame T5.1 est moins étendue et présente de lisérés diffus très sombres associés aux vides.

\* Le fond matriciel dominant est brun, faiblement insépique, et comporte quelques domaines d'orientation masépique. Son squelette est plus dense que celui de la phase rouge.

**T5.3 : "bj V(r) C", 230 cm.**

**-S-** Le squelette devient essentiellement quartzeux, il est plus concentré et la fraction dominante de plus petite taille que dans les lames précédentes (200 m). Les baguettes de muscovite saine sont moins nombreuses et de taille encore plus petite (50 à 100 m). Par contre, les fantômes kaolino-gibbsitiques se maintiennent. Leur forme est généralement arrondie, leur limite nette et le cristalliplasma de nature essentiellement gibbsitique.

**-P-** Le fond matriciel présente deux plasmas peu contrastés en LP, brun et brun-rouge. Le premier est faiblement insépique en LPA, avec des séparations squelsépiques ténues ; le second se dispose en petites plages à limites progressives pratiquement isotropes.

**-A-** L'assemblage est toujours porphyrosquelique. Le squelette quartzeux étant relativement moins dense au niveau des plages brun-rouges. La porosité est faible. Elle correspond à un réseau assez continu de vides allongés de largeur très variable, dont les bords sont peu concordants (à l'inverse des fissures des lames précédentes qui sont peu nombreuses).

**-T-** Un nodule arrondi est isolé au sein du fond matriciel brun. Il présente une épaisse cuticule noire à limite diffuse avec un coeur hématitique orangé en LP et isotrope en LPA.

**On retiendra que :**

\* Le plasma dominant est homogène, brun faiblement insépique.

\* La phase rouge est moins contrastée et ses limites plus diffuses que dans la lame T5.2.

\* La porosité reste faible. Les vides sont allongés, mais ne correspondent plus uniquement à des fissures comme dans les horizons sous-jacents.

**T5.4 : "bj p", 200 cm.**

**-S-** L'évolution du squelette se poursuit selon les mêmes modalités. Il devient presque exclusivement quartzeux (muscovites et fantômes gibbsitiques sont rares), les grains sont plus serrés, la gamme de variation de taille est plus étroite (les grains n'atteignant qu'exceptionnellement 1 mm) et la fraction dominante plus fine (autour de 150 m).

**-P-** Le plasma est homogène, brun peu translucide en LP et très faiblement insépique en LPA. Les séparations squelsépiques ont totalement disparu.

**-A-** L'assemblage est porphyrosquelique. La porosité devient notable, mais elle n'est plus fissurale. Les vides sont allongés, mais présentent des bords irréguliers non concordants. Leur largeur est très variable, parfois importante (jusqu'à 4 mm). Les chenaux isodiamétriques d'origine biologique que l'on remarquait à peine dans les horizons sous-jacents deviennent nombreux.

**-T-** Lorsque les quartz très proches, le plasma devient plus hétérogène : il se présente comme un amas de ponctuations brunes plus ou moins coalescentes sur un fond brun-jaune plus translucide en LP.

**On retiendra que :**

\* Le plasma est homogène, brun faiblement insépique, à l'exception de quelques domaines localisés entre des grains de squelette proches où une différenciation plus translucide s'y associe.

T5.5 : "2bj P", 170 cm.

-S- Le squelette ne comporte plus que des quartz et quelques fantômes gibbsitiques arrondis. Il présente de nombreuses zones de concentration locale, lorsqu'il devient jointif les grains fins sont très peu abondants.

-P- Le plasma est hétérogène. Le plasma dominant est brun-jaune opaque en LP, faiblement insépique en LPA. De façon beaucoup discontinue sur les bords des vides et dans les zones où le squelette quartzéux est dense, le plasma est brun-jaune translucide en LP et silasépique en LPA. Il contient des ponctuations à limites diffuses, équivalentes au plasma dominant.

-A- L'assemblage est toujours porphyrosquelique. Par contre, la porosité est importante. Les vides observés au niveau de la lame précédente sont plus nombreux, définissant une structure fragmentaire polyédrique subanguleuse fine. Leurs bords présentent fréquemment des quartz lavés. En outre, dans les zones où le squelette est dense, on observe des vides de forme polyconcave. Lorsque les grains du squelette deviennent jointifs, ces vides sont plus larges et fortement interconnectés. Le plasma se limite alors à quelques fragments anguleux adhérant aux bords des quartz.

On retiendra que :

\* Le plasma devient brun-jaune. Il est hétérogène du fait du développement d'une différenciation similaire à celle observée au sein de la lame précédente.

\* Les zones où le squelette quartzéux est le plus dense présentent différents stades d'élimination plus ou moins avancé du plasma. L'élimination du plasma coïncide avec la disparition de la fraction fine du squelette.

\*  
\* \*

L'étude micromorphologique de la base de ce profil permet d'établir les conclusions suivantes :

(i)- Les lithoreliques gibbsitiques montrent que l'altération est équivalente sur l'ensemble de cette couverture pédologique. Elle correspond à une allitisation qui préserve les muscovites alors que les quartz sont fortement corrodés.

Le coeur du cristalliplasma gibbsitique de cette altérite subit une première transformation correspondant au développement d'un cristalliplasma kaolinitique qui détruit les structures héritées des minéraux altérables.

Puis cet assemblage se ferruginise et les muscovites sont pseudomorphosées en kaolinite.

Dans ce profil, ces volumes lithorelictuels secondaires subissent à la fois une pédoplasmation importante et une concentration centripète du fer qui conduit à l'individualisation d'un mince horizon nodulaire de profondeur.

L'abondance des muscovites saines dans les fonds matriciels meubles des horizons de la base de ce profil indique qu'ils se développent directement à partir de l'altérite gibbsito-kaolinitique, sans que les conditions nécessaires à la pseudomorphose des muscovites soient réunies.

(ii)- Les volumes rouges observés dans l'altérite sont fortement pédoplasqués en comparaison de la phase jaune-brun, qui contient encore de larges empilements de kaolinite.

Il en résulte que le plasma brun faiblement insépique de l'horizon "bj P", qui se développe dans le plasma brun masépique de l'horizon "bj V(r,rv) CS", ne dérive ici que pour partie de la dérubiéfaction de l'altéroplasma et/ou du pédoplasma rouge. Ici, il proviendrait aussi de la pédoplasation directe des zones brun-jaunes de l'altérite profonde "Alt B(w,r) CS", sans que l'altérite "Alt rv CS" ne se différencie au préalable.

On soulignera donc que l'origine de cette phase "bj" est ici différente de celle des glosses observées dans les fosses précédentes.

Dans ces dernières, elle ne dérivait que des horizons pédoplasqués rouges ou de l'altéroplasma rouge-violacé.

Ici, sa nature est très vraisemblablement composite:

- une part provient de la pédoplasation des volumes d'altéroplasma blancs ou jaunes de "Alt B(w,r) CS"

- et une autre part provient de la dérubiéfaction des volumes d'altéroplasma ou de pédoplasma rouges qui contiennent les horizons de transition profonds.

(iii)- Le développement de la macroporosité au sein d'une phase brune, puis brun-jaune correspond à la même séquence de différenciation que celle décrite pour la fosse T4.

\*  
\* \*



**CHAPITRE IV :**  
**PRINCIPAUX TRAITS DE LA DIFFERENCIATION DE**  
**L'AMONT DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.**

A ce stade de l'étude, et avant d'aller plus loin dans l'analyse des phénomènes, il est bon de faire une première récapitulation des faits majeurs observés, avec les conséquences que l'on est à même d'en tirer au plan de l'évolution pédologique. Pour ce faire, nous envisagerons les caractéristiques générales de la toposéquence étudiée, avant de passer en revue les spécificités de chacun des domaines de différenciation que nous avons été amené à distinguer (Fig.12) :

- le domaine rouge de la colline,
- le domaine intermédiaire du pied de la colline,
- et le domaine brun jaune de la plaine.

**1- LE MANTEAU D'ALTERATION.**

Pour toute la toposéquence, les matériaux d'altération semblent être homogènes. Deux niveaux ont été mis en évidence.

a- Le premier niveau correspond à une isaltérite selon la terminologie de Y.CHATELIN (1974). Deux processus d'altération successifs y ont été mis en évidence.

Le premier correspond à une altération allitique d'une roche migmatitique dont les minéraux essentiels sont : les quartz, les feldspaths et les muscovites (qui peuvent être très abondantes au sein de filons pegmatitiques). Au cours de cette altération primaire, les quartz sont fortement corrodés, alors que les micas blancs restent intacts. Les autres minéraux sont intégralement remplacés par un cristalliplasma gibbsitique qui conserve leurs traits structuraux.

Le second correspond à une altération monosiallitique secondaire. En effet, un cristalliplasma kaolinitique fin se développe aux dépens du cristalliplasma gibbsitique effaçant une partie des structures héritées des minéraux altérables, dont on ne retrouve alors que des lambeaux qui correspondent à des alignements de macrocristaux de gibbsite, bordant fréquemment les vides. Par ailleurs, les muscovites qui avaient été préservées sont alors pseudomorphosées par la kaolinite.

b- Dans le second niveau, l'altération secondaire se poursuit, mais la répartition des oxydes de fer devient plus homogène, lui conférant ainsi une coloration uniforme violacée. Par ailleurs, la structure héritée de la roche devient moins nette que dans le niveau précédent. Il s'agit donc plutôt d'une allotérite, où de larges minéraux phylliteux conservent la morphologie de certains minéraux altérables de la roche, mais dont la disposition originelle a été modifiée.

La succession de ces deux altérites est caractéristique du domaine rouge. Dans le domaine intermédiaire l'allotérite s'amincit progressivement, pour finalement disparaître dans le domaine brun-jaune, où seule l'isaltérite est présente. Les reliques observées dans les horizons de transition du sommet du manteau d'altération nous amène à envisager que la séquence d'altération est progressivement transformée par les différenciations pédologiques qui se développent dans ces deux derniers domaines.

## **2- SPECIFICITE DE LA DIFFERENCIATION PEDOLOGIQUE DES TROIS DOMAINES.**

La différenciation pédologique est spécifique à chacun des trois domaines.

### **2.1- DOMAINE ROUGE.**

Trois traits majeurs caractérisent la différenciation pédologique du domaine rouge :

a- La plus grande partie de l'altéroplasma subit une pédoplasmation importante, avant que l'altération monosialitique secondaire n'ait atteint son terme. Les micas blancs ainsi préservés, se plasmifient alors très progressivement. Le squelette quartzeux de ce fond matriciel présente une forte corrosion qui indique que le quartz est solubilisé. Les figures de corrosion favorisent la fragmentation des grains, entraînant ainsi un affinement progressif du squelette vers le sommet du profil. Il faut souligner que cette pédoplasmation ne s'accompagne pas de la mise en place d'orientations nettes des argiles. On peut en déduire que ce matériau n'est pas soumis à des contraintes mécaniques importantes, soit parce que les minéraux argileux ne possèdent pas de propriétés suffisamment nettes de retrait et de gonflement, soit parce que l'humectation du milieu ne varie pas de façon significative au cours de l'année. Le caractère "sec au toucher", que présente ces matériaux quelle que soit la saison, corrobore plutôt la seconde hypothèse.

b- Des domaines présentant une organisation pétrographique équivalente à celle de l'altéroplasma secondaire, peuvent être conservés par suite d'une imprégnation locale d'oxydes de fer. Ces nodules lithorelictuels s'indurent alors progressivement et se concentrent vers le sommet du profil du fait de l'élimination du fond matriciel meuble.

c- Une forte macroporosité est associée à la base de cet horizon nodulaire. Celle-ci permet le développement d'une circulation latérale des flux hydriques qui élimine ainsi une partie de plus en plus importante du fond matriciel meuble. L'absence de cutane amène à penser que cette élimination consiste en une solubilisation du fond matriciel meuble, plutôt qu'à un entrainement mécanique de particules mises en suspension.

Ces traits permettent, en première approche, d'établir que l'évolution pédogénétique du domaine rouge est avant tout déterminée par une érosion géochimique sub-superficielle, siégeant à la base de l'horizon nodulaire.

Au sein de ce domaine, il est toutefois possible de distinguer deux zones :

a- Une zone sommitale, où la différenciation pédologique correspond à l'association des trois traits.

b- Une zone de versant, où seuls les traits -a- et -c- se conjuguent.

On peut donc penser qu'au niveau de la première zone, l'érosion géochimique sub-superficielle élimine les produits de la pédoplasmation plus rapidement que ces derniers ne se forment, alors que les volumes relictuels sont "protégés" par leur ferruginisation importante. Cependant, la remontée relative du toit du manteau d'altération par rapport à la surface topographique qui en résulte, favoriserait une reprise de la pédoplasmation, sans que les oxydes de fer ne puissent alors se concentrer localement et préserver des volumes relictuels ; conduisant ainsi à la différenciation de l'horizon "r CS".

Tout ceci conduit dès à présent à concevoir que la succession de ces deux zones de différenciation pédologique ne correspond pas à une réelle transformation latérale, mais au développement progressif d'une nouvelle pédogénèse verticale.

## 2.2- LE DOMAINE INTERMEDIAIRE.

Les traits majeurs de la différenciation pédologique du domaine intermédiaire sont les suivants :

a- La pédoplasation de l'altéroplasma s'effectue ici aussi avant que l'altération monosiallitique n'ait atteint son terme. Cependant, les muscovites saines qui sont ainsi préservées ne se plasmifient plus, se maintenant pratiquement jusqu'au sommet du sol. Par ailleurs, dans les horizons profonds, de fortes orientations plasmiques apparaissent (organisation bimasépique). Cette différenciation ne correspondrait pas à une modification des constituants (qui restent similaires à ceux de la seconde zone du domaine rouge), mais plutôt à une dynamique hydrique différente, où alternent des périodes de dessiccation et d'humectation. Dans les horizons médians, l'organisation du plasma devient progressivement faiblement insépique, mais de fortes orientations squelsépiques se maintiennent, suggérant que la dynamique hydrique reste similaire. Enfin, le squelette quartzueux s'affine progressivement vers le sommet du sol selon les mêmes modalités que dans le domaine précédent.

b- A partir de la base de l'horizon nodulaire, des taches dérubiées (brunes puis brun-jaunes) apparaissent, puis s'étendent aux dépens du fond matriciel rouge. Les analyses à la microsonde nous montrent que le développement de cette différenciation correspond à une déferrification de l'ensemble du fond matriciel, qui s'accroît toutefois au niveau des zones les plus dérubiées.

Progressivement, cette dérubiéfaction gagne le manteau d'altération, où elle forme un réseau de glosses qui devient latéralement de plus en plus dense et anastomosé. Il faut souligner que dans ces horizons, la dérubiéfaction n'affecte en aucune façon l'organisation bimasépique du fond matriciel.

c- C'est au sein de ce nouveau fond matriciel déferrifié que l'horizon nodulaire se disloque, puis disparaît, entraînant ainsi la disparition de la macroporosité en larges chenaux horizontaux qui parcourait sa base sur le versant de la colline. Cette différenciation coïncide avec la néoformation de gibbsite secondaire au cœur des nodules.

d- Enfin, à la partie supérieure du sol, il apparaît un ensemble d'horizons sub-superficiels qui se maintient au niveau du domaine brun-jaune. Il est caractérisé par une différenciation, qui correspond à une migration des oxydes de fer vers les vides et par des zones fortement poreuses où le squelette quartzueux est pratiquement exclusif.

L'ensemble de ces observations conduit à penser que nous sommes ici en présence d'un réel système de transformation qui gagne latéralement les organisations de la seconde zone du domaine rouge. Il correspond à une déferrification et semble résulter d'une modification de la dynamique hydrique, les écoulements latéraux ne pouvant plus s'effectuer de façon aussi efficace que sur le versant de la colline du fait de la disparition de la macroporosité que présentait l'horizon nodulaire.

### 2.3- LE DOMAINE BRUN-JAUNE.

Par rapport aux horizons déferrifiés du domaine intermédiaire, deux traits majeurs caractérisent la différenciation pédologique du domaine brun-jaune :

a- La pédoplasation du domaine intermédiaire se caractérisait verticalement par une diminution progressive de la taille de domaines orientés qui apparaissaient au sommet du manteau d'altération. Ici, le fond matriciel pédoturbé qui se développe au sein de l'isaltérite présente dès son apparition un plasma d'organisation faiblement insépique, qui se maintient jusqu'au sommet du sol. Il faut souligner que ce type d'organisation se développe aux dépens des fonds matriciels dérubiés d'organisation bimassépique observés au niveau de la limite entre ces deux domaines.

Ceci nous amène à penser que la pédoplasation se caractérise ici, d'une part par la différenciation d'un plasma dont les particules élémentaires sont fines et, d'autre part, par l'absence de contraintes mécaniques.

b- Le squelette quartzé devient nettement plus abondant et présente localement des zones de concentration de grains grossiers. Ces zones de départ du plasma coïncident avec la différenciation d'un plasma plus translucide d'organisation silasépique. L'élimination de plasma se poursuivant, les grains de quartz viennent au contact, puis une importante macroporosité correspondant à leur assemblage se développe. Ces organisations caractéristiques de l'horizon "2 bj P" se retrouvaient déjà dans les horizons sub-superficiels communs au domaine intermédiaire et au domaine brun-jaune. A mesure que l'on s'engage dans ce dernier, elles apparaissent toutefois de plus en plus profondément et l'on peut suivre verticalement leur différenciation progressive.

Il semble donc que les processus qui gouvernent la différenciation du domaine brun-jaune correspondent d'une part, à une diminution de la taille des cristallites d'argile constituant le plasma et d'autre part, à une élimination

considérable de ce plasma, qui conduit à l'apparition d'une importante macroporosité par concentration relative du squelette quartzeux.

L'enfoncement progressif des organisations caractéristiques de l'horizon brun-jaune macroporeux, nous amène à penser que l'orientation de l'élimination de matière est verticale, cette élimination verticale conduisant néanmoins à un développement latéral de ce domaine aux dépens du précédent, comme cela est schématisé sur la figure 22.

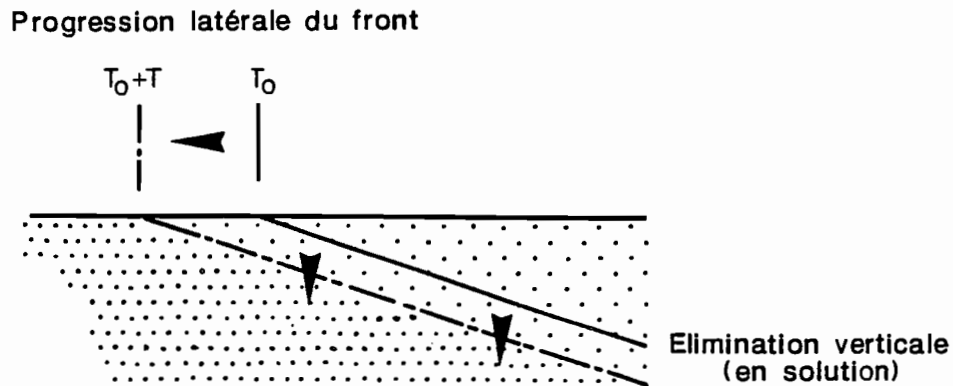


Figure 22 : Progression latérale d'un processus pédogénétique d'orientation verticale se développant à partir du sommet du sol.

En outre, l'épaisseur de l'horizon macroporeux caractéristique du domaine brun-jaune et l'apparition d'une pédoplasmation du sommet du manteau d'altération de nature différente de celle du domaine intermédiaire, nous conduisent à formuler l'hypothèse que ce domaine ne correspond que pro parte à la transformation des horizons pédologiques du domaine intermédiaire. En effet, cette différenciation correspondrait aussi à une nouvelle pédogénèse qui s'enfonce au sein du manteau d'altération lorsque l'ensemble des horizons du domaine intermédiaire a été transformé.

### 3- CONCLUSIONS.

On peut donc résumer les traits majeurs de la différenciation pédologique de cette couverture de sol de la façon suivante (Fig.23) :

(i)- Sur la colline, l'ensemble du fond matriciel meuble est éliminé au sommet du profil par un flux hydrique latéral, qui s'établit au niveau d'une importante discontinuité de la macroporosité. La différenciation pédologique latérale qui conduit du "domaine rouge de sommet" au "domaine rouge de versant", ne correspond pas à une réelle transformation, mais à la reprise d'une pédogénèse verticale après "troncature" (vraisemblablement géochimique) de la partie superficielle du sol.

Sur la figure 23, elle porte le nom de "pédogénèse II", relativement à la pédogénèse qui conduit à la différenciation du "domaine rouge de sommet". En effet, cette dernière lui est antérieure et porte donc le nom de "pédogénèse I".

(ii)- Le pied de la colline correspond à un véritable système de transformation latérale. Il comporte deux domaines de différenciation pédologique successifs :

a- Le premier domaine résulte d'un phénomène de déferrification (dérubéfaction). Il se développe latéralement aux dépens des horizons médians rouges de la colline, à partir de la base de l'horizon nodulaire. Ce phénomène est la caractéristique majeure du domaine intermédiaire.

Il en résulte que le domaine intermédiaire est une "réelle zone de transformation", car le phénomène qui préside à sa différenciation n'affecte que les volumes résultant d'une pédogénèse antérieure (celle qui a conduit à la différenciation du domaine rouge de versant).

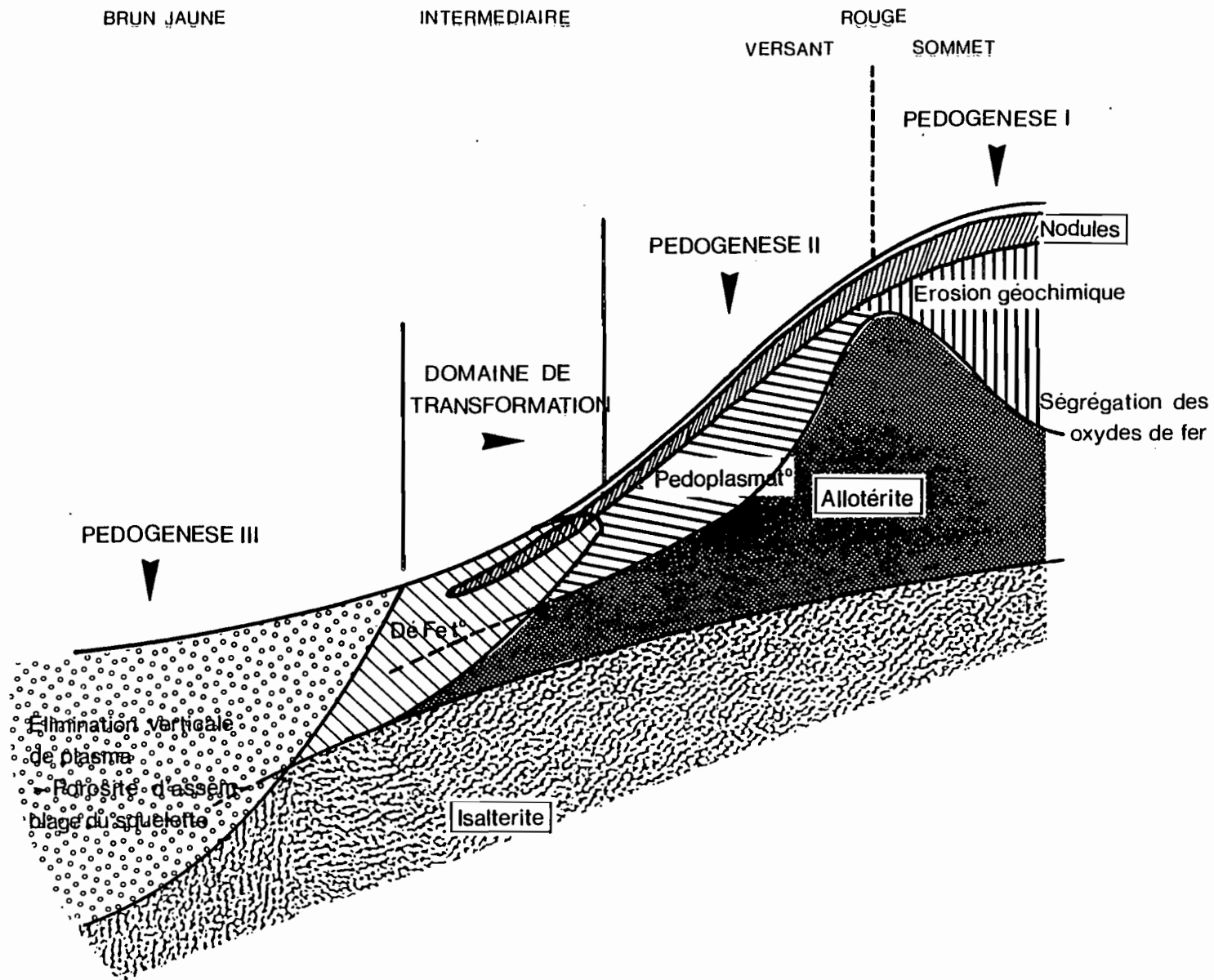
b- Le second domaine résulte d'un phénomène d'élimination verticale de plasma. Ce phénomène se propage verticalement à partir du sommet du sol, gagnant ainsi progressivement les horizons du manteau d'altération.

Alors que le premier phénomène (a-) n'affecte que les horizons pédologiques formés sur la colline; le second (b-) crée les conditions nécessaires à la reprise d'une nouvelle pédogénèse d'orientation verticale. Cette dernière s'enfonce progressivement au sein du manteau d'altération, conduisant ainsi à la différenciation d'un épais horizon "2 bj P".

Il en résulte que le domaine brun-jaune n'est que *pro parte* (au niveau de ses marges) une réelle zone de

Figure 23 : Traits majeurs de la différenciation latérale de la couverture pédologique.

DOMAINES DE DIFFERENCIATION



transformation. En particulier, son coeur correspond essentiellement à une nouvelle pédoplasation et/ou pédoturbation des horizons du manteau d'altération. La dynamique de cette nouvelle transformation étant principalement verticale, ce domaine correspondrait surtout à une zone de "néopédogénèse" (relativement aux deux pédogénèses mise en évidence pour le domaine rouge). Pour cette raison, ce dernier processus porte le nom de "pédogénèse III".

(iii)- La différenciation actuelle de cette couverture pédologique (à l'exclusion du bas-fond qui n'a pu être étudié en détail) correspond donc essentiellement à différents processus d'élimination et/ou de redistribution de matière. Pour chacun des domaines distingués le processus prépondérant correspond à :

- a- Une érosion géochimique, pour le domaine rouge de sommet;
- b- Une pédoplasation rouge, pour le domaine rouge de versant;
- c- Une déferrification "dérubéfiante", pour le domaine intermédiaire;
- d- Et enfin, une déplasmation "porogénétique", pour le domaine brun-jaune.

Il semble que le facteur intrinsèque qui joue le rôle essentiel dans cet enchaînement de quatre processus soit la dynamique des écoulement hydriques. En effet, ils peuvent conditionner tant les processus de redistribution du fer que les processus de plasmation ou d'élimination de matière.

\*  
\* \*

Le problème est maintenant de savoir dans quelle mesure ces hypothèses qui résultent d'observations macro- et micromorphologiques qualitatives ou semi quantitatives ponctuelles (bien que précisément référées à l'ensemble de la couverture de sol), se rattachent à une caractérisation plus quantitative de l'évolution globale de la toposéquence; ce problème sera envisagé dans le chapitre V.

**SECONDE PARTIE.**  
**ETUDE DE LA VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES**  
**GEOCHIMIQUES ET HYDROPHYSIQUES.**

Dans cette seconde partie deux aspects seront envisagés.

- Dans le chapitre V, la variabilité des caractéristiques analytiques de la toposéquence sera confrontée à celle des caractéristiques morphologiques qui viennent d'être précisées.

- Puis, dans le chapitre VI, nous tenterons de mieux comprendre les processus d'évolution structurale mis en oeuvre à l'interface du domaine intermédiaire et du domaine brun-jaune, grâce à un ensemble de mesures physiques.

**CHAPITRE V.  
CONFRONTATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE  
MORPHOLOGIQUE A UNE CARACTERISATION ANALYTIQUE  
DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.**

**1- PRESENTATION DES DONNEES.**

**1.1- PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ET ANALYSES  
EFFECTUEES.**

135 échantillons ont été prélevés le long de la toposéquence présentée dans le chapitre précédent, à la verticale de 13 points (*Fig.24*).

Les prélèvements ont été effectués à la tarière, en ne conservant que la terre contenue dans la moitié inférieure de la chambre de la sonde et en éliminant les parties externes qui auraient pu être polluées lors de l'extraction. Ils correspondent donc à des tranches de sol d'environ 5 cm d'épaisseur. Au niveau de chaque profil, ils ont été prélevés selon un pas de 20 cm.

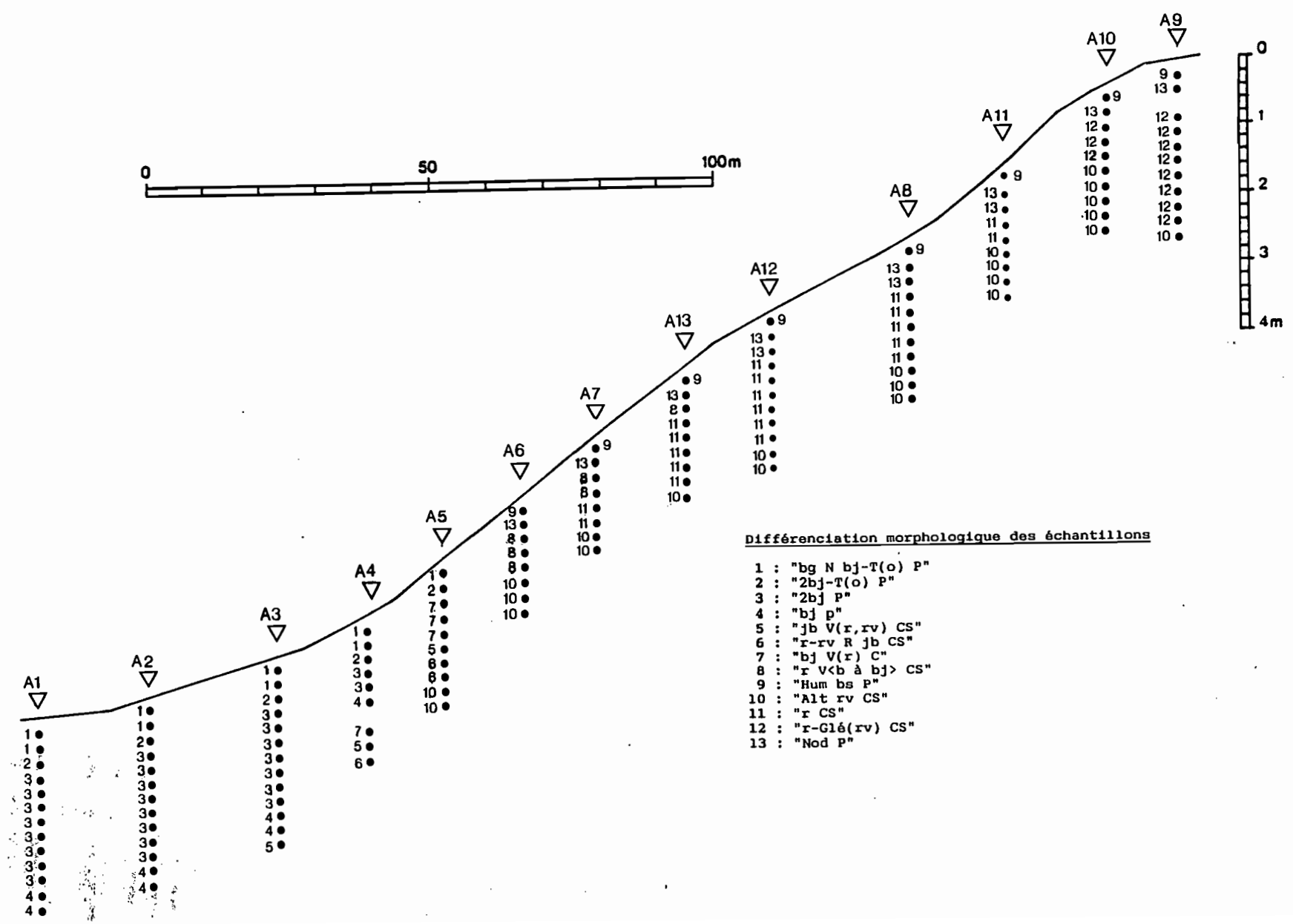
Pour chacun de ces échantillons, un ensemble d'analyses physico-chimiques classiques a été réalisé, au laboratoire du centre ORSTOM de Cayenne. Il comprend :

- la granulométrie de la terre fine (5 fractions : argile, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers), dont le total a été ramené à 100 en incluant le refus > 2 mm et la matière organique.

- La teneur en carbone organique et en azote.
- La teneur en fer total.
- Les pH eau et pH KCl.
- L'aluminium et les protons échangeables.
- La capacité d'échange cationique.
- Les bases échangeables et totales (Na, Ca, Mg et K).

L'ensemble de ces analyses apporte donc des renseignements tant sur la composition du matériau (granulométrie et teneur en fer), que sur ses caractéristiques géochimiques, et plus précisément sur la garniture cationique et les propriétés d'échanges qui en résulte.

Figure 24 : Localisation des échantillons analysés le long de la séquence amont.



## 1.2- CARACTERISTIQUES GENERALES DU MILIEU.

Avant d'étudier en détail la variabilité de ces diverses mesures analytiques, leur moyennes et leur écarts types seront présentées pour l'ensemble de la toposéquence, afin de fixer le cadre général de la caractérisation physico-chimique de cette couverture de sol.

### 1.2.1- Caractéristiques granulométriques.

Les caractéristiques granulométriques sont présentées dans le tableau V.1.

	A	LF	LG	SF	SG	>2mm	FeT
Moyenne	23,35	10,62	3,24	12,07	43,74	6,79	4,77
Écart type	6,03	9,36	1,29	4,01	11,71	9,52	2,53
Variabilité	25,8	88,1	39,8	33,2	26,8	140,2	53,0

Tableau V.1 : Description statistique générale des caractéristiques granulométriques et de la teneur en oxydes de fer.

- fractions granulométriques en % du poids total
- fer total en % du poids de terre fine.

La texture de ces matériaux est en général sablo-argileuse. Les fractions qui varient le plus correspondent aux limons fins, dont le coefficient de variabilité vaut 88% (CVar, écart type rapporté à la moyenne), et surtout les éléments de diamètre supérieur à 2 mm, avec un CVar de 140%. La variabilité des autres fractions est plus faible, avec des coefficients de variabilité de l'ordre de 30%.

En sus de ces caractéristiques granulométriques, on notera que le fer total s'établit en moyenne autour de 4,8%, avec un CVar de 53%. Il faut signaler que ce pourcentage n'inclut qu'une faible partie des nodules dans les horizons où ils sont présents, car le refus n'a pas été pris en considération au cours de l'analyse.

### 1.2.2- Caractéristiques chimiques

#### \* Matière organique.

Les analyses caractérisant la matière organique sont présentées dans le tableau V.2.

Les teneurs en carbone organique et en azote sont généralement très faibles, respectivement 0,1 à 0,2% et 0,02%. Cependant, la prise en compte d'échantillons relativement proches de la surface, où ces taux s'établissent respectivement autour de 2,5% et 0,3%, remonte sensiblement la valeur moyenne et introduit une forte variabilité,

	C	N	C/N	MO
Moyenne	3,73	0,38	10,0	4,1
Ecart type	4,48	0,44	3,2	6,5
Variabilité	120,1	115,8	32,0	158,5

**Tableau V.2 :** Description statistique générale des caractéristiques de la fraction organique.  
 - carbone organique et azote en % du poids de terre fine.  
 - Matière organique en % du poids total.

CVar respectivement de 120 et 116% . Cette très faible pénétration des substances organiques au delà du niveau sub-superficiel est une des caractéristiques des sols ferrallitiques du milieu forestier intertropical. En comparaison, le rapport C/N est moins variable (CVar de 32%), témoignant de la minéralisation rapide de la matière organique.

**\* Acidité.**

Les caractéristiques indicatrices de l'acidité du milieu sont consignées dans le tableau V.3.

	pHeau	pHKCl	AlE	H+E	AcE	TAc
Moyenne	5,09	4,58	0,34	0,06	0,40	72,4
Ecart type	0,25	0,23	0,23	0,05	0,27	21,8
Variabilité	4,9	5,0	67,6	83,3	67,5	30,1

**Tableau V.3 :** Description statistique générale des caractéristiques de l'acidité du milieu.  
 - pH eau et KCl en log H+.  
 - Aluminium échangeable (AlE), protons échangeables (H+E) et acidité d'échange (AcE) en meq pour 100 g de terre fine.  
 - Taux d'acidité d'échange (TAc) en % .

Les pH sont acides, s'établissant en moyenne autour de 5,1 pour le pH eau et 4,6 pour le pH KCl. La variabilité de ces deux paramètres est relativement faible (CVar de 5%). Par ailleurs, l'acidité d'échange est élevée, 0,40 meq pour 100 g. Elle correspond essentiellement à de l'aluminium échangeable, 0,36 meq pour 100 g, les protons échangeables étant relativement faibles (0,04 meq pour 100 g). La variabilité de ces caractéristiques est élevée (CVar de l'ordre de 70%). En rapportant l'acidité d'échange à la somme des cations échangeables (cations basiques, protons et aluminium), on révèle des taux d'acidité d'échange (P.ESPIAU et A.PEYRONNEL-1977 ; P.ESPIAU et G.PEDRO-1980) très élevés, 72% en moyenne, et relativement moins dispersés que les autres variables relatives à l'acidité d'échange (CVar de 30%).

**\* Capacité d'échange.**

La capacité d'échange a été mesurée selon la méthode METSON, après une saturation du sol par l'acétate d'ammonium tamponné à pH7. Cette mesure correspond donc plus à un test comparatif entre les différents échantillons, qu'à une réelle estimation de la charge développée in situ par les sites d'échange. La moyenne et l'écart type de la capacité d'échange cationique sont reportés dans le tableau V.4, avec ceux qui se rapportent aux cations basiques

La capacité d'échange est faible, s'établissant en moyenne autour de 1,5 meq pour 100g, avec un coefficient de variabilité de 60%. Cette assez forte variabilité résulte essentiellement de la présence de quelques échantillons où la CEC est notablement plus élevée. Ils correspondent généralement aux horizons subsuperficiels où la matière organique est présente en quantité relativement importante.

	CaT	CaE	MgT	MgE	NaT	NaE	KT	KE
Moyenne	0,19	0,03	0,26	0,05	0,11	0,03	0,31	0,02
Ecart type	0,16	0,07	0,12	0,05	0,06	0,06	0,15	0,02
Variabilité	84,2	233,3	46,1	100,0	54,5	200,0	48,3	100,0

	SBT	SBE	CEC	V
Moyenne	0,87	0,13	1,51	8,7
Ecart type	0,33	0,15	0,90	6,8
Variabilité	37,9	115,4	59,6	78,2

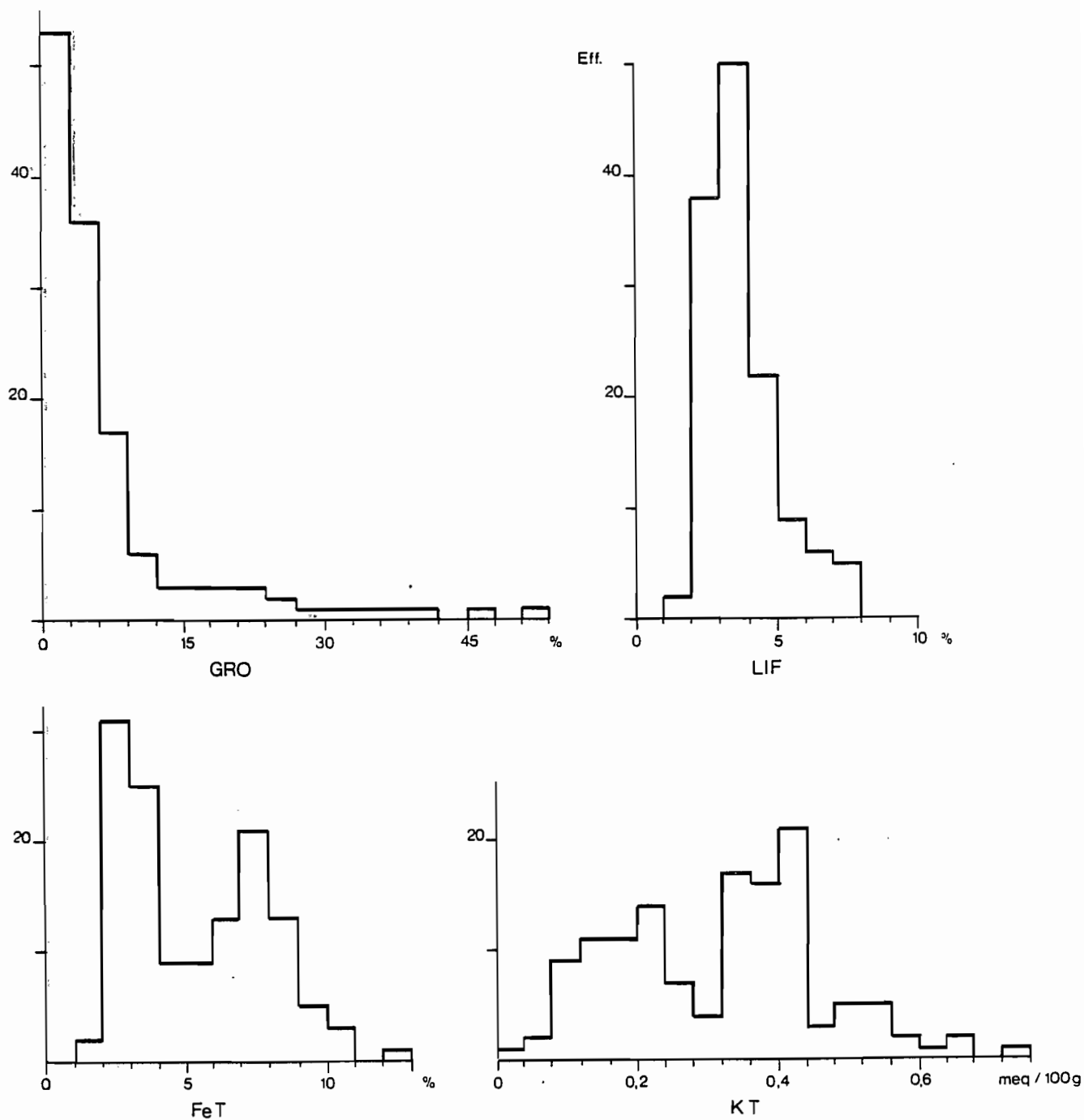
Tableau V.4 : description statistique générale des caractéristiques d'échange cationique.  
 - Cations basiques (Ca, Mg, Na, K) totaux (T) et échangeables (E)  
 - Sommes des cations basiques et capacité d'échange cationique en meq pour 100 g de terre fine.  
 - taux de saturation ( $V=SBE/CEC$ ) en % .

**\* Cations basiques.**

Les cations basiques échangeables sont peu abondants (0,02 à 0,05 meq pour 100 g) et n'occupent qu'une très faible partie des sites d'échanges (moins de 10%). Ces éléments présentent cependant une très forte variabilité avec des CVar se situant entre 100% et 230% .

Bien que les valeurs absolues soient toujours assez faibles, les cations basiques totaux sont de 5 à 15 fois plus abondants, l'écart le plus important correspondant au potassium. Les CVar sont plus faibles, de l'ordre de 50%.

Ces données très générales étant posées, on retiendra que la variabilité de ces diverses caractéristiques est généralement élevée, voire très élevée. La seconde partie de ce chapitre s'attache plus précisément à l'étude de ces fluctuations.



**Figure 25 :** Exemples des différents modes de distribution des caractéristiques analytiques.

- A- Distribution unimodale, centrée sur l'origine, des éléments de diamètre supérieur à 2 mm.
- B- Distribution unimodale, "en cloche", des limons grossiers.
- C- Distribution bimodale du fer total.
- D- Distribution à trois modes du potassium total.

## 2- ANALYSE MULTIDIMENSIONNELLE.

Nous cherchons ici à mettre en évidence si une certaine structure de la couverture pédologique apparaît au travers des données physico-chimiques. Ceci revient à voir, si les fortes fluctuations de ces diverses mesures présentent ou non des corrélations entre elles. Les méthodes statistiques d'analyse factorielle sont particulièrement adaptées pour mettre en lumière ce réseau de relation, surtout lorsque le tableau de données atteint une taille appréciable, devenant ainsi difficilement exploitable "à la main".

En outre, ces corrélations n'étant pas, à priori, nécessairement linéaires, nous avons choisi d'effectuer une analyse factorielle des correspondances (AFC) plutôt qu'une analyse en composantes principales (ACP)#.

Les fondements mathématiques de cette méthode classique en analyse des données sont exposés dans de nombreux ouvrages de référence (*J.P.BENZECRI et al.-1979 ; C.BASTIN et al.-1980 ; L.LEBART et al.-1982...*), nous ne les reprendrons donc pas ici.

### 2.1- PRESENTATION DU TABLEAU ANALYSE.

Le tableau analysé croise les 135 échantillons avec les 29 caractéristiques physico-chimiques présentées. Ce tableau de données "brutes" est consigné dans l'annexe I. Il n'a cependant pas été analysé sous cette forme, mais après un recodage des informations qu'il contient. De plus, les variables n'ont pas toutes le même statut vis à vis de l'analyse. Ces deux points seront abordés successivement dans ce paragraphe.

#### 2.1.1- LA MISE SOUS FORME DISJONCTIVE COMPLETE.

Le recodage, ou tout du moins la transformation des données, est généralement nécessaire avant de mettre en oeuvre une analyse factorielle. En effet, pour des raisons que l'on pourra retrouver dans les ouvrages cités plus haut, ces méthodes requièrent un tableau de données de "texture homogène". Il ne faut cependant pas considérer ce recodage comme une simple contrainte technique, mais bien comme une étape primordiale de l'analyse du tableau de données. En effet, si la raison d'être de ce recodage est de rendre possible les calculs statistiques, il ne doit pas pour autant déformer l'information nécessaire à la problématique qui nous intéresse.

# Les différents programmes utilisés, tant pour le recodage et le traitement des données, que pour l'interprétation des résultats, appartiennent à la bibliothèque "ADDAD" version 1989. Il est possible de la mettre en oeuvre sur un micro-ordinateur usuel comportant un disque dur de 10 à 20 Mo.

Pour diverses raisons, dont nous n'exposerons ici que les principales, le recodage du tableau de mesures initial qui semblait le plus adéquat a été la mise sous forme disjonctive complète.

- Il confère à chacun des individus un "poids" identique au cours de l'analyse.

- Il permet de comparer la variabilité relative de mesures dont les unités peuvent être différentes, et dont les intervalles de variation peuvent présenter des étendues très différentes (du fait de ces unités ou non).

- Enfin, il rend possible la comparaison entre les variables quantitatives qui correspondent aux diverses mesures et une variable qualitative décrivant l'horizon auquel appartient un échantillon. Cette dernière est une variable "supplémentaire", qui n'intervient donc pas dans le calcul des axes factoriels. Cette possibilité constitue l'un des points qui justifie le plus fortement l'utilisation de cette méthode dans le cadre de notre problématique.

Pour chacune des mesures, ce recodage s'est effectué en deux étapes :

- Dans un premier temps, le domaine de variation de la mesure a été découpé en classes.

Par exemple, la variable limons fins (LIF) a été partitionnée en 4 classes : (0,4%( ; (4,10%( ; (10,20%( ; (20,38%( . Ces quatre classes définissent les modalités de la variable LIF, respectivement LIF1, LIF2, LIF3 et LIF4 (les justifications du découpage retenu pour les diverses variables seront exposées plus loin).

- Dans un second temps, la variable initiale est "éclatée", en la remplaçant par un ensemble de variables qui correspond aux modalités définies. La mesure est alors codée par une séquence de 0 et de 1, avec la valeur 1 pour la seule modalité définissant l'intervalle de variation qui la contient.

Par exemple, pour l'échantillon 607 la mesure de LIF est 15,3% . Le codage de la variable LIF pour cet échantillon sera donc la séquence 0010 : la variable LIF3 qui correspond à l'intervalle (10,20( a pris la valeur 1 et les autres ont pris la valeur 0.

On aboutit donc à un tableau de texture numérique homogène regroupant les diverses mesures physico-chimiques et une variable indicatrice de la différenciation morphologique. En effet, le codage de cette dernière variable est identique : elle comporte 13 modalités, qui correspondent aux principaux horizons de la toposéquence. (tableau V.5)

Modalité	Nom de l'horizon
H1	bg N bj-T(o) P
H2	2bj-T(o) P
H3	2bj P
H4	bj p
H5	jb V(r,rv) CS
H6	r-rv R jb CS
H7	bj V(r) C
H8	r V<b à bj> CS
H9	Hum bs P
H10	Alt rv CS
H11	r CS
H12	r-Glé(rv) CS
H13	Nod P

Tableau V.5 : Identification des modalités de la variable indicatrice de la variabilité morphologique.

### 2.1.2- DEFINITION DES MODALITES RETENUES POUR LES VARIABLES PHYSICO-CHIMIQUES.

Pour que le recodage choisi conserve les grands traits de la dispersion des mesures analytiques, le découpage des classes a été réalisé sur la base d'histogrammes de répartition des individus dans des intervalles très fins (environ 20 intervalles par variable). Il ressort de ces histogrammes que la dispersion, notée dans le paragraphe 1.2, s'exprime de diverses façons. L'ensemble des histogrammes est consigné dans l'annexe II, la figure 25 en reprend quelques uns à titre d'exemple. Elle peut être unimodale, centrée sur l'origine ou non ; ou au contraire, présenter plusieurs modes. Les bornes des intervalles définissant les modalités des variables physico-chimiques se calent sur ces divers types de distribution (Tableau V.6), tout en essayant d'inclure un nombre à peu près équivalent d'individus dans chaque classe, afin que l'effectif d'une classe n'intervienne pas trop dans l'analyse.

### 2.1.3- STATUT DES DIVERSES VARIABLES.

Vis à vis de l'analyse, ces variables n'ont pas toutes le même statut. Certaines sont "actives" et participent effectivement au calcul des axes factoriels. D'autres sont "supplémentaires" et sont simplement projetées sur les axes factoriels calculés à partir des variables actives.

On a déjà signalé que la variable nominale, indiquant l'horizon auquel appartient un individu, est une variable supplémentaire. Le rapport carbone sur azote (C/N), les sommes des bases échangeables (SBE) ou totales (SBT), le taux de saturation (V), l'acidité d'échange (AcE) et le taux d'acidité d'échange (TAc) ont aussi été placés en variables

supplémentaires. En effet, ils correspondent à des calculs s'effectuant sur la base d'autres mesures qui constituent déjà des variables actives dans la caractérisation de la variabilité analytique. Elles ont cependant été conservées, mais à titre "illustratif", afin de mettre en évidence si les fluctuations respectives des variables qui les constituent correspondent ou non à des tendances générales.

Variable	Sigle	N	Bornes					Unité	
Argile	ARG	3	12	19	29	40	%		
Limons fins	LIF	4	0	4	10	20	38	%	
Limons grossiers	LIG	3	1	3	4	8	%		
Sables fins	SAF	5	5	8	11	14	18	24	%
Sables grossiers	SAG	4	19	34	40	55	70	%	
Eléments >2 mm	GRO	4	0	3	9	25	54	%	
Carbone	CBN	3	0	2	4	30	%		
Azote	AZO	3	0	3	5	34	%		
Fer total	FeT	4	1	4	6	9	13	%	
pH eau	pHe	4	42	49	51	54	57	log(H+)*10	
pH KCl	PHK	4	38	44	46	49	55	log(H+)*10	
Aluminium échangeable	AlE	4	0	15	35	50	140	meq %*100	
Protons échangeables	H+E	3	0	5	10	50		meq %*100	
Capacité d'échange	CEC	3	4	12	20	76		meq %*100	
Calcium échangeable	CaE	2	0	4	65			meq %*100	
Magnésium échangeable	MgE	4	0	2	4	8	29	meq %*100	
Sodium échangeable	NaE	3	0	3	6	60		meq %*100	
Potassium échangeable	KE	3	0	2	4	10		meq %*100	
Calcium total	CaT	4	0	10	15	30	95	meq %*100	
Magnésium total	MgT	4	2	20	30	40	62	meq %*100	
Sodium total	NaT	3	3	9	12	50		meq %*100	
Potassium total	KT	4	0	16	32	44	73	meq %*100	
Matière organique	MO	3	0	3	6	48		%	
Rapport carbone/azote	CsN	4	1	8	11	13	21	%	
S. bases échangeables	SBE	4	0	6	12	24	106	meq %*100	
Somme bases totales	SBT	4	10	50	80	110	190	meq %*100	
Saturation CEC	V	3	0	5	10	55		%	
Acidité d'échange	AcE	3	0	35	65	180		meq %*100	
Taux d'ac. d'échange	TAc	3	0	40	70	85		%	

Tableau V.6 : Bornes des intervalles définissant les modalités des 29 variables physico-chimiques.  
 Sigle: identificateur de la variable.  
 N : nombre de modalités retenues.  
 Bornes : bornes des intervalles de variation.

\*  
 \* \*

## 2.2- RESULTATS DE L'ANALYSE FACTORIELLE.

Le listage complet des résultats de l'AFC figure dans l'annexe III. Dans ce chapitre, nous nous attacherons essentiellement au plan défini par les deux premiers axes factoriels. En effet, ces deux axes correspondent respectivement à 12,6% et 10,4% de l'inertie du tableau analysé#, soit un total de 23%. L'inertie sur les facteurs suivants devient rapidement plus faible, atteignant 6,6% pour le troisième facteur et moins de 4% dès le septième axe (pour un total de 78 axes). On peut donc considérer que l'étude du premier plan factoriel est suffisante pour mettre en évidence les grands traits de la structure qui relève des mesures analytiques.

Nous étudierons successivement :

- La structure révélée par les variables analytiques, dans le paragraphe 2.2.1.
- La corrélation de cette structure avec la différenciation morphologique, dans le paragraphe 2.2.2.

### 2.2.1- Etude du réseau de relation des caractéristiques analytiques.

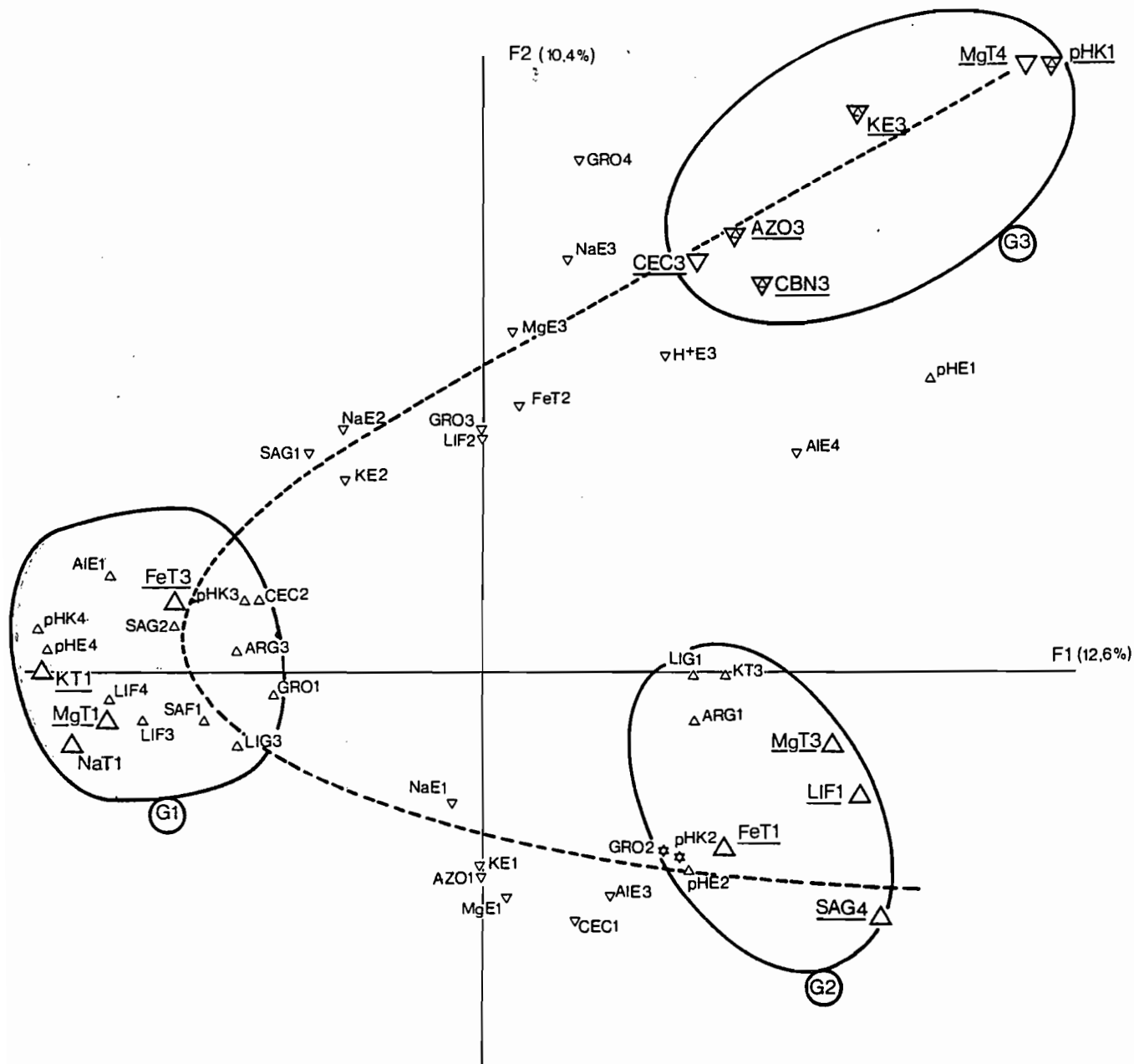
Nous ne discuterons précisément que de la position des variables dont la corrélation à ce plan factoriel est notable (au moins 200%)##.

Les variables se disposent à peu près sur une parabole d'axe horizontal. Toutefois, on note que la typologie des caractéristiques analytiques se répartit selon trois grands groupes de variables (G1, G2 et G3) qui s'agrègent assez nettement (Fig.26). Le premier facteur oppose le groupe G1 aux deux autres, alors que le second facteur sépare surtout les groupes G2 et G3 ; le groupe G1, qui occupe une position proche de l'origine sur ce facteur, ne contribue que faiblement à sa définition.

1- Le groupe G1, est situé sur l'axe horizontal (premier axe factoriel, F1) et à gauche du plan factoriel. Il comporte quatre variables qui présentent une contribution à F1 nettement supérieure à la moyenne, et surtout une forte corrélation à cet axe (Tableau V.7) : MgT1, NaT1, KT1 et FeT3. Par la suite, nous nommerons cet ensemble de variables

# Dans l'analyse factorielle, le tableau analysé peut être considéré comme un nuage de points dans un espace multidimensionnel. Les vecteurs directeurs des axes factoriels constituent une base orthonormée de cet espace qui s'ajuste au mieux à la forme du nuage, en allant des directions dans lesquelles il est le plus dispersé aux directions dans lesquelles il l'est le moins. L'inertie du nuage projeté sur les axes factoriels est donc une mesure de la dispersion dont ils rendent compte.

## La corrélation d'une variable à un axe factoriel, correspond à un indicateur de la distance qui sépare le point réel de sa projection sur l'axe. Il fluctue entre 0 et 1. Lorsque la corrélation d'un point à un axe est très faible, sa position par rapport aux autres points est généralement peu significative du fait des erreurs de perspective qui peuvent s'introduire.



Variables à forte contribution

- sur F1  $\Delta$
- sur F2  $\nabla$

Variables à contribution notable

- sur F1  $\Delta$
- sur F2  $\nabla$

Figure 26 : Réseau de relations entre les caractéristiques analytiques. Disposition des variables actives de contribution supérieure à la moyenne sur le premier plan factoriel.

le "noyau du groupe". Ces variables correspondent aux modalités indiquant une teneur en bases totales très faible, alors que la teneur en oxydes de fer est importante.

Un ensemble de variables, qui contribuent moins fortement à F1, s'agrège à ce noyau de façon significative (corrélation au plan factoriel de 250%% à 300%% ). Il correspond aux caractéristiques analytiques suivantes :

- Une granulométrie où les fractions fines dominant (ARG3, LIF4, LIF3, LIG3), alors que les fractions grossières sont peu abondantes (GRO1, SAG2).
- Une acidité faible (pHe4, pHK4, pHK3, AlE1).
- Une capacité d'échange notable (CEC2)

		F1		F2	
		COR	CTR	COR	CTR
Groupe G1	MgT1	556	50	6	1
	NaT1	363	39	12	2
	KT1	315	37	0	0
	FeT3	385	35	27	3
Groupe G2	LIF1	656	59	71	8
	SAG4	401	43	176	23
	MgT3	492	44	20	2
Groupe G3	CBN3	175	19	523	68
	AZO3	118	13	542	73
	KE3	127	16	396	61
	pHK1	199	26	316	50
	CEC3	74	9	404	56

Tableau V.7 : Corrélation (COR) et contribution (CTR) des variables des "noyaux" des trois groupes aux deux premiers axes factoriels

2- Le groupe G2, est situé dans le cadran inférieur droit du plan factoriel. Le noyau de ce groupe comporte trois variables : MgT3, LIF1 et SAG4. Il correspond donc à une granulométrie où les sables grossiers sont abondants, alors que les limons fins sont peu représentés. Il s'y associe une teneur en magnésium total relativement élevée.

Sur la gauche du noyau, un ensemble de variables s'ajoute à ce groupe.

- Il corrobore les traits révélés par les variables du noyau : une texture où les sables grossiers dominant (ARG1, LIG1 et GRO2), ainsi que des teneurs en cations totaux relativement fortes (KT3).

- Et permet d'y associer les caractéristiques suivantes : Une teneur en oxydes de fer très faible (FeT1), très fortement corrélée à ce plan factoriel (621%% ).

Une acidité relativement forte (pHe2, pHK2, AlE3).

Une très faible capacité d'échange (CEC1)

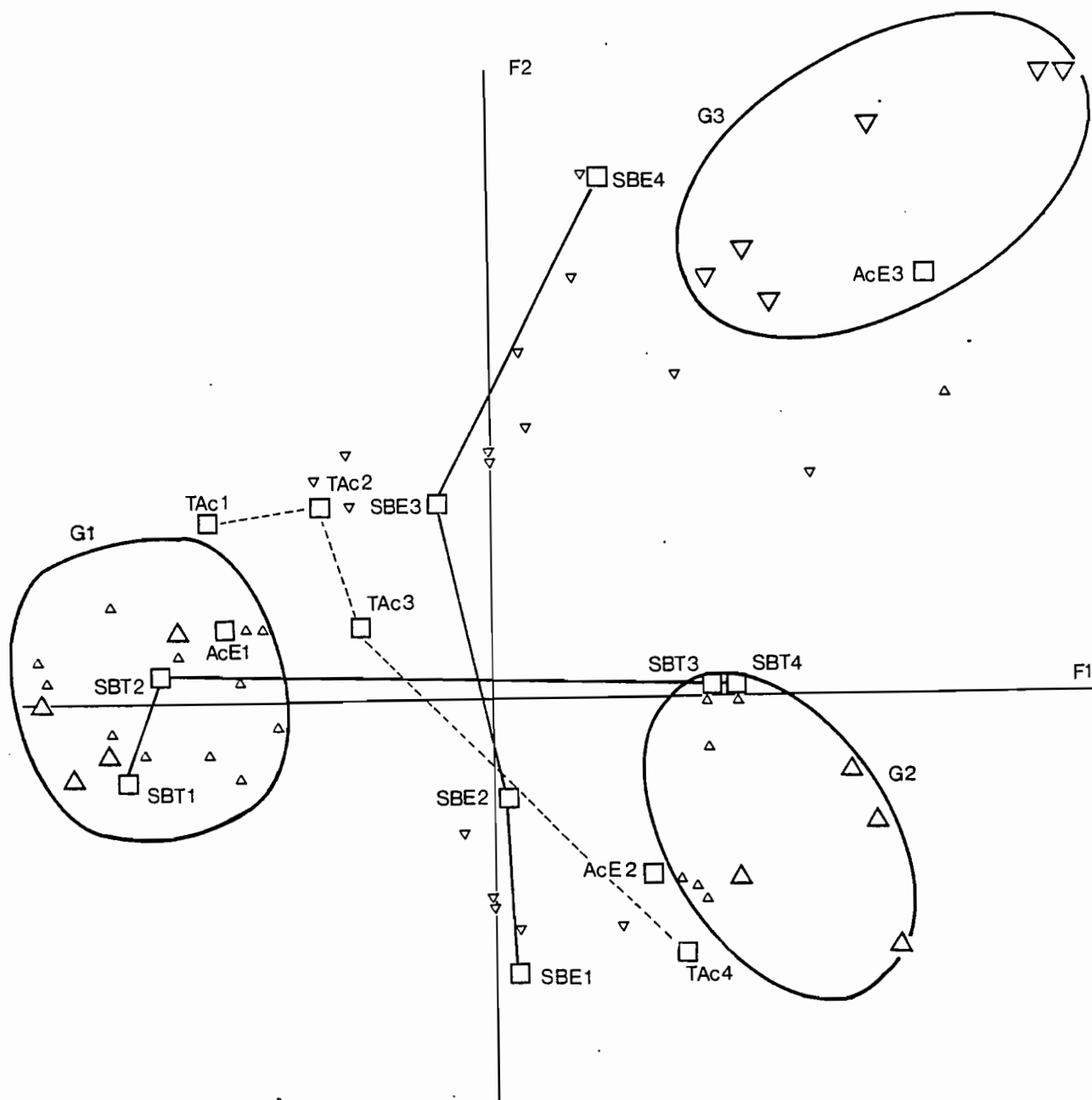


Figure 27 : Disposition des variables supplémentaires sur le premier plan factoriel.

3- Le groupe G3 est situé dans le cadran supérieur droit du plan factoriel. L'ensemble des variables de ce groupe présente une contribution importante à F2, et non négligeable à F1. Leur corrélation au plan factoriel est très importante (500 à 700%). Ces variables correspondent aux caractéristiques analytiques suivantes :

- Une forte teneur en matière organique (CBN3 et AZO3).
- Une forte capacité d'échange (CEC3), associée à des bases échangeables en quantité relativement importante (KE3, et non loin du groupe NaE3 et MgE4).
- Une forte acidité (pHK1, et non loin du groupe H+3, AlE4 et pHe1).
- Une teneur en magnésium total élevée (MgT4)

L'étude des variables analytiques supplémentaires (Fig.27) nous montre que la somme des bases totales d'une part, et la somme des bases échangeables d'autre part, sont fortement corrélées à ce plan factoriel : SBT est essentiellement corrélée à F1, et les modalités SBT1 et SBT2, s'opposent aux modalités SBT3 et SBT4. En revanche, la SBE est essentiellement corrélée à F2 et ses modalités se répartissent régulièrement le long de cet axe. Ce comportement différencié des cations basiques, selon leur disponibilité, constitue donc l'un des traits importants de la typologie des variables révélée par le premier plan factoriel. Pour le groupe G1, les bases totales sont faibles, mais sont échangeables dans une proportion notable ; pour la groupe G2, elles sont abondantes mais non échangeables ; pour le groupe G3, les bases totales sont encore plus abondantes, mais sont fortement mobilisables.

Par ailleurs, l'acidité d'échange est bien corrélée à ce plan factoriel. Les trois modalités semblent aussi être respectivement des caractéristiques des trois groupes mis en évidence. AcE1 est associée à G1, AcE2 à G2 et AcE3 à G3. Seuls les très forts taux d'acidité d'échange (TaC4) semblent fortement corrélés à un groupe donné (G2). Les autres modalités occupent une position intermédiaire entre G1 et G3. On soulignera tout de même que c'est la modalité TaC2 qui est la plus proche du groupe G3, indiquant ainsi, qu'en moyenne, cette modalité du taux d'acidité d'échange est plus fréquemment associée aux différentes variables définissant le groupe G3 qu'à celles définissant le groupe G1.

#### 2.2.2- Correspondance entre la "structure analytique" et la "structure morphologique"

A l'exception de "2bj P" et de "Nod P", la dispersion des individus affectés aux différents horizons est assez importante, les nuages de points s'interpénétrant fréquemment, pour les horizons d'un même domaine. Cette assez grande hétérogénéité d'ensemble est donc un critère important à retenir pour la caractérisation de cette couverture de sol. Toutefois, les modalités de variable supplémentaire indicatrice de la différenciation morphologique, qui se situent par définition aux barycentres respectifs de ces nuages, nous permettent de dégager des tendances générales.

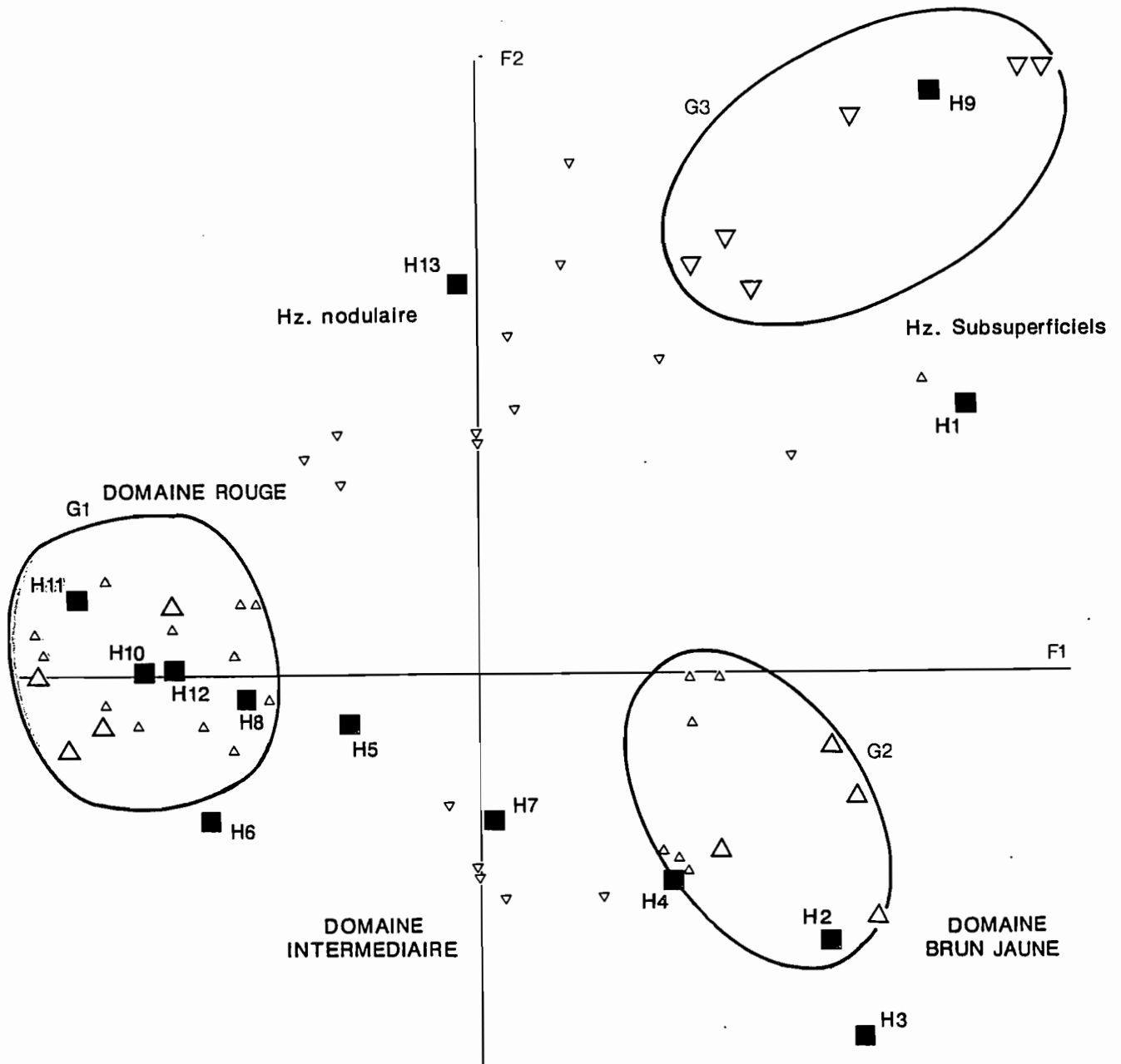


Figure 28 : Confrontation de la variabilité analytique et de la variabilité morphologique.

*Disposition des modalités de la variable indicatrice de la différenciation morphologique, par rapport aux grands groupes de la typologie analytique.*

En effet, les modalités de cette variable se disposent en fonction des trois groupes mis en évidence (Fig.28) :

"Hum bs P" (H9) et "bg N bj-T(o) P" (H1), correspondant respectivement aux horizons subsuperficiels du domaine rouge et du domaine brun-jaune, sont associés au groupe G3, confirmant l'importance de la matière organique dans leur caractérisation. Elle s'associe à une capacité d'échange et à des teneurs en cations basiques échangeables "élevés". Par ailleurs, ce sont ces horizons qui présentent la plus forte teneur en aluminium échangeable, leur conférant ainsi des pH très acides, bien que le taux d'acidité d'échange reste modéré.

Toutefois, ces deux horizons se distinguent assez nettement ; H1 étant plus proche du groupe G2. Cette distinction résulte d'une texture plus sableuse et d'une teneur en oxydes de fer plus faible. Pour respecter la rigueur de l'interprétation de ce plan factoriel, on dirait plutôt que l'ensemble des individus affectés à l'horizon H1 présente, dans un nombre de cas supérieur à la moyenne, les modalités LIF1, SAG4 et FeT1 associées aux modalités CBN3, AZO3, CEC3 et pHK1 ; alors que les individus affectés à l'horizon H9, présentent le plus souvent les modalités CBN3, etc..., mais qu'elles ne sont généralement pas associées aux modalités LIF1, SAG4 et FeT1.

On notera que "Nod P" (H13) se situe à proximité du groupe G3 entre les variables GRO3 et GRO4. Il se rattache donc plutôt aux horizons subsuperficiels, du point de vue de cette typologie des caractéristiques physico-chimiques, (sa forte teneur en éléments grossiers, lui étant toutefois propre).

"Alt rv CS" (H10), "r CS" (H11) et "r-Glé(rv) CS" (H12), correspondant au domaine rouge, sont associés au groupe G1. Les variables intermédiaires entre G1 et G3 correspondent aux allongements respectifs des nuages de points de ces différents horizons. La proximité de ces modalités de la variable nominale indique que les caractéristiques analytiques choisies ne permettent pas de distinguer nettement ces différents horizons (rappelons que leurs fonds matriciels pédoturbés sont aussi très similaires).

"2bj T(o) P" (H2), "2bj P" (H3) et "bj p" (H4), correspondant au domaine brun-jaune, sont associés au groupe G2.

Il y a donc une nette opposition entre ces deux derniers types d'horizons. Elle s'établit en partie sur la base de la texture, plus sableuse pour le groupe G2 et riche en limons pour le groupe G1 ; ainsi que sur la base de teneurs en oxydes de fer nettement plus faibles pour G2 que G1. Les traits majeurs déduits de l'observation de la différenciation morphologique, à savoir la déferrification et la déplasmation du domaine brun-jaune par rapport au domaine rouge, sont donc confirmés par la "différenciation analytique". Toutefois, deux traits nouveaux sont ici mis en évidence. Cette transformation correspond à une forte acidification du milieu. Elle se rattache à une nette augmentation du taux d'acidité d'échange

qui cumule plusieurs phénomènes convergents : augmentation de la teneur en aluminium échangeable; baisse de la capacité d'échange et de la teneur en cations basiques échangeables. Pourtant, la réserve en bases s'élève. Ces cations seraient donc renfermés dans des structures minérales qui se concentrent relativement au cours de la transformation, mais d'où ils ne peuvent être libérés.

" $r-V < b \text{ à } b_j > CS$ " (H8), " $j_b V(r,rv) CS$ " (H5) et " $b_j V(r) C$ " (H7), qui jalonnent la séquence de dérubeffaction des horizons médians du domaine intermédiaire, se disposent entre ces deux groupes. H8 étant proche de G1, H5 en position intermédiaire entre G1 et G2, et H7 relativement proche de G2. La transformation progressive, révélée par l'étude morphologique, se confirme donc par une évolution progressive et ordonnée des caractéristiques analytiques moyennes des différents horizons. Précisons encore une fois, qu'il s'agit ici d'une tendance générale, dont la formulation rigoureuse est analogue à celle évoquée lors de la distinction de H1 et H9 (certains échantillons de ce domaine sont proches des nuages définissant les horizons du domaine rouge, mais en moyenne leur "profil" analytique se rapproche de plus en plus de celui des horizons du groupe G2).

En outre, l'ensemble de variables qui se localise entre G1 et G3 (MgE1, KE1, NaE1) indique que les teneurs en bases échangeables des échantillons correspondant au domaine intermédiaire sont généralement très faibles.

Enfin, la disposition relative de la variable FeT1 et du couple de variable LIF1 et SAG4, indique que les individus affectés aux horizons du domaine intermédiaire présentent plus souvent la première modalité que les secondes. Il semble donc bien que la déferrification précède l'élimination de plasma au sein de ce domaine.

### 3- CONCLUSION.

Cette étude nous permet donc de confirmer, grâce à un point de vue différent, la pertinence de la distinction de trois grands domaines de différenciation au sein de cette couverture pédologique. Ils correspondent à la fois à une différenciation morphologique et à une différenciation physicochimique. Le rôle de charnière que semblait jouer le domaine intermédiaire se confirme aussi ici.

En outre, il apparaît que les évolutions suggérées par les mesures faites sur des échantillons globaux (d'un volume d'environ  $1 \text{ dm}^3$ ) sont en conformité avec celles proposées à partir des observations macro- et micromorphologiques. Celle-ci est caractérisée par deux transformations successives, une déferrification et une élimination de plasma, qui s'exerce au sein du domaine intermédiaire, conduisant ainsi du domaine rouge au domaine brun-jaune.

Enfin, les caractéristiques analytiques nous permettent de préciser les mécanismes en jeu au cours de cette transformation. En effet, elle coïncide avec une augmentation notable de l'acidité du sol, le pH KCl passant de 4,8 en moyenne à 4,4, avec une forte augmentation de l'aluminium échangeable qui passe de 0,15 meq/100 g à 0,45 meq/100 g.

Pourtant les sites d'échanges diminuent (CEC passant de 0,15 meq/100 g à 0,09 meq/100 g).

Il faut cependant souligner que la terre fine contient progressivement de plus en plus de sables. Ainsi, en rapportant la diminution de la CEC (qui passe du simple à la moitié) à la diminution de l'argile granulométrique (qui passe du simple à moins du tiers), on constate à l'inverse une assez forte augmentation de la CEC.

Cette production d'acidité d'échange précède l'élimination des argiles car elle s'effectue déjà dans les horizons les moins différenciés (par rapport aux horizons médians du domaine rouge de versant) du domaine intermédiaire.

Ceci nous amène à penser que cette élimination des argiles est précédée, puis vraisemblablement s'accompagne, de leur dégradation. En effet, l'aluminium semble migrer des réseaux cristallins (où il n'est pas échangeable) vers des sites où il est échangeable (augmentation de l'aluminium échangeable et de la CEC).

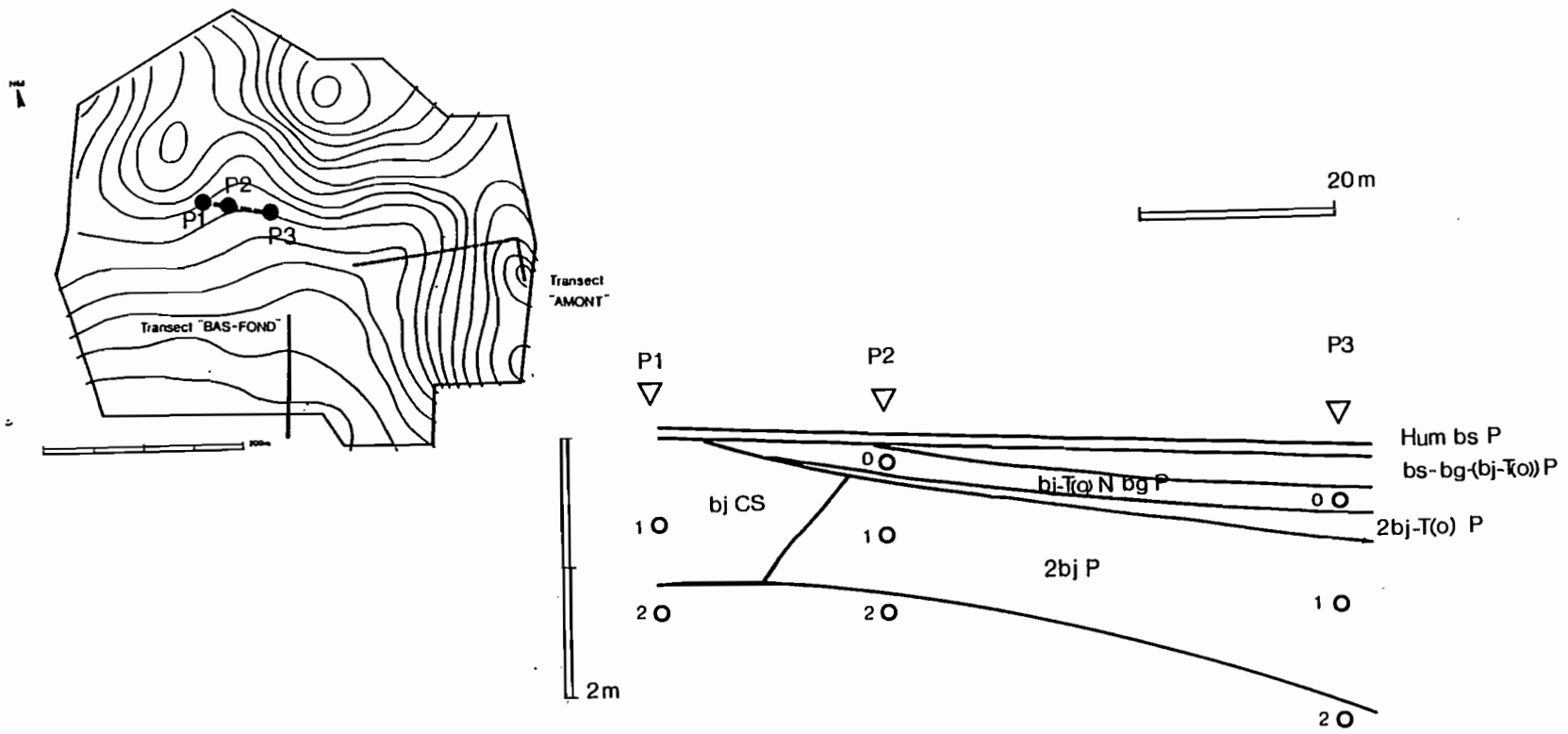
En rapportant cette première interprétation à la déferrification constatée au sein du domaine intermédiaire, et en soulignant que ce phénomène suppose une mobilisation puis une exportation des oxydes de fer. C'est à dire un changement d'état des oxydes de fer, qui passent des oxydes ferriques immobiles aux oxydes ferreux mobiles.

On peut alors supposer que l'élimination des oxydes de fer se rattache à des alternances de fortes humectations et de fortes dessiccations au sein du domaine intermédiaire.

Au total, il semble que le mécanisme général qui siège au sein du domaine intermédiaire et permet de passer du domaine rouge de versant au domaine brun-jaune de la plaine, par déferrification puis élimination du plasma, corresponde à un processus de type ferrolyse (R.BRINKMAN-1970, P.ESPIAU et G.PEDRO-1983).

\*  
\* \*

Figure 29 : Localisation de la séquence et des échantillons étudiés.



**CHAPITRE VI.  
ETUDE DE LA PEDOGENESE A L'INTERFACE DES  
DOMAINES INTERMEDIAIRE ET BRUN-JAUNE.  
MISE EN EVIDENCE DE DIFFERENTS NIVEAUX  
D'EVOLUTION DE LA STRUCTURE**

L'étude des processus conduisant à la déferrification du domaine intermédiaire n'a pas été abordée avec précision. En effet, les problèmes de transformation des oxy-hydroxydes de fer et de leur mobilité, ont souvent été étudiés dans des travaux antérieurs portant sur l'évolution des couvertures de sol intertropicales. En revanche, le développement d'une importante macroporosité, qui ne résulte pas ici d'une micro-agrégation, nous a semblé être un trait plus original par rapport à la connaissance actuelle des sols ferrallitiques. Notre attention s'est donc plus particulièrement portée sur la compréhension des processus en jeu au cours de cette transformation, dont le siège se trouve à l'interface des domaines intermédiaire et brun-jaune.

Après avoir précisé la localisation de cette étude, nous étudierons dans un premier temps, l'évolution de la structure de ces matériaux et ses conséquences hydriques ; puis, dans un second temps, nous aborderons les conséquences de cette transformation sur la minéralogie des argiles.

**1- PRESENTATION DU SITE ETUDIE.**

Cette présentation comporte une description de la séquence latérale retenue, avant d'en donner les principales caractéristiques analytiques.

**1.1- CHOIX D'UNE SEQUENCE LATERALE.**

Les chapitres précédents nous ont permis d'établir que le développement de la macroporosité succède à la dérubbification, en s'opérant au sein des fonds matriciels brun-jaunes. Nous nous proposons à présent d'étudier plus finement les caractéristiques de cette évolution de la structure. Nous avons choisi une séquence au long de laquelle un horizon brun-jaune homogène, à faible macroporosité ("bj CS"), est relayé par l'horizon "2bj P", après s'être maintenu sur une distance notable (Fig.29).

Les huit échantillons caractérisés correspondent à quatre horizons. Ils se disposent à la verticale de trois points, jalonnant la différenciation de cette séquence (profils P1, P2 et P3). Le premier se situe au sein du domaine intermédiaire, les deux suivants respectivement aux marges et au coeur du domaine brun-jaune.

- Le sommet du manteau d'altération présente une morphologie identique tout au long de cette séquence. Il correspond à l'horizon "bj-V(r,rv) CS", dont l'épaisseur est relativement constante, fluctuant entre 40 et 50 cm, Il apparaît à 1,2 m pour les profils P1 et P2 et à 1,9 m pour le profil P3.

Sa structure est très peu nette, polyédrique anguleuse à faces lisses. On observe quelques macropores tubulaires cylindriques, disposés perpendiculairement aux faces de rupture du matériau.

Cet horizon a été caractérisé à la base de chacun des profils.

- En revanche, les horizon médians s'épaississent entre les profils P2 (50 cm) et P3 (130 cm) ; et présentent une modification latérale progressive.

En effet, la structure de l'horizon "bj CS" est équivalente à celle de l'horizon "bj-V(r,rv) CS", alors que la structure de l'horizon "2bj P" est polyédrique subanguleuse assez nette avec des mottes à faces rugueuses. Cette différenciation coïncide avec le développement progressif de vides tubulaires, mais de section très irrégulière, au sein de l'horizon "2bj P". La limite entre "bj CS" et "2bj P" a été observée dans une tranchée, entre les profils P1 et P2. Bien que l'importance de la macroporosité soit peu différente au niveau de cette interface, la structure et l'aspect des mottes permettent de distinguer précisément les deux horizons.

Cette séquence de d'évolution structurale au sein des horizons médians brun-jaune, a été caractérisée par des échantillons prélevés au centre des horizons "bj CS" et "2bj P", respectivement à une profondeur de 70, 80 et 110 cm pour les profils P1, P2 et P3.

- Enfin, à la partie supérieure du sol, l'horizon "bj-T(o) N bg P" apparaît avant "2bj P", entre les profils P1 et P2.

Sa structure est nette, polyédrique subanguleuse et la macroporosité est importante.

Il a été caractérisé au sommet des profils P2 et P3, respectivement à une profondeur de 20 et 40 cm.

On notera qu'ici le développement de la macroporosité s'effectue à la fois :

- "en coin" à partir de la base de l'horizon "bj CS", conduisant à la différenciation de l'horizon "2bj P" ;

- et à partir du sommet de "bj CS", où il est plus abrupt, conduisant rapidement à la différenciation de la phase brun-grise de l'horizon "bj-T(o) N bg P".

## 1.2- EVOLUTION DES CARACTERISTIQUES ANALYTIQUES.

Avant d'examiner l'évolution des caractéristiques physiques de ces différents matériaux, les caractéristiques majeures de leur évolution seront replacées dans le contexte général de différenciation mis en évidence dans le chapitre V. De plus, certains points de détail, qui ne pouvaient apparaître alors, seront précisés ici.

### 1.2.1- granulométrie.

Les données granulométriques figurent dans le tableau V.1. Au long de cette séquence, la texture des matériaux présente une évolution progressive. Elle s'opère, tant verticalement, de la base au sommet de chacun des profils, que latéralement, au sein des différents ensembles d'horizons (le sommet du manteau d'altération, les horizons médians et l'horizon subsuperficiel) du profil P1 au profil P3 (Fig.30).

Dans ces deux directions, un phénomène général apparaît : les limons (essentiellement représentés par la classe des limons fins) diminuent, alors que les sables deviennent plus abondants.

Latéralement, les variations relatives de ces deux classes granulométriques s'accroissent de façon identique au sein des horizons médians et au sommet du manteau d'altération, passant respectivement pour les limons fins et les sables, de 30% de diminution et de 5% d'augmentation entre les profils P1 et P2, à 50% de diminution et à 15% d'augmentation entre les profils P2 et P3. En revanche, les variations sont assez constantes dans la direction verticale, s'établissant respectivement autour de 65% de diminution pour les limons fins et 20% d'augmentation pour les sables.

L'évolution de l'argile est plus complexe :

-Au sommet du manteau d'altération, elle augmente progressivement du profil P1 au profil P3 (2% d'augmentation relative entre chacun des profils).

-Elle diminue au sein des horizons médians (10% de diminution relative entre chacun des profils).

-Enfin, verticalement entre le manteau d'altération et l'horizon médian, la diminution de cette classe devient de plus en plus importante du profil P1 au profil P3 (avec respectivement 0%, 15% et 25% de diminution relative pour chacun de ces profils).

Le trait majeur de l'évolution granulométrique au long de cette séquence de différenciation correspond donc bien à la tendance générale mise en évidence dans le chapitre précédent. Il se caractérise par une concentration relative des sables, coïncidant avec une importante élimination des limons fins.

Ref.	A	LF	LG	SF	SG	>2mm	FeT
P1.1	24,9	8,0	2,1	14,1	40,7	9,0	1,9
P1.2	25,0	21,2	2,5	7,9	37,9	4,8	5,0
P2.0	16,7	2,2	2,4	14,5	58,3	3,8	0,9
P2.1	22,1	5,1	3,8	14,5	45,2	9,2	2,3
P2.2	25,6	15,4	2,0	6,0	42,2	8,9	2,9
P3.0	14,8	2,1	1,9	18,1	55,6	5,3	1,3
P3.1	20,3	2,7	2,5	19,6	46,6	8,2	2,4
P3.2	27,1	7,6	2,2	14,2	42,4	6,8	3,3

Tableau VI.1 : caractéristiques granulométriques et teneurs en oxydes de fer

- Fractions granulométriques et matière organique en % du poids total.
- Teneurs en oxydes de fer (FeT) en % du poids de terre fine.

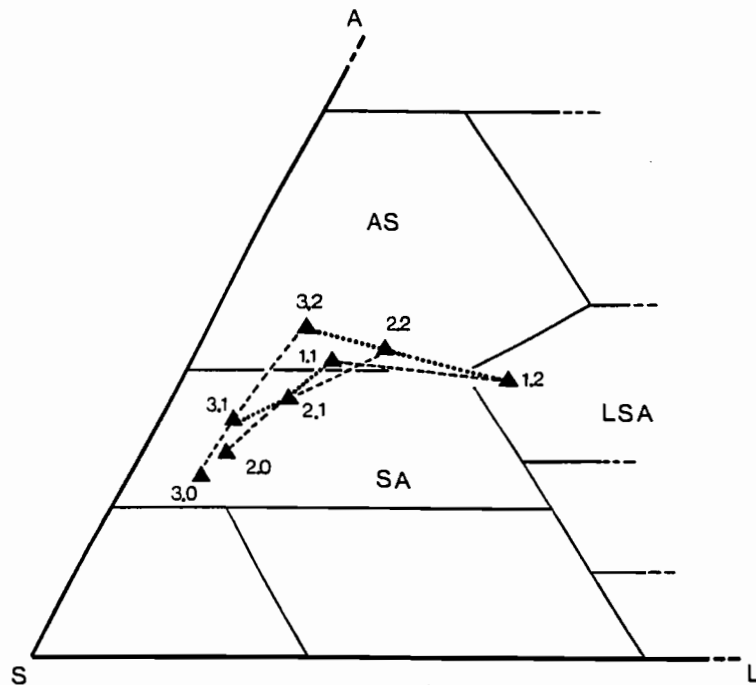


Figure 30 : Représentation de l'évolution de la granulométrie dans le triangle de texture de JAMAGNE.  
 - au sein d'un même ensemble d'horizons (pointillés)  
 - au sein d'un même profil (tirets)

Latéralement cette dernière diminution s'accompagne aussi d'une élimination de plus en plus importante des argiles entre le sommet du manteau d'altération et l'horizon "2bj P". Or, l'observation micromorphologique de ces matériaux n'ayant jamais révélé de cutanes.

Il en résulte que la légère augmentation d'argile, observée au sein de l'horizon "bj V(r,rv) CS", ne peut être rattachée à un processus d'éluviation des particules fines. Il semblerait plutôt que, dans cet horizon, des particules de la taille des limons fins subissent latéralement une dissolution importante, les faisant ainsi passer dans la classe granulométrique des argiles. Ce processus se poursuit vraisemblablement dans l'horizon "2bj P", mais la faible quantité de limons fins qui y subsiste ne peut compenser l'élimination des particules d'argile

### 1.2.2- Fer total.

La teneur en oxydes de fer des différents échantillons figure dans le tableau VI.1. Sur l'ensemble de cette séquence, elle est généralement faible : 1% pour les horizons subsuperficiels, 2% pour les horizons de l'ensemble médian et 3% pour le sommet du manteau d'altération (à l'exception du profil P1, où elle atteint 5% pour cet horizon).

Toutefois, il semble que latéralement elle augmente légèrement au sein de l'ensemble des horizons médians. Cette augmentation, dans un contexte de teneurs faibles, ne pouvait être détectée par l'analyse des tendances d'évolution générale.

### 1.2.3- Taux d'acidité d'échange et capacité d'échange.

L'ensemble des mesures caractérisant le complexe d'échange des différents échantillons est reporté dans le tableau VI.2.

Ref.	SBE	AcE	TAc	CEC	CEC/A
P1.1	0,12	0,49	80,3	1,20	4,8
P1.2	0,11	0,59	84,3	1,60	6,4
P2.0	0,17	0,69	80,2	2,40	
P2.1	0,10	0,25	71,4	1,10	5,0
P2.2	0,10	0,33	76,7	1,20	4,7
P3.0	0,12	0,51	81,0	1,60	
P3.1	0,07	0,27	79,4	1,00	4,9
P3.2	0,10	0,24	70,6	1,10	4,1

Tableau VI.2 : Caractéristiques du complexe d'échange.

- Somme des bases échangeables (SBE), acidité d'échange (AcE), et capacité d'échange (CEC) en meq pour 100g de terre fine.
- Taux d'acidité d'échange (AcE/(SBE+AcE)) en % .
- Comparaison de la capacité d'échange et du taux d'argile en unité arbitraire.

Le taux d'acidité d'échange est très élevé, s'établissant entre 70 et 80%. L'absence de tendance évolutive nette de cette caractéristique correspond à des fluctuations parallèles de la somme des bases échangeables et de l'acidité d'échange. Ces dernières sont élevées pour le profil P1 et pour les horizons subsuperficiels des profil P2 et P3. Elles deviennent progressivement plus faibles à mesure que l'on s'engage dans le domaine brun-jaune.

La capacité d'échange diminue progressivement du profil P1 au profil P3, au sein de chacun des ensembles d'horizon. Cependant, en rapportant cette mesure à la quantité d'argile,# on observe une légère augmentation au sein de l'ensemble des horizons médians, et surtout une inversion dans l'évolution verticale de cet indice. Pour le profil du domaine intermédiaire, il diminue, alors que pour les profils du domaine brun-jaune il augmente, de façon plus importante pour le profil P3 que pour le profil P2. Il semble donc que l'élimination des particules fines coïncide aussi avec une modification de leur propriétés.

\*  
\* \*

Ces données étant établies, nous nous attacherons maintenant à l'étude de l'évolution structurale qui semble être l'un des points clé, tant de la caractérisation de la pédogénèse que de la compréhension des processus en jeux.

# Ce calcul n'est pas présenté pour les horizons subsuperficiels, où la matière organique joue, selon toutes vraisemblances, un rôle important dans la définition d'une capacité d'échange élevée.

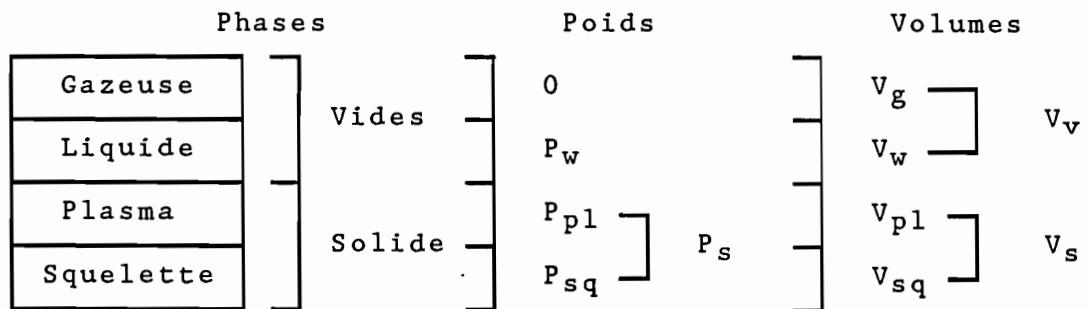
**2- CARACTERISATION DE LA PEDOGENESE  
PAR DES MESURES PHYSIQUES.**

**Préambule-** Conventions de notation des différentes phases du sol et indices utilisés.

Le sol est constitué de trois phases : une phase liquide, une phase gazeuse et une phase solide (Fig.31). Ces phases sont symbolisées par les sigles suivants :

- g pour la phase gazeuse,
- w pour la phase liquide,
- v pour l'espace poral que se partage ces deux premières phases,
- s pour la phase solide. En distinguant le plasma (pl) qui comprend les minéraux argileux et les oxy-hydroxydes ; et le squelette (sq), qui est ici essentiellement constitué de quartz.

Le volume et le poids de ces différentes phases sont respectivement notés V et P. Ils sont indicés selon la phase à laquelle ils se rapportent.



**Figure 31 :** Conventions de notation des trois phases constituant un volume de sol.

La phase solide est caractérisée par sa densité réelle (ou poids spécifique de solide), notée D<sub>r</sub> :

$$(1) D_r = P_s / V_s$$

et sa densité apparente, notée D<sub>a</sub> :

$$(2) D_a = P_s / (V_s + V_v)$$

Ces deux grandeurs permettent de calculer la porosité :

$$(3) \pi = V_v / (V_s + V_v) = 1 - D_a / D_r$$

Les indices se rapportant au seul volume de la phase solide, proposés par D.TESSIER (1984), ont été retenus afin de pouvoir comparer l'espace poral ainsi que l'état hydratation des différents horizons caractérisés.

- L'indice de vide (void ratio), noté e :

$$(4) e = V_v/V_s = (D_r/D_a) - 1$$

- L'indice d'eau (water ratio), noté :

$$(5) = V_w/V_s = D_r \cdot HP/D_w$$

En posant  $HP = P_w/P_s$  (humidité pondérale).

Après un rappel des méthodes mise en oeuvre, trois aspects seront abordés :

- L'évolution du comportement des différents matériaux (retrait/gonflement et rétention d'eau au cours de la dessiccation).
- L'évolution du spectre poral.
- Les relations de ces deux premiers aspects avec l'évolution minéralogique.

## 2.1- METHODES MISES EN OEUVRE.

### 2.1.1- Mesures de la densité.

\* La densité apparente a été mesurée sur des échantillons à structure conservée selon deux méthodes différentes :

- Par le prélèvement d'échantillons cylindriques de volume connu : 100 cm<sup>3</sup> (5 répétitions par mesure). Cette mesure donne une caractérisation de la densité du matériau en place. Elle a été réalisée en fin de la grande saison des pluies (Juin), au moment où la teneur en eau des différents horizons peut être estimée optimale.

- Des mottes d'une dizaine de cm<sup>3</sup>, ont été prélevées au même moment. A partir de ce même état initial (teneur en eau in situ optimale), elles ont été portées à l'équilibre avec deux potentiels de l'eau différents (pF1,5 et pF6), après une réhumectation jusqu'à pF0,5. Puis, leur volume apparent a été déterminé par la méthode "au pétrole" (10 répétitions par mesure). Cette mesure donne une indication sur les propriétés intrinsèques de retrait et de gonflement des différents matériaux.

\* La densité réelle a été mesurée au picnomètre à eau, sur l'échantillon total séché et broyé à 20 m (2 répétitions par mesure#).

# Ces répétitions avaient une valeur de test. Les deux mesures se sont toujours révélées être très proches, ne différant qu'à partir du quatrième chiffre significatif. On a donc

### 2.1.2- Mesure de l'humidité pondérale en fonction du potentiel de l'eau.

Cette mesure a été effectuée sur des mottes à structure conservée, c'est à dire en particulier non séchées, d'une dizaine de cm<sup>3</sup>, grâce à un ensemble de techniques décrit par D.TESSIER (1984).

- Les pF de 0,5 à 4 ont été obtenus en équilibrant la succion matricielle des échantillons de sol avec une pression pneumatique croissante (loi de JURIN-LAPLACE), dans des colonnes en plexiglas jusqu'à pF3 et dans une presse à membrane pour les pF 3,5 et 4.

- Les pF 5 et 6 ont été obtenus par mise à l'équilibre avec une humidité relative constante (loi de KELVIN), respectivement contrôlée par une solution saturée en Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (humidité relative de 92,7%) et en Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (humidité relative de 48,4%).

L'histoire hydrique de tous les échantillons est la même :

Dans un premier temps, les mottes ont été réhumectées jusqu'à pF0,5, à partir de l'humidité de fin de saison des pluies. Puis, elles ont été déshydratées par palier jusqu'au pF correspondant à la mesure.

Pour des raisons pratiques, le volume apparent et la teneur en eau des mottes n'ont pas été mesurés simultanément, comme on le fait habituellement. En effet les capsules tarées dont je disposais étaient trop petites pour saturer au pétrole chacune des mottes. Pour ce faire, on les regroupaient donc dans un cristalliseur de grande taille. En plus du risque de confusion qu'aurait pu provoquer un déplacement inopiné de ce récipient, les pertes fréquentes de petits grains de quartz qui se sont produites ne pouvaient être rattachées à une motte donnée, grévant ainsi fortement la détermination de la teneur en eau ; alors que cette mesure peut être assez précise car les manipulations de mottes qu'elle nécessite sont nulles. On a donc choisi de réaliser en priorité la courbe de rétention d'eau, puis d'établir quelques points de la courbe de retrait (précisés dans le paragraphe précédent) dans la limite de la quantité d'échantillon restant.

### 2.1.3- Etablissement du spectre de porosité par porosimétrie au mercure.

Le spectre poral d'agrégats d'environ un demi cm<sup>3</sup>, progressivement déshydratés jusqu'à pF6, puis séché à l'air, a été établi par porosimétrie au mercure. Les mesures ont été effectuées au laboratoire de physique du sol du centre ORSTOM de Cayenne grâce à un porosimètre CARLO ERBA 2000.

## 2.2- EVOLUTION DU COMPORTEMENT DES DIFFERENTS MATERIAUX.

Avant d'examiner en détail le comportement des différents matériaux, il semble important de présenter les différences très générales qui apparaissent in situ en fin de saison des pluies, au niveau de la caractérisation des indices de vide et d'eau (Fig.32).

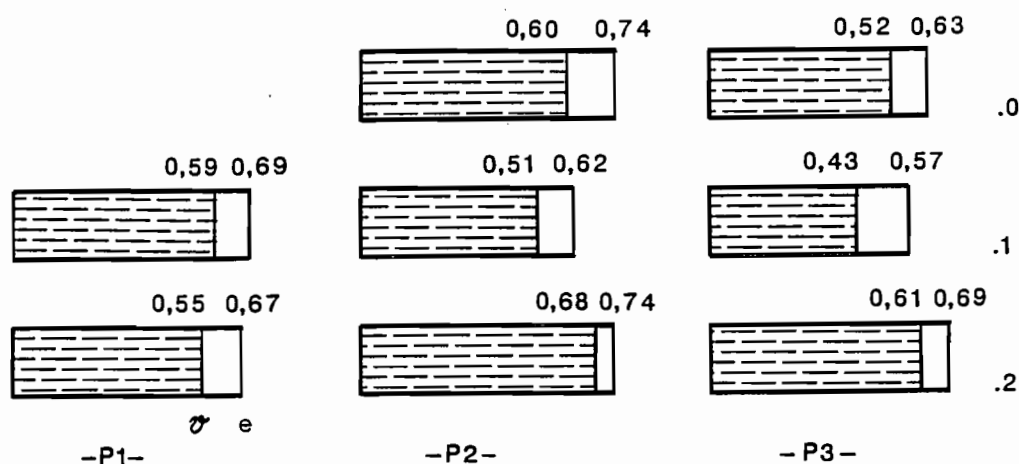


Figure 32 : Indices d'eau ( $\varnothing$ ) et de vide (e) mesurés in situ à la fin de la saison des pluies.

- Au sommet du manteau d'altération (" $b_j V(r,rv) CS$ "), on observe une différence assez importante entre les différents points caractérisés. Ces différences ne sont pas strictement ordonnées, mais il semble se dégager une tendance d'évolution latérale : les points caractérisés au niveau du domaine brun-jaune présentent un indice de vide plus important que le point caractérisé pour le domaine intermédiaire ; mais la part de ce volume laissée libre à l'air diminue.

- Au sein de l'ensemble des horizons médians (" $b_j CS$ " et " $2b_j P$ "), on observe en revanche une évolution latérale progressive et ordonnée. Elle correspond à une diminution de l'indice de vide, alors que la part de ce volume laissée libre à l'air augmente. Il semble donc bien qu'ici la macroporosité augmente latéralement ; cependant il est important de noter que ce développement coïncide avec une diminution de la porosité totale.

- Enfin, pour l'horizon subsuperficiel, on constate, par rapport à l'horizon sous-jacent, une augmentation importante de l'indice de vide et de l'indice d'eau.

Ces fluctuations assez inattendues par rapport à l'observation macro- et microscopique, justifiaient une étude plus détaillée de l'évolution de la structure de ces différents matériaux.

Les courbes des indices de vide et d'eau en fonction du potentiel de l'eau sont représentées sur la figure 33 (les données sont consignées dans l'annexe IV). Le profil de ces courbes est lissé (lignes tiretées), lorsque ses irrégularités coïncident avec une forte dispersion des mesures.

Les variations des indices de vide seront présentées en premier lieu. Puis, nous nous attacherons à l'examen de l'évolution de l'indice d'eau au cours de la dessiccation.

### 2.2.1- Evolution des propriétés de retrait.

Bien que la caractérisation de l'indice de vide des mottes soit très incomplète, on peut souligner l'évolution de certains points majeurs de comportement au long de la séquence étudiée.

Pour tous les échantillons, on note la présence d'un retrait significatif entre  $pF_{1,5}$  et  $pF_6$ . Toutefois, l'importance de ce retrait diminue à mesure que l'on s'engage dans le domaine brun-jaune, tant pour les horizons de l'ensemble médian que pour l'horizon "bj V(r,rv) CS".

Pour les deux horizons du domaine intermédiaire, l'indice de vide à  $pF_{0,5}$  est supérieur à l'indice de vide mesuré in situ. Il en résulte que l'importance du gonflement mis en évidence par les mesures effectuées au laboratoire, est surtout attribuable à une expansion du matériau consécutive à son extraction, qui ne peut se produire in situ. En effet, les contraintes latérales s'exerçant sur le sol, ainsi que la contrainte verticale (overburden potential, G.D.TOWNER-1981) empêchent la variation du volume du sol en place. Il apparaît donc que ces matériaux sont contraints lorsqu'ils sont en place. La présence de ces contraintes nous était d'ailleurs suggérée par l'observation d'une forte orientation des fonds matriciels de ces horizons du domaine intermédiaire.

Néanmoins, même si elle ne s'effectue vraisemblablement pas dans les mêmes proportions au sein des horizons en place, cette propension au retrait-gonflement des matériaux du domaine intermédiaire qui s'atténue nettement pour ceux du domaine brun-jaune, nous amène à penser que la différenciation de la macroporosité correspond aussi à une modification des propriétés des minéraux argileux, et donc vraisemblablement de leur nature. Cet aspect sera abordé plus loin.

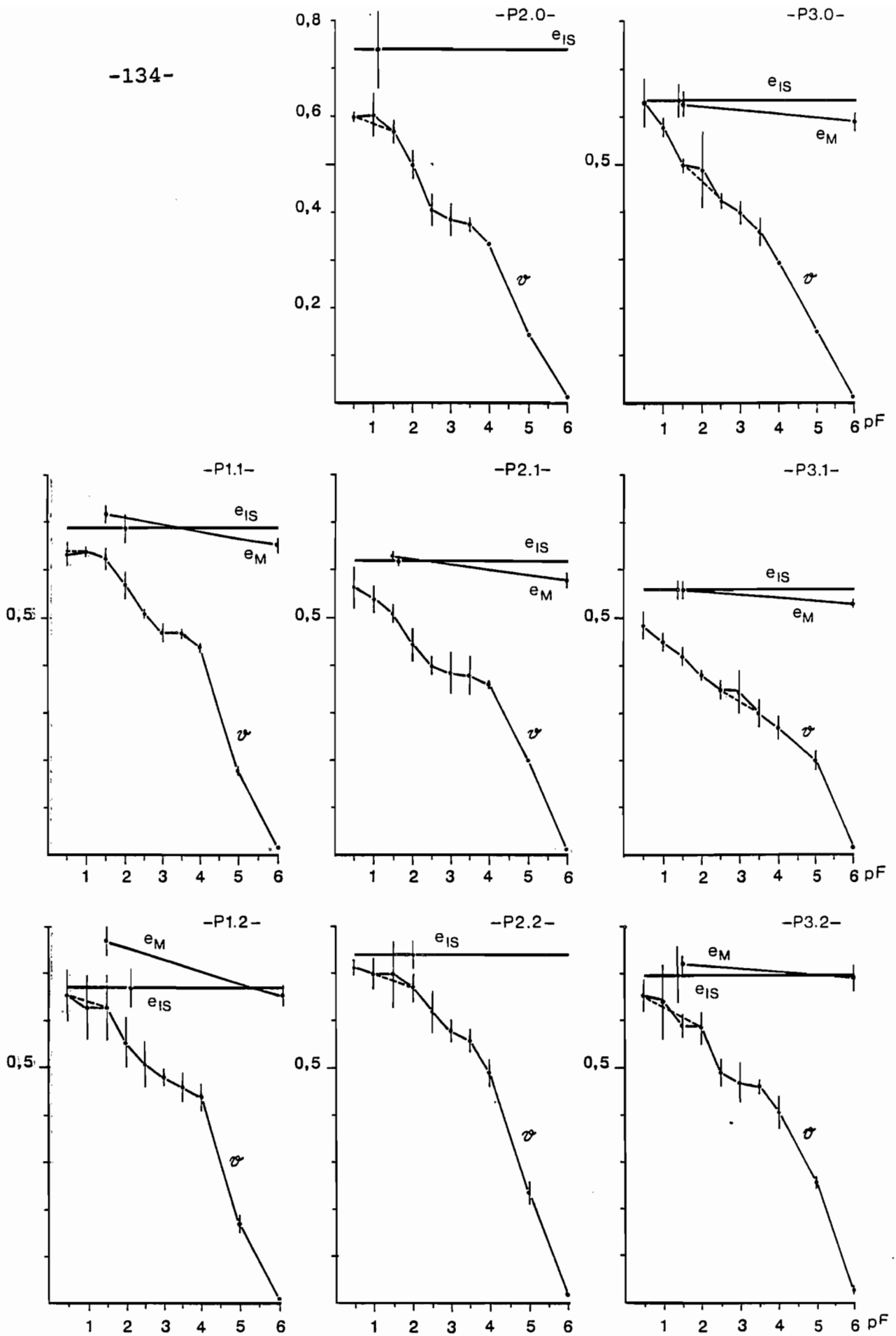


Figure 33 : Evolution de l'indice d'eau au cours de la dessiccation en fonction du potentiel de l'eau.

$e_{IS}$  : indice de vide de l'horizon in situ.

$e_M$  : indice de vide des mottes.

$\phi$  : indice d'eau des mottes.

I : intervalle de confiance à un risque de 5% .

### 2.2.2- Evolution de l'hétérogénéité.

Le trait vertical représenté pour chaque mesure correspond à l'intervalle de confiance à un risque de 5% #. Il est en quelque sorte, un indice représentant l'hétérogénéité du volume d'eau retenu par les différents matériaux pour chaque pF.

Pour les différents échantillons de l'horizon "bj V(r,rv) CS" (P1.2, P2.2 et P3.2), l'intervalle de confiance est élevé jusqu'à pF3, et ne devient faible que pour les pF supérieurs à 4.

Les mesures sont généralement moins dispersées pour l'ensemble des horizons médians, la plus forte homogénéité correspondant à l'horizon "bj CS" (P1.1). Toutefois, on note que pour l'horizon "2bj P" (P2.1 et P3.1), les intervalles de confiance sont un peu plus larges que pour l'horizon "bj CS" ; les plus fortes hétérogénéités correspondant aux pF3 et 3,5. On notera aussi, que pour P2.1, l'intervalle de confiance devient très faible dès pF4, alors que pour P3.1, il reste notable jusqu'à pF5.

Enfin, pour l'horizon "bj-T(o) N bg P", on observe une très forte homogénéité dès pF4. Pour les pF plus faibles, la dispersion des mesures est assez équivalente à celle de l'horizon "2bj P", assez forte pour les pF 3 et 3,5 et plus faible pour les autres (à l'exception des pF 0,5 et surtout 2 pour P3.0, et du pF1 pour P2.0).

On retiendra que pour les pF élevés, la dispersion des mesures est toujours très faible. Or, les mottes n'ont pas été façonnées de façon à rendre compte d'un rapport volumique constant entre les différentes phases constitutives d'un horizon. Il en résulte que les différents assemblages d'un même volume pédologique, doivent ici présenter des propriétés de rétention d'eau identiques pour les fortes contraintes hydriques ; révélant ainsi que leur micro-organisation présente les mêmes caractéristiques et qu'elle est ainsi très homogène à cette échelle du système.

### 2.2.3- Evolution des propriétés de rétention d'eau.

Pour l'horizon "bj V(r,rv) CS" (P1.2, P2.2 et P3.2), les courbes présentent une forme bimodale, qui se caractérise par deux paliers où la variation de l'indice d'eau est faible.

Le premier correspond aux faibles pF. Du profil P1 au profil P3, on note une augmentation significative de sa pente

# L'expression des bornes de cet intervalle de confiance est la suivante :

$$B_{sup} = Moy(x_i) + T_{1- /2} \cdot (SCE/(n \cdot n-1))^{1/2}$$
$$B_{inf} = Moy(x_i) - T_{1- /2} \cdot (SCE/(n \cdot n-1))^{1/2}$$

Avec  $T_{1- /2}$  : valeur du T de Student  
à n-1 degrés de liberté,  
pour un degré de confiance de 5% ;  
SCE : Somme des carrés des écarts  
à la moyenne ;  
n : Nombre de répétition.

(la différence entre les indices d'eau passant de 0,02 à 0,05 puis 0,07). Par ailleurs, pour P1.2, il ne s'étend que jusqu'à pF1,5, alors que pour P2.2 et P3.2, il atteint pF2.

Le second se localise entre pF3 et pF3,5. A l'inverse du premier, sa pente reste constante (la différence entre les indices d'eau s'établissant autour de 0,02)

Dans le domaine de variation de l'indice d'eau que délimite ces deux paliers, la diminution la plus importante correspond toujours au pF le plus faible (pF2 pour P1.2, et pF2,5 pour P2.2 et P3.2)

L'importance de l'indice d'eau à pF3,5, par rapport à l'indice d'eau à pF0,5 (70 à 80%), nous indique que la majeure partie de l'eau contenue dans ces matériaux est fortement liée à la phase plasmique. Et ceci de façon d'autant plus importante que l'on se dirige du profil P1 au profil P3. En effet, le volume d'eau retenu à pF5 augmente progressivement aux dépens du volume vidangé entre pF4 et pF5 ; le profil de courbe de rétention passant progressivement de convexe à concave dans ce domaine de contrainte.

Ainsi, bien que la morphologie de cet horizon reste similaire tout au long de la séquence, on constate une modification progressive de ces propriétés physiques. Il apparaît un volume notable d'eau mobilisable dès les faibles contraintes ; mais l'on note aussi qu'une partie de plus de plus importante de l'eau devient très fortement liée à la phase solide, ne se vidangeant qu'au delà de pF5.

Pour les horizons de l'ensemble médian, de P1 à P3, le profil des courbes se modifie aussi de façon progressive.

La courbe de rétention d'eau de l'horizon "bj CS" se caractérise par la présence de 2 paliers où la variation de l'indice d'eau est pratiquement nulle. Ils sont respectivement situés entre pF0,5 et pF1,5 et entre pF3 et pF3,5. A l'inverse des courbes de l'horizon "bj V(r,rv) CS", la décroissance de l'indice d'eau entre ces deux paliers est assez forte et continue. Toutefois, cette diminution est faible en comparaison de celle qui s'effectue aux fortes contraintes (Les indices d'eau à pF4 et à pF0,5 valent respectivement 0,44 et 0,66, la vidange entre ces deux pF ne correspond donc qu'à 33% de l'eau que contient le matériau). La plus grande partie de ce volume d'eau est vidangée entre pF4 et pF5 (60%), conférant ainsi une forme convexe à la courbe.

Les courbes de rétention établies pour les points P2.1 et P3.1, qui jalonnent la différenciation de l'horizon "2bj P", présentent une évolution de profil, qui les fait passer de cette forme bimodale à une forme plus rectiligne.

Pour P2.1, le palier compris entre pF3 et pF3,5 se maintient. En revanche, le premier palier disparaît pratiquement, alors que la pente de la courbe devient moins importante dans le domaine de contrainte qui séparait les deux paliers observés pour P1.1. Par ailleurs, le volume d'eau retenu aux forts pF devient plus faible (l'indice d'eau à pF4

vaut 0,36). Cependant, il est plus fortement lié à la phase solide, le volume d'eau vidangé entre pF5 et pF6 étant aussi important que celui vidangé entre pF4 et pF5 ; le profil de la courbe devenant ainsi rectiligne.

Pour P3.1, les paliers ont disparu, la courbe présentant un profil rectiligne de pF0,5 à pF4. Le volume d'eau retenu à pF4 est encore plus faible (l'indice d'eau vaut 0,27), mais seule la partie qui se vidange entre pF4 et pF5 a diminué ; le profil de la courbe devenant nettement concave.

Ainsi, bien que la différence entre l'indice d'eau à pF0,5 et à pF4, n'augmente que très faiblement de P1.1 à P3.1 (passant de 0,19 à 0,20 puis 0,21), ce volume d'eau représente une partie de plus en plus importante du volume total de l'eau contenue dans ces différents matériaux. Toutefois, on notera que ce dernier diminue progressivement au long de cette séquence (les indices d'eau à pF0,5 passant de 0,63 à 0,56 puis 0,48)

Pour les horizons "bj-T(o) N bg P" (P2.0 et P3.0), le volume d'eau retenu à pF0,5 est plus important que celui de l'horizon "2bj P" sous-jacent ; les indices d'eau à pF0,5 valant respectivement 0,60 et 0,63. On note cependant que les profils des courbes P2.0 et P2.1 d'une part, et P3.0 et P3.1 d'autre part, sont assez similaires. La différence essentielle réside dans une augmentation générale du volume d'eau vidangé à chaque pas de la dessiccation.

\*  
\* \*

Deux caractères majeurs permettent donc de distinguer les différents horizons du domaine intermédiaire et du domaine brun-jaune :

(i)- Le volume d'eau mobilisable aux faibles pF est très faible pour le premier et augmente à mesure que l'on s'engage dans le second.

(ii)- Le volume d'eau retenu aux pF élevés devient progressivement plus fortement lié à la phase solide.

- Par ailleurs, l'horizon "bj V(r,rv) CS" se caractérise par un volume d'eau retenu aux pF élevés bien plus important que le volume mobilisable aux faibles pF. De ce point de vue l'horizon "bj CS" se rapproche donc beaucoup du sommet du manteau d'altération.

\*  
\* \*

Ces courbes de rétention nous indiquent qu'au sein de ces différents matériaux, l'état d'humectation ne doit pas fluctuer de la même façon au cours de l'année.

(i)- Pour les horizons dont les courbes présentent un caractère bimodal, l'état d'humectation peut rester élevé et assez proche de la saturation (différence entre l'indice de vide et l'indice d'eau faible), dans un domaine de contrainte qui s'étend de pF<sub>0,5</sub> à pF<sub>1,5</sub> (voire pF<sub>2</sub>). Lorsque le potentiel de l'eau s'élève, le palier qui correspond à de l'eau fortement liée, est rapidement atteint. Au sein de ces horizons, il y a donc un balancement entre deux états d'humectation extrêmes qui s'effectue dans un domaine de contrainte restreint.

On peut donc penser que les périodes qui correspondent chacun de ces états s'étendent sur des durées relativement longues. En d'autres termes, ces matériaux subissent une alternance prononcée entre un état de quasi engorgement, durant la saison des pluies, et un état où l'eau est très fortement liée à la phase solide, durant la saison sèche.

(ii)- A l'inverse, la disparition de ce caractère bimodal pour l'horizon "2bj P" nous indique que l'état d'humectation de ce matériau fluctue de façon plus progressive et surtout beaucoup plus fréquente au cours de l'année.

## 2.3- EVOLUTION DU SPECTRE PORAL.

Ces propriétés de rétention d'eau sont directement liées à la géométrie de l'espace poral, que nous nous proposons d'examiner à présent.

### 2.3.1- Définition de différents niveaux de porosité.

On distingue trois classes de vides : La macroporosité (ma), la mésoporosité (me) et la microporosité (mi). Les bornes proposées dans la littérature pour ces trois classes sont assez différentes selon les critères de partition retenus par les auteurs. Nous avons choisi des conventions qui tiennent compte de certains seuils de comportement hydrique :

- La borne supérieure de mi correspond aux pores dont le rayon est inférieur à 150 nm. Ces vides ne sont pas vidangés avant pF4. Etant donné les conditions climatiques de la région, il est presque certain que leur état d'hydratation ne varie pratiquement pas au cours de l'année.

- La borne inférieure de ma correspond aux pores dont le rayon équivalent est supérieur à 150 m. Ces vides ne retiennent pas l'eau au delà de pF 1. Selon la loi de POISEUILLE, ce volume de vides constitue donc un espace où les écoulements hydriques sont rapides. Ils ne contiennent donc de l'eau que de façon fugace au cours des événements pluvieux importants.

- Enfin, me correspond aux vides dont le rayon équivalent est compris entre les deux limites précédentes. C'est cette classe que se disputent réellement les phases liquide et gazeuse au cours de l'année.

### 2.3.2- Interprétation des courbes de rétention d'eau.

En appliquant le formalisme de JURIN-LAPLACE, il est possible d'interpréter l'évolution des propriétés de rétention d'eau en termes de modifications de la distribution de la taille des pores. On met ainsi en évidence une évolution de ces différents niveaux de porosité au long de la séquence.

Pour l'horizon "bj V(r,rv) CS", les différences essentielles se situent au niveau de la mésoporosité et de la microporosité. Dans le domaine intermédiaire, les mésopores sont assez grossiers ; la plus grande partie de ce volume de vide se situant entre 50 et 5 m. Dans le domaine brun-jaune, le volume de mésopores augmente légèrement, mais il se répartit plutôt dans deux classes, situées respectivement entre 15 et 5 m et entre 480 et 150nm. Il y a donc une diminution de la taille des mésopores les plus larges et l'apparition d'un volume assez important de mésopores fins.

Parallèlement, le volume de micropores reste à peu près équivalent, mais les vides de rayon inférieur à 15nm représentent une proportion de plus en plus importante de ce volume.

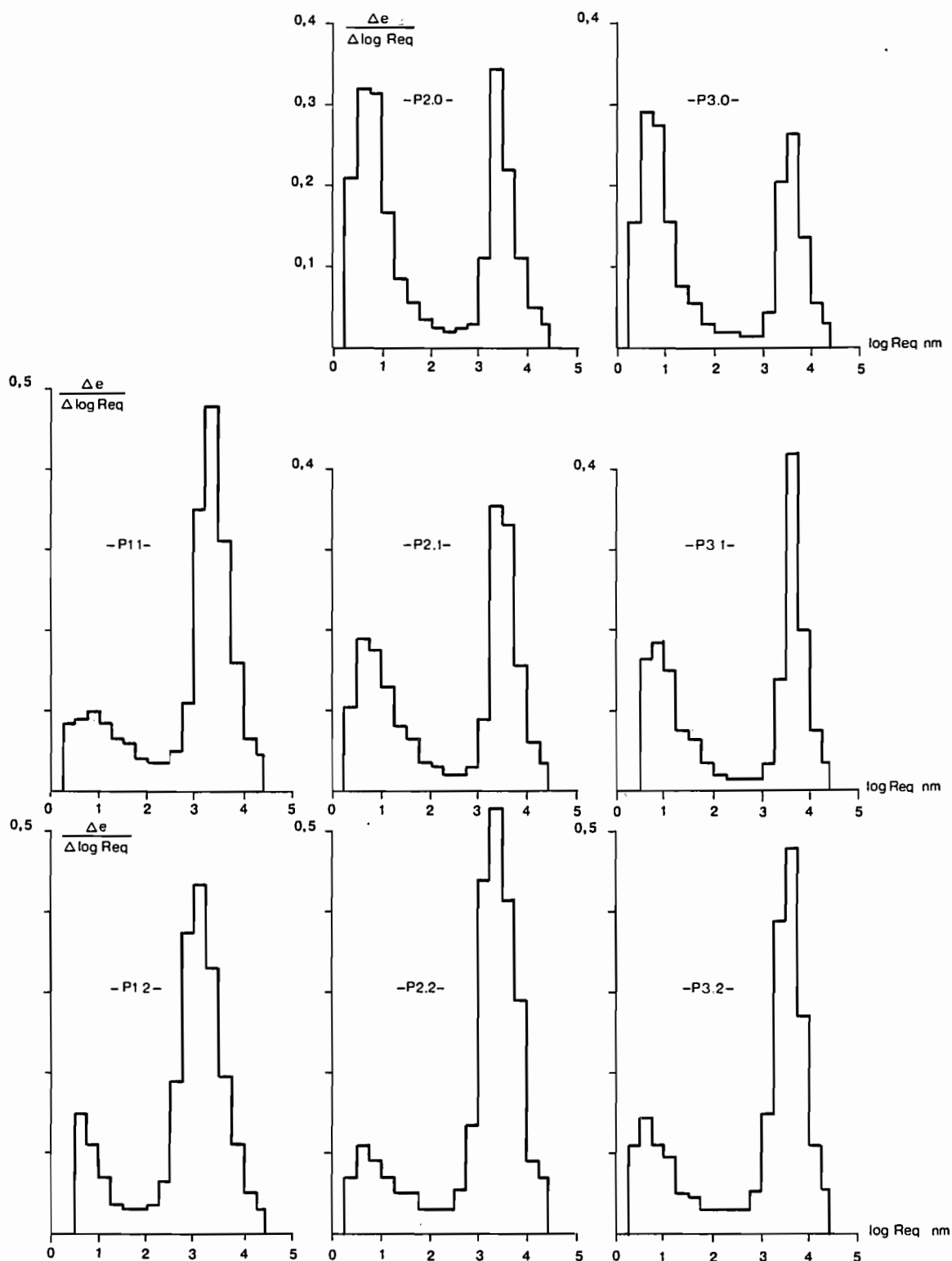


Figure 34 : Distribution de l'indice de vide en fonction du rayon équivalent des pores. Spectres établis par porosimétrie au mercure.

Pour l'ensemble des horizons médians, les trois niveaux de porosité présentent une évolution significative.

Le volume de macropores augmente, avec l'apparition de vides dont le rayon compris entre 480 et 150 m et vraisemblablement un développement des vides de rayon supérieur à 480 m.

Le volume de mésopores reste similaire tout au long de la séquence. Cependant la distribution de la taille des vides devient plus homogène, avec le développement de pores compris entre 150 et 50 m pour P2.1, puis de vides compris entre 1,5 et 0,15 m pour P3.1.

Enfin le volume de micropores diminue, cette diminution ne correspondant qu'à la disparition des vides dont le rayon est compris entre 150 et 15nm, alors que les vides de rayon inférieur restent constants.

Pour les horizons subsuperficiels, le volume de macropores et de mésopores augmente par rapport à l'horizon sous jacent, mais la distribution de la taille de ces vides reste assez similaire. En revanche, dans la classe des micropores on constate une légère diminution du volume des vides de rayon inférieur à 15nm, alors que celui des vides compris entre 150 et 15nm se développe. Pour le point P3.0, ce développement est très important, entraînant ainsi une augmentation du volume de micropores.

### 2.3.3- Etude des courbes porosimétriques.

La figure 34 représente la variation de l'indice de vide pour un pas de 0,25 log Req.

Le spectre poral de tous les échantillons présente un caractère bimodal, avec un mode correspondant aux micropores et un mode correspondant aux mésopores grossiers. Au long de la séquence on constate une évolution progressive de ces différents modes.

Pour le sommet du manteau d'altération, le mode des micropores est nettement dominant. Latéralement, il devient moins large et son pic correspond à des vides de plus en plus fins ; la variation d'indice de vide la plus importante se décalant de 0,25 log Req entre chaque point caractérisant cet horizon. Par ailleurs, le mode de mésoporosité grossière s'étale légèrement, avec un pic qui lui aussi se décale de 0,25 log Req vers les pores plus fins.

Pour l'ensemble des horizons médians, on note une évolution latérale du mode des micropores similaire ; il devient plus aigüe et se décale vers les vides de rayon équivalent plus fin. La classe de vide dominante de ce mode étant ainsi la même que celle de l'horizon sous-jacent. Par ailleurs, l'horizon "2bj P" se distingue nettement de l'horizon "bj CS" par l'importance du mode de mésoporosité grossière. Le volume de vide de ce mode est équivalent pour P2.1 et P3.1, il correspond cependant à des vides plus larges pour le second.

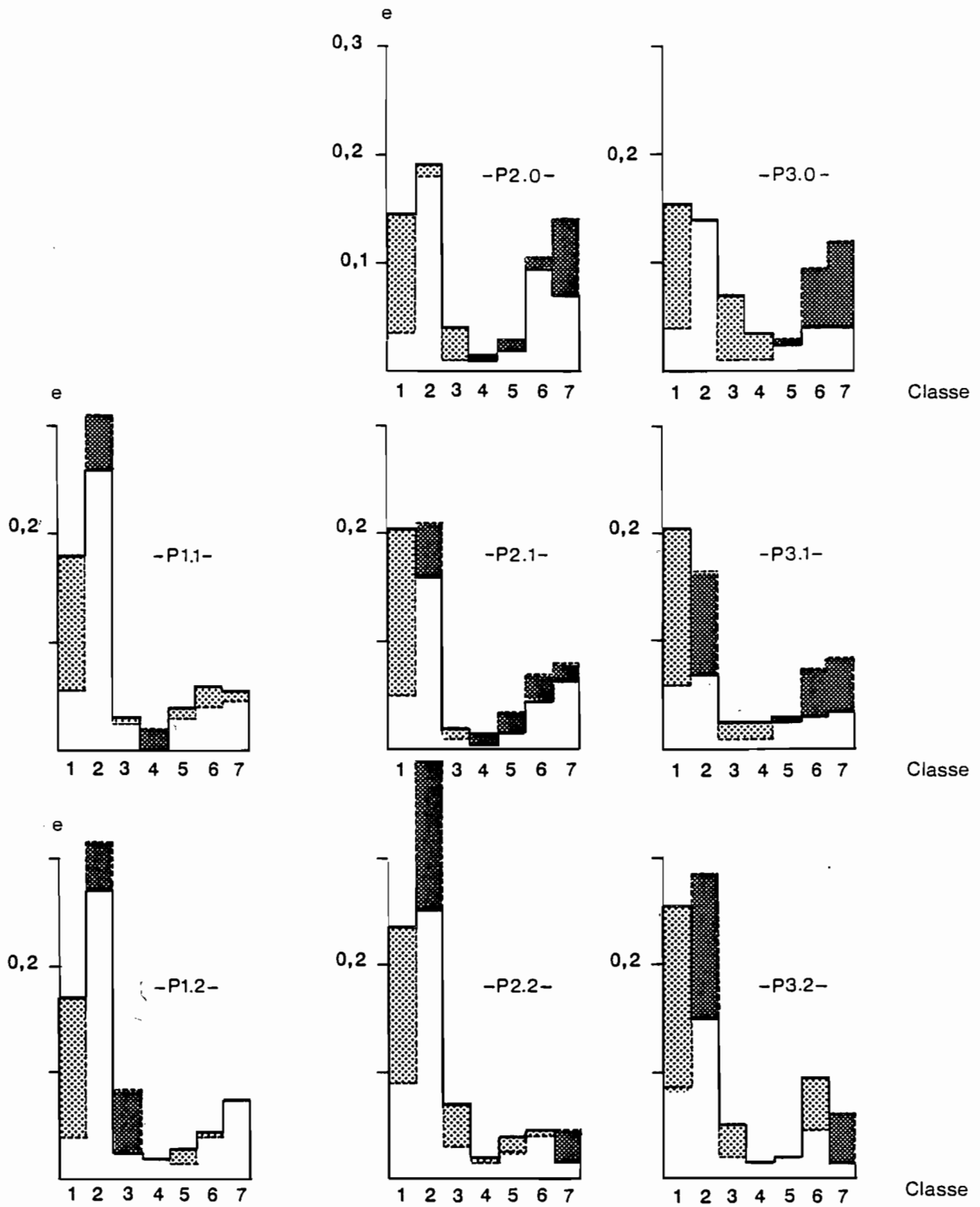


Figure 35 : Comparaison, pour différentes classes de rayon équivalent des pores, de l'indice de vide -mesuré par porosimétrie au mercure (--) -et déduit des courbes de rétention d'eau (-).

Classes :

- 7 = 15 - 50  $\mu\text{m}$
- 6 = 5 - 15  $\mu\text{m}$
- 5 = 1.5 - 5  $\mu\text{m}$
- 4 = 0.5 - 1.5  $\mu\text{m}$
- 3 = 150 - 500 nm
- 2 = 15 - 150 nm
- 1 = 3,8 - 15 nm ( -- )
- 0 = 15 nm ( - )

Pour l'horizon subsuperficiel, les deux modes ont une importance équivalente. Par rapport aux horizon sous-jacents, l'ensemble des classes définissant le mode de la mésoporosité se sont développées ; alors que pour le mode des micropores, on observe une augmentation des classes des vides les plus larges et une diminution de celles des vides les plus fins.

#### 2.3.4- Comparaison des spectres déduits des deux méthodes.

Les tendances de l'évolution du spectre poral que l'on peut mettre en évidence grâce aux courbes porosimétriques, sont donc assez similaires à celles que l'on peut déduire des courbes de rétention d'eau : du profil P1 au profil P3, les microvides deviennent progressivement plus fins au sein des horizons du sommet du manteau d'altération et de l'ensemble médian. Par ailleurs, des vides de large rayon équivalent se développent aussi selon cette direction.

Cependant, des différences importantes des indices de vides correspondant à chacune des classes de porosité, apparaissent entre ces deux méthodes d'étude de l'espace poral (Fig.35). Elles découlent d'une raison essentielle :

La porosimétrie au mercure établit le spectre de distribution des pores pour un état déshydraté. Alors que lorsqu'on établit un spectre poral sur la base des diminutions successives de l'indice d'eau en fonction de la succion matricielle, même si l'on intègre la variation concomitante de l'indice de vide, on compare des volumes de vides où la forme et la distribution des pores peut s'être modifiée.

En effet, les matériaux ne sont jamais strictement rigides lorsqu'ils contiennent des minéraux argileux qui se réorganisent au cours de la dessiccation (comme s'est ici le cas, puisque le retrait des différents matériaux est toujours significatif).

Ainsi, la comparaison des indice de vides mis en évidence par chacune de ces méthodes pour la micro- et la mésoporosité, permet d'appréhender si la géométrie de ces niveaux d'organisations présente une évolution au cours de la dessiccation et quelles sont les caractéristiques de cette évolution.

Pour l'ensemble des points caractérisés (à l'exception des horizons subsuperficiels), l'indice de vides correspondant à la microporosité "grosnière" (15 à 150nm) révélé par la porosimétrie au mercure est toujours supérieur à celui déduit des courbes de rétention. Il semble donc que la dessiccation entraîne une ouverture des constriction délimitant le volume de la microporosité. On notera cependant que cette modification respecte la diminution de la taille modale de ces vides, qui apparait bien pour les deux méthodes.

Par ailleurs, bien qu'une partie de la microporosité très fine (de rayon équivalent inférieur à 3,75 nm) ne soit pas prise en compte par la porosimétrie au mercure, on constate que, pour les matériaux correspondant au domaine intermédiaire (P1.1 et P1.2) et pour l'horizon "2bj P" peu différencié

(P2.1), le volume total de microporosité révélé par la porosimétrie au mercure est très inférieur à celui déduit des courbes de rétention d'eau. Alors que ces volumes sont beaucoup plus proches pour l'horizon du sommet du manteau d'altération du domaine brun-jaune (P2.2 et P3.2) et pour l'horizon "2bj P" nettement différencié (P3.1). Il apparaît donc que pour ces derniers la modification de la géométrie des micropores conserve le volume de cet espace, alors que pour les premiers elle s'accompagne d'un effondrement. On retiendra que cette modification des caractéristiques du retrait des minéraux argileux apparaît au sommet du manteau d'altération dès les marges du domaine brun-jaune, alors que pour l'horizon "2bj P" elle n'apparaît que plus tard au coeur de ce domaine.

En reportant ces considérations aux différences observées pour les horizons subsuperficiels, il semble que pour ceux-ci, l'effondrement de la microporosité s'accompagne aussi d'une ouverture des rayons de constriction, conservant ainsi le volume de micropores de rayon équivalent compris entre 15 et 150 m.

En revanche, les modifications de la géométrie de la mésoporosité semblent caractéristiques de chacun des deux domaines. En effet, pour le domaine intermédiaire, le volume de mésovides fins révélé par la porosimétrie au mercure est plus important que celui déduit des courbes de rétention d'eau, alors que celui des mésovides grossiers est plus faible. Pour le domaine brun-jaune ces différences s'inversent. Il en résulte que pour les matériaux du domaine intermédiaire, la dessiccation semble entraîner une fermeture des rayons de constriction délimitant le volume de la mésoporosité, alors que pour ceux du domaine brun-jaune, les assemblages qui délimitent ce volume poral semblent s'éloigner les uns des autres (à ce niveau d'organisation le retrait présente donc un caractère pseudo rigide).

On retiendra ici, que l'évolution structurale au long de cette séquence de différenciation correspond non seulement à une modification de la distribution de la taille des vides, mais aussi à une modification des caractéristiques du comportement de ces différents niveaux d'organisation. En effet, il apparaît que la déformation de la géométrie de l'espace poral au cours de la dessiccation n'est pas la même pour tous les échantillons, et semble assez caractéristique de chacun des domaines de différenciation.

## 2.4- EVOLUTION DE LA MINERALOGIE DES ARGILES LORS DE LA TRANSFORMATION DES HORIZONS MEDIANS.

L'évolution des caractéristiques du comportement des différents horizons au long de cette séquence, nous amène donc à penser que la transformation structurale coïncide avec une modification de la nature des minéraux argileux. En effet, c'est cet élément qui est l'agent déterminant des caractéristiques du comportement du sol que nous avons examinés ici.

### 2.4.1- Etude des minéraux argileux par les méthodes classiques.

Les minéraux argileux compris dans la fraction granulométrique de diamètre inférieur à 2 m, ont été déterminés au laboratoire de science du sol de l'INRA de Rennes, par diffraction des rayons X (anode au cobalt). Les diagrammes de diffraction des points P1.1 et P3.1 sont reportés sur la figure 36.

Ces diagrammes sont très similaires. Les raies 001 et 002 de la kaolinite sont extrêmement marquées pour les deux points caractérisés. On note cependant une diminution significative de l'indice de cristallinité #, qui passe de 5000 pour P1.1 à 3500 pour P2.1. En plus de ce minéral largement dominant, la raie 100 de la goethite est assez nette pour les deux matériaux, et pour P1.1 il apparaît quelques tout petits pics correspondant à diverses raies des argiles micacées : 001, 002, 110 et 003 (qui se confond avec la raie 120 de la goethite).

Il en résulte que pour ces deux matériaux la quasi totalité de la fraction inférieure à 2 m correspond à de la kaolinite, qui s'associe à une quantité assez faible de goethite.

Par ailleurs, la teneur en kaolinite de la terre fine a été déterminée par analyse thermopondérale au laboratoire de science du sol du CNRA de Versailles.

En comparant les résultats de ces analyses aux résultats de la granulométrie (Tableau VI.3), on constate que pour P1.1 une part importante de la kaolinite se trouve contenue dans des particules de diamètre supérieur à 2 m, alors que pour P3.1, la totalité de la kaolinite est comprise dans cette fraction. Il s'y associe vraisemblablement des oxydes de fer. On notera d'ailleurs que pour P3.1, le rapport de la teneur en oxyde de fer avec la teneur en kaolinite est le double de celui calculé pour P1.1.

# rapport de la hauteur du pic (exprimée en nombre de coup) à sa largeur à mi hauteur (exprimée en 2 théta)

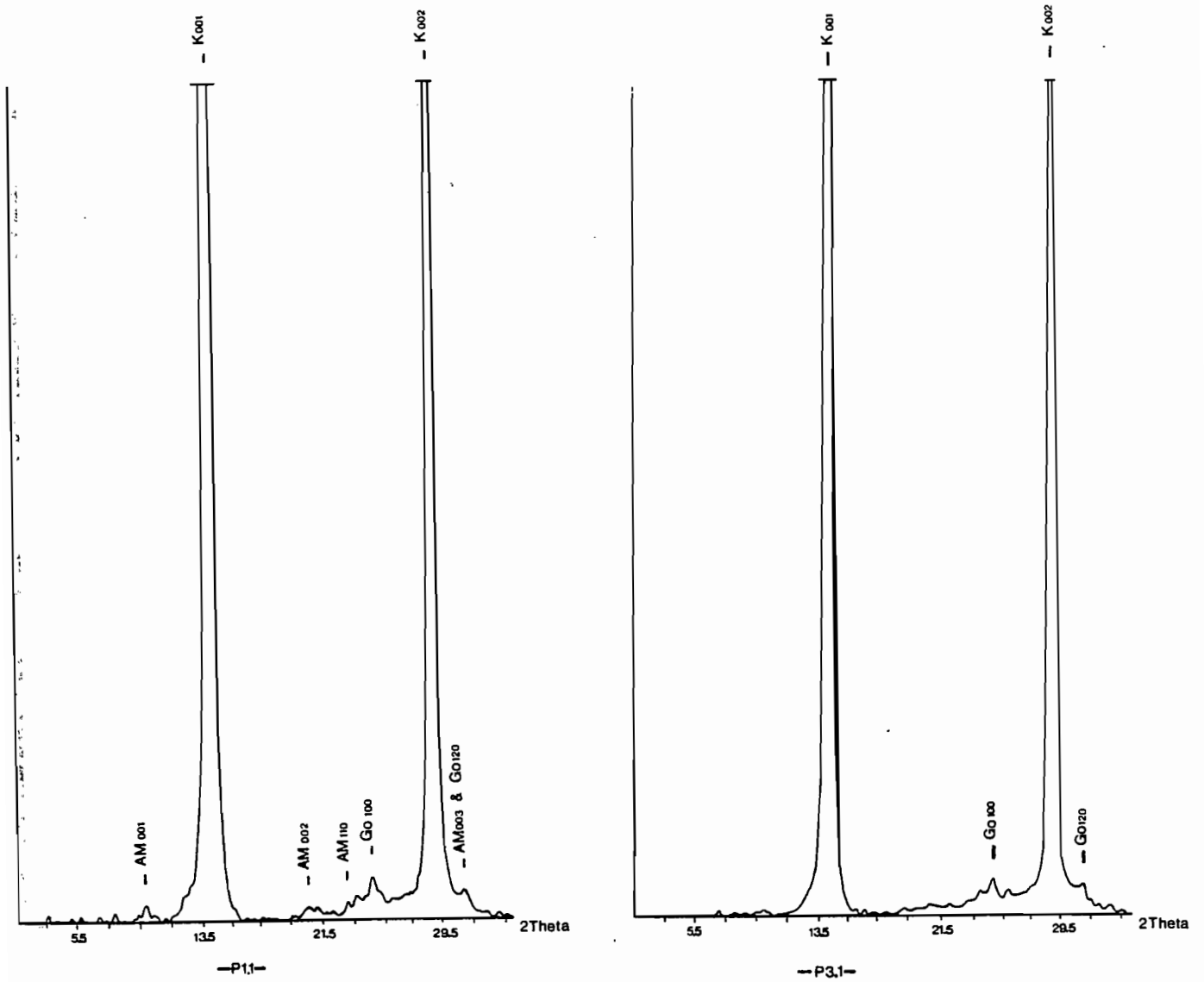


Figure 36 : Spectres de diffraction des rayons X pour la fraction inférieure à 2 m.

	P1.1	P3.1
Fraction < 2 m	27,3	22,1
Teneur en kaolinite	35,5	19,9
Teneur en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,1	2,4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /kaolinite	0,06	0,12

Tableau VI.3 : Teneurs en particules < 2 m, en kaolinite et en oxyde de fer, en % du poids de la terre fine

Nous en déduisons que l'élimination des minéraux argileux au cours de la transformation des horizons de l'ensemble médian coïncide avec une diminution de la taille des particules et avec un phénomène de concentration relative des oxydes de fer important.

Ces aspects de l'évolution des minéraux argileux au cours de la transformation ont été précisés par des observations au M.E.T.

#### 2.4.2- Observation de l'arrangement des minéraux argileux.

L'observation de la micro-organisation de ces deux matériaux a été réalisée en microscopie électronique à transmission au laboratoire de science du sol du CNRA de Versailles. Elle porte sur des échantillons à structure conservée mis à l'équilibre à pF<sub>1,5</sub> et inclus dans une résine (Spurr), selon un protocole décrit par D.TESSIER (1984).

L'organisation générale de P1.1 apparaît sur la photo 1a. Les agrégats sont généralement constitués de fins cristaux (photo 1b), mais on observe aussi quelques empilements de macrocristaux de kaolinite provenant de la pseudomorphose des muscovites héritées. Leur taille est comprise entre 4 et 5 m, atteignant parfois 10 m, et le volume de vide ménagé par leur arrangement est relativement faible.

A plus fort grossissement, on constate que ces agrégats sont constitués de deux types d'entités cristallines qui s'assemblent de façon différente :

- des cristaux rigides et à bords nets (100 à 200 nm de long et 20 à 30 de large), qui s'empilent de façon compacte face contre face (photo 3).

- des cristaux de plus petite taille (environ 100 nm de long et 15 de large), qui présentent un fort contraste aux électrons et des formes irrégulières caractérisées par des plissements nombreux (photo 4). Leur arrangement, généralement par raccordement tangentiel face-face, parfois par contact bord-face, ménage un volume de vide d'assez large diamètre (50 à 100 nm).

Dans ces deux types d'assemblage, les oxydes de fer sont pratiquement absents.

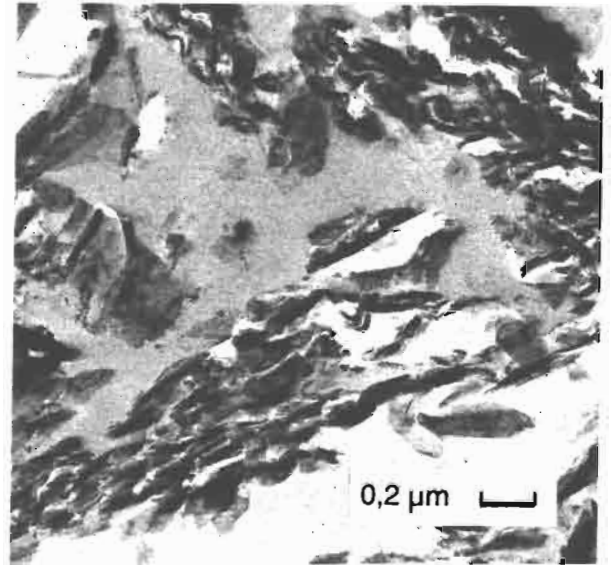


Photo 1 :  
Organisation générale  
de "bj CS" (P1.1)

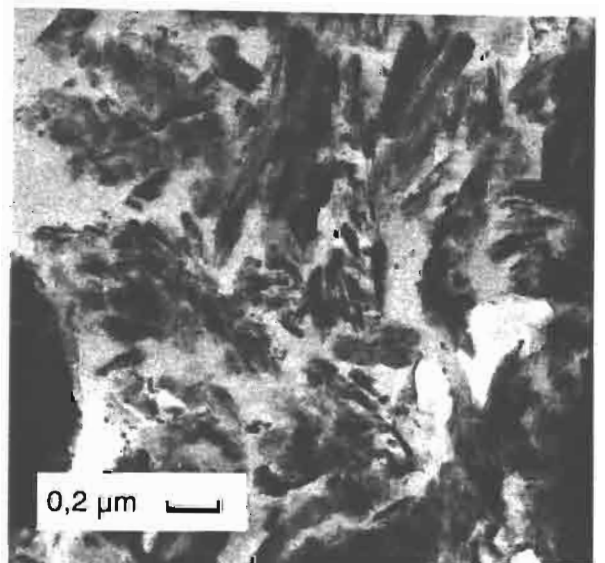


Photo 2 :  
Organisation générale  
de "2bj P" (P3.1)



**Photo 3 :**  
Cristallites de kaolinite rigides,  
s'empilant face à face (P1.1).



**Photo 4 :**  
Cristallites de kaolinite flexueux,  
dont l'organisation par raccordement  
tangential, ménage un volume de vide  
important (P1.1).



**Photo 5 :**  
Cristallites de kaolinite rigides,  
s'empilant face à face (P3.1).

L'organisation générale de P3.1 apparaît sur la photo 2a. Les agrégats correspondent aussi à des assemblages de fins cristaux (photo 2b). Toutefois, leur taille est plus réduite (1 à 2  $\mu$ m) et le volume de vide inter-agrégats est important.

A plus fort grossissement, on observe qu'un seul type de cristallite (photo 5). Ils sont rigides, à bords moins nets que pour P1.1, et de plus petite taille (100 à 50nm de long et 10 nm de large). De plus, ces cristaux sont associés à une quantité importante d'oxydes de fer qui se présentent sous forme d'inclusion.

Les traits essentiels de la modification des minéraux argileux qui se produit ici, ne correspondent donc pas à ce qui ressort habituellement de l'étude de la minéralogie des argiles. En effet, le seul minéral argileux présent au long de cette séquence est la kaolinite. Cependant, ses caractéristiques de forme et d'arrangement évoluent ici d'une façon très significative. La prise en compte de ces critères dans la définition de l'évolution minéralogique au long de cette séquence est donc essentielle.

#### 2.4.3- Conséquences de l'organisation des minéraux argileux sur les propriétés de rétention d'eau.

Ces différences de taille et d'arrangement des cristallites se traduisent par des modifications du comportement au cours de la dessiccation dans le domaine des fortes succions matricielles. En effet, à partir de pF4, l'eau retenue par les différents matériaux se trouve dans des vides dont le rayon équivalent est inférieur à 150nm. Il a été montré, qu'au sein du sol, de tels vides ne peuvent résulter que de l'arrangement des cristallites d'argiles (A.BRUAND et D.TESSIER-1986). Il est donc possible ici de rapporter le volume d'eau retenu par les mottes aux fortes contraintes à la partie du volume de solide qui correspond à la kaolinite. Les valeurs de ce nouvel indice d'eau sont reportées dans le tableau VI.4.

	P1.1	P3.1
pF4	1,23	1,50
pF5	0,50	1,12
pF6	0,04	0,08

Tableau VI.4 : Indice d'eau de la kaolinite en fonction du potentiel de l'eau.

On constate ainsi que le volume d'eau retenu par les cristallites de kaolinite est toujours plus important pour P3.1 que pour P1.1.

Par ailleurs, pour P1.1, 60% du volume des vides ménagé par l'assemblage des cristallites se vidange entre pF4 et pF5. Ces vides de taille équivalente comprise entre 150 et 15 nm, correspondent pour la majeure partie à l'assemblage lâche des kaolinites flexueuses et dans une moindre mesure à l'assemblage compact des cristallites de kaolinite rigides les plus larges. Le volume de vide qui se vidange entre pF5 et pF6 est plus faible. Il correspond bien à un assemblage compact de cristallite rigide d'assez grande taille (D.TESSIER-1984). Enfin le faible indice d'eau à pF6 est révélateur de la faible surface développée par ces cristaux. En effet, pour les kaolinite et à ce potentiel très élevé, l'eau ne correspond plus qu'à une couche monomoléculaire recouvrant la surface des cristallites (D.TESSIER-1989).

Pour P3.1, les cristallites restent fortement hydratés jusqu'à pF5. En effet, les cristaux sont plus fins et leur assemblage compact ménage donc un volume de vide supérieur à celui de P1.1. Cependant, leur taille équivalente est plus faible (comprise entre 15 et 1,5 nm). De plus pour un même volume de solide, la surface développée par ces petits cristaux est plus grande, comme le révèle l'indice d'eau à pF6 deux fois plus important que pour P1.1. Ce qui conduit à estimer que leur surface est deux fois plus grande.

## 2.5- CONCLUSION.

Ces deux horizons caractéristiques de chacun des domaines de différenciation sont donc le siège de processus d'évolution des argiles différents :

(i)- Dans l'horizon "bj CS" les cristallites de kaolinites sont de grande taille et s'associent dans des unités polycristallines dont la cohésion ne semble pas assurée les oxydes de fer, mais plutôt par les forces de tension superficielles pour les cristallites rigides et par des forces d'interaction à courte distance de grande énergie pour les cristallites flexueux. Ces derniers correspondent vraisemblablement aux premiers stades d'une paragenèse d'halloysite dans ce milieu qui, comme on l'a vu, peut présenter une forte hydratation pendant des périodes prolongées.

(ii)- Dans l'horizon "2bj P", ces cristallites ont disparu du fait d'un pédoclimat où les conditions de leur formation ne sont plus réunies. En effet, du fait de l'importance du squelette quartzeux, la dissolution et l'élimination d'une partie importante de la kaolinite, qui nous est révélée par la diminution de taille des cristallites et par la morphologie corrodée de leur bords, entraîne un rapprochement de ces grains, qui forme alors une charpente rigide où la macro et la mésoporosité se développe. L'observation nous indique aussi que ce processus de dissolution et de réduction de la taille de la kaolinite coïncide avec une association plus nette avec les oxydes de fer.

Le développement d'une macroporosité (où les écoulements hydriques verticaux peuvent se produire) est, comme cela a déjà été établi, l'une des caractéristiques majeures de la différenciation structurale qui conduit du domaine intermédiaire au domaine brun-jaune.

Toutefois, les processus essentiels pour la compréhension de la pédogénèse, apparaissent à des niveaux plus fins qui ne pouvaient être révélés par les études menées dans les chapitres précédents.

En effet ces processus concernent, d'une part, la mésoporosité, dont le rôle dans les fluctuations de l'état d'humectation des différents matériaux au cours de l'année semble primordial et d'autre part les minéraux argileux, dont l'évolution, comme on vient de le voir, semble ici gouverner l'ensemble des différenciation qui se produisent à des niveaux d'organisation plus élevés (cas le cas étudié en détail, c'est à dire celui des horizons médians de l'interface domaine intermédiaire, domaine brun-jaune).

\*

\* \*

**TROISIEME PARTIE.**  
**EVOLUTION DU PAYSAGE ET SYNTHESE DES PROCESSUS**  
**MAJEURS MIS EN JEU DANS LA DIFFERENCIATION**  
**LATERALE DE LA COUVERTURE DE SOL ETUDIEE.**

CHAPITRE VII.  
ETUDE DE L'EXTENSION TRIDIMENSIONNELLE DES  
DOMAINES DE DIFFERENCIATION.

Au cours des chapitres précédents nous avons mis en évidence, le long d'une séquence bidimensionnelle, trois grands domaines de différenciation dont les caractères morphologiques coïncident avec des processus pédogénétiques de nature différente. Nous nous proposons d'examiner à présent l'extension de ces différents domaines au niveau de l'ensemble du bassin versant. Pour cela nous utiliserons une carte où sont représentées les projections sur le plan horizontal des limites d'apparition ou de disparition de certains caractères morphologiques spécifiques de ces différents domaines.

1- CHOIX DES COURBES D'ISODIFFERENCIATION.

L'extension de chacun des horizons définis au cours de l'étude morphologique a été repérée à la tarière au long de transects, dont le plan est représenté sur la figure 37.

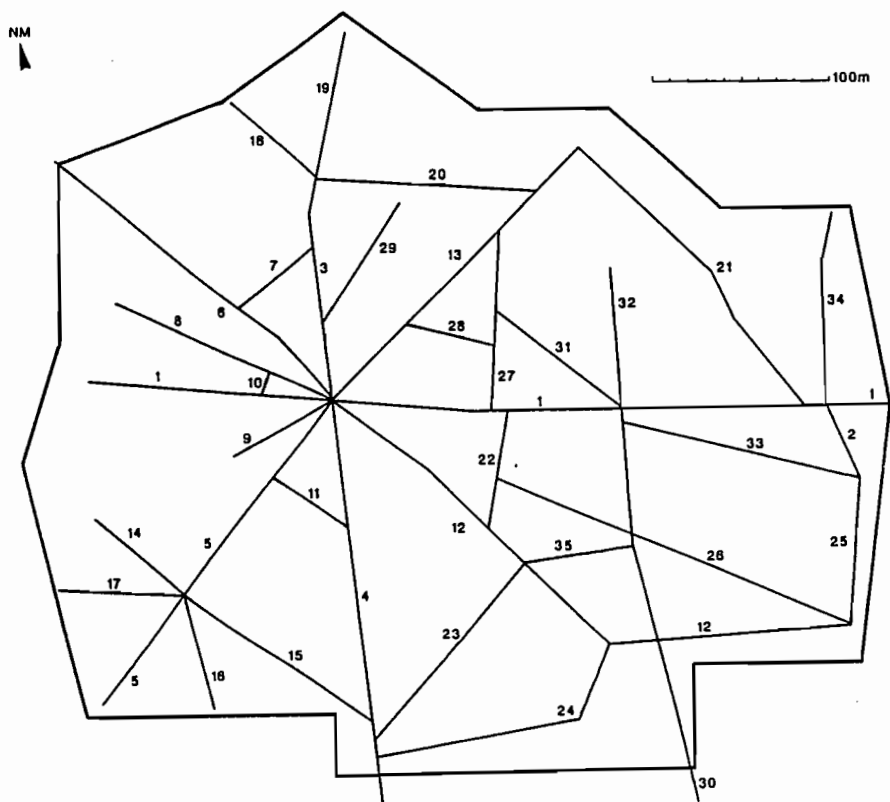


Figure 37 : Plan de layonage du site étudié.

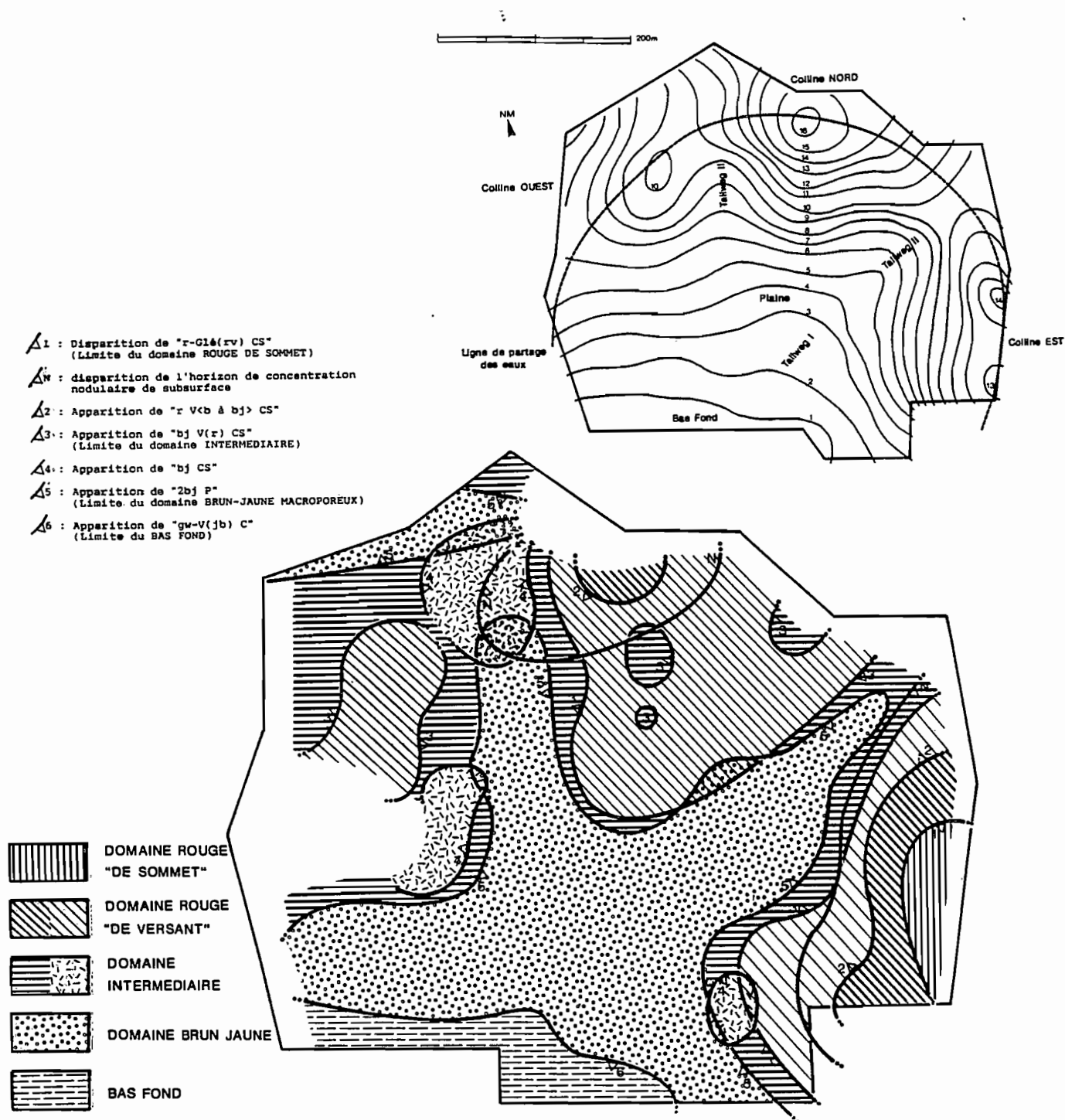


Figure 38 : Représentation en plan de l'extension des différenciations majeures de la couverture de sol.

La carte en courbes d'isodifférenciation qui en résulte est extrêmement complexe, constituant beaucoup plus un document de travail en vue de l'analyse pédologique, qu'une représentation de type cartographique.

Nous avons donc choisi de sélectionner certaines courbes, afin de rendre compte des traits majeurs de la différenciation de la couverture pédologique (Fig.38) :

\* La courbe 1 correspond à la disparition de l'horizon "r-Glé(rv) CS". C'est à dire à la disparition d'une séquence continue d'alimentation de l'horizon de concentration nodulaire de subsurface. Elle délimite donc le "domaine rouge du sommet".

\* Par ailleurs, la courbe N, correspondant à la disparition de cet horizon nodulaire a aussi été reportée.

\* Les courbes 2, 3 et 4, jalonnent la dérubéfaction de l'horizon "r CS" du "domaine rouge de versant". Elles correspondent respectivement à l'apparition des horizons "r V(b à bj) CS", "bj V(r) CS" et "bj CS". Vis à vis de l'extension respective du "domaine rouge de versant" et du "domaine intermédiaire", on peut considérer que la limite se situe au niveau de la courbe 3, c'est à dire là où la phase brun-jaune devient largement dominante par rapport à la phase rouge. En effet, on signalera ici que sur l'ensemble des transects étudiés, la disparition de "r CS" précède toujours d'environ une dizaine de mètres l'apparition de l'horizon "bj V(r) CS", définissant ainsi une courbe d'isodifférenciation circonscrite et parallèle à la courbe 3. On ne sous estime donc que très légèrement, et de façon constante, l'extension du "domaine intermédiaire" par rapport au "domaine rouge de versant" en se référant à cette dernière.

\* La courbe 5 correspond à l'apparition de l'horizon "2bj P". Elle délimite l'extension du "domaine brun-jaune macroporeux".

\* Enfin, la courbe 6 correspond à l'apparition de l'horizon "gw-V(jb) C". Elle a été retenue, afin de délimiter l'extension des différenciations hydromorphes liées au bas fond.

Sur la figure 38, un sigle indique le coté où la différenciation apparaît.

## 2- DISPOSITION DES COURBES ET RELATIONS AVEC LE MODELE.

2.1- Les courbes 1, 2 et 3, nous montrent que les trois collines délimitant ce bassin versant ne présentent pas le même stade de différenciation :

\* Du sommet à la base de la colline située à l'est de la zone, on observe la succession des courbes 1, 2 puis 3 ; délimitant respectivement le "domaine rouge de sommet", le "domaine rouge de versant" et le "domaine intermédiaire".

On note toutefois que la distance entre les courbes 2 et 3 peut devenir très réduite. Il en résulte que les divers stades de la différenciation morphologique qui sont associés au processus de déferrification (apparition, puis dévelop

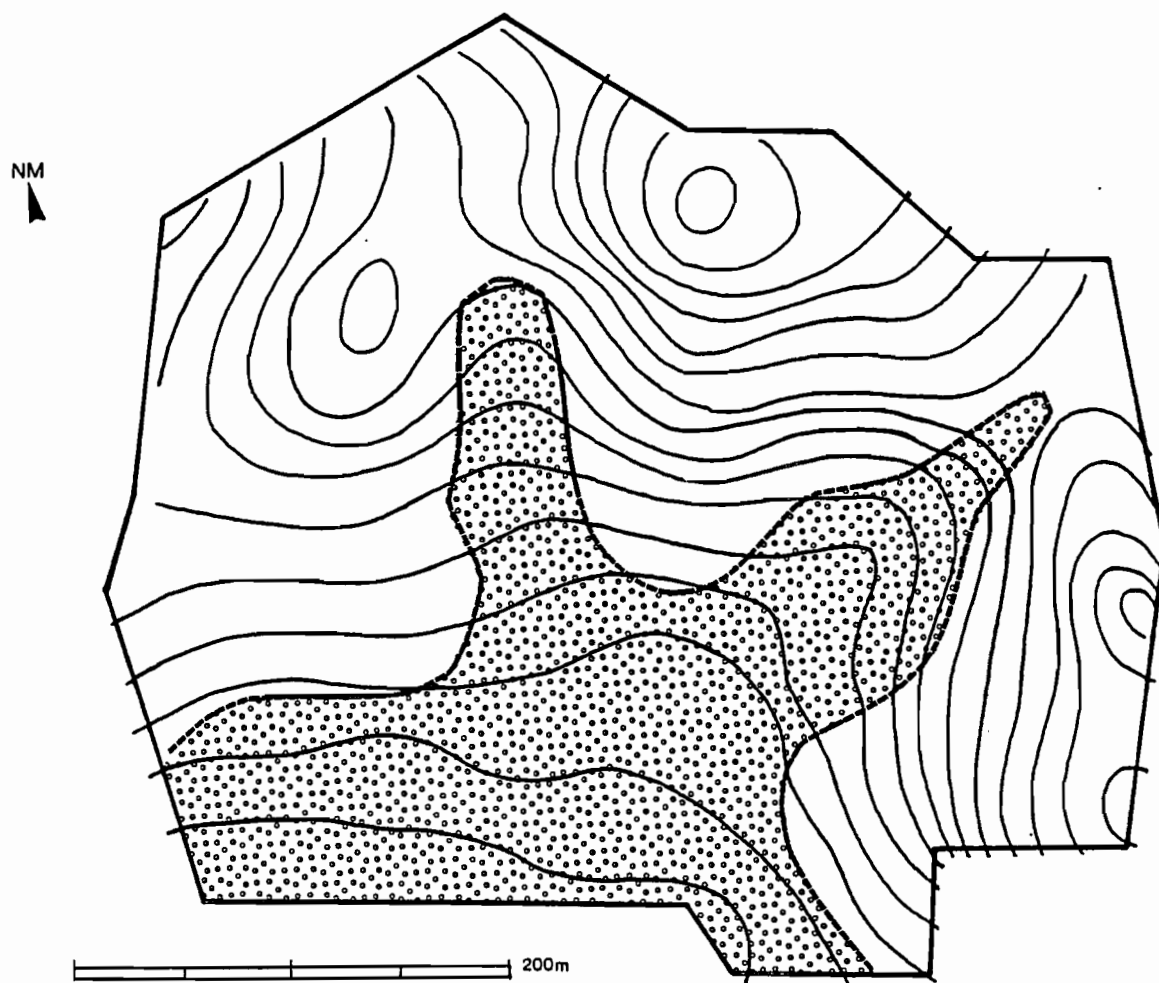


Figure 39 : Relation entre l'extension de l'horizon "2bj P" et la forme du modelé.

pement de la phase brun-jaune) peuvent localement se succéder très rapidement le long du versant de cette colline.

Cette discordance entre la disposition des courbes d'isodifférenciation 2 et 3 et celle des courbes isohypses, montre que l'ensemble des processus qui contribuent au phénomène de dérubéfaction ne se succèdent pas de façon uniforme sur l'ensemble du versant.

\* Pour la colline située au nord, la courbe 1 a disparu.

Pourtant un horizon de concentration nodulaire est toujours présent. Celui ci montre qu'il préexistait un horizon "r-Glé(rv) CS" (caractéristique du "domaine rouge de sommet"), mais que ce dernier a aujourd'hui disparu. En conséquence, le "domaine rouge de versant" de la colline précédente se retrouve donc ici au sommet.

De plus, il ne subsiste qu'une petite zone où la déferrification dérubiante ne se surimpose pas aux organisations de ce domaine rouge.

Par ailleurs, on note ici que la zone de transformation délimité par les courbes 2 et 3, présente une nette dissymétrie. Elle est très courte à l'ouest de la colline (les courbes se succédant rapidement) et beaucoup plus étendue au sud-est. Cependant, au sein de cette vaste zone, on observe de petits domaines fermés (délimités par la courbe 3) où les processus de déferrification s'accroissent nettement.

Il apparaît donc ici que, lorsque le domaine de transformation s'étend, le développement de la déferrification n'est plus strictement lié au pied de la colline. Il peut aussi apparaître au sein de petits domaines bien circonscrits au milieu du versant.

\* Enfin, seule la courbe 3 délimite la colline située à l'ouest du bassin versant. La différenciation brun-jaune se surimpose pratiquement à la totalité de l'épaisseur des horizons médians du "domaine rouge de versant".

Par ailleurs, le relief de cette colline devient nettement avachi.

Il semble donc que la succession de ces deux premières différenciations soit un facteur important de l'évolution du relief, car il tend à avachir la forme du modelé collinaire.

On notera toutefois que la colline située au nord culmine légèrement plus haut que celle située à l'est, alors que sa transformation semble plus avancée. Il en résulte que le critère géomorphologique ne peut pas à lui seul renseigner sur l'état d'évolution de la transformation d'une colline. Une observation du domaine auquel se rattache le sommet de la colline est aussi nécessaire.

2.2- La relation entre la forme de la courbe 5 et la topographie est tout à fait remarquable. En effet, cette courbe présente une forme digitée qui coïncide strictement avec les talwegs (Fig.39).

Il apparaît donc que ce front de transformation progresse selon des axes préférentiels correspondant à des zones qui concentrent les écoulements hydriques de surface.

Il est d'ailleurs très probable, qu'en retour, ce phénomène marque encore plus profondément les talwegs ; accentuant ainsi lui même les conditions favorables à sa progression au sein de cette facette du modelé.

2.3- La disposition des courbes 3, 4 et 5 nous indique que dans certaines zones du "domaine intermédiaire", la dérubéfaction peut se poursuivre sans que la macroporosité ne se développe, conduisant ainsi à la différenciation de l'horizon "bj CS" (courbe 4). Dans ces conditions l'horizon "2bj P" (courbe 5) s'insère en coin à la base de l'horizon "bj CS", alors que partout ailleurs il se développe à partir du sommet du sol.

Il existe donc deux géométries distinctes caractérisant les marges du domaines brun-jaune (interface en biseau supérieur et interface en coin). Les processus en jeu au niveau de ces deux types d'interfaces pourraient être différents. Mais il semble plus vraisemblable que les processus élémentaires soient les mêmes et que ce ne soit que leur dynamique de propagation qui diffère selon le degré de transformation des matériaux auxquels ils s'appliquent (comme s'est souvent le cas dans les "système de transformation").#

La progression moins rapide du front de développement de la macroporosité (c'est à dire de l'horizon "2bj P") et l'extention corrélative du domaine intermédiaire, conduisant à la différenciation de l'horizon "bj CS", semble se rattacher directement à une diminution de l'impluvium.

En effet, l'horizon "bj CS" se localise dans des zones de faible pente qui ne reçoivent que peu d'eau des parties situées à l'amont. Généralement parce que ces reliefs sont peu importants (colline avachie par la transformation très avancée du domaine rouge ou situation de col).

A l'inverse, dans les zones où l'impluvium est plus important (à la base de la colline nord, entre les deux tallwegs secondaires), l'horizon "2bj P" apparait avant que la dérubéfaction de l'ensemble des horizons médians n'ait atteint son terme.

Le cas du domaine fermé de la base de la colline Est s'incrit en défaut par rapport à cette hypothèse générale. Cependant, il est possible qu'un tallweg secondaire peu marqué (identifiable grâce à la forme de la courbe 5 mais non sur la base des isohypses), détourne ici aussi une grande part des écoulements de surface vers le tallweg principal, "shuntant" ainsi cette zone particulière.

# Seule la seconde interface a été étudiée en détail dans le chapitre précédent. En effet, elle permettait de fixer le paramètre coloration (couleur "bj" constante) pour n'étudier que les modifications de structure (on passe de "CS" à "P").

Au total, il semble donc que la dérubéfaction (et donc une élimination importante des oxydes de fer) soit un préalable nécessaire à la mise en place des processus régissant le développement de la macroporosité (il s'effectue toujours au sein de la seule phase brun-jaune).

Toutefois, la disposition souvent discordante des courbes 3, 4 et 5, nous indique que la dynamique relative de ces deux processus (dérubéfaction, porogénèse) n'est pas identique en tout point du bassin versant.

Par ailleurs, il apparaît aussi que la porogénèse se propage selon deux géométries distinctes. Il semble toutefois assez peu probable que les mécanismes en jeu au cours de la porogénèse puissent être de deux natures différentes selon l'orientation de l'interface

2.4- Enfin, on notera que la courbe 2 est strictement incluse dans le domaine délimité par la courbe N. Les processus de dérubéfaction apparaissent donc toujours alors que l'horizon nodulaire est encore présent.

Il en résulte que le processus d'élimination de matière à la base de cet horizon, coïncide avec la mise en place de conditions favorables à la dérubéfaction.

Cependant, la courbe N peut recouper l'ensemble des courbes 3, 4 et 5.

Il semble donc que la disparition des nodules relève d'un mécanisme relativement lent, qui lui ne coïncide pas avec la dynamique de développement des différenciations étudiées plus haut.

### 3- CONCLUSION.

L'étude de ces courbes d'isodifférenciation et leur confrontation avec la topographie, nous permet donc de proposer un modèle de progression des principales différenciations de cette couverture pédologique, à savoir :

(i)- l'horizon "r CS" du domaine rouge de versant, qui correspond à la reprise de la pédoplasation des horizons du manteau d'altération.

(ii)- La séquence des horizons dérubiés du domaine intermédiaire, qui correspond à une déferrification des horizons du domaine précédent.

(iii)- L'horizon "2bj P" du domaine brun-jaune macroporeux, qui correspond à une élimination importante des constituants argileux.

Les trois étapes majeures de cette évolution, observées au niveau de ce bassin versant, sont représentées sur la figure 40.

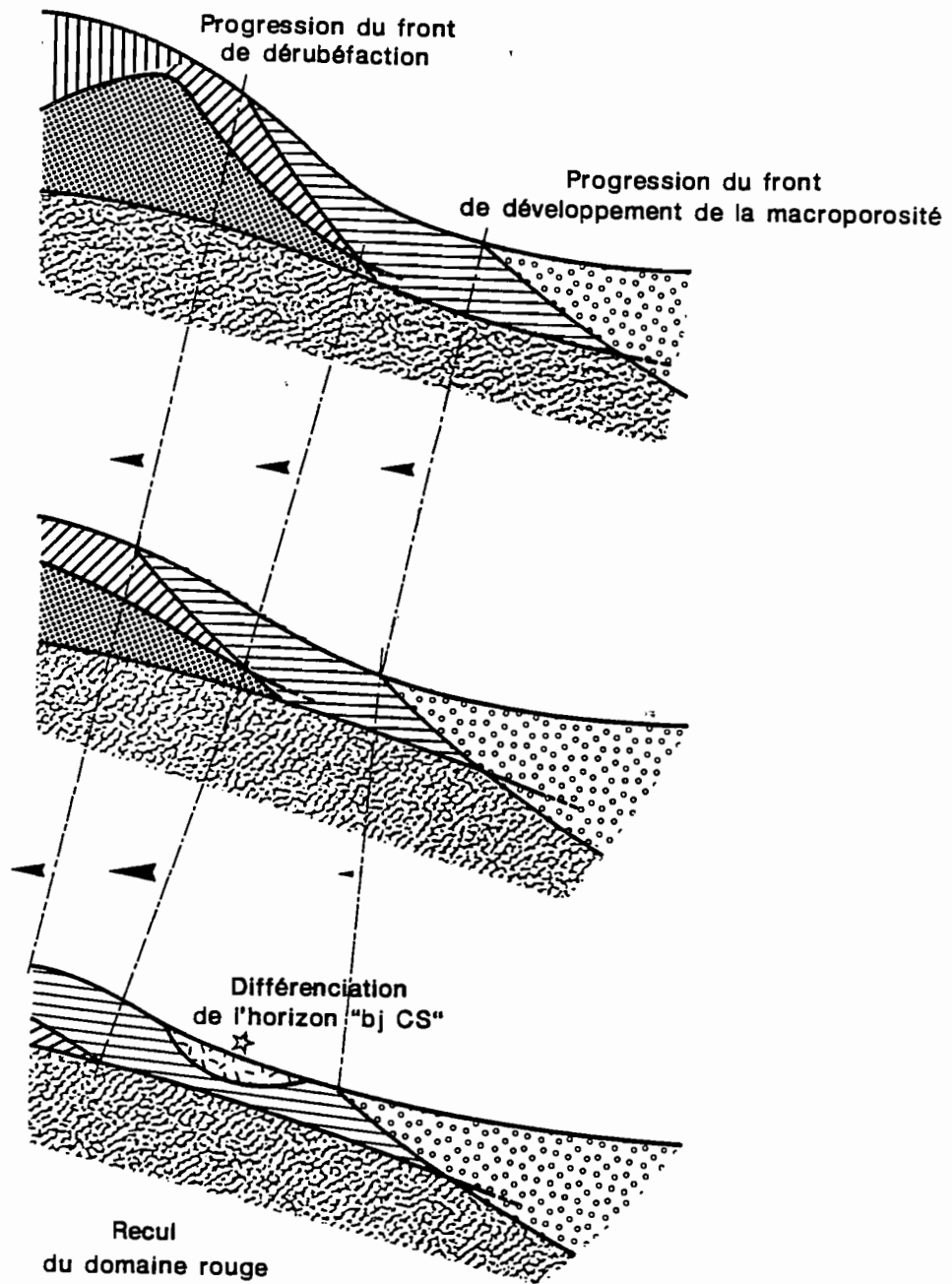


Figure 40 : Modèle de l'évolution du paysage et du développement corrélatif des principales différenciations de la couverture de sol

1- Le premier stade correspond à la colline de l'est. L'ensemble des domaines de différenciation y est encore présent.

2- Le second stade correspond à la colline du nord. Le "domaine rouge de sommet" a disparu, alors que la dérubéfaction s'est étendue au dépens du "domaine rouge de versant". Le relief s'est avachit, mais la surface de l'impluvium dont les écoulements sont concentrés au niveau du domaine brun-jaune reste importante. Ainsi, le front de transformation qui correspond au développement de la macroporosité continue à progresser de façon notable.

3- Le troisième stade correspond à la colline de l'ouest. Le "domaine rouge" est pratiquement entièrement dérubéfié. La surface de l'impluvium devenant plus restreinte le développement du domaine brun-jaune macroporeux se ralentit. Par contre, la dérubéfaction se poursuit, conduisant ainsi à la différenciation d'un nouvel horizon brun-jaune homogène où la macroporosité est faible.

Toutefois, même si elle est plus lente la progression de l'horizon "2bj P" se poursuit bien, car il s'insère en coin à la base de ce dernier horizon.

Il apparaît donc que l'évolution pédologique coïncide avec une transformation progressive de la forme du modelé. Il semble même que ces deux traits de la transformation des formations superficielles de ce milieu, évoluent de façon concomitante.

\*  
\* \*



CHAPITRE VIII.  
CONVERGENCES ET ORIGINALITES DE LA COUVERTURE  
PEDOLOGIQUE DE LA REGION DE SAINT LAURENT DU  
MARONI PAR RAPPORT AUX AUTRES SYSTEMES DE  
TRANSFORMATION DE GUYANE FRANÇAISE.

La couverture pédologique de cette région de Saint Laurent du Maroni constitue un système de transformation où un ensemble de différenciations se relayent progressivement au long du versant. Elle se développe sur un substrat uniforme qui correspond à une isaltérite résultant de l'altération allitique d'une roche migmatique. L'examen des différenciations, nous a amené à définir des grands domaines qui jalonnent la variabilité de la couverture pédologique. Dans ce dernier chapitre nous passerons en revue leur caractéristiques majeures et nous les replacerons dans le cadre des systèmes de transformations mis en évidence sur le socle cristallin en Guyane Française. Puis nous tenterons d'établir les enseignements généraux qui en ressortent pour la caractérisation des systèmes de transformation du domaine ferrallitique intertropical.

1- PROCESSUS PEDOGENETIQUES MAJEURS CONDUISANT A LA  
DIFFERENCIATION ACTUELLE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

1.1- domaine rouge de sommet.

Ce domaine présente deux caractéristiques majeures :

- D'une part, il comporte un horizon où des volumes lithorelictuels fortement ferruginisés sont conservés au sein d'un fond matriciel pédoplasme argilo-ferrugineux. Vers le sommet du sol, les lithoreliques s'indurent et se concentrent aux dépens du fond matriciel meuble, conduisant ainsi à la différenciation d'un horizon nodulaire subsuperficiel. L'absence de traits pédologiques démonstratifs d'une migration de particules solides en suspension, nous amène à penser que le plasma argilo-ferrugineux est hydrolysé et exporté en solution. Ce mécanisme ne correspond donc pas à une éluviation vraie.

- D'autre part, la base de l'horizon nodulaire comporte de larges chenaux qui forment un réseau d'orientation horizontale. En revanche, dans l'horizon sous-jacent, les vides où les écoulements hydriques peuvent s'effectuer rapidement sont très peu abondants. Cette discontinuité structurale induit une dynamique hydrique principalement latérale ; une grande partie de l'eau reçue par ces sols étant ainsi exportée au niveau de l'horizon nodulaire.

Il en résulte que le volume d'eau pouvant actuellement participer à la pédogénèse du manteau d'altération est très réduit. On peut donc considérer que seule la partie supérieure

du sol, qui comprend les horizons organiques et l'horizon nodulaire, est réellement fonctionnelle. Le processus de destruction des constituants qui y siège entraîne une remontée progressive du toit du manteau d'altération par rapport à la surface topographique, conduisant ainsi à la différenciation d'un "altérosol".

Ces caractéristiques nous permettent de rattacher ce sol à un système de transformation très fréquent en Guyane Française. Il a été étudié en détail dans une région plus orientale, sur le site d'ECEREX (E.FRITSCH-1979, R.BOULET-1981). Nous retiendrons simplement ici qu'il consiste en la destruction à partir son sommet d'un sol ferrallitique comportant un épais horizon microagrégé, conduisant ainsi à la différenciation d'un sol analogue à celui qui caractérise le "domaine rouge de sommet".

Le "domaine rouge de sommet" correspond donc à un stade très évolué de ce système de transformation, où seule une relique de ces sols ferrallitiques qui se développaient antérieurement, est encore présente.

#### 1.2- domaine rouge de versant.

ce domaine se distingue du précédent par un horizon rouge homogène qui se développe très progressivement aux dépens du sommet du manteau d'altération. Cet horizon est généralement surmonté par l'horizon nodulaire du domaine précédent, dont on a pu démontrer l'autochtonie. Pourtant, il ne contient pas les lithoreliques ferruginisées susceptibles de l'alimenter. Il apparaît donc ici une discordance au sein de la séquence verticale des organisations. Cette discordance nous permet d'établir deux conclusions :

- d'une part, la différenciation de ce nouvel horizon est postérieure aux processus qui conduisent à la différenciation actuelle du "domaine rouge de sommet".

- d'autre part, elle montre que les mécanismes de cette pédogénèse plus récente, sont différents de ceux qui siégeaient lors de la différenciation du sol initial (l'oxisol microagrégé dont il ne reste qu'une relique correspondant au "domaine rouge de sommet").

Cette réapparition d'une pédoplasation du manteau d'altération coïncide avec la remontée de ce matériau par rapport à la surface topographique. Il apparaît donc que, dans le contexte pédoclimatique induit par la circulation latérale de l'eau au sein de l'horizon nodulaire, les constituants argileux du manteau d'altération sont susceptibles de se transformer, alors que ceux des fonds matriciels pédoturbés du "domaine rouge de sommet" sont hydrolysés. Cette différence de comportement se rattache vraisemblablement en partie à la taille des constituants argileux, bien plus importante au sein du manteau d'altération. Il est aussi probable que la dynamique hydrique du versant soit légèrement différente de celle du sommet, même si sa caractéristique essentielle reste bien un écoulement latéral subsuperficiel important.

### 1.3- Domaine intermédiaire.

Ce domaine se caractérise par la succession d'un ensemble d'horizons présentant un gradient de dérubéfaction ordonné qui s'accroît au long du versant. Il a été montré que cette différenciation correspond principalement à une déferrification des matériaux du domaine rouge précédent. La dérubéfaction se développe systématiquement à partir de la base de l'horizon nodulaire puis gagne progressivement le sommet du manteau d'altération. Son développement coïncide avec l'apparition de fortes orientations plasmiques bimasépiques.

L'apparition de cette différenciation peut se rattacher aux caractéristiques géochimiques très particulières des eaux qui circulent latéralement au sein des horizons nodulaires subsuperficiels. En effet, il a été montré (C.GRIMALDI-1988) qu'une forte nitrification des composés organiques en solution se produit à ce niveau, avec une importante production d'ions  $\text{NO}_3^-$  et d'ions  $\text{H}^+$ . Pourtant, celle-ci ne s'accompagne pas d'une acidification, le pH pouvant même parfois être supérieur à 6. Ceci provient du fait que les protons produits sont utilisés pour réduire les ions ferriques contenus dans les nodules et/ou dans le fond matriciel ferrugineux. Dans cet état le fer devient mobile et peut être entraîné du fait de l'important drainage externe de ces sols.

Cependant, si l'initiation du processus de dérubéfaction peut être interprétée de la sorte, d'autres mécanismes semblent devoir être pris en compte pour expliciter l'ensemble du phénomène. En effet, l'étude tridimensionnelle montre que l'horizon nodulaire peut disparaître avant que la dérubéfaction n'ait atteint un stade très avancé. En outre, l'orientation du plasma, qui résulte de contraintes mécaniques apparaissant lors des phénomènes de retrait-gonflement des constituants argileux, montre que ces matériaux subissent des alternances d'humectation et de dessiccation. Il apparaît donc que la transformation "déferrifiante" entraîne aussi une modification du régime hydrique saisonnier. Ainsi, des conditions géochimiques réductrices favorables à une mobilisation des oxydes de fer peuvent apparaître à certaines périodes. Le phénomène étant enclenché, il peut donc se développer sans qu'interviennent les processus liés à l'évolution des molécules organiques dans les eaux de circulation latérale. En conséquence, cette transformation semble pouvoir se propager du seul fait de la modification du contexte pédoclimatique qui résulte de son apparition.

### 1.4- Domaine brun-jaune

Ce domaine se caractérise par la présence d'un épais horizon brun-jaune à forte macroporosité. Cette porogénèse consiste en une élimination importante des minéraux argileux. Il en résulte un rapprochement des grains de quartz constituant le squelette de ces matériaux. Ils deviennent ainsi progressivement jointifs, définissant alors une charpente rigide, au sein de laquelle les vides se développent lorsque la "vidange" de plasma se poursuit. Soulignons qu'il ne s'agit

pas ici d'un départ de particules en suspension dans l'eau, mais d'une dissolution des constituants. Les observations micromorphologiques n'ayant en effet pu montrer la présence de cutane d'illuviation.

Les mécanismes de cette transformation peuvent être appréhendés grâce à l'étude de l'évolution des constituants argileux au niveau de l'interface entre le domaine intermédiaire et le domaine brun-jaune.

Les cristallites de kaolinite évoluent selon deux processus différents, qui coexistent au sein du plasma dérubié du domaine intermédiaire : certains présentent une paragenèse à halloysite, et d'autres une dissolution qui réduit leur taille. Ces deux processus sont compatibles avec un état d'engorgement important au cours de certaines périodes. Par ailleurs, l'augmentation de l'acidité d'échange et une distribution des oxydes de fer plus intimement associée aux cristallites de kaolinite, nous a amené à considérer que la dissolution consiste en un mécanisme de type ferrolyse.

A partir d'un certain seuil de dissolution, l'arrangement de ces cristallites dont la taille diminue, induit des propriétés de rétention d'eau différentes. Cette modification des propriétés hydriques entraîne aussi un changement des conditions géochimiques dans lesquels le matériau évoluait. On quitte ainsi vraisemblablement le domaine de stabilité de l'halloysite et celle-ci se dissout, puis s'élimine à son tour. L'élimination de plasma qui en résulte conduit au développement de la macroporosité.

La forte porosité de cet horizon consiste donc en un assemblage granulaire des grains du squelette, et non, comme c'est généralement le cas en milieu ferrallitique, à la différenciation d'unités micropédiques. Cependant, on soulignera que cet horizon présente bien les caractéristiques minéralogiques d'un horizon oxisque.

Par ailleurs, le changement de la dynamique hydrique qui résulte de cette porogénèse, entraîne la reprise d'un enfoncement de la couverture de sol dans le manteau d'altération. Les modalités de cette nouvelle pédogénèse sont différentes de celles qui présidaient à la formation du sol initial. Rappelons que celui-ci correspondait à un sol ferrallitique comportant un épais horizon à structure microagrégée. Il n'en reste ici que la partie inférieure. Celle-ci nous permet toutefois d'envisager que la transformation du matériau de l'altération allitique primaire était très progressive. Elle conduisait dans un premier temps à une allotérite kaolinitique où une grande partie de l'organisation héritée de la roche était conservée. Puis la diminution de la taille des cristallites de kaolinite résultant de la pédoplasmation occultait graduellement cette disposition initiale.

Au niveau du domaine brun-jaune, la transformation kaolinitique secondaire correspond directement à une pédoplasmation. Cette disparition plus rapide de l'organisation héritée de la roche sous-jacente, peut être rattachée à une augmentation du volume d'eau participant à la pédogénèse.

En effet, l'impluvium situé à l'amont de ce domaine évacue latéralement une grande partie de l'eau qu'il reçoit au cours des averses.

### 1.5- Conclusion.

Le pôle initial de cette couverture pédologique de la région de Saint Laurent du Maroni correspond donc à un stade très avancé de la transformation de couvertures ferrallitiques observée dans une région plus orientale de Guyane Française sur le site d'ECEREX. Toutefois, il apparaît ici que ce stade ne semble pas constituer le terme ultime de ce système de transformation. En effet, des transformations qui correspondent à une évolution ultérieure apparaissent ici. Elles consistent en la succession de processus incongruants de dissolution et d'élimination de matière : dans un premier temps, au sein du domaine intermédiaire, se sont essentiellement les oxydes de fer qui sont exportés, puis dans un second temps l'exportation de matière concerne surtout les constituants argileux, les oxydes de fer résiduels se concentrant à nouveau.

Ainsi, à partir de l'altérosol, résultant de la dégradation d'un oxisol microagrégé, une séquence de mécanismes pédogénétiques s'enchaînant latéralement du seul fait des modifications du contexte pédoclimatique qu'ils induisent, conduit à la différenciation d'un nouvel oxisol. Cette mise en place latérale des conditions nécessaires à la réapparition d'une pédogénèse verticale, constitue l'une des originalités majeures de ce système de transformation. Soulignons encore une fois que le déterminisme de cette évolution se rattache à une dissolution et une exportation considérable des constituants de ces sols ferrallitiques.

## 2- ENSEIGNEMENTS GENERAUX.

L'étude des caractéristiques de la différenciation latérale de cette couverture de sol, nous permet de retirer quelques enseignements généraux concernant les systèmes de transformation qui apparaissent sous ces climats très humides de la zone intertropicale.

### 2.1- Dynamique de la progression des fronts de transformation.

L'examen de différents stades d'évolution de la transformation permet de mettre en évidence une progression latérale effective des différenciations au long des versants. Toutefois, il convient de souligner que ces différenciations induisent ici des conditions internes favorables tant à leur évolution vers un stade plus avancé, qu'à leur enfoncement progressif dans la séquence d'altération initiale. En effet, une dynamique des écoulements hydriques principalement latérale induit ici des transformations qui permettent progressivement le rétablissement d'une dynamique verticale. Ainsi, du fait du volume pluviométrique élevé et du fort potentiel d'altération des eaux qui circulent dans le sol, lorsque que les écoulements verticaux sont à nouveau rendus

possibles, il peut apparaître un important renouvellement du matériau sur lequel s'appliquent les transformations successives. Il en résulte, qu'un volume donné de la couverture pédologique ne passe pas nécessairement par l'ensemble des différenciations qui se succèdent au long du versant. Il peut aussi provenir de la transformation du manteau d'altération sous l'effet de conditions géochimiques qui n'existaient pas antérieurement.

Il apparaît donc que la progression latérale des fronts de transformation est ici intimement liée, et même concomitante, à leur progression verticale. Cette caractéristique distingue nettement ces systèmes de transformation de la zone intertropicale de ceux mis en évidence dans la zone subsaharienne (G.BOCQUIER-1971, R.BOULET-1974, D.NAHON-1976, A.CHAUVEL-1977).

## 2.2- Liaison entre la pédogénèse et la morphogénèse.

Le fort potentiel d'altération des eaux qui circulent dans le sol, est aussi à l'origine d'une élimination de matière considérable au cours de l'évolution pédologique #. Il semble donc clair que la pédogénèse est un facteur important de l'évolution du paysage de ces régions.

Cependant, du fait de l'importance du volume des écoulements latéraux qui caractérisent les collines du bassin versant étudié, la surface de cet impluvium et la possibilité de concentrer les écoulements se révèlent aussi être des facteurs essentiels de la propagation de certaines différenciations.

On observe donc des processus d'action et de rétroaction entre ces deux phénomènes. L'exemple le plus probant correspond au domaine intermédiaire : Ce domaine se propage préférentiellement selon l'axe des talwegs secondaires, et cette propagation entraîne leur surcreusement.

En conclusion, il apparaît que la pédogénèse et la morphogénèse sont intimement liées dans ces milieux, constituant même un processus unique que l'on pourrait qualifier de pédomorphogénèse.

## 2.3- Importance de la micro-organisation des constituants argileux.

L'évolution de la micro-organisation des constituants a été étudiée en détail au niveau de l'un des fronts caractéristiques de ce système de transformation (l'interface entre les domaines intermédiaire et brun-jaune). Rappelons que cette évolution consiste en la diminution de la taille des cristallites argileux. L'arrangement de ces cristallites de plus petite taille ménage un volume de vide tout aussi

# Cette élimination de matière a pu être quantifiée dans un autre système de transformation de la région Amazonienne (Y.LUCAS, R.BOULET, A.CHAUVEL-1988), elle correspond à un abaissement de la surface topographique vraisemblablement supérieur à 34-84m pour former un sol d'une épaisseur de l'ordre de 16 m.

important mais de rayon équivalent plus faible. Cette micro-organisation différente induit un état de liaison plus énergétique et des surfaces de contact plus importantes entre la phase solide et la phase liquide qui rempli ces vides. Ce qui revient à dire que les caractéristiques du contexte géochimique de ce milieu se modifient. En conséquence, les halloysites, qui commençaient à se former, sortent de leur domaine de stabilité et se détruisent.

Il apparaît donc ici que l'évolution de l'organisation de la phase plasmique est à l'origine de la disparition de l'un des constituants. L'évolution du comportement physique (retrait-gonflement) ou géochimique (réduction, hydrolyse...) indique que des mécanismes relevant de processus analogues (modification des relations entre la phase liquide et la phase solide, du fait de la micro-organisation des constituants) se produisent aussi dans les autres matériaux de ce système de transformation.

Par ailleurs, au niveau de l'interface caractérisée, l'élimination considérable de matière qui résulte de la transformation de la phase plasmique entraîne le développement d'une macroporosité importante. Ainsi, les modifications qui affectent l'organisation des constituants élémentaires, se répercutent à des échelles plus macroscopiques. Cette transformation de la structure des matériaux se produit donc in fine à une échelle compatible avec une modification notable de la dynamique des écoulements hydriques au sein de la couverture de sol. Il a été montré plus haut que celle-ci joue un rôle essentiel dans la propagation des processus de transformation.

En conclusion, il apparaît que l'arrangement des constituants élémentaires et ses modifications successives jouent un rôle fondamental dans les processus d'évolution pédologique de ces milieux ferrallitiques. En effet, une modification de la micro-organisation des constituants peut occasionner la mise en place de conditions favorables tant à la modification de la minéralogie des constituants eux mêmes qu'à des évolutions structurales aux échelles d'organisation supérieures (mésos- et macroporosité). En dernière analyse, on peut donc dire que ce sont les modifications qui apparaissent à l'échelle de l'organisation des constituants qui conditionnent l'évolution de l'ensemble du système de transformation.

\*  
\* \*



## CONCLUSION GENERALE.

L'objectif de ce travail consistait à analyser la pédogénèse d'une couverture ferrallitique présentant une forte différenciation latérale, alors qu'elle se développe sur un matériau "uniforme", d'altération allitique d'une roche migmatique.

Pour ce faire la démarche de "l'analyse structurale" a été adoptée.

-1- Dans un premier temps, l'organisation bi- et tridimensionnelle de la couverture pédologique a été établie avec le plus de précision possible, mettant ainsi en évidence des secteurs clés qui jalonnent sa différenciation latérale.

-2- Une étude pétrographique des organisations a alors été menée au niveau de ces sites.

Cette double approche a permis d'établir les discordances et les relais qui apparaissent entre les diverses organisations qui se différencient au niveau de cette couverture pédologique.

Celle-ci apparaît comme une unité fonctionnelle où les différenciations, qui se succèdent au long du versant, dérivent progressivement les unes des autres du seul fait des modifications induites par leur évolution respective.

Ces transformations progressent donc bien latéralement, mais il est aussi apparu que le matériau sur lequel s'applique les différenciations successives se renouvelle fortement, du fait d'un enfoncement important de la couverture pédologique au sein du manteau d'altération. En effet, cet ensemble de transformations rétablit progressivement un contexte favorable à la réapparition d'une pédogénèse profonde, à partir d'un sol où seule la partie supérieure est encore actuellement fonctionnelle #.

Ce sol "initial" correspond à un stade très avancé d'une transformation fréquente en Guyane Française. Les différenciations qui apparaissent ici correspondent donc à une évolution ultérieure de ce système de transformation qui jusqu'alors n'avait jamais été observée.

-3- Les grandes lignes de l'évolution géochimique de ce système on pu être établies grâce à une étude statistique multivariable.

# On notera qu'il existe une convergence morphologique remarquable entre le sol qui se différencie ici et les formations généralement rattachées à la série détritique de base. Cette analogie mériterait d'être étudiée plus en détail afin de lever la confusion qui semble avoir été réalisée lors de la cartographie de cette formation sédimentaire.

Elles consistent en la succession d'un phénomène de déferrification dérubéfiante, préalable nécessaire à une importante élimination de plasma sous l'effet d'un processus de type ferrolyse.

De ces trois premières étapes il ressortait que la dynamique des écoulements hydriques était l'agent prépondérant du développement des différents processus de transformation latérale ou verticale.

-4- Ainsi, afin de caractériser plus complètement la pédogénèse et de préciser le fonctionnement de ce système, il s'est avéré très important de prendre en compte ce paramètre. Une approche indirecte portant sur l'évolution de la structure des matériaux a été entreprise.

Pour cela, on a utilisé un ensemble de techniques, qui permet d'accéder tant aux différents niveaux d'organisation des constituants qu'au comportement qui en résulte (rétention d'eau, retrait-gonflement)

4.1- En menant cette étude jusqu'à l'échelle de l'arrangement des cristallites d'argile, on a pu mettre en lumière le rôle primordial joué par des paramètres qui ne sont pas habituellement pris en compte dans les études minéralogiques. Ces paramètres concernent la taille des cristallites et leur mode d'assemblage.

Il apparaît en effet, que les propriétés (et en particulier la rétention d'eau), qui résultent de ces deux paramètres peuvent varier dans une large gamme toutes choses étant égales par ailleurs; définissant ainsi des contextes d'évolution géochimique très différents.

4.2- De plus, il a pu être montré que les modifications de ces micro-organisations, se répercutent sur les niveaux d'organisations plus macroscopiques.

Il en résulte que la prise en compte de ces paramètres permet d'atteindre un meilleur niveau de compréhension des mécanismes de la pédogénèse.

4.3- Toutefois, nous soulignerons que ces études portent sur des mottes à structure conservée. Elles permettent donc aussi d'avancer des éléments intéressants dans le cadre de l'aménagement des sols, tels que :

- la propension à un engorgement prolongé pendant la saison des pluies (et à l'apparition de conditions réductrices néfastes aux plantes)

- la réserve en eau utile de ces sols, (qui dans ces régions où la saison sèche peut se marquer de façon importante, constitue l'un des paramètres les plus importants pour déterminer la fertilité d'un sol).

- ou encore la stabilité structurale, qui peut être appréhendée à la vue des caractéristiques du mode d'association des minéraux argileux (ce paramètre est aussi très important car l'érosion mécanique qui est faible sous le couvert forestier, peut devenir extrêmement élevée à la suite d'un défrichement réalisé dans de mauvaises conditions).

Il en résulte que l'approche qui a été menée ici dans un cadre fondamental de compréhension du fonctionnement de la pédogénèse d'un ensemble d'organisation complexe, peut aussi déboucher sur des considérations beaucoup plus proches de la mise en valeur et de la conservation de ces milieux.

-5- Enfin et dans le même ordre d'idée, une étude fine, de la géométrie tridimensionnelle des horizons majeurs quant à la caractérisation de cette couverture pédologique complexe au premier abord, a permis de mettre en évidence des grands domaines "fonctionnels".

Ces domaines sont au nombre de cinq (le domaine rouge "de sommet", le domaine rouge "de versant", le domaine intermédiaire, le domaine brun-jaune et le domaine de bas fond). Ils se succèdent de façon ordonnée (dans les grandes lignes) le long des unités de modelé. Les transformations mises en évidence conduisent à une simplification progressive de ce système de sols. Les deux domaines rouges sont éliminés aux dépens des trois domaines suivants. Cette simplification s'accompagne d'un certain avachissement du modelé.

Il en résulte que l'on peut cartographier à petite échelle ce système de transformation sur une vaste zone dont il constitue l'unité de paysage représentative. Toutefois, il faudra prendre la précaution de vérifier quel est le domaine qui occupe le sommet des collines.

En effet, on a souligné que le seul critère géomorphologique n'était pas suffisant pour rendre compte de l'évolution du système de transformation de façon fiable. Cette constatation s'explique vraisemblablement par l'existence d'une couverture initiale hétérogène (très difficile à étudier aujourd'hui car il n'en subsiste que des reliques). Cette hypothèse de non homogénéité est, dans le cas présenté ici, fortement probable du seul fait des hétérogénéités bien connues des roches migmatitiques.

En dernier lieu, on soulignera encore une fois que la démarche de l'analyse structurale, qui correspond à un investissement scientifique de base important (tant en temps qu'en moyens financiers), permet, une fois qu'elle atteint le stade de la synthèse (en incluant des expérimentations agronomiques, ce qui n'est pas le cas ici), de proposer des orientations de développement fiables et réalisables par les instances et les forces dont c'est la mission. Le chercheur/développeur se retirant alors face aux utilisateurs.

\*  
\* \*



## BIBLIOGRAPHIE

- C.BASTIN, J.P.BENZECRI, C.BOURGARIT, P.CAZES-1980.  
Pratique de l'analyse des données. Tome 2 : Abrégé théorique - Etude de cas modèles.  
DUNOD Ed., Paris : 488 p.
- J.P.BENZECRI et collaborateurs-1979  
L'analyse des données. Tome 2 : L'analyse des correspondances (3<sup>e</sup> édition).  
DUNOD Ed., Paris : 616 p.
- G.BOCQUIER-1971.  
Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogéodynamique.  
Thèse Doc. Sci. Univ. Strasbourg et Mém. ORSTOM n 62,  
ORSTOM Ed., Paris : 350 p.
- R.BOULET-1974.  
Toposéquences de sols tropicaux en Hautes Volta. Equilibres dynamiques et bioclimat.  
Thèse Doc. Sci. Univ. Strasbourg et Mém. ORSTOM n 85,  
ORSTOM Ed., Paris : 272 p.
- R.BOULET-1978.  
Existence de systèmes à forte différenciation latérale en milieu ferrallitique Guyanais : un nouvel exemple de couvertures pédologiques en déséquilibre.  
Science du sol 1978(2) : pp.75-82.
- R.BOULET, J.M.BRUGIERE, F.X.HUMBEL-1979.  
Relation entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane Française Septentrionale.  
Science du sol 1979(1) : pp.3-18.
- R.BOULET-1981.  
Etude pédologique des bassins versants ECEREX ; bilan de la cartographie. L'écosystème forestier.  
Bull. ECEREX n 4 : pp.4-22.
- R.BOULET, A.CHAUVEL, F.X.HUMBEL, Y.LUCAS-1982.  
Analyse structurale et cartographie en pédologie. I- Prise en compte d'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique : les étude de toposéquence et leurs principaux apports à la connaissance des sols.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XIX(4) : pp.309-322.
- R.BOULET, F.X.HUMBEL, Y.LUCAS-1982.  
Analyse structurale et cartographie en pédologie. II- Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XIX(4) : pp.309-322.
- R.BOULET, Ph.GODON, Y.LUCAS, S.WOUROU-1984.  
Analyse structurale de la couverture pédologique et expérimentation agronomique en Guyane Française.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XXI(1) : pp.21-31.

- M. BOYE-1963.**  
La géologie des terres basses entre Organabo et le Maroni (Guyane Française).  
Thèse 3 cycle Univ. Paris-Sorbonne : 148 p.
- J. BOYER-1976.**  
L'aluminium échangeable : incidence agronomiques, évaluation et correction de sa toxicité dans les sols tropicaux.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XIV(4) : pp.259-270.
- J. BOYER-1982.**  
Les sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols.  
I.D.T. n 52, ORSTOM Ed., Paris : 384 p.
- R. BREWER-1964.**  
Fabric and mineral analysis of soils.  
J.Wiley & sons Ed., London : 470 p.
- G.C. BROUWER-1962.**  
Feuille de la basse Mana et notice explicative.  
Carte géol. de la France, Min. Industrie Ed., Paris : 27 p. et carte.
- A. BRUAND et D. TESSIER-1987.**  
Etude de l'organisation d'un matériau argileux en microscopie : modifications intervenant lors de la déshydratation.  
Micromorphologie des sols-Soil micromorphology. N.FEDOROFF, L.M.BRESSON, M.A.COURTY (Eds.), AFES, Plaisir, France : pp.31-35
- A. CHAUVEL, G. PEDRO, D. TESSIER-1976.**  
Rôle du fer dans l'organisation des matériaux kaolinitiques. Etudes expérimentales.  
Science du sol 1976(2) : pp.101-114.
- A. CHAUVEL-1977.**  
Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouge de la moyenne Casamance (Sénégal).  
Thèse Doc. Sci. Univ. Strasbourg et Mém. ORSTOM n 62, ORSTOM Ed., Paris, 532 p.
- B. CHOUBERT-1974.**  
Le précambrien des Guyanes.  
Mém. BRGM n 81, BRGM Ed., Paris : 213p.
- P. ESPIAU, G. PEDRO- 1983.**  
Etude du phénomène de ferrolyse par voie expérimentale, production d'acidité d'échange et mise en évidence du rôle catalytique des minéraux argileux.  
Science du sol 1983(3-4) : pp.173-184.

- P. ESPIAU et A. PEYRONNEL-1976**  
L'acidité d'échange dans les sols : Méthode de détermination de l'aluminium échangeable et des protons échangeables.  
*Science du sol* 1976 : pp.161-175.
- P. ESPIAU et G. PEDRO-1980**  
Caractérisation du complexe d'échange des sols acides. Le taux d'acidité d'échange et sa signification pédogénétique sous climat tempéré.  
*Ann. agron.*, 31(4) : pp.363-383.
- E. FRITSCH-1979.**  
Etude des organisations pédologiques et représentation cartographique détaillée de quatre bassins versants expérimentaux sur schistes Bonidoro de Guyane Française.  
*Rapports ORSTOM.*
- E. FRITSCH-1984.**  
Les transformations d'une couverture ferrallitique en Guyane Française.  
*Thèse Doc. Géol. Appl., Univ. Paris VII* : 190 p.
- E. FRITSCH, R. BOULET, M. DOSSO, F. X. HUMBEL-1986.**  
Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane Française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation.  
*Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. XXII(4)* : pp.361-395.
- C. GRIMALDI-1988.**  
Origine de la composition chimique des eaux superficielles en milieu tropical humide. Exemple de deux petits bassins versants sous forêt en Guyane Française.  
*Sci. Géol. Bul.* 41, : pp.
- J. M. GUEHL-1984.**  
Utilisation des méthodes tensio-neutroniques pour l'étude des transferts hydriques dans le sol en milieu ferrallitique Guyanais.  
*Science du sol* 1984(1) : pp.35-50.
- F. X. HUMBEL-1978.**  
Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, de sols argileux de Guyane Française à dynamique de l'eau superficielle.  
*Science du sol* 1978(2) : pp.83-94.
- L. LEBART, A. MORINEAU, J. P. FENELON-1982.**  
Traitement des données statistiques - Méthodes et programmes (2<sup>e</sup> édition).  
*DUNOD Ed., Paris* : 510 p.
- A. LEVEQUE-1961.**  
Mémoire explicatif des terres basses de Guyane Française.  
*Mém. ORSTOM n 3\**, ORSTOM Ed., Paris, 85 p.

- Y. LUCAS, R. BOULET, P. ANDRIEUX-1986.  
Un système pédologique aval en Guyane Française.  
Organisation et fonctionnement hydrodynamique.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XXII(1) : pp.3-16.
- Y. LUCAS, R. BOULET, A. CHAUVEL, L. VEILLON-1988.  
Système sol ferrallitique-podzol en région Amazonienne.  
Science du sol 1988(1) : pp.53-65.
- Y. LUCAS, R. BOULET, A. CHAUVEL-1988.  
Intervention simultanée des phénomènes d'enfoncement  
vertical et de transformation latérale dans la mise en  
place de systèmes de sols de la zone tropicale humide. Cas  
des systèmes sols ferrallitiques-podzols de l'Amazonie  
Brésilienne.  
C.R.A.S série Pédologie, note n II-202.
- D. NAHON-1976.  
Cuirasse ferrugineuses et encroutements calcaires au  
Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs :  
géochimie, structures, relais et coexistence.  
Thèse Doc. Géol. Univ. Strasbourg : 232 p.
- G. PEDRO-1987.  
Geochimie, minéralogie et organisation des sols. Aspects  
coordonnés des problèmes pédologiques.  
Cah. ORSTOM Sér. Pédo. XXIII(3) : pp.169-186.
- D. TESSIER-1984.  
Etude expérimentale de l'organisation des matériaux  
argileux. Hydratation, gonflement et structuration au cours  
de la réhumectation.  
Thèse Doc. Sci, Univ. Paris VII : 361 p.
- D. TESSIER-1989.  
Caractérisation et comportement de matériaux pédologiques  
argileux ; relations avec la nature l'état et  
l'organisation des constituants argileux et des ciments.  
Chapitre III : Etude du comportement des argiles en  
relation avec leur nature minéralogique.  
Rapport INRA Versailles et Orléans (à paraître)
- G. D. TOWNER-1981.  
The correction of in situ tensiometers readings for  
overburden pressures in swellings soils.  
J. of Soil Sci.(32) : pp.499-504.
- J. F. TURENNE-1975.  
Mode d'humification et différenciation podzolique dans deux  
toposéquences Guyanaise.  
Thèse Doc. Sci. Univ. Nancy et Mém. ORSTOM n 84, ORSTOM  
Ed., Paris : 173 p.

**TABLE DES MATIERES.**

INTRODUCTION GENERALE.

INTRODUCTION.

PRESENTATION DU MILIEU NATUREL.

1- Situation de l'étude.	1
2- Nature du couvert végétal.	1
3- Le cadre climatique.	3
3.1- Régime climatique de la Guyane Française.	3
3.2- Données climatiques de la région de Saint Laurent du Maroni.	4
4- Le cadre géologique.	9
4.1- Le contexte général de la Guyane Française.	9
4.2- Géologie de la zone étudiée.	11
4.2.1- Données de la carte géologique.	11
4.2.2- Substrat de la zone étudiée.	13

PREMIERE PARTIE.

CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE LA  
DIFFERENCIATION DE LA COUVERTURE DE SOL.

CHAPITRE I.

DEMARCHE ET NOMENCLATURE ADOPTEE.

1- Présentation de la démarche de l'analyse structurale.	15
2- Définition d'une nomenclature.	16

CHAPITRE II.

PRESENTATION GENERALE DE L'UNITE DE PAYSAGE ETUDIEE.

1- Topographie.	18
2- Organisation de la couverture pédologique.	21
2.1- Du sommet vers la plaine.	23
2.1.1- Horizons profonds.	24
2.1.2- Horizons médians.	24
2.1.3- Horizons supérieurs.	26
2.2- Vers le bas fond...	29
2.2.1- Horizons profonds.	30
2.2.2- Horizons médians.	30
2.2.3- Horizons supérieurs.	31

CHAPITRE III.

CARACTERISATION DES TROIS DOMAINES  
DE L'AMONT DE LA COUVERTURE DE SOL.

1- Etude du domaine rouge : fosses T1 et T2.	33
1.1- La séquence verticale du sommet : fosse T1.	33
1.1.1- Description macroscopique.	33
Conclusions.	36
1.1.2- Description microscopique.	37
Conclusions.	40
1.2- La séquence verticale du versant.	43
1.2.1- Description macroscopique.	43
Conclusions.	44
1.2.2- Description microscopique.	45
Conclusions.	49
2- Etude du domaine intermédiaire : Tranchée T3.	53
2.1- Description macroscopique.	53
Conclusions.	57
2.2- Description microscopique.	59
2.2.1- Amont de la tranchée : Profil T3.1.	59
Conclusions.	64
2.2.2- Aval de la tranchée : Profil T3.2.	65
Conclusions.	71
2.2.3- Lames intermédiaires.	72
Conclusions.	73
2.3- Apport des analyses à la microsonde.	74
3- Etude du domaine brun-jaune : fosses T4 et T5.	77
3.1- La séquence verticale du pied de la coline : fosse T4.	77
3.1.1- Description macroscopique.	77
Conclusions.	79
3.1.2- Description microscopique.	80
Conclusions.	83
3.2- La séquence verticale de la plaine : fosse T5.	85
3.2.1- Description macroscopique.	85
Conclusions.	87
3.2.2- Description microscopique.	87
Conclusions.	90

CHAPITRE IV.

PRINCIPAUX TRAITS DE LA DIFFERENCIATION  
DE L'AMONT DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

1- Le manteau d'altération.	93
2- Spécificité de la différenciation pédologique des trois domaines.	94
2.1- Domaine rouge.	94
2.2- Domaine intermédiaire.	96
2.3- Domaine brun-jaune.	97
3- Conclusions.	99

SECONDE PARTIE.

ETUDE DE LA VARIABILITE DES CARACTERISTIQUES  
GEOCHIMIQUES ET HYDROPHYSIQUES.

CHAPITRE V.

CONFRONTATION DES RESULTATS DE L'ANALYSE  
MORPHOLOGIQUE A UNE CARACTERISATION ANALYTIQUE  
DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE.

1- Présentation des données.	103
1.1- Prélèvement des échantillons et analyses effectuées.	103
1.2- Caractéristiques générales du milieu.	105
1.2.1- Caractéristiques granulométriques.	105
1.2.2- Caractéristiques chimiques.	105
Matière organique.	105
Acidité.	106
Capacité d'échange.	107
Cations basiques.	107
2- Analyse multidimensionnelle.	109
2.1- Présentation du tableau analysé.	109
2.1.1- La mise sous forme disjonctive complète.	109
2.1.2- Définition des modalités retenues pour les variables physico-chimiques.	111
2.1.3- Statut des diverses variables.	111
2.2- Résultats de l'analyse factorielle.	113
2.2.1- Etude du réseau de relation des caractéristiques analytiques.	113
2.2.2- Correspondance entre la "structure analytique" et la "structure morphologique".	117
3- Conclusion.	120

CHAPITRE VI.

ETUDE DE LA PEDOGENESE A L'INTERFACE DES DOMAINES  
INTERMEDIAIRE ET BRUN-JAUNE. MISE EN EVIDENCE DE  
DIFERENTS NIVEAUX D'EVOLUTION DE LA STRUCTURE.

1- Présentation du site étudié.	123
1.1- Choix d'une séquence latérale.	123
1.2- Evolution des caractéristiques analytiques.	125
1.2.1- Granulométrie.	125
1.2.2- Fer total.	127
1.2.3- Taux d'acidité d'échange et capacité d'échange.	127
2- Caractérisation de la pédogénèse par des mesures physiques.	129
Préambule- Convention de notation des différentes phases du sol et indices utilisés.	129
2.1- Méthodes mises en oeuvre.	130
2.1.1- Mesures de densité.	130
2.1.2- Mesure de l'humidité pondérale en fonction du potentiel de l'eau.	131
2.1.3- Etablissement du spectre de porosité par porosimétrie au mercure.	131
2.2- Evolution du comportement des différents matériaux.	132
2.2.1- Evolution des propriétés de retrait.	133
2.2.2- Evolution de l'hétérogénéité.	135
2.2.3- Evolution des propriétés de rétention d'eau.	135
2.3- Evolution du spectre poral.	139
2.3.1- Définition de différents niveaux de porosité.	139
2.3.2- Interprétation des courbes de rétention d'eau.	139
2.3.3- Etude des courbes porosimétriques.	141
2.3.4- Comparaison des spectres déduits des deux méthodes.	143
2.4- Evolution de la minéralogie des argiles lors de la transformation des horizons médians.	145
2.4.1- Etude des minéraux argileux par des méthodes classiques.	145
2.4.2- Observation de l'arrangement des minéraux argileux.	147
2.4.3- Conséquences de l'organisation des minéraux argileux sur les propriétés de rétention d'eau.	150
2.5- Conclusion.	151

**TROISIEME PARTIE.  
EVOLUTION DU PAYSAGE ET SYNTHESE DES PROCESSUS MAJEURS  
MIS EN JEU DANS LA DIFFERENCIATION LATERALE  
DE LA COUVERTURE DE SOL ETUDIEE.**

**CHAPITRE VII.**

**ETUDE TRIDIMENSIONNELLE DES DOMAINES DE DIFFERENCIATION.**

1- Choix des courbes d'isodifférenciation.	153
2- Disposition des courbes et relation avec le modelé.	155
3- Conclusion.	159

**CHAPITRE VIII.**

**CONVERGENCES ET ORIGINALITES DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE  
DE LA CRIQUE BALATE PAR RAPPORT AUX AUTRES SYSTEMES  
DE TRANSFORMATION DE GUYANE FRANÇAISE.**

1- Processus pédogénétiques majeurs conduisant à la différenciation actuelle de la couverture pédologique.	163
1.1- Domaine rouge de sommet.	163
1.2- Domaine rouge de versant.	164
1.3- Domaine intermédiaire.	165
1.4- Domaine brun-jaune.	165
1.5- conclusion.	167
2- Enseignements généraux.	167
2.1- Dynamique de la progression des fronts de transformation.	167
2.2- Liaison entre la pédogénèse et la morphogénèse.	168
2.3- Importance de la micro-organisation des constituants argileux.	168

<b>CONCLUSION GENERALE.</b>	<b>171</b>
-----------------------------	------------

<b>BIBLIOGRAPHIE.</b>	<b>175</b>
-----------------------	------------

<b>TABLE DES MATIERES.</b>	<b>179</b>
----------------------------	------------

<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>185</b>
--------------------------	------------

<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>189</b>
---------------------------	------------

<b>ANNEXES</b>	
----------------	--

**LISTE DES FIGURES**

<u>Figure 1</u> :	2
Localisation de l'étude.	
<u>Figure 2</u> :	3
Aspect de la forêt le long de l'unité de modelé étudiée.	
<u>Figure 3</u> :	6
Fluctuations intermensuelles des paramètres climatologiques de la station de St Laurent du Maroni.	
<u>Figure 4</u> :	8
Premier plan factoriel de l'analyse en composantes principales des paramètres climatologiques mensuels.	
<u>Figure 5</u> :	10
Grands domaines géologiques de la Guyane Française.	
<u>Figure 6</u> :	11
Contexte géologique du Sud-Ouest de la Guyane Française.	
<u>Figure 7</u> :	12
Géologie des environs du site d'étude.	
<u>Figure 8</u> :	14
Carte de pente des environs du site d'étude.	
<u>Figure 9</u> :	18
Modelé de l'unité de paysage étudiée.	
<u>Figure 10</u> :	19
Fonctionnement hydrodynamique de surface.	
<u>Figure 11</u> :	20
Localisation des 2 transects de présentation de la couverture pédologique.	
<u>Figure 12</u> :	22
Représentation en coupe de la couverture pédologique, du sommet d'une colline jusqu'à la plaine.	
<u>Figure 12b</u> :	23
Définition des trois ensembles d'horizon.	
<u>Figure 13</u> :	27
Définition de trois domaines de différenciation morphologique au long de la toposéquence caractérisant l'amont de la couverture pédologique.	
<u>Figure 14</u> :	28
Représentation en coupe de la couverture pédologique, de la plaine jusqu'au bas-fond.	
<u>Figure 15</u> :	34
Localisation des cinq fosses d'étude de la différenciation morphologique des trois domaines de l'amont.	
<u>Figure 16</u> :	38
Séquence verticale du sommet du domaine rouge. (fosse T1)	

<u>Figure 17</u> :	42
Séquence verticale du versant du domaine rouge. (fosse T2)	
<u>Figure 18</u> :	54
Successions latérales du domaine intermédiaire. (fosse T3)	
<u>Figure 19</u> :	58
Position des lames minces dans la fosse T3.	
<u>Figure 20</u> :	76
Séquence verticale de la marge du domaine brun-jaune (fosse T4)	
<u>Figure 21</u> :	86
Séquence verticale du coeur du domaine brun-jaune (fosse T5)	
<u>Figure 22</u> :	98
Progression latérale d'un processus pédogénétique d'orientation verticale se développant à partir du sommet du sol.	
<u>Figure 23</u> :	100
Traits majeurs de la différenciation latérale de la couverture pédologique.	
<u>Figure 24</u> :	104
Localisation des échantillons analysés le long de la séquence amont.	
<u>Figure 25</u> :	108
Exemples des différents modes de distribution des caractéristiques analytiques.	
<u>Figure 26</u> :	114
Réseau de relations entre les caractéristiques analytiques.	
<u>Figure 27</u> :	116
Disposition des variables supplémentaires sur le premier plan factoriel.	
<u>Figure 28</u> :	118
Confrontation de la variabilité analytique et de la variabilité morphologique.	
<u>Figure 29</u> :	122
Localisation de la séquence et des échantillons étudiés.	
<u>Figure 30</u> :	126
Représentation de l'évolution de la granulométrie dans le triangle de texture de JAMAGNE.	
<u>Figure 31</u> :	129
Conventions de notation des trois phases constituant un volume de sol.	
<u>Figure 32</u> :	132
Indices d'eau ( ) et de vide (e) mesurés in situ à la fin de la saison des pluies.	

<u>Figure 33</u> :	134
Evolution de l'indice d'eau au cours de la dessiccation en fonction du potentiel de l'eau.	
<u>Figure 34</u> :	140
Distribution de l'indice de vide en fonction du rayon équivalent des pores.	
<u>Figure 35</u> :	142
Comparaison, pour différentes classes de rayon équivalent des pores de l'indice de vide : -mesuré par porosimétrie au mercure -et déduit des courbes de rétention d'eau.	
<u>Figure 36</u> :	146
Spectre de diffraction des rayons X pour la fraction inférieure à 2 m.	
<u>Photo 1</u> :	148
Organisation générale de "bj CS" (P1.1)	
<u>Photo 2</u> :	148
Organisation générale de "2bj P" (P3.1)	
<u>Photo 3</u> :	149
Cristallites de kaolinite rigides (P1.1).	
<u>Photo 4</u> :	149
Cristallites de kaolinite flexueux (P1.1).	
<u>Photo 5</u> :	149
Cristallites de kaolinite rigides (P3.1).	
<u>Figure 37</u> :	153
Plan de layonage du site étudié.	
<u>Figure 38</u> :	154
Représentation en plan de l'extension des différenciations majeures de la couverture de sol.	
<u>Figure 39</u> :	156
Relation entre l'extension de l'horizon "2bj P" et la forme du modelé.	
<u>Figure 40</u> :	160
Modèle de l'évolution du paysage et du développement corrélatif des principales différenciations de la couverture de sol	

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 :	4
Caractéristiques Climatiques annuelles de la région de Saint Laurent du Maroni.	
Tableau III.1 :	74
Résultats en % d'oxydes des analyses stoïchiométriques normalisées.	
Tableau V.1 :	105
Description statistique générale des caractéristiques granulométriques et de la teneur en oxydes de fer.	
Tableau V.2 :	106
Description statistique générale des caractéristiques de la fraction organique.	
Tableau V.3 :	106
Description statistique générale des caractéristiques de l'acidité du milieu.	
Tableau V.4 :	107
Description statistique générale des caractéristiques d'échange cationique.	
Tableau V.5 :	111
Identification des modalités de la variable indicatrice de la variabilité morphologique.	
Tableau V.6 :	112
Bornes des intervalles définissant les modalités des 29 variables physico-chimiques.	
Tableau V.7 :	115
Corrélation (COR) et contribution (CTR) des variables des "noyaux" des trois groupes aux deux premiers axes factoriels	
Tableau VI.1 :	126
Caractéristiques granulométriques et teneurs en oxydes de fer	
Tableau VI.2 :	127
Caractéristiques du complexe d'échange.	
Tableau VI.3 :	147
Teneurs en particules < 2 m, en kaolinite et en oxyde de fer, en % du poids de la terre fine	
Tableau VI.4 :	150
Indice d'eau de la kaolinite en fonction du potentiel de l'eau.	

\*

\* \*

-ANNEXE I-

tableau brut des données  
physico-chimiques.

Ref	Prof	GRD	ARG	LIF	LIG	SAF	SAG	MD	CBN	AZO	CsN	FeT	CaT	MgT	NaT	VT	SRT
TA1.01	20	2.3	13.0	1.5	2.6	14.8	64.2	1.7	9.8	0.7	13.2	1.64	0.10	0.41	0.11	0.43	1.05
TA1.02	40	2.5	16.5	0.0	2.7	22.4	55.1	0.8	4.7	0.3	14.8	1.85	0.15	0.37	0.11	0.43	1.06
TA1.03	60	5.8	15.3	2.1	3.0	21.1	52.3	0.4	2.5	0.2	11.9	1.78	0.07	0.33	0.09	0.40	0.87
TA1.04	80	4.4	15.3	2.3	2.7	21.0	54.0	0.3	1.8	0.1	12.8	1.57	0.07	0.29	0.09	0.42	0.87
TA1.05	120	3.5	14.8	2.4	2.8	15.0	60.4	0.2	1.4	0.1	9.7	1.63	0.07	0.27	0.09	0.41	0.86
TA1.06	120	1.9	16.2	2.2	6.6	12.1	60.8	0.2	1.3	0.1	11.9	1.78	0.07	0.33	0.09	0.42	0.91
TA1.07	140	2.8	15.8	2.0	2.5	12.4	63.3	0.3	1.6	0.1	11.4	2.00	0.15	0.37	0.07	0.43	1.04
TA1.08	160	6.2	17.4	2.1	4.7	8.1	61.3	0.2	1.4	0.2	7.9	2.07	0.07	0.41	0.11	0.50	1.09
TA1.09	180	7.6	19.3	2.9	6.1	8.9	55.0	0.3	1.5	0.1	14.0	2.71	0.07	0.41	0.13	0.58	1.19
TA1.10	210	4.5	22.4	2.6	2.3	10.9	57.2	0.2	1.3	0.1	11.4	2.54	0.07	0.41	0.13	0.63	1.24
TA1.11	230	5.3	22.5	3.3	2.9	9.2	56.7	0.2	1.3	0.1	9.0	2.86	0.10	0.37	0.13	0.65	1.25
TA1.12	250	4.7	26.8	4.2	3.2	10.3	50.6	0.2	1.4	0.1	9.9	3.21	0.10	0.33	0.13	0.55	1.11
TA1.13	270	13.1	27.1	5.4	2.3	7.1	42.8	0.2	1.4	0.1	9.6	4.00	0.10	0.25	0.11	0.49	0.95
TA2.01	20	2.4	14.2	1.6	4.7	11.6	64.0	1.5	8.6	0.7	12.2	1.43	0.10	0.37	0.11	0.38	0.96
TA2.02	40	3.8	14.8	0.2	4.9	9.4	66.1	0.9	5.3	0.3	21.1	1.59	0.10	0.33	0.11	0.38	0.92
TA2.03	60	4.4	14.7	0.7	2.2	13.8	63.7	0.4	2.6	0.2	14.2	1.59	0.10	0.33	0.11	0.40	0.94
TA2.04	80	4.2	15.2	0.9	2.6	14.8	62.1	0.3	1.8	0.1	16.4	1.63	0.10	0.37	0.24	0.40	1.11
TA2.05	100	4.2	15.2	1.5	2.1	12.7	64.1	0.3	1.5	0.1	11.9	1.71	0.10	0.33	0.09	0.33	0.85
TA2.06	120	3.0	17.2	1.0	2.3	13.5	62.9	0.2	1.4	0.1	12.5	1.63	0.10	0.33	0.09	0.33	0.85
TA2.07	140	3.3	16.7	1.6	2.1	10.8	65.3	0.3	1.5	0.1	14.0	1.93	0.15	0.37	0.13	0.38	1.03
TA2.08	160	4.5	16.3	1.5	2.1	7.4	68.0	0.3	1.5	0.1	13.6	1.85	0.20	0.41	0.11	0.40	1.12
TA2.09	180	5.1	19.1	0.9	2.6	8.7	63.3	0.3	1.6	0.1	14.5	1.93	0.10	0.41	0.09	0.41	1.01
TA2.10	200	8.3	21.1	1.5	2.2	10.1	56.5	0.3	1.7	0.1	12.3	2.36	0.07	0.41	0.11	0.46	1.05
TA2.11	220	4.5	21.3	1.3	2.4	9.3	61.0	0.2	1.4	0.1	12.7	2.36	0.12	0.37	0.11	0.47	1.07
TA2.12	240	4.4	23.4	1.8	1.9	11.5	56.8	0.2	1.4	0.1	12.9	4.86	0.17	0.53	0.15	0.73	1.58
TA2.13	260	4.9	24.1	2.7	2.2	11.0	54.7	0.2	1.3	0.1	11.8	2.71	0.07	0.29	0.09	0.41	0.86
TA3.01	20	0.0	14.5	2.2	1.9	16.6	62.6	2.2	12.8	0.9	14.1	1.07	0.17	0.41	0.11	0.36	1.05
TA3.02	40	1.7	14.1	0.7	2.8	14.3	65.5	1.0	6.1	0.4	14.5	1.59	0.10	0.37	0.09	0.32	0.88
TA3.03	60	2.4	15.0	1.9	2.5	14.9	62.9	0.5	2.7	0.2	12.7	1.78	0.10	0.29	0.09	0.35	0.83
TA3.04	80	2.2	16.2	1.1	2.3	15.2	62.6	0.3	2.0	0.1	14.3	1.78	0.12	0.33	0.11	0.35	0.91
TA3.05	100	4.8	15.7	0.9	2.1	13.5	62.7	0.3	1.8	0.2	10.0	1.85	0.32	0.25	0.09	0.29	0.95
TA3.06	120	2.8	16.7	1.2	2.7	13.5	62.9	0.3	1.6	0.1	11.6	2.07	0.40	0.29	0.11	0.33	1.13
TA3.07	140	5.8	19.0	0.9	3.0	12.2	58.8	0.3	1.7	0.2	9.2	2.28	0.10	0.37	0.11	0.35	0.93
TA3.08	160	3.0	21.9	2.0	3.1	13.6	56.1	0.3	1.9	0.2	10.6	2.57	0.37	0.41	0.11	0.42	1.31
TA3.09	180	3.1	23.5	2.3	2.0	13.0	55.8	0.3	1.7	0.2	9.4	2.78	0.22	0.41	0.11	0.37	1.11
TA3.10	200	3.1	26.4	2.1	2.0	13.1	53.1	0.3	1.5	0.1	10.5	3.90	0.10	0.41	0.13	0.50	1.14
TA3.11	220	3.1	28.1	2.9	1.9	13.7	50.1	0.3	1.6	0.1	11.7	3.28	0.17	0.41	0.09	0.54	1.21
TA3.12	240	4.5	39.8	3.1	2.0	13.1	46.2	0.3	1.7	0.1	11.8	3.36	0.67	0.41	0.15	0.65	1.88
TA3.13	260	25.2	23.0	3.9	1.9	10.4	35.4	0.3	1.7	0.2	9.2	8.72	0.02	0.37	0.11	0.55	1.05
TA4.01	20	2.4	16.5	1.0	3.8	14.3	60.5	1.6	9.1	0.8	11.9	2.14	0.10	0.37	0.09	0.36	0.92
TA4.02	40	2.4	19.6	2.2	3.3	19.6	52.1	0.9	5.0	0.4	12.0	2.43	0.40	0.37	0.13	0.41	1.31
TA4.03	60	9.3	21.0	1.9	3.5	19.5	45.3	0.6	3.5	0.3	10.9	2.43	0.07	0.33	0.13	0.33	0.86
TA4.04	80	7.3	21.8	3.4	3.3	20.6	43.2	0.4	2.4	0.2	11.2	2.64	0.47	0.33	0.13	0.37	1.30
TA4.05	100	7.9	22.4	3.6	5.9	14.4	45.5	0.3	2.0	0.1	14.3	3.28	0.22	0.29	0.11	0.35	0.97
TA4.06	120	5.4	25.2	6.3	5.3	14.8	42.8	0.3	2.0	0.2	10.8	7.14	0.25	0.29	0.11	0.36	1.01
TA4.08	160	2.3	30.2	17.2	2.3	7.5	40.3	0.3	1.5	0.2	8.5	6.29	0.22	0.16	0.15	0.35	0.88
TA4.09	180	0.0	31.0	22.1	2.1	6.8	37.8	0.2	1.3	0.1	9.4	6.72	0.07	0.16	0.09	0.33	0.65
TA4.10	200	0.0	29.1	25.8	2.9	7.6	34.3	0.3	1.5	0.1	15.3	7.14	0.20	0.12	0.17	0.17	0.66
TA5.01	20	5.8	18.3	2.4	2.7	20.1	48.5	2.2	12.8	1.0	12.6	2.28	0.12	0.37	0.11	0.33	0.93
TA5.02	40	16.4	21.2	3.2	3.5	15.1	39.9	0.8	4.7	0.5	10.2	3.36	0.80	0.33	0.11	0.38	1.62
TA5.03	60	6.3	26.5	4.6	2.9	16.8	42.4	0.6	3.3	0.3	13.4	4.00	0.12	0.29	0.13	0.29	0.83
TA5.04	80	3.8	28.5	8.9	3.0	14.4	41.1	0.4	2.5	0.2	11.8	3.00	0.60	0.21	0.13	0.26	1.20
TA5.05	100	2.4	31.5	13.7	3.7	7.9	40.5	0.3	1.8	0.2	10.1	2.71	0.80	0.16	0.09	0.23	1.28
TA5.06	120	0.9	30.6	19.2	1.9	7.1	40.0	0.3	1.6	0.1	11.4	7.02	0.20	0.12	0.09	0.20	0.61
TA5.07	140	0.0	30.9	23.8	2.0	5.9	37.2	0.2	1.1	0.1	10.3	7.75	0.22	0.08	0.07	0.17	0.54
TA5.08	160	0.0	28.2	26.7	2.0	5.2	37.8	0.2	1.0	0.1	8.8	7.90	0.65	0.16	0.07	0.13	1.01
TA5.09	180	1.4	28.1	27.4	2.0	6.0	34.9	0.2	1.0	0.1	7.1	7.17	0.47	0.16	0.07	0.24	0.94
TA5.10	200	0.6	24.6	25.1	2.0	11.4	36.2	0.2	1.1	0.1	7.6	7.24	0.12	0.16	0.09	0.15	0.52

Ref	Prof	pHe	pHV	AIE	H+E	AcE	CEC	CaE	MgE	NaE	KE	SBE	V	Tac
TA1.01	20	4.92	4.25	0.75	0.12	0.27	2.4	0.04	0.09	0.04	0.04	0.21	8.8	89.6
TA1.02	40	4.93	4.38	0.55	0.08	0.63	1.3	0.02	0.03	0.02	0.02	0.09	6.9	87.5
TA1.03	60	5.04	4.44	0.41	0.07	0.48	0.9	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	6.7	88.9
TA1.04	80	5.10	4.43	0.38	0.06	0.44	0.8	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	8.7	86.3
TA1.05	100	5.04	4.43	0.45	0.04	0.49	0.7	0.01	0.02	0.01	0.01	0.05	7.1	90.7
TA1.06	120	5.02	4.37	0.41	0.06	0.47	0.8	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	7.5	88.7
TA1.07	140	4.96	4.37	0.49	0.07	0.55	0.9	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	7.8	88.7
TA1.08	160	5.00	4.40	0.46	0.08	0.54	0.9	0.01	0.03	0.01	0.00	0.05	5.6	91.5
TA1.09	180	5.07	4.42	0.47	0.09	0.55	0.9	0.02	0.03	0.02	0.01	0.08	8.9	87.3
TA1.10	210	5.06	4.45	0.43	0.04	0.47	1.1	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	6.4	87.0
TA1.11	230	5.01	4.51	0.37	0.00	0.37	1.3	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	5.4	84.1
TA1.12	250	5.10	4.53	0.36	0.04	0.40	1.3	0.03	0.02	0.02	0.01	0.08	6.2	83.3
TA1.13	270	4.98	4.54	0.35	0.04	0.39	1.4	0.01	0.02	0.02	0.01	0.06	4.3	86.7
TA2.01	20	4.68	4.32	0.81	0.15	0.56	2.3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	3.5	92.3
TA2.02	40	4.93	4.47	0.59	0.08	0.67	1.5	0.02	0.04	0.02	0.01	0.09	6.0	88.2
TA2.03	60	4.99	4.49	0.51	0.04	0.55	0.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	4.4	93.2
TA2.04	80	4.83	4.43	0.43	0.04	0.47	0.9	0.02	0.01	0.18	0.01	0.22	24.4	68.1
TA2.05	100	4.80	4.42	0.45	0.06	0.51	0.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	4.4	92.7
TA2.06	120	4.98	4.41	0.48	0.06	0.54	0.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	4.4	93.1
TA2.07	140	4.96	4.40	0.48	0.07	0.55	0.9	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	5.6	91.7
TA2.08	160	4.92	4.40	0.56	0.07	0.63	1.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	3.6	94.0
TA2.09	180	4.96	4.41	0.51	0.07	0.59	1.2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	3.3	93.5
TA2.10	200	5.01	4.40	0.53	0.06	0.59	1.1	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	4.5	92.2
TA2.11	220	4.98	4.43	0.47	0.08	0.55	1.0	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	5.0	91.7
TA2.12	240	4.89	4.44	0.39	0.04	0.43	1.0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	4.0	91.5
TA2.13	260	5.04	4.50	0.33	0.04	0.37	0.6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	6.7	90.2
TA3.01	20	4.44	4.14	0.87	0.20	1.07	3.4	0.07	0.12	0.02	0.05	0.26	7.6	80.5
TA3.02	40	4.64	4.27	0.65	0.10	0.75	1.7	0.02	0.05	0.02	0.02	0.11	6.5	87.2
TA3.03	60	4.72	4.37	0.47	0.08	0.55	0.9	0.02	0.02	0.02	0.01	0.07	7.8	89.7
TA3.04	80	4.89	4.42	0.41	0.07	0.48	0.8	0.01	0.02	0.01	0.00	0.04	5.0	92.3
TA3.05	100	4.96	4.43	0.40	0.07	0.47	0.8	0.02	0.02	0.01	0.01	0.06	7.5	88.7
TA3.06	120	4.91	4.43	0.39	0.04	0.43	0.7	0.01	0.02	0.01	0.01	0.05	7.1	89.6
TA3.07	140	4.88	4.40	0.39	0.06	0.45	0.9	0.02	0.03	0.01	0.01	0.07	7.8	86.5
TA3.08	160	4.90	4.43	0.41	0.08	0.49	1.0	0.01	0.03	0.02	0.01	0.07	7.0	87.5
TA3.09	180	5.01	4.46	0.35	0.07	0.42	1.0	0.01	0.03	0.01	0.01	0.06	6.0	87.5
TA3.10	200	4.99	4.46	0.36	0.02	0.38	0.9	0.01	0.03	0.01	0.01	0.06	6.7	86.4
TA3.11	220	4.97	4.46	0.33	0.00	0.33	1.0	0.01	0.03	0.02	0.01	0.07	7.0	82.5
TA3.12	240	5.07	4.54	0.22	0.00	0.22	0.9	0.06	0.05	0.03	0.01	0.15	16.7	59.5
TA3.13	260	5.19	4.69	0.14	0.00	0.14	0.9	0.02	0.09	0.02	0.01	0.14	15.6	50.0
TA4.01	20	4.71	4.27	0.76	0.10	0.86	2.4	0.02	0.05	0.04	0.03	0.14	5.8	86.0
TA4.02	40	4.79	4.50	0.49	0.07	0.56	1.4	0.02	0.03	0.02	0.02	0.09	6.4	86.2
TA4.03	60	4.88	4.54	0.44	0.04	0.48	0.9	0.02	0.02	0.03	0.01	0.08	8.9	85.7
TA4.04	80	4.78	4.54	0.43	0.00	0.43	0.9	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	5.6	89.6
TA4.05	100	4.84	4.55	0.35	0.04	0.39	0.7	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	7.1	88.6
TA4.06	120	5.00	4.62	0.32	0.00	0.32	0.8	0.01	0.01	0.05	0.01	0.08	10.0	80.0
TA4.08	160	5.03	4.55	0.27	0.00	0.27	1.0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	6.0	81.8
TA4.09	180	5.06	4.47	0.30	0.03	0.33	1.2	0.01	0.02	0.02	0.01	0.06	5.0	84.6
TA4.10	200	5.10	4.43	0.43	0.08	0.51	1.5	0.02	0.05	0.14	0.03	0.24	16.0	68.0
TA5.01	20	4.62	4.15	0.99	0.20	1.10	3.5	0.07	0.07	0.04	0.04	0.22	6.3	83.3
TA5.02	40	4.89	4.42	0.43	0.08	0.51	1.1	0.03	0.02	0.03	0.02	0.10	9.1	83.6
TA5.03	60	4.76	4.44	0.35	0.02	0.37	0.9	0.00	0.02	0.03	0.01	0.06	6.7	86.0
TA5.04	80	5.01	4.52	0.33	0.00	0.33	0.9	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	6.7	84.6
TA5.05	100	4.95	4.51	0.35	0.04	0.39	1.0	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	6.0	86.7
TA5.06	120	4.93	4.49	0.39	0.00	0.39	1.1	0.01	0.02	0.03	0.01	0.07	6.4	84.8
TA5.07	140	5.11	4.49	0.35	0.00	0.35	1.1	0.01	0.02	0.03	0.01	0.07	6.4	83.3
TA5.08	160	4.98	4.44	0.37	0.06	0.43	1.2	0.01	0.03	0.03	0.01	0.08	6.7	84.3
TA5.09	180	4.99	4.41	0.43	0.06	0.49	1.3	0.01	0.09	0.02	0.01	0.13	10.0	79.0
TA5.10	200	5.02	4.41	0.49	0.04	0.53	1.4	0.01	0.09	0.02	0.01	0.13	9.3	80.3

Ref	Prof	GR0	ARG	LIF	LIG	SAF	SAG	MO	CBN	AZO	CsN	FeI	CaI	MgI	NaI	KT	SrI
TA6.01	10	10.4	22.9	3.0	2.4	13.8	45.9	1.7	10.3	0.9	11.6	3.09	0.10	0.41	0.13	0.41	1.05
TA6.02	40	38.4	16.1	3.5	3.1	11.5	26.4	1.1	6.2	0.5	11.6	10.36	0.37	0.25	0.09	0.31	1.02
TA6.03	60	3.9	26.6	15.0	3.9	12.1	39.1	0.4	2.5	0.3	10.0	3.10	0.05	0.21	0.07	0.27	0.60
TA6.04	80	1.4	27.6	22.9	3.9	9.8	34.2	0.3	1.6	0.1	11.6	3.08	0.20	0.41	0.13	0.37	1.11
TA6.05	100	0.0	26.6	27.9	4.4	8.7	32.3	0.2	1.1	0.1	10.3	3.08	0.02	0.16	0.09	0.29	0.47
TA6.06	120	12.0	19.8	22.3	3.3	6.9	35.5	0.2	1.0	0.1	9.2	2.91	0.05	0.12	0.07	0.20	0.44
TA6.07	140	0.0	37.9	15.3	3.4	6.6	34.7	0.2	0.9	0.1	13.3	6.21	0.12	0.12	0.13	0.26	0.65
TA6.08	160	0.0	23.2	25.5	1.4	9.2	30.5	0.1	0.8	0.1	7.5	7.77	0.12	0.12	0.09	0.35	0.68
TA7.01	10	19.5	18.4	3.6	1.7	10.0	42.1	4.6	27.9	1.9	14.8	2.91	0.25	0.62	0.26	0.43	1.56
TA7.02	40	31.1	18.6	3.3	2.4	9.2	32.4	3.0	17.9	3.3	5.4	4.81	0.12	0.41	0.17	0.36	1.06
TA7.03	60	23.1	23.0	5.7	2.9	10.4	33.8	1.2	6.8	0.5	13.9	5.56	0.07	0.29	0.13	0.31	0.80
TA7.04	80	4.3	39.2	12.5	3.3	8.8	40.3	0.6	3.4	0.3	12.3	4.53	0.10	0.29	0.11	0.24	0.74
TA7.05	100	1.3	28.8	19.8	2.7	6.9	49.2	0.4	2.4	0.2	13.6	6.36	0.07	0.25	0.09	0.18	0.59
TA7.06	120	1.1	27.5	25.2	2.9	6.3	36.7	0.4	2.2	0.2	10.7	6.34	0.12	0.25	0.11	0.18	0.66
TA7.07	140	0.0	26.1	27.8	2.7	8.0	35.1	0.3	2.0	0.2	11.2	7.61	0.17	0.12	0.15	0.24	0.68
TA7.08	160	0.0	24.1	28.6	3.2	9.1	34.7	0.3	1.8	0.2	9.8	7.44	0.15	0.29	0.15	0.17	0.76
TA8.01	20	15.6	25.0	2.3	1.9	9.9	42.3	2.9	17.2	1.4	12.0	4.54	0.10	0.49	0.15	0.55	1.29
TA8.02	40	19.0	18.9	17.5	2.8	8.2	32.6	1.1	6.4	0.6	10.6	7.00	0.35	0.33	0.15	0.54	1.37
TA8.03	60	21.1	30.8	4.7	2.8	8.1	31.7	0.9	5.3	0.5	11.4	8.23	0.07	0.29	0.15	0.51	1.02
TA8.04	80	10.5	37.6	6.5	3.0	8.0	33.6	0.7	4.3	0.4	10.9	10.11	0.05	0.33	0.13	0.51	1.02
TA8.05	100	8.6	32.8	8.3	3.1	6.7	40.1	0.6	3.3	0.3	11.9	6.50	0.22	0.37	0.13	0.45	1.17
TA8.06	120	7.2	36.6	10.4	3.0	6.3	36.1	0.4	2.5	0.2	11.8	6.70	0.05	0.29	0.11	0.37	0.82
TA8.07	140	9.1	31.5	10.7	2.8	5.2	40.4	0.4	2.3	0.2	10.8	6.50	0.17	0.25	0.11	0.37	0.90
TA8.08	160	9.3	30.2	11.9	2.7	6.0	39.6	0.3	2.0	0.2	10.9	5.52	0.17	0.25	0.15	0.42	0.99
TA8.09	180	3.8	31.2	11.8	3.4	5.8	43.3	0.3	1.5	0.1	11.7	5.09	0.07	0.21	0.15	0.40	0.83
TA8.10	200	5.6	31.6	13.7	3.1	7.0	38.8	0.3	1.9	0.1	13.5	5.52	0.42	0.25	0.13	0.38	1.18
TA8.11	220	0.0	31.3	21.4	3.7	8.0	35.3	0.4	2.3	0.2	11.0	9.43	0.65	0.25	0.11	0.32	1.23
TA9.01	20	28.6	21.1	2.4	1.5	9.3	36.8	0.3	21.3	2.2	9.5	4.58	0.50	0.53	0.20	0.56	1.79
TA9.03	50	36.4	24.3	4.1	1.8	9.0	24.3	0.1	7.8	0.8	9.3	8.01	0.12	0.29	0.09	0.40	0.70
TA9.05	100	11.7	33.5	8.5	2.4	9.9	35.0	0.1	3.3	0.4	7.9	6.86	0.07	0.25	0.07	0.33	0.72
TA9.06	120	23.3	24.1	10.2	2.6	7.1	32.7	0.9	2.4	0.3	7.4	12.30	0.12	0.16	0.09	0.20	0.57
TA9.07	140	3.5	31.3	14.4	3.1	9.0	38.6	0.0	1.4	0.2	5.9	6.43	0.10	0.16	0.04	0.24	0.54
TA9.08	160	1.6	30.1	17.0	3.5	9.6	38.2	0.0	1.2	0.3	4.1	3.66	0.30	0.16	0.07	0.23	0.76
TA9.09	180	1.9	25.8	17.5	4.1	10.4	40.3	0.0	0.9	0.2	4.2	3.15	0.07	0.12	0.07	0.20	0.46
TA9.10	200	0.9	22.5	17.4	4.4	11.7	43.2	0.0	1.1	0.2	4.8	2.46	0.10	0.12	0.04	0.19	0.45
TA9.11	220	1.1	20.8	14.7	3.9	11.2	48.2	0.0	0.9	0.2	3.9	2.29	0.15	0.12	0.07	0.22	0.56
TA10.01	20	3.6	28.9	4.0	2.1	14.7	45.4	0.2	11.7	1.2	10.1	4.18	0.12	0.37	0.28	0.43	1.29
TA10.02	40	5.4	32.3	5.4	2.6	15.1	38.9	0.2	10.3	1.0	10.5	4.98	0.12	0.33	0.11	0.36	0.92
TA10.03	60	45.9	18.4	3.4	1.9	9.0	21.2	0.1	7.3	0.8	8.7	9.87	0.07	0.21	0.09	0.33	0.70
TA10.04	80	8.0	33.4	7.3	3.5	14.6	33.2	0.1	4.3	0.5	8.2	6.86	0.10	0.16	0.09	0.23	0.58
TA10.05	100	2.9	33.5	9.3	3.6	13.8	36.8	0.1	3.4	0.4	8.2	8.15	0.05	0.12	0.04	0.22	0.43
TA10.06	120	2.4	16.4	10.2	6.1	15.9	49.0	0.0	1.9	0.3	6.9	4.69	0.05	0.04	0.07	0.00	0.16
TA10.07	140	2.1	23.7	14.5	6.5	15.5	36.7	0.0	1.7	0.3	6.0	7.72	0.07	0.04	0.04	0.15	0.30
TA10.08	160	0.4	24.0	15.8	6.0	16.6	37.2	0.0	1.4	0.2	5.9	8.72	0.10	0.04	0.07	0.18	0.39
TA10.09	180	1.4	11.9	12.3	6.6	16.7	51.1	0.0	1.0	0.2	5.8	6.01	0.10	0.04	0.11	0.15	0.40
TA10.10	200	0.9	18.1	16.4	7.4	20.1	37.2	0.0	1.0	0.1	7.1	9.15	0.07	0.04	0.04	0.12	0.27
TA11.01	20	8.1	24.5	5.4	1.7	12.0	48.1	0.2	13.3	1.2	11.2	3.72	0.27	0.37	0.13	0.40	1.17
TA11.02	40	26.2	23.6	5.4	2.6	12.6	29.5	0.1	7.6	0.8	9.4	4.63	0.12	0.29	0.24	0.37	1.02
TA11.03	60	19.3	26.3	6.7	3.1	13.3	31.2	0.1	4.5	0.5	9.8	6.08	0.95	0.25	0.09	0.32	1.61
TA11.04	80	15.5	24.4	9.2	3.3	10.9	36.7	0.0	3.3	0.4	7.8	4.22	0.20	0.12	0.09	0.23	0.64
TA11.05	100	1.6	30.9	14.8	4.0	11.7	36.9	0.0	2.7	0.4	6.9	6.86	0.10	0.16	0.07	0.18	0.51
TA11.06	120	2.7	28.1	17.7	4.0	11.7	35.7	0.0	2.0	0.4	5.8	6.72	0.12	0.16	0.11	0.18	0.57
TA11.07	140	0.5	27.5	21.7	4.5	11.5	34.2	0.0	1.8	0.3	6.3	7.44	0.22	0.12	0.07	0.15	0.56
TA11.08	160	0.6	24.2	22.8	4.2	11.7	36.5	0.0	1.6	0.3	5.1	7.58	0.35	0.12	0.04	0.10	0.61
TA11.09	180	0.2	23.3	22.9	4.6	12.9	36.1	0.0	1.6	0.3	5.5	8.01	0.15	0.08	0.07	0.09	0.39

Ref	Prof	pHe	pHK	AIE	H+E	AcE	CEC	CaE	MgE	NaE	KE	SBE	V	Tac
TA6.01	10	4.86	4.46	0.63	0.07	0.70	2.1	0.02	0.07	0.05	0.04	0.18	8.6	79.5
TA6.02	40	5.14	4.63	0.00	0.00	0.00	1.3	0.02	0.03	0.03	0.02	0.10	7.7	0.0
TA6.03	60	4.53	4.63	0.24	0.00	0.24	0.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	4.4	85.7
TA6.04	80	5.13	4.57	0.00	0.00	0.00	0.9	0.02	0.06	0.02	0.01	0.11	12.2	0.0
TA6.05	100	5.06	4.50	0.47	0.07	0.54	1.0	0.02	0.07	0.02	0.01	0.12	12.0	81.8
TA6.06	120	4.97	4.47	0.47	0.06	0.53	1.1	0.02	0.05	0.02	0.01	0.10	9.1	84.1
TA6.07	140	5.05	4.42	0.70	0.08	0.78	1.6	0.02	0.07	0.09	0.01	0.19	11.9	80.4
TA6.08	160	4.76	4.41	0.92	0.12	1.04	1.8	0.01	0.05	0.02	0.01	0.09	5.0	92.0
TA7.01	10	4.19	3.76	1.33	0.47	1.80	7.2	0.14	0.29	0.16	0.08	0.67	9.3	72.9
TA7.02	40	4.57	4.16	0.90	0.00	0.00	4.4	0.10	0.21	0.10	0.04	0.45	10.2	0.0
TA7.03	60	5.11	4.53	0.55	0.04	0.59	1.6	0.03	0.11	0.06	0.02	0.22	13.8	72.8
TA7.04	80	5.55	4.65	0.31	0.00	0.31	1.5	0.01	0.16	0.04	0.01	0.22	14.7	58.5
TA7.05	100	5.59	4.62	0.35	0.00	0.35	1.7	0.01	0.12	0.05	0.02	0.20	11.8	63.6
TA7.06	120	5.38	4.54	0.57	0.06	0.63	1.9	0.02	0.10	0.04	0.02	0.18	9.5	77.8
TA7.07	140	5.24	4.50	0.56	0.07	0.63	2.0	0.02	0.13	0.04	0.02	0.21	10.5	75.0
TA7.08	160	5.22	4.47	0.64	0.08	0.72	2.1	0.02	0.15	0.04	0.02	0.23	11.0	75.8
TA8.01	20	4.46	4.17	1.06	0.20	1.26	3.9	0.03	0.08	0.05	0.05	0.21	5.4	85.7
TA8.02	40	4.91	4.52	0.44	0.02	0.46	1.9	0.02	0.03	0.05	0.02	0.12	6.3	79.3
TA8.03	60	4.96	4.58	0.27	0.00	0.27	1.7	0.02	0.03	0.03	0.01	0.09	5.3	75.0
TA8.04	80	5.11	4.64	0.24	0.00	0.24	1.2	0.01	0.10	0.02	0.01	0.14	11.7	65.2
TA8.05	100	5.40	4.83	0.12	0.00	0.12	1.5	0.01	0.21	0.03	0.02	0.27	18.0	30.8
TA8.06	120	5.39	4.90	0.09	0.00	0.09	1.2	0.01	0.15	0.02	0.00	0.18	15.0	33.3
TA8.07	140	5.41	4.87	0.08	0.00	0.08	1.3	0.11	0.11	0.04	0.02	0.28	21.5	22.2
TA8.08	160	5.30	4.85	0.08	0.00	0.08	1.1	0.07	0.06	0.02	0.01	0.16	14.5	33.3
TA8.09	180	5.58	4.92	0.05	0.00	0.05	1.2	0.08	0.05	0.02	0.02	0.17	14.2	22.7
TA8.10	200	5.33	4.70	0.13	0.00	0.13	1.1	0.10	0.05	0.03	0.02	0.20	18.2	39.4
TA8.11	220	5.35	4.75	0.14	0.00	0.14	1.4	0.32	0.05	0.03	0.04	0.44	31.4	24.1
TA9.01	20	4.62	4.27	0.68	0.07	0.75	4.89	0.65	0.21	0.11	0.09	1.06	21.7	41.4
TA9.03	60	5.15	4.50	0.29	0.04	0.33	2.32	0.13	0.07	0.06	0.03	0.29	12.5	53.2
TA9.05	100	5.43	4.85	0.09	0.05	0.14	1.40	0.01	0.07	0.00	0.01	0.09	6.4	60.9
TA9.06	120	5.41	4.90	0.08	0.03	0.11	1.45	0.02	0.05	0.00	0.01	0.08	5.5	57.9
TA9.07	140	5.35	4.80	0.10	0.05	0.15	1.15	0.01	0.03	0.00	0.01	0.05	4.3	75.0
TA9.08	160	5.49	4.62	0.15	0.07	0.22	1.19	0.01	0.03	0.01	0.01	0.06	5.5	78.6
TA9.09	180	5.20	4.66	0.18	0.06	0.24	1.05	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04	3.8	85.7
TA9.10	200	5.30	4.66	0.15	0.08	0.24	0.90	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	3.3	88.9
TA9.11	220	5.44	4.65	0.15	0.07	0.22	1.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	3.0	88.0
TA10.01	20	4.79	4.44	0.46	0.00	0.46	3.15	0.02	0.12	0.23	0.07	0.44	14.0	51.1
TA10.02	40	4.98	4.55	0.32	0.09	0.41	2.85	0.01	0.07	0.04	0.03	0.15	5.3	73.2
TA10.03	60	5.21	4.52	0.19	0.04	0.23	1.95	0.01	0.02	0.00	0.02	0.05	2.6	82.1
TA10.04	80	5.12	4.85	0.11	0.05	0.16	1.65	0.06	0.01	0.00	0.02	0.09	5.5	64.0
TA10.05	100	5.07	4.86	0.06	0.04	0.10	1.25	0.04	0.00	0.00	0.01	0.05	4.0	66.7
TA10.06	120	5.37	5.03	0.05	0.01	0.06	0.70	0.10	0.01	0.00	0.01	0.12	17.1	33.3
TA10.07	140	5.33	5.10	0.09	0.11	0.11	0.85	0.04	0.00	0.00	0.01	0.05	5.9	68.8
TA10.08	160	5.35	5.16	0.00	0.08	0.08	1.35	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	2.2	72.7
TA10.09	180	5.30	5.12	0.00	0.10	0.10	0.60	0.05	0.03	0.06	0.01	0.15	25.0	40.0
TA10.10	200	5.53	5.40	0.00	0.06	0.06	1.90	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	1.0	85.7
TA11.01	20	4.95	4.46	0.50	0.08	0.58	3.45	0.06	0.07	0.02	0.04	0.19	5.5	75.3
TA11.02	40	5.08	4.66	0.23	0.04	0.27	2.25	0.04	0.09	0.16	0.10	0.39	17.3	40.9
TA11.03	60	5.23	4.76	0.15	0.06	0.21	1.60	0.04	0.05	0.00	0.01	0.10	6.3	67.7
TA11.04	80	5.40	4.79	0.11	0.06	0.17	1.60	0.09	0.02	0.02	0.03	0.16	10.0	51.5
TA11.05	100	5.50	4.73	0.16	0.06	0.22	1.65	0.01	0.02	0.02	0.02	0.07	4.2	75.9
TA11.06	120	5.24	4.65	0.17	0.07	0.24	1.95	0.02	0.03	0.04	0.01	0.10	5.1	70.6
TA11.07	140	5.40	4.69	0.31	0.07	0.38	2.20	0.06	0.02	0.00	0.02	0.10	4.5	79.2
TA11.08	160	5.31	4.63	0.35	0.07	0.42	2.05	0.02	0.02	0.00	0.01	0.05	2.4	89.4
TA11.09	180	5.42	4.66	0.35	0.07	0.42	2.60	0.06	0.03	0.01	0.01	0.11	4.2	79.2

Ref	Prof	GRO	ARG	LIF	LIG	SAF	SAG	NO	CBN	AZO	CsN	FeT	CaT	MgT	NaI	KI	SBT
TA12.01	20	8.9	27.6	5.1	2.1	16.9	40.0	0.3	17.4	1.1	16.6	3.60	0.27	0.33	0.11	0.22	0.93
TA12.03	60	34.7	19.9	6.2	2.0	9.8	27.5	0.1	5.8	0.7	8.6	7.01	0.10	0.12	0.04	0.12	0.38
TA12.04	80	5.7	28.4	15.5	2.8	13.2	33.4	0.0	2.8	0.4	7.2	5.72	0.20	0.12	0.20	0.13	0.65
TA12.05	100	5.8	26.1	20.2	2.9	11.2	33.8	0.0	2.5	0.3	7.7	6.58	0.25	0.12	0.07	0.10	0.56
TA12.06	120	0.5	24.1	24.0	3.5	12.3	35.5	0.0	1.6	0.3	5.6	7.01	0.27	0.08	0.11	0.08	0.54
TA12.07	140	0.2	24.6	24.9	3.5	13.4	33.5	0.0	1.3	0.2	6.3	7.29	0.30	0.12	0.07	0.08	0.57
TA12.09	160	0.2	21.2	24.2	3.7	15.4	34.3	0.0	1.6	0.2	6.5	7.58	0.27	0.12	0.07	0.09	0.55
TA12.09	180	0.4	17.3	23.5	3.8	17.8	37.2	0.0	1.3	1.2	1.1	7.72	0.20	0.08	0.04	0.06	0.38
TA12.10	200	0.1	15.8	25.1	3.6	16.1	39.3	0.0	1.1	0.2	5.2	7.87	0.20	0.25	0.50	0.09	1.04
TA12.11	220	0.1	16.8	28.7	5.2	21.2	28.0	0.0	1.0	0.2	6.1	5.72	0.15	0.08	0.04	0.05	0.32
TA13.01	20	6.2	27.4	4.3	2.0	17.3	42.5	0.3	16.1	1.5	10.5	2.46	0.15	0.37	0.09	0.23	0.84
TA13.02	40	53.2	12.9	3.5	1.6	9.7	20.2	0.1	6.5	0.7	9.0	9.01	0.12	0.21	0.07	0.20	0.60
TA13.03	60	2.0	26.7	12.4	3.9	16.0	39.0	0.1	3.3	0.4	8.5	3.83	0.15	0.16	0.04	0.15	0.50
TA13.04	80	0.6	23.9	19.8	5.4	14.8	35.4	0.0	2.0	0.3	6.2	3.43	0.27	0.16	0.09	0.14	0.66
TA13.05	100	4.9	22.6	17.1	5.6	13.6	34.2	0.0	2.2	0.3	6.7	3.49	0.27	0.18	0.26	0.19	0.90
TA13.06	120	0.5	19.7	27.2	7.1	14.2	31.2	0.0	1.2	0.3	4.1	3.56	0.32	0.12	0.05	0.10	0.59
TA13.07	140	0.2	17.2	30.1	6.4	13.8	30.3	0.0	1.0	0.2	4.0	3.15	0.07	0.12	0.04	0.10	0.33
TA13.08	160	0.1	16.7	27.0	5.2	17.4	33.5	0.0	1.2	0.2	5.0	5.65	0.15	0.12	0.04	0.14	0.45
TA13.09	180	0.1	15.4	23.8	4.6	21.8	34.3	0.0	0.9	0.2	5.2	7.01	0.15	0.16	0.07	0.17	0.55

Ref	Prof	pHe	pHt	AIE	H+E	AcE	CEC	CaE	MgE	NaE	KE	SBE	V	Tac
TA12.01	20	5.00	4.69	0.31	0.07	0.38	2.85	0.01	0.06	0.04	0.04	0.15	5.3	71.7
TA12.03	60	5.27	4.94	0.08	0.02	0.10	1.35	0.00	0.02	0.01	0.02	0.05	3.7	66.7
TA12.04	80	5.54	5.94	0.04	0.02	0.06	1.30	0.06	0.02	0.13	0.02	0.23	17.7	20.7
TA12.05	100	5.40	5.00	0.05	0.03	0.08	1.25	0.01	0.04	0.01	0.02	0.08	6.4	50.0
TA12.06	120	5.29	4.99	0.06	0.02	0.08	1.40	0.04	0.06	0.04	0.02	0.16	11.4	33.3
TA12.07	140	5.38	4.95	0.09	0.02	0.11	1.55	0.00	0.03	0.09	0.01	0.04	2.6	72.3
TA12.08	160	5.46	4.85	0.11	0.04	0.15	1.60	0.05	0.02	0.00	0.02	0.09	5.6	62.5
TA12.09	180	5.34	4.85	0.10	0.06	0.16	1.75	0.02	0.02	0.09	0.01	0.05	2.9	76.2
TA12.10	200	5.19	4.76	0.13	0.06	0.19	1.85	0.12	0.26	0.60	0.03	1.01	54.6	15.8
TA12.11	220	5.22	4.65	0.38	0.12	0.50	1.95	0.03	0.04	0.01	0.01	0.09	4.6	84.7
TA13.01	20	4.98	4.58	0.42	0.08	0.50	2.50	0.04	0.05	0.02	0.03	0.14	5.4	78.1
TA13.02	40	5.17	4.76	0.14	0.06	0.20	1.83	0.09	0.02	0.01	0.03	0.06	3.3	76.9
TA13.03	60	5.11	4.80	0.13	0.07	0.20	1.60	0.02	0.01	0.00	0.01	0.04	2.5	83.3
TA13.04	80	5.34	4.86	0.08	0.05	0.13	1.25	0.01	0.07	0.02	0.02	0.12	9.6	52.0
TA13.05	100	5.21	4.80	0.11	0.04	0.15	1.05	0.00	0.04	0.21	0.09	0.34	32.4	30.6
TA13.06	120	5.37	4.76	0.15	0.04	0.19	1.09	0.01	0.04	0.01	0.01	0.07	7.0	73.1
TA13.07	140	5.33	4.66	0.23	0.06	0.29	1.10	0.01	0.04	0.09	0.01	0.06	5.5	82.9
TA13.08	160	5.42	4.65	0.27	0.10	0.37	1.30	0.01	0.05	0.02	0.02	0.10	7.7	79.7
TA13.09	180	5.18	4.58	0.46	0.16	0.62	1.75	0.06	0.08	0.02	0.01	0.17	9.7	78.5

-ANNEXE II-

Listage complet  
des histogrammes de répartition  
des données physico-chimiques.

VARIABLE ARG

TOUTES LES VALEURS CARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 0 400

PAS DE L'HISTOGRAMME : 20

MOYENNE : 233

ECART-TYPE : 65

									602!												
									1308!				903!								
									1209!				906!	1103!							
									1211!				1304!	909!							
									1210!				1102!	1207!	1205!		803!				
									1309!	1006!			910!	1206!	1107!		908!				
									205!	306!			1203!	1305!	1104!	707!	1204!	907!			
									204!	305!	802!	1306!	1109!	1108!	1301!	1106!	1105!				
									105!	304!	702!	1208!	608!	1008!	1201!	706!	808!				
									104!	288!	1003!	911!	601!	1007!	801!	705!	811!	1002!			
									303!	207!	1307!	606!	703!	708!	1303!	509!	809!	905!			
									203!	206!	1010!	901!	313!	510!	605!	1001!	704!	1005!			
									103!	108!	701!	211!	405!	1101!	603!	604!	408!	1004!			
									302!	107!	307!	210!	404!	406!	503!	504!	507!	807!			
									1302!	301!	106!	209!	502!	308!	213!	113!	508!	506!	905!		max!
									1009!	202!	401!	109!	403!	111!	212!	112!	410!	409!	810!		804!
	min!								101!	201!	102!	501!	402!	110!	309!	310!	311!	312!	505!		806! 607!
-----																					
CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!	
EFFEC.!	1!	0!	0!	0!	0!	0!	3!	12!	17!	10!	11!	13!	16!	15!	11!	13!	8!	0!	1!	3!	





VARIABLE SAF

TOUTES LES VALEURS CHARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 2

VALEURS EXTREMES : 500 2500

PAS DE L'HISTOGRAMME : 100

MOYENNE : 1218

ECART-TYPE : 420

!	!	!	!	!	1302!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	905!	!	!	!	!	1005!	!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	903!	!	!	!	!	602!	!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	1003!	!	!	!	!	910!	!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	907!	!	!	!	!	1206!	!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	708!	1203!	1205!	1106!	!	1001!	1004!	!	!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	906!	803!	608!	702!	1104!	1105!	1204!	601!	1304!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	805!	802!	901!	909!	1107!	1108!	1103!	311!	504!	!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	705!	804!	704!	908!	911!	1101!	1102!	405!	406!	1208!	!	!	!	!	!				
!	!	!	!	!	808!	810!	811!	605!	801!	510!	603!	1207!	308!	304!	1210!	1308!	!	!	!				
!	!	!	!	!	806!	607!	707!	113!	604!	701!	212!	1109!	306!	204!	1007!	1009!	!	!	1211!				
!	!	!	!	!	706!	606!	505!	211!	313!	703!	307!	312!	305!	502!	1006!	1008!	!	!	404!				
!	min!	809!	506!	408!	209!	112!	213!	107!	310!	206!	303!	1201!	1301!	!	!	!	!	1010!	104!				
!	807!	509!	409!	410!	111!	210!	207!	106!	309!	203!	401!	1303!	503!	!	!	!	!	403!	103!				
!	508!	507!	208!	108!	109!	202!	110!	201!	205!	302!	101!	105!	301!	1209!	!	!	!	402!	501!	1309!	102!	max!	
-----																							
CLASSE#	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!			
EFFEC.#	3!	6!	9!	9!	15!	10!	10!	13!	9!	14!	11!	7!	6!	1!	0!	3!	5!	1!	1!	1!			

VARIABLE SAG

TOUTES LES VALEURS CHARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 100 700

PAS DE L'HISTOGRAMME : 30

MOYENNE : 437

ECART-TYPE : 122

									905!																		
									1305!																		
									1304!																		
									1200!																		
									1206!																		
									1205!																		
									1106!	1002!																	
									806!	1005!																	
									804!	908!																	
									1309!	907!																	
									1109!	1209!																	
									1108!	1105!																	
									1107!	1104!																	
									1204!	811!	706!	909!															
									1103!	708!	1210!	808!							306!								
									803!	707!	1010!	807!							305!								
									802!	607!	1008!	805!					213!		304!	209!							
									702!	606!	1007!	705!	910!				212!		211!	207!							
									1004!	510!	810!	1301!	809!	911!			309!		206!	205!							
									906!	509!	1201!	704!	801!	1101!			308!		204!	107!							
									1308!	901!	1303!	505!	701!	1001!	1009!		210!		108!	203!							
									1306!	703!	603!	504!	503!	601!	1006!	310!	111!		106!	302!							
									1102!	1207!	604!	508!	408!	406!	312!	311!	104!	110!		105!	301!	max!					
									1302!		1203!	1307!	608!	410!	507!	506!	113!	405!	112!	103!	109!		303!	201!	200!		
									min!		1003!	903!	602!	1211!	605!	313!	409!	502!	404!	403!	501!	402!	102!	307!	401!	101!	202!
CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!							
EFFEC.!	1!	0!	0!	2!	1!	2!	3!	12!	25!	19!	12!	8!	7!	5!	4!	9!	1!	11!	9!	3!							









VARIABLE PHK

TOUTES LES VALEURS CARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 350 550

PAS DE L'HISTOGRAMME : 10

MOYENNE : 458

ECART-TYPE : 26

!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	608!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	607!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	510!	903!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	509!	802!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	1001!	1003!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	503!	706!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	508!	708!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	410!	707!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	212!	606!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	308!	1101!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	307!	601!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	306!	703!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	305!	605!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	304!	505!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	211!	504!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	210!	507!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	209!	506!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	208!	409!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	207!	312!	1002!	910!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	206!	311!	803!	909!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	205!	213!	602!	1308!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	204!	113!	908!	1307!	!	!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	109!	112!	804!	1106!	1302!	1005!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	108!	404!	705!	1105!	1103!	1004!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	107!	310!	1309!	1211!	907!	906!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	106!	309!	1108!	1109!	1306!	1304!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	105!	111!	1301!	1107!	1305!	1209!	!	!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	901!	104!	110!	604!	911!	1104!	1208!	1204!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	401!	502!	403!	603!	810!	805!	808!	1207!	!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	702!	302!	303!	203!	408!	1201!	1210!	807!	1206!	!	!	
!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	801!	201!	103!	402!	406!	704!	811!	806!	1205!	1009!	!	max!
!	min!	!	!	701!	!	!	301!	501!	101!	102!	202!	405!	313!	1303!	809!	1006!	1007!	1008!	!	1010!	

CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!
EFFEC.!	1!	0!	0!	1!	0!	0!	1!	3!	5!	32!	30!	14!	15!	10!	12!	5!	2!	1!	0!	2!



VARIABLE ALE

TOUTES LES VALEURS CHARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 0 1400

PAS DE L'HISTOGRAMME : 70

MOYENNE : 347

ECART-TYPE : 250

!	!	!	!	!	!	705!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	1211!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	1109!	802!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	1108!	1309!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	505!	606!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	!	!	503!	509!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	1203!	!	!	!	508!	1301!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	905!	!	!	!	507!	1001!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	1004!	!	!	!	506!	605!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	907!	!	!	!	212!	410!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	min!	906!	!	!	!	113!	404!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1204!	1305!	!	!	!	112!	211!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	702!	1304!	1302!	!	!	405!	207!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	602!	1209!	1103!	!	!	310!	206!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1005!	1208!	1003!	!	1002!	309!	205!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1206!	1207!	910!	!	903!	308!	204!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1205!	1104!	909!	1102!	1107!	307!	110!	510!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1010!	808!	908!	803!	1201!	306!	109!	1101!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1009!	807!	1306!	1308!	704!	305!	108!	703!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1008!	806!	1106!	1307!	504!	304!	107!	210!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1007!	805!	1105!	804!	409!	111!	105!	209!	706!	708!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	1006!	1210!	911!	603!	406!	106!	502!	203!	707!	901!	607!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	809!	810!	811!	408!	311!	104!	403!	402!	208!	601!	401!	!	501!	!	!	!	!	!	!	max!
!	604!	1303!	313!	312!	213!	103!	303!	102!	202!	302!	101!	201!	301!	608!	!	801!	!	!	!	701!

---

CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!
EFFEC.!	14!	10!	12!	0!	10!	24!	22!	8!	4!	4!	3!	1!	2!	1!	0!	1!	0!	0!	0!	2!















VARIABLE MGT

TOUTES LES VALEURS CARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1  
 VALEURS EXTREMES : 20 620  
 PAS DE L'HISTOGRAMME : 30  
 MOYENNE : 260  
 ECART-TYPE : 127

!	!	!	!	1204!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1203!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1005!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	910!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	909!	!	!	!	!	!	!	805!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1308!	1004!	!	!	!	!	!	1301!	!	702!	!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1307!	908!	!	!	!	!	1102!	1002!	1101!	!	601!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1306!	907!	!	!	!	!	903!	802!	1001!	!	604!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1208!	906!	!	!	!	!	803!	804!	313!	!	312!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1207!	1304!	!	!	1103!	!	806!	1201!	307!	!	311!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1205!	1106!	!	!	905!	!	708!	112!	211!	!	310!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1104!	1105!	!	!	602!	!	704!	404!	207!	!	309!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1108!	1309!	!	!	808!	!	703!	304!	204!	!	308!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	1107!	510!	!	!	807!	!	503!	206!	111!	!	210!	!	!	!	!	!	!
!	!	!	!	911!	509!	!	!	706!	!	406!	205!	107!	!	209!	!	!	!	!	!	!
!	min!	!	!	707!	1303!	!	!	705!	!	213!	106!	501!	!	208!	!	!	!	!	!	!
!	1010!	!	1209!	608!	605!	!	1302!	1210!	!	405!	502!	402!	!	110!	!	!	!	!	!	!
!	1009!	!	1206!	607!	505!	!	1003!	811!	!	306!	403!	401!	!	109!	!	!	!	!	!	!
!	1008!	!	1211!	606!	408!	!	809!	810!	!	105!	203!	302!	!	108!	!	!	!	!	!	!
!	1007!	!	1109!	506!	508!	!	603!	113!	!	104!	103!	201!	!	301!	!	!	!	901!	!	max!
!	1006!	!	507!	410!	409!	1305!	504!	305!	!	303!	202!	102!	!	101!	!	801!	!	212!	!	701!
-----																				
CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!
EFFEC.!	6!	0!	5!	21!	16!	1!	5!	12!	0!	15!	15!	17!	0!	16!	0!	1!	0!	2!	0!	2!

VARIABLE NAT

TOUTES LES VALEURS CARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 0 600

PAS DE L'HISTOGRAMME : 30

MOYENNE : 113

ECART-TYPE : 70

1103!
1002!
903!
602!
1004!
1003!
906!
1304!
1206!
1205!
1106!
1104!
807!
806!
706!
705!
1009!
811!
608!
510!
1301!
1201!
704!
605!

○  
○  
○

307!
306!
305!
304!
211!
210!
209!
208!
206! 805!
1302! 205! 804!
905! 108! 810!
909! 107! 607!
908! 106! 1101!
1208! 105! 601!
1283! 1207! 104! 703!
1005! 1105! 502! 604! 803!
910! 1309! 303! 504! 802!
907! 1109! 203! 503! 702!
1308! 1107! 103! 112! 808!
1307! 1008! 501! 404! 809!
1306! 1006! 401! 310! 708!
1209! 911! 302! 207! 707!
1211! 606! 301! 111! 801!
1108! 509! 202! 110! 409! 1102!
1010! 603! 201! 109! 410! 1305!
1007! 508! 102! 403! 312! 1204! 701!
min! 1303! 507! 101! 402! 212! 901! 204! 1001! 1210! max!

CLASSE!	1!	2!	3!	4!	5!	6!	7!	8!	9!	10!	11!	12!	13!	14!	15!	16!	17!	18!	19!	20!
EFFEC!	1!	13!	18!	62!	19!	12!	2!	0!	4!	1!	0!	0!	0!	0!	0!	0!	1!	0!	0!	1!



VARIABLE MO

TOUTES LES VALEURS CHARACTERISTIQUES SONT MULTIPLIEES PAR 10 \*\* 1

VALEURS EXTREMES : 0 600

PAS DE L'HISTOGRAMME : 30

MOYENNE : 45

ECART-TYPE : 81

! min!  
! 1302!  
! 1204!  
! 1203!  
! 1103! !

o  
o  
o

! 1305!  
! 1305! 600!  
! 1304! 807!  
! 1209! 806!  
! 1208! 706!  
! 1207! 705!  
! 1206! 811!  
! 1205! 810!  
! 1106! 809!  
! 1105! 708!  
! 1104! 707!  
! 1309! 1301!  
! 1211! 1201!  
! 1210! 901!  
! 1109! 604!  
! 1108! 603!  
! 1107! 505!  
! 1010! 504!  
! 1009! 408!  
! 1008! 506!  
! 1007! 410!  
! 1006! 313!  
! 911! 406!  
! 600! 312!  
! 607! 311!  
! 606! 405!  
! 510! 404!  
! 509! 310!  
! 1101! 309!  
! 1001! 308!  
! 1303! 307!  
! 605! 306!  
! 508! 305!  
! 507! 304!  
! 409! 210!  
! 213! 209!  
! 212! 208!  
! 113! 207!  
! 112! 205!  
! 211! 204! 905!  
! 206! 109! 804! 803!  
! 111! 107! 704! 802!  
! 110! 104! 503! 602!  
! 100! 303! 502! 402! ! 401!  
! 106! 203! 403! 302! ! 201! ! 501! ! ! 702! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! ! !  
! 105! 103! 102! 202! 703! 101! 601! 301! ! ! 801! ! ! ! ! 701! ! ! ! ! max!

CLASSE! 1! 2! 3! 4! 5! 6! 7! 8! 9! 10! 11! 12! 13! 14! 15! 16! 17! 18! 19! 20!  
EFFEC.! 65! 45! 7! 6! 1! 3! 1! 2! 0! 0! 2! 0! 0! 0! 0! 0! 1! 0! 0! 1!















Profil	e16	eM1,5	eM6	σF0,5	σF1	σF1,5	σF2	σF2,5	σF3	σF3,5	σF4	σF5	σFt
<hr/>													
P1													
1	0.688	0.719	0.656	0.636	0.638	0.625	0.571	0.511	0.470	0.472	0.442	0.181	0.016
2	0.673	0.772	0.655	0.657	0.633	0.632	0.556	0.508	0.479	0.462	0.437	0.168	0.012
<hr/>													
P2													
1	0.744			0.600	0.605	0.572	0.502	0.405	0.386	0.374	0.336	0.144	0.016
2	0.619	0.632	0.577	0.564	0.544	0.510	0.444	0.398	0.386	0.382	0.363	0.204	0.013
3	0.741			0.717	0.699	0.702	0.668	0.623	0.579	0.559	0.488	0.237	0.021
<hr/>													
P3													
1	0.635	0.627	0.588	0.629	0.581	0.504	0.497	0.425	0.400	0.363	0.296	0.154	0.016
2	0.561	0.560	0.535	0.485	0.454	0.417	0.383	0.352	0.346	0.298	0.274	0.204	0.014
3	0.696	0.727	0.687	0.657	0.642	0.593	0.585	0.492	0.472	0.458	0.406	0.256	0.025

**-ANNEXE III-**

**Listage complet des résultats de l'A.F.C.  
portant sur le tableau disjonctif complet  
des variables physico-chimiques.**

LES VALEURS PROPRES VAL(1)= 1.00000

NUM	ITER	VAL PROPRE	POURCENT	CUMUL	HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES DE LA MATRICE
2	0	.32043	12.570	12.570	*****
3	1	.26552	10.416	22.985	*****
4	0	.16789	6.586	29.571	*****
5	0	.12935	5.074	34.645	*****
6	1	.11426	4.482	39.128	*****
7	2	.11105	4.356	43.484	*****
8	1	.09379	3.679	47.163	*****
9	1	.08576	3.354	50.527	*****
10	1	.07768	3.047	53.575	*****
11	1	.07239	2.940	56.414	*****
12	1	.06854	2.669	59.103	*****
13	2	.06462	2.535	61.638	*****
14	2	.06208	2.435	64.073	*****
15	1	.05849	2.177	66.250	*****
16	1	.05234	2.053	68.303	*****
17	2	.05119	2.008	70.311	*****
18	2	.05063	1.986	72.297	*****
19	2	.04895	1.885	74.182	*****
20	2	.04496	1.764	75.946	*****
21	2	.04125	1.618	77.564	*****
22	1	.03973	1.559	79.123	*****
23	2	.03682	1.444	80.567	*****
24	2	.03519	1.380	81.947	*****
25	2	.03380	1.326	83.273	*****
26	2	.03208	1.258	84.532	*****
27	2	.03065	1.202	85.734	*****
28	1	.02790	1.094	86.828	*****
29	2	.02700	1.059	87.887	*****
30	2	.02588	1.015	88.903	*****
31	1	.02307	.905	89.808	*****
32	2	.02245	.881	90.689	*****
33	3	.02206	.866	91.554	*****
34	2	.02070	.812	92.366	*****
35	2	.01884	.739	93.105	*****
36	1	.01632	.640	93.745	*****
37	2	.01538	.603	94.348	*****
38	2	.01474	.578	94.926	*****
39	2	.01348	.529	95.455	*****
40	2	.01242	.487	95.943	*****
41	2	.01200	.471	96.413	*****
42	2	.01103	.433	96.846	*****
43	2	.01003	.393	97.239	*****
44	2	.00925	.363	97.602	*****
45	2	.00838	.329	97.931	*****
46	2	.00792	.311	98.242	*****
47	2	.00675	.265	98.507	*****
48	2	.00640	.251	98.758	*****
49	2	.00561	.220	98.978	*****
50	3	.00506	.198	99.176	*****
51	3	.00453	.178	99.354	*****
52	3	.00403	.158	99.512	*****
53	4	.00352	.138	99.650	*****
54	3	.00287	.112	99.762	*****
55	2	.00251	.098	99.860	*****
56	2	.00196	.077	99.937	*****
57	2	.00130	.051	99.988	*****
58	1	.00017	.007	99.995	*****
59	3	.00014	.005	100.000	*****
60	0	.00000	.000	100.000	*****
61	0	.00000	.000	100.000	*****
62	2	.00000	.000	100.000	*****
63	1	.00000	.000	100.000	*****
64	2	.00000	.000	100.000	*****
65	2	.00000	.000	100.000	*****
66	2	.00000	.000	100.000	*****
67	3	.00000	.000	100.000	*****
68	2	.00000	.000	100.000	*****
69	2	.00000	.000	100.000	*****
70	6	.00000	.000	100.000	*****
71	3	.00000	.000	100.000	*****
72	3	.00000	.000	100.000	*****
73	2	.00000	.000	100.000	*****
74	2	.00000	.000	100.000	*****
75	2	.00000	.000	100.000	*****
76	2	.00000	.000	100.000	*****
77	2	.00000	.000	100.000	*****
78	2	.00000	.000	100.000	*****

TABLEAU DES VALEURS PROPRES ET DES VECTEURS PROPRES

NUMERO	VAL PROPRE 1	VAL PROPRE 2	VAL PROPRE 3	VAL PROPRE 4	VAL PROPRE 5	VAL PROPRE 6	VAL PROPRE 7	VAL PROPRE 8
	1.00000	.32043	.26552	.16789	.12935	.11426	.11105	.09379
OBJET 1!	-.12030	.12597	-.03547	.19428	-.02423	.20063	-.09531	.03502
OBJET 2!	-.13747	-.02036	.01411	.00742	.14303	-.09353	.13697	.02876
OBJET 3!	-.10982	-.11238	.02212	-.22170	-.15231	-.11625	-.06726	-.07311
OBJET 4!	-.12361	.24742	-.09310	.07228	-.01598	.08066	-.02649	.06443
OBJET 5!	-.09445	.01018	.14840	-.19977	.10595	.08661	.10635	-.07041
OBJET 6!	-.09823	-.15017	-.02047	-.05681	-.10315	-.01278	.19266	.00921
OBJET 7!	-.10167	-.17220	-.00590	.14950	.02170	-.17159	-.25158	-.02344
OBJET 8!	-.11740	.11661	.00219	.03711	.13591	-.14055	-.02155	.09750
OBJET 9!	-.13126	.01507	.04559	-.16215	-.18262	.11986	-.13644	.02628
OBJET 10!	-.12030	-.13014	-.05101	.21352	.06702	.00531	.18995	-.12274
OBJET 11!	-.07654	-.09117	-.01400	-.15642	-.22413	-.12835	-.20833	.06012
OBJET 12!	-.10824	.02355	.04243	-.11163	.21772	-.05005	-.05904	.05923
OBJET 13!	-.10501	-.00672	-.00610	.03691	.06363	-.00506	.10461	.00218
OBJET 14!	-.11593	.02392	-.00481	.12502	-.07594	.10770	.14490	-.12335
OBJET 15!	-.05870	.04021	-.03779	.09764	-.07224	.05382	-.01894	-.01921
OBJET 16!	-.08302	-.05877	.11936	-.01391	.23760	.23497	-.11840	.06689
OBJET 17!	-.12313	-.18132	.02953	.03447	-.00293	-.13686	-.05497	-.02355
OBJET 18!	-.11138	.04862	.01177	-.12650	-.12647	-.12118	.20473	-.07850
OBJET 19!	-.10501	.20761	-.15104	.10520	-.04981	.10203	-.05905	.05937
OBJET 20!	-.13386	-.13515	-.01516	.23081	-.00735	-.13506	-.11613	-.07374
OBJET 21!	-.13514	.11968	-.13156	-.09789	-.09681	.07412	.13810	.00929
OBJET 22!	-.07876	.00154	.12711	-.16718	-.02882	-.03508	-.00963	.02778
OBJET 23!	-.05569	.03244	.17781	-.07997	.29422	.19205	-.04228	.11801
OBJET 24!	-.11292	-.06676	-.12269	.10639	.18671	-.15979	-.08920	.15798
OBJET 25!	-.14734	-.04653	-.09098	-.09031	-.20667	.03125	.10747	-.06156
OBJET 26!	-.10501	.13717	.26057	.01277	.08967	.12674	-.05484	-.08212
OBJET 27!	-.16076	.00825	-.17664	-.03275	-.02330	-.11038	-.09927	.07892
OBJET 28!	-.09997	-.12604	.01906	.04015	-.07833	.08248	.18754	-.06238
OBJET 29!	-.09823	.11498	.27077	.01353	.11833	.09540	-.02834	-.06407
OBJET 30!	-.07654	.17000	.13892	.12293	-.11637	-.04049	.09603	.05082
OBJET 31!	-.12726	.14208	-.14135	-.05404	.02091	-.04984	-.04107	-.09422
OBJET 32!	-.12030	-.10867	.04451	-.00524	.15058	.03237	-.05669	.04493
OBJET 33!	-.09465	-.19025	.02226	-.01886	.12490	.05724	.06238	.02009
OBJET 34!	-.05870	.16189	.22410	.20249	-.09302	-.06624	.01309	.05858
OBJET 35!	-.14617	.14016	-.14905	-.07525	.01318	-.09844	-.15556	.04830
OBJET 36!	-.11593	-.12825	.05398	-.03395	.15749	-.01631	.11739	-.30134
OBJET 37!	-.09507	-.17764	.02912	.03515	-.17252	.21838	.09836	.28853
OBJET 38!	-.14137	.17866	-.14501	.07866	-.03097	.03432	.04759	-.06798
OBJET 39!	-.07876	.01922	.13866	-.05994	.05623	-.10462	.23629	.01707
OBJET 40!	-.12726	-.18774	.05419	-.01525	-.08666	-.06715	-.19339	.04903
OBJET 41!	-.05569	-.05148	.05906	-.07924	.19801	.21224	-.04122	.05885
OBJET 42!	-.10336	-.18365	.06304	.00167	-.16592	.20007	.10998	.24199
OBJET 43!	-.10167	-.06079	.03491	-.10227	.24823	.02925	.10820	-.28358
OBJET 44!	-.12590	.09606	-.17233	-.01996	.02322	-.09858	-.06173	.03192
OBJET 45!	-.09282	.14092	.12644	.13775	-.11815	-.11264	-.15610	-.00058
OBJET 46!	-.14137	-.03495	.01313	-.22778	-.02606	.04316	.09587	.12391
OBJET 47!	-.14379	.00287	-.07863	.08662	.06901	-.02385	-.07462	-.12996
OBJET 48!	-.06946	.06352	.13756	.28497	-.08915	-.04034	-.04060	.01890
OBJET 49!	-.18748	.02672	-.09465	-.02953	.07091	-.03651	-.06927	-.03303
OBJET 50!	-.09997	-.05975	.15893	.05315	-.14676	.09367	.12020	.03533
OBJET 51!	-.09646	.01847	-.12968	.01458	-.01140	.01963	.26696	.02190
OBJET 52!	-.13126	.01333	-.09778	-.00616	.09111	.08118	-.08683	.02346
OBJET 53!	-.10591	-.04462	.08430	.04489	-.04553	.03832	-.04691	-.13183
OBJET 54!	-.08903	.01309	.18641	-.05904	-.06774	-.18760	-.10584	.09879
OBJET 55!	-.17215	-.00874	-.12165	.09236	.08144	.10634	.02215	.08698
OBJET 56!	-.10501	.00220	.08801	-.14404	-.12853	-.13634	-.07275	-.26806
OBJET 57!	-.06693	.03016	.17149	-.02223	-.00149	-.05859	.07931	.19378
OBJET 58!	-.16912	-.00470	-.18557	-.01528	.06848	-.04926	.05621	.05769
OBJET 59!	-.10982	-.07312	.13071	-.01474	-.07775	.16066	-.18854	-.07581
OBJET 60!	-.06946	.12721	.24667	.06118	-.01150	-.13595	.13697	-.01853
OBJET 61!	-.14015	.06684	-.21027	-.02533	.02381	-.02859	.17864	-.01635
OBJET 62!	-.13126	-.13668	.05761	-.06296	-.05874	.09548	-.20662	.12091
OBJET 63!	-.09282	.09249	.23715	.12779	.04763	-.09466	.02252	-.14477
OBJET 64!	-.09997	-.02298	-.08631	-.07390	.08900	.08343	.02525	.12206
OBJET 65!	-.12030	.09113	.05704	.03732	.01399	.06281	-.04911	.02759
OBJET 66!	-.11740	-.06957	.02308	.07348	-.12387	-.10927	.05768	-.05459
OBJET 67!	-.08507	-.00573	-.00986	-.06691	.04714	-.03758	-.03978	-.10827
OBJET 68!	-.12861	-.22399	-.02634	.15661	.05024	-.09053	.00655	.03090
OBJET 69!	-.10501	-.01841	.02972	-.22891	-.03191	.14151	-.05029	-.09360
OBJET 70!	-.12861	.21074	-.04678	.02100	-.03745	.05122	-.00505	-.02296
OBJET 71!	-.03713	.09791	.14375	.03348	.04724	-.26755	.13718	.24110
OBJET 72!	-.10336	-.19858	-.03913	.17549	.15533	-.03408	.07101	.00024
OBJET 73!	-.14617	.09064	-.04595	.00465	-.06905	.16275	-.11143	-.13346
OBJET 74!	-.11593	.06286	.09372	-.16184	-.05101	-.17594	.07722	.16721
OBJET 75!	-.08903	-.19234	.00489	.23434	.02368	.05330	.04707	.13119
OBJET 76!	-.11138	-.11076	.00296	-.08330	.04277	-.11945	-.04150	-.19292
OBJET 77!	-.13641	.15900	.00530	.00915	-.14939	.14915	-.01743	-.08259
OBJET 78!	-.08091	.09617	-.01708	-.15802	.16752	-.14726	.03479	.26222

!	I !	Q!T	PO!D	INR!	1#F	COR	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!	6#F	COR	CTR!	7#F	COR	CTR!
1!	101!	684	8	11!	948	254	21!	841	200	20!	705	140	22!	-449	57	12!	40	0	0!	-221	14	3!	-264	20	6!
2!	102!	403	8	7!	584	144	8!	-188	15	1!	260	28	3!	-342	49	7!	475	95	15!	-383	62	10!	-151	10	2!
3!	103!	463	8	6!	580	171	8!	-681	236	13!	-19	0	0!	-204	21	2!	245	31	4!	-62	2	0!	-54	1	0!
4!	104!	317	8	6!	406	81	4!	-580	165	10!	-109	6	1!	-156	12	1!	318	50	7!	-92	4	1!	-36	1	0!
5!	105!	528	8	5!	521	162	6!	-683	279	13!	-85	4	0!	-40	1	0!	330	65	7!	-134	11	1!	102	6	1!
6!	106!	566	8	5!	463	129	5!	-742	331	16!	337	68	5!	167	17	2!	111	7	1!	-155	14	2!	19	0	0!
7!	107!	603	8	5!	599	237	8!	-677	302	13!	80	4	0!	-179	21	2!	215	30	3!	-100	7	1!	-57	2	0!
8!	108!	605	8	6!	563	171	7!	-772	321	17!	71	3	0!	344	64	7!	30	0	0!	-130	9	1!	262	37	6!
9!	109!	437	8	6!	480	124	5!	-632	215	11!	-47	1	0!	256	35	4!	15	0	0!	-7	0	0!	338	61	9!
10!	110!	581	8	6!	483	122	6!	-607	192	11!	-180	17	1!	385	77	9!	-179	17	2!	74	3	0!	541	153	24!
11!	111!	520	8	5!	523	151	6!	-490	133	7!	-268	40	3!	220	27	3!	-103	6	1!	-201	22	3!	506	141	21!
12!	112!	351	8	6!	280	41	2!	-250	33	2!	-470	115	10!	296	46	5!	-154	12	2!	-42	1	0!	442	102	16!
13!	113!	328	8	7!	247	26	1!	-105	5	0!	-610	156	17!	419	74	10!	-234	23	4!	4	0	0!	324	44	9!
14!	201!	653	8	9!	846	227	17!	536	91	8!	937	278	40!	-186	11	2!	265	22	5!	-227	16	4!	-153	7	2!
15!	202!	334	8	6!	575	171	8!	-197	20	1!	283	42	4!	-46	1	0!	348	63	8!	-234	28	4!	-136	10	2!
16!	203!	556	8	5!	739	318	13!	-552	177	9!	124	9	1!	-201	23	2!	212	26	3!	55	2	0!	26	0	0!
17!	204!	416	8	7!	735	239	13!	-329	48	3!	-5	0	0!	-348	54	7!	134	8	1!	259	30	5!	290	37	7!
18!	205!	537	8	6!	755	305	13!	-573	176	9!	208	23	2!	-124	8	1!	160	14	2!	125	8	1!	70	3	0!
19!	206!	653	8	5!	704	296	12!	-727	315	15!	220	29	2!	35	1	0!	136	11	1!	-4	0	0!	40	1	0!
20!	207!	529	8	5!	640	240	10!	-668	261	13!	66	3	0!	-99	6	1!	-20	0	0!	160	15	2!	82	4	1!
21!	208!	460	8	6!	626	204	9!	-600	187	10!	97	5	0!	-327	56	6!	6	0	0!	-129	9	1!	-3	0	0!
22!	209!	467	8	5!	643	240	10!	-459	122	6!	73	3	0!	-193	22	2!	266	41	5!	-256	38	4!	54	2	0!
23!	210!	467	8	6!	654	216	10!	-616	192	11!	-82	3	0!	186	18	2!	-94	4	1!	49	1	0!	251	32	5!
24!	211!	621	8	6!	652	227	10!	-700	263	14!	-38	1	0!	356	68	7!	-163	14	2!	4	0	0!	301	48	7!
25!	212!	550	8	11!	561	89	7!	-334	31	3!	-153	7	1!	324	29	6!	-725	148	35!	554	86	21!	751	159	46!
26!	213!	394	8	6!	437	102	5!	-630	212	11!	-177	17	1!	255	35	4!	112	7	1!	201	22	3!	40	1	0!
27!	301!	747	8	11!	973	257	22!	876	208	22!	939	239	40!	-386	40	9!	-41	0	0!	-32	0	0!	-65	1	0!
28!	302!	593	8	9!	686	155	11!	430	61	5!	783	201	28!	-517	88	16!	411	55	11!	-301	30	6!	-98	3	1!
29!	303!	410	8	5!	555	174	7!	-457	119	6!	195	22	2!	-230	30	3!	291	48	6!	-164	15	2!	-71	3	0!
30!	304!	615	8	4!	627	260	9!	-639	271	12!	252	42	3!	-37	1	0!	158	17	2!	-177	21	2!	-73	4	0!
31!	305!	436	8	5!	495	139	6!	-672	256	13!	-53	2	0!	19	0	0!	130	10	1!	-124	9	1!	-198	22	3!
32!	306!	527	8	5!	541	174	7!	-627	234	11!	-158	15	1!	-194	22	2!	346	71	8!	-98	6	1!	-94	5	1!
33!	307!	660	8	4!	661	289	10!	-664	292	13!	66	3	0!	-126	11	1!	281	52	5!	-141	13	1!	-25	0	0!
34!	308!	541	8	5!	581	213	8!	-672	285	13!	-22	0	0!	-107	7	1!	178	20	2!	-51	2	0!	-147	14	2!
35!	309!	529	8	4!	585	226	8!	-674	300	13!	51	2	0!	-7	0	0!	15	0	0!	20	0	0!	-32	1	0!
36!	310!	556	8	5!	549	166	7!	-543	162	8!	-247	34	3!	270	40	4!	-317	55	7!	164	15	2!	389	83	12!
37!	311!	336	8	5!	415	96	4!	-503	140	7!	-338	64	5!	12	0	0!	-121	8	1!	218	26	3!	-61	2	0!
38!	312!	220	8	7!	277	32	2!	-163	11	1!	-517	113	12!	-19	0	0!	-280	33	5!	261	29	5!	-70	2	0!
39!	313!	398	8	10!	7	0	0!	117	4	0!	-582	105	15!	924	265	50!	150	7	1!	68	1	0!	218	15	4!
40!	401!	721	8	10!	838	212	17!	678	139	13!	905	247	37!	-372	42	8!	211	13	3!	-243	18	4!	-407	50	13!
41!	402!	137	8	8!	444	72	5!	110	4	0!	166	10	1!	-288	30	5!	104	4	1!	-186	13	2!	-106	4	1!
42!	403!	260	8	7!	399	71	4!	-489	106	7!	-178	14	1!	-194	17	2!	-14	0	0!	326	47	7!	-114	6	1!
43!	404!	318	8	7!	572	136	8!	-443	82	6!	-157	10	1!	-305	39	5!	-40	1	0!	334	46	8!	84	3	1!
44!	405!	331	8	6!	218	24	1!	-284	40	2!	-136	9	1!	-152	11	1!	96	5	1!	630	198	27!	-298	44	7!
45!	406!	407	8	6!	-15	0	0!	-203	21	1!	-383	74	7!	-71	3	0!	25	0	0!	507	129	18!	-600	181	29!
46!	408!	296	8	6!	-196	19	1!	-176	15	1!	-398	77	7!	-68	2	0!	-446	96	13!	304	45	5!	-296	43	7!
47!	409!	355	8	6!	-421	88	4!	-261	34	2!	-142	10	1!	119	7	1!	-290	42	6!	-581	167	23!	125	8	1!
48!	410!	339	8	7!	-459	92	5!	116	6	0!	-129	7	1!	-136	8	1!	-429	80	12!	-573	144	22!	54	1	0!
49!	501!	673	8	12!	1010	248	24!	919	205	24!	664	107	20!	-597	87	21!	123	4	1!	8	0	0!	-304	22	7!
50!	502!	241	8	7!	516	118	6!	-29	0	0!	-86	3	0!	-5	0	0!	113	6	1!	-58	1	0!	-501	112	20!

II	BLT	POID	INR	1#F	COR	CTR	2#F	COR	CTR	3#F	COR	CTR	4#F	COR	CTR	5#F	COR	CTR	6#F	COR	CTR	7#F	COR	CTR	
51!	503!	271!	8	7!	219	20	1!	29	0	0!	-527	116	13!	-203	17	2!	-108	5	1!	490	100	16!	-181	14	3!
52!	504!	471!	8	7!	140	9	0!	-261	31	2!	-760	263	26!	-164	12	2!	-138	9	1!	323	47	7!	-471	101	18!
53!	505!	299!	8	6!	-80	3	0!	-473	110	6!	-280	39	4!	-96	4	1!	-377	70	9!	177	15	2!	-344	58	10!
54!	506!	400!	8	6!	-203	20	1!	-372	69	4!	-397	78	7!	-350	61	7!	-527	138	18!	-175	15	2!	-192	18	3!
55!	507!	521!	8	6!	-517	124	6!	-313	46	3!	-76	3	0!	36	1	0!	-709	234	33!	-494	114	17!	-9	0	0!
56!	508!	512!	8	7!	-511	110	6!	-334	47	3!	83	3	0!	57	1	0!	-619	162	25!	-670	189	31!	16	0	0!
57!	509!	573!	8	7!	-459	92	5!	-276	33	2!	-11	0	0!	73	2	0!	-732	233	36!	-697	211	33!	51	1	0!
58!	510!	339!	8	6!	-246	30	1!	-91	4	0!	293	42	4!	132	9	1!	-450	99	13!	-477	112	16!	299	44	7!
59!	601!	413!	8	8!	792	229	15!	555	112	9!	17	0	0!	-65	2	0!	-243	22	4!	14	0	0!	-354	48	11!
60!	602!	593!	8	11!	-157	7	1!	685	127	13!	-543	80	13!	608	100	22!	925	231	57!	-380	39	10!	-190	10	3!
61!	603!	461!	8	6!	-325	48	2!	-405	75	5!	-161	12	1!	253	29	4!	39	1	0!	709	231	34!	-373	64	11!
62!	604!	77!	8	5!	-283	43	2!	-146	12	1!	1	0	0!	-69	3	0!	-173	16	2!	32	1	0!	-75	3	0!
63!	605!	358!	8	6!	-231	27	1!	-400	82	5!	241	30	3!	550	156	18!	-162	14	2!	-310	49	7!	-13	0	0!
64!	606!	258!	8	7!	-253	29	2!	-434	84	5!	-38	1	0!	132	8	1!	-427	82	12!	-349	55	8!	23	0	0!
65!	607!	327!	8	8!	-403	64	4!	94	3	0!	-135	7	1!	-233	21	3!	-521	106	18!	-522	107	19!	213	19	4!
66!	608!	312!	8	7!	-21	0	0!	7	0	0!	403	71	7!	230	23	3!	-195	17	3!	-662	191	30!	155	10	2!
67!	701!	727!	8	17!	921	145	20!	1519	394	66!	442	33	9!	-267	12	4!	-673	78	30!	436	33	13!	431	32	15!
68!	702!	630!	8	14!	716	111	12!	1411	429	57!	100	2	0!	123	3	1!	269	16	5!	177	7	2!	543	64	24!
69!	703!	339!	8	9!	-42	1	0!	749	186	16!	-553	101	14!	47	1	0!	-62	1	0!	-326	35	7!	204	14	3!
70!	704!	375!	8	8!	-306	36	2!	212	17	1!	-734	209	24!	-217	18	3!	-84	3	0!	276	30	5!	-398	62	13!
71!	705!	522!	8	7!	-494	98	6!	78	2	0!	-585	137	15!	-515	106	16!	-264	28	5!	-560	126	21!	-253	26	5!
72!	706!	655!	8	7!	-396	64	4!	176	13	1!	-308	39	4!	-593	143	21!	-341	47	8!	-897	328	55!	-233	22	4!
73!	707!	432!	8	7!	-285	36	2!	312	43	3!	28	0	0!	-118	6	1!	-639	181	27!	-585	152	23!	-171	13	2!
74!	708!	396!	8	7!	-214	20	1!	338	49	3!	-127	7	1!	-149	10	1!	-546	129	20!	-609	160	25!	-222	21	4!
75!	801!	771!	8	17!	991	172	23!	1409	348	57!	185	6	2!	66	1	0!	-1017	181	69!	337	20	8!	491	42	20!
76!	802!	262!	8	8!	210	16	1!	313	35	3!	-557	110	14!	177	11	2!	113	5	1!	-468	78	15!	148	8	2!
77!	803!	467!	8	9!	-26	0	0!	457	73	6!	-922	297	38!	456	72	12!	124	5	1!	-224	17	3!	-77	2	0!
78!	804!	326!	8	10!	-157	8	1!	403	51	5!	-756	183	27!	488	74	14!	86	2	0!	-23	0	0!	158	8	2!
79!	805!	482!	8	9!	-379	47	3!	434	62	5!	-838	232	32!	-608	122	22!	-204	14	3!	-47	1	0!	99	3	1!
80!	806!	564!	8	7!	-524	114	6!	-48	1	0!	-560	130	14!	-718	214	30!	229	22	3!	-156	10	2!	418	73	14!
81!	807!	713!	8	9!	-552	103	7!	378	48	4!	-683	157	21!	-1061	380	66!	149	7	1!	-155	8	2!	169	10	2!
82!	808!	480!	8	8!	-437	73	5!	114	5	0!	-589	132	16!	-764	222	34!	91	3	1!	151	9	2!	311	37	8!
83!	809!	568!	8	9!	-451	71	5!	195	13	1!	-639	142	18!	-832	241	41!	318	35	7!	239	20	4!	364	46	11!
84!	810!	418!	8	8!	-441	75	5!	172	11	1!	-646	160	19!	-638	157	24!	27	0	0!	-84	3	0!	-174	12	2!
85!	811!	213!	8	10!	-449	61	5!	356	39	4!	-274	23	3!	26	0	0!	42	1	0!	-113	4	1!	-530	85	23!
86!	901!	727!	7	19!	906	122	19!	1519	343	63!	132	3	1!	535	43	16!	-878	115	49!	314	15	6!	763	87	45!
87!	903!	531!	8	10!	154	7	1!	974	271	27!	-361	37	6!	654	122	25!	531	81	19!	-219	14	3!	-25	0	0!
88!	905!	238!	8	8!	-574	125	8!	130	6	0!	-352	47	6!	-157	9	1!	285	31	5!	34	0	0!	230	20	4!
89!	906!	333!	8	10!	-674	140	11!	172	9	1!	-366	41	6!	-219	15	3!	556	95	21!	-14	0	0!	328	33	9!
90!	907!	249!	8	6!	-658	211	10!	-165	13	1!	-105	5	1!	49	1	0!	-82	3	0!	-131	8	1!	108	6	1!
91!	908!	425!	8	8!	-695	190	11!	-168	11	1!	58	1	0!	434	74	11!	-325	42	7!	352	49	8!	-383	58	12!
92!	909!	460!	8	6!	-419	89	4!	-395	79	4!	130	9	1!	613	189	22!	-258	34	4!	261	34	5!	-232	27	4!
93!	910!	482!	8	6!	-383	72	3!	-382	72	4!	249	31	3!	477	112	13!	-272	36	5!	474	110	15!	-315	49	8!
94!	911!	525!	8	6!	-495	115	6!	-401	76	5!	257	31	3!	306	44	6!	-323	49	7!	570	153	22!	-359	57	10!
95!	1001!	473!	8	10!	714	150	12!	846	211	20!	-280	23	4!	-93	3	1!	-335	33	7!	412	50	12!	71	1	0!
96!	1002!	454!	8	8!	237	22	1!	558	122	9!	-256	26	3!	35	0	0!	178	12	2!	30	0	0!	-833	271	56!
97!	1003!	642!	8	10!	304	27	2!	501	73	7!	-289	24	4!	927	250	50!	861	216	49!	-418	51	12!	27	0	0!
98!	1004!	320!	8	8!	-349	46	3!	460	80	6!	-120	5	1!	-124	6	1!	689	178	31!	-71	2	0!	87	3	1!
99!	1005!	407!	8	7!	-766	236	14!	-22	0	0!	-55	1	0!	-206	17	2!	308	38	6!	487	95	16!	218	19	4!
100!	1006!	669!	8	8!	-702	173	12!	-128	6	0!	358	45	6!	-302	32	5!	327	38	7!	977	336	65!	336	40	9!

! ! !	BLT	POID	INR!	1#F	CDR	CTR!	2#F	CDR	CTR!	3#F	CDR	CTR!	4#F	CDR	CTR!	5#F	CDR	CTR!	6#F	CDR	CTR!	7#F	CDR	CTR!	
101!	1007!	596	8	8!	-818	238	16!	-69	2	0!	648	149	19!	-191	13	2!	204	15	3!	625	139	27!	339	41	9!
102!	1008!	340	8	8!	-774	217	14!	-196	14	1!	314	36	4!	159	9	1!	193	14	2!	264	25	5!	263	25	6!
103!	1009!	329	8	9!	-451	69	5!	63	1	0!	621	131	17!	-241	20	3!	168	10	2!	255	22	4!	473	76	18!
104!	1010!	412	8	10!	-727	156	13!	-389	45	4!	532	84	13!	134	5	1!	344	35	8!	312	29	7!	443	58	16!
105!	1101!	366	8	9!	593	120	8!	678	157	13!	-1	0	0!	16	0	0!	-228	18	3!	397	54	11!	-221	17	4!
106!	1102!	607	9	12!	222	12	1!	1314	417	49!	-427	44	8!	615	91	22!	243	14	4!	339	28	8!	0	0	0!
107!	1103!	369	8	8!	-130	6	0!	560	114	9!	-353	45	6!	363	48	8!	493	89	16!	-133	6	1!	-406	60	13!
108!	1104!	247	8	8!	-573	124	8!	339	43	3!	-186	13	2!	-180	12	2!	197	15	3!	289	31	6!	-156	9	2!
109!	1105!	401	8	7!	-834	309	16!	-9	0	0!	114	6	1!	61	2	0!	-30	0	0!	69	2	0!	-430	82	15!
110!	1106!	314	8	7!	-457	95	5!	23	0	0!	-66	2	0!	83	3	0!	-155	11	2!	175	14	2!	-645	189	34!
111!	1107!	515	8	8!	-857	289	17!	173	12	1!	585	135	15!	130	7	1!	-98	4	1!	176	12	2!	-380	57	12!
112!	1108!	440	8	7!	-658	191	10!	-112	6	0!	537	127	13!	360	57	8!	-267	31	5!	31	0	0!	-253	28	5!
113!	1109!	469	8	7!	-766	247	14!	-9	0	0!	626	165	18!	86	3	0!	-223	21	3!	201	17	3!	-195	16	3!
114!	1201!	510	8	9!	232	17	1!	751	184	16!	-160	8	1!	324	34	6!	-262	22	5!	287	27	6!	-616	217	54!
115!	1203!	589	8	9!	-434	60	4!	609	118	11!	-24	0	0!	671	143	26!	681	147	31!	-204	13	3!	581	107	27!
116!	1204!	535	8	9!	-782	196	14!	360	42	4!	-158	8	1!	-548	96	18!	423	57	12!	253	21	4!	598	115	29!
117!	1205!	444	8	7!	-794	268	15!	87	3	0!	145	9	1!	-458	89	12!	318	43	7!	1	0	0!	272	32	6!
118!	1206!	471	8	8!	-914	328	20!	262	27	2!	345	47	5!	-383	58	9!	157	10	2!	5	0	0!	76	2	0!
119!	1207!	463	8	7!	-837	278	17!	-95	4	0!	271	29	3!	145	8	1!	172	12	2!	-204	16	3!	540	116	24!
120!	1208!	606	8	7!	-987	408	23!	55	1	0!	484	98	11!	-310	40	6!	181	14	2!	52	1	0!	321	43	8!
121!	1209!	551	8	7!	-770	259	14!	-32	0	0!	720	227	23!	124	7	1!	118	6	1!	-168	12	2!	300	39	7!
122!	1210!	290	7	8!	-682	173	11!	251	23	2!	371	51	6!	-141	7	1!	-65	2	0!	-282	30	5!	95	3	1!
123!	1211!	430	8	9!	-495	79	6!	14	0	0!	936	284	40!	315	32	6!	-136	6	1!	-287	27	6!	-61	1	0!
124!	1301!	265	8	7!	316	42	2!	337	48	3!	9	0	0!	73	2	0!	105	5	1!	181	14	2!	-602	154	29!
125!	1302!	656	8	10!	-39	0	0!	500	72	7!	-176	9	1!	1093	346	70!	762	168	39!	-436	55	13!	-129	5	1!
126!	1303!	529	8	7!	-788	262	15!	-77	2	0!	445	84	9!	74	2	0!	-26	0	0!	648	177	29!	-48	1	0!
127!	1304!	438	8	7!	-735	243	13!	2	0	0!	564	143	14!	-228	23	3!	250	28	4!	13	0	0!	22	0	0!
128!	1305!	271	8	8!	-354	46	3!	209	16	1!	29	0	0!	-147	8	1!	-171	11	2!	711	187	35!	-84	3	1!
129!	1306!	417	8	8!	-717	186	12!	-34	0	0!	396	57	7!	525	100	16!	-47	1	0!	383	53	10!	-241	21	5!
130!	1307!	497	8	7!	-502	111	6!	-294	38	2!	609	153	17!	617	168	22!	80	3	0!	-21	0	0!	-184	15	3!
131!	1308!	483	8	8!	-750	203	13!	121	5	0!	777	218	27!	224	18	3!	84	3	0!	-268	26	5!	-170	10	2!
132!	1309!	366	8	9!	-577	114	8!	19	0	0!	700	167	22!	46	1	0!	-372	47	9!	-328	37	7!	-8	0	0!
!	!	1000!				1000!					1000!					1000!						1000!			1000!

! J1 !	QLT	POID	INR!	1#F	COR	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!	6#F	COR	CTR!	7#F	COR	CTR!
1!ARG1!	566	14	12!	593	164	16!	-152	11	1!	662	204	38!	-72	2	1!	564	148	40!	-264	33	9!	89	4	1!
2!ARG2!	219	19	10!	-84	5	0!	53	2	0!	22	0	0!	374	100	20!	-205	30	7!	332	79	19!	54	3	1!
3!ARG3!	538	12	13!	-579	121	13!	104	4	0!	-827	247	49!	-499	90	23!	-358	46	14!	-204	15	5!	-204	15	5!
4!LIF1!	800	17	11!	1071	656	59!	-353	71	8!	230	30	5!	-45	1	0!	212	26	7!	-69	3	1!	153	13	4!
5!LIF2!	455	9	14!	61	1	0!	808	160	22!	-865	184	40!	403	40	11!	309	23	8!	374	34	11!	-228	13	5!
6!LIF3!	374	10	14!	-865	202	23!	-107	3	0!	-237	15	3!	-378	38	11!	-44	1	0!	654	115	37!	29	0	0!
7!LIF4!	676	10	14!	-959	270	30!	-30	0	0!	604	107	22!	77	2	0!	-570	96	29!	-825	200	63!	-71	1	1!
8!LIG1!	321	14	12!	562	137	14!	10	0	0!	-130	7	1!	416	75	18!	-405	71	20!	-61	2	0!	254	28	10!
9!LIG2!	465	17	11!	65	3	0!	179	20	2!	-506	156	26!	-500	153	33!	309	58	14!	-346	73	19!	62	2	1!
10!LIG3!	612	14	12!	-612	175	17!	-218	22	3!	727	247	46!	200	19	4!	15	0	0!	471	103	29!	-312	46	15!
11!SAF1!	514	6	16!	-674	67	8!	-94	1	0!	-837	104	24!	-1053	164	50!	-567	48	16!	-907	122	43!	241	9	4!
12!SAF2!	331	12	13!	124	5	1!	202	14	2!	-423	62	12!	723	181	47!	-156	8	3!	-305	32	10!	281	27	10!
13!SAF3!	58	11	14!	-36	0	0!	-30	0	0!	144	7	1!	218	15	4!	-16	0	0!	332	35	11!	6	0	0!
14!SAF4!	270	13	13!	117	6	1!	-21	0	0!	442	82	16!	-236	23	6!	314	41	12!	417	73	21!	-326	44	15!
15!SAF5!	85	3	16!	388	12	2!	-332	9	1!	682	38	10!	-443	16	5!	310	8	3!	-108	1	0!	-100	1	0!
16!SAB1!	532	7	15!	-401	29	3!	741	98	14!	-69	1	0!	1029	189	56!	957	164	55!	-475	40	14!	247	11	4!
17!SAB2!	449	15	12!	-834	347	33!	161	13	1!	115	7	1!	-9	0	0!	-376	70	19!	-149	11	3!	-59	2	1!
18!SAB3!	377	12	13!	247	23	2!	54	1	0!	-465	81	16!	-408	63	16!	-368	51	15!	613	141	42!	-216	17	6!
19!SAB4!	696	11	14!	1119	401	43!	-741	176	23!	410	54	11!	-171	9	2!	328	35	10!	-187	11	3!	173	10	4!
20!GRO1!	687	18	11!	-572	212	18!	-58	2	0!	706	324	53!	-20	0	0!	-341	76	18!	-289	54	13!	-169	18	5!
21!GRO2!	543	18	11!	501	169	14!	-502	169	17!	-297	59	10!	-258	45	9!	185	23	5!	341	78	19!	21	0	0!
22!GRO3!	237	6	15!	11	0	0!	832	109	16!	-870	120	28!	-132	3	1!	-151	4	1!	-41	0	0!	108	2	1!
23!GRO4!	627	3	17!	330	8	1!	1645	197	32!	-588	25	6!	1900	263	87!	1166	99	37!	-253	5	2!	649	31	14!
24!CBN1!	549	13	13!	-335	44	4!	-560	122	15!	386	58	11!	595	138	35!	-478	89	26!	-263	27	8!	428	71	25!
25!CBN2!	486	22	9!	-179	29	2!	-318	93	8!	-251	58	8!	-504	233	43!	72	5	1!	243	54	12!	-128	15	4!
26!CBN3!	810	11	14!	739	175	19!	1279	523	68!	50	1	0!	307	30	8!	408	53	16!	-174	10	3!	-240	18	7!
27!AZO1!	592	26	8!	29	1	0!	-566	422	31!	-84	9	1!	-52	4	1!	-232	71	12!	-206	56	10!	150	30	6!
28!AZO2!	319	10	14!	-714	144	16!	98	3	0!	165	8	2!	-282	22	6!	279	22	7!	625	110	35!	-191	10	4!
29!AZO3!	754	10	14!	662	118	13!	1420	542	73!	56	1	0!	433	50	14!	328	29	9!	-96	2	1!	-200	11	4!
30!pHe1!	506	6	16!	1257	233	29!	935	129	19!	653	63	15!	-547	44	14!	-179	5	2!	418	26	9!	203	6	3!
31!pHe2!	466	16	11!	632	221	20!	-572	181	20!	-174	17	3!	59	2	0!	-132	10	2!	-108	6	2!	-227	28	9!
32!pHe3!	259	14	12!	-511	122	12!	191	17	2!	-18	0	0!	450	95	23!	91	4	1!	-125	16	4!	114	6	2!
33!pHe4!	403	9	14!	-1138	318	36!	121	4	0!	-82	2	0!	-475	55	16!	204	10	3!	220	12	4!	97	2	1!
34!pHK1!	724	3	17!	1561	199	26!	1967	316	50!	1413	163	41!	-570	27	9!	-381	12	4!	74	0	0!	306	8	3!
35!pHK2!	704	21	9!	543	261	20!	-525	245	22!	-211	39	6!	32	1	0!	-205	37	8!	-355	112	24!	101	9	2!
36!pHK3!	608	13	13!	-626	164	16!	240	24	3!	-117	6	1!	489	100	25!	-48	1	0!	337	48	14!	-796	266	91!
37!pHK4!	752	7	15!	-1182	265	32!	176	6	1!	169	5	1!	-729	101	30!	868	143	48!	385	28	10!	1040	205	83!
38!FeT1!	699	20	10!	715	402	32!	-529	219	21!	228	41	6!	-79	5	1!	82	5	1!	112	10	2!	-147	17	5!
39!FeT2!	376	6	15!	138	3	0!	907	130	19!	-312	15	4!	257	10	3!	-450	32	11!	1084	185	66!	66	1	0!
40!FeT3!	614	16	11!	-835	385	35!	219	27	3!	-49	1	0!	-245	33	8!	-178	18	5!	-506	142	37!	118	8	2!
41!FeT4!	310	3	17!	-523	20	3!	463	16	3!	-583	25	6!	1279	120	39!	1288	122	45!	-247	4	2!	214	3	2!
42!AIE1!	769	11	14!	-1006	310	34!	314	30	4!	7	0	0!	-577	102	28!	654	131	40!	351	38	12!	717	158	59!
43!AIE2!	573	10	14!	-338	34	4!	177	9	1!	-412	50	10!	878	227	62!	67	1	0!	355	37	12!	-854	215	80!
44!AIE3!	426	16	12!	432	100	9!	-705	266	30!	-65	2	0!	66	2	1!	-265	38	10!	-163	14	4!	78	3	1!
45!AIE4!	535	9	14!	859	172	20!	702	115	16!	608	86	19!	-458	49	14!	-410	39	13!	-560	73	24!	-2	0	0!
46!H+E1!	467	20	10!	-136	15	1!	48	2	0!	-660	342	52!	-66	3	1!	103	8	2!	226	40	9!	268	57	15!
47!H+E2!	233	21	10!	11	0	0!	-282	66	6!	247	51	8!	173	25	5!	-56	3	1!	-173	25	6!	-277	64	17!
48!H+E3!	526	5	16!	518	32	4!	1021	124	19!	1681	336	81!	-462	25	8!	-196	5	2!	-195	5	2!	83	1	0!
49!CaE1!	407	35	4!	81	22	1!	-260	231	9!	-65	14	1!	136	63	5!	-66	15	1!	-123	52	5!	-54	10	1!
50!CaE2!	389	10	14!	-338	32	4!	819	188	25!	218	13	3!	-528	78	22!	317	28	9!	401	45	14!	108	3	1!



!JSUP!	QLT	POID	INR!	1#F	COR	CTR!	2#F	COR	CTR!	3#F	COR	CTR!	4#F	COR	CTR!	5#F	COR	CTR!	6#F	COR	CTR!	7#F	COR	CTR!	
79!H1!	!	515	3	17!	1355	134	18!	864	55	9!	1530	171	43!	-983	71	23!	637	30	11!	-607	27	10!	-612	27	12!
80!H2!	!	94	2	17!	986	38	5!	-858	29	5!	17	0	0!	-454	8	3!	501	10	4!	65	0	0!	-466	9	4!
81!H3!	!	594	9	14!	1009	238	27!	-1170	320	44!	-7	0	0!	-17	0	0!	238	13	4!	3	0	0!	369	22	9!
82!H4!	!	156	2	17!	556	17	2!	-607	21	3!	-923	48	12!	483	13	4!	-582	19	7!	730	30	12!	385	8	4!
83!H5!	!	61	1	18!	-366	2	0!	-140	0	0!	-883	12	3!	1450	32	11!	-207	1	0!	-769	9	4!	561	5	2!
84!H6!	!	183	1	17!	-746	17	2!	-438	6	1!	-316	3	1!	-273	2	1!	-1689	89	34!	-1434	64	26!	-107	0	0!
85!H7!	!	139	1	17!	36	0	0!	-428	6	1!	-1199	45	12!	-369	4	1!	-791	20	8!	971	29	12!	-1055	35	16!
86!H8!	!	47	2	17!	-582	16	2!	-21	0	0!	-309	5	1!	296	4	1!	-231	3	1!	514	13	5!	-383	7	3!
87!H9!	!	477	3	17!	1207	93	13!	1847	219	35!	105	1	0!	205	3	1!	-1306	109	41!	892	51	20!	-101	1	0!
88!H10!	!	285	8	15!	-897	170	20!	-7	0	0!	559	66	15!	-76	1	0!	-454	43	14!	-153	5	2!	9	0	0!
89!H11!	!	271	7	15!	-1088	199	24!	219	8	1!	-8	0	0!	-553	52	15!	164	5	2!	-130	3	1!	161	4	2!
90!H12!	!	100	3	17!	-804	42	6!	0	0	0!	-152	1	0!	678	30	10!	546	19	7!	352	8	3!	-66	0	0!
91!H13!	!	485	4	16!	-89	1	0!	1273	162	25!	-819	67	17!	948	90	29!	1240	154	56!	-308	9	4!	120	1	1!
92!M01!	!	545	22	9!	-533	268	20!	-53	3	0!	286	77	11!	403	152	28!	21	0	0!	48	2	0!	213	43	11!
93!M02!	!	364	16	12!	343	61	6!	-424	93	11!	-443	101	18!	-400	83	19!	-108	6	2!	18	0	0!	-195	20	6!
94!M03!	!	389	8	15!	814	140	16!	984	204	29!	72	1	0!	-336	24	7!	149	5	2!	-168	6	2!	-204	9	4!
95!C5N1!	!	637	11	14!	-1062	360	39!	-1	0	0!	841	226	46!	226	16	4!	-21	0	0!	307	30	9!	108	4	1!
96!C5N2!	!	157	12	13!	-22	0	0!	72	2	0!	-311	35	7!	540	105	27!	68	2	0!	-156	9	3!	111	4	2!
97!C5N3!	!	232	13	13!	384	62	6!	-58	1	0!	-513	111	21!	-329	46	11!	-21	0	0!	-22	0	0!	-170	12	4!
98!C5N4!	!	217	9	14!	760	142	16!	-4	0	0!	156	6	1!	-510	64	18!	-39	0	0!	-135	4	1!	-23	0	0!
99!SBE1!	!	194	6	16!	38	0	0!	-831	95	14!	409	23	5!	329	15	5!	36	0	0!	640	57	20!	170	4	2!
100!SBE2!	!	258	27	7!	-13	0	0!	-297	127	9!	38	2	0!	217	68	10!	155	35	6!	-121	21	4!	-53	4	1!
101!SBE3!	!	322	9	14!	-131	4	0!	655	105	14!	-284	20	4!	-771	146	41!	-364	33	10!	-208	11	3!	-125	4	1!
102!SBE4!	!	319	4	16!	322	10	1!	1631	264	41!	-173	3	1!	-173	3	1!	-279	8	3!	385	15	6!	399	16	7!
103!SBT1!	!	383	6	16!	-1020	144	18!	-236	8	1!	1014	142	34!	549	42	13!	190	5	2!	421	25	9!	369	19	8!
104!SBT2!	!	355	12	13!	-907	297	31!	106	4	1!	71	2	0!	7	0	0!	-155	9	3!	-317	36	11!	-132	6	2!
105!SBT3!	!	293	18	11!	555	200	17!	-1	0	0!	-97	6	1!	-141	13	3!	291	55	13!	-72	3	1!	-154	15	5!
106!SBT4!	!	279	10	14!	663	124	14!	9	0	0!	-468	62	13!	-56	1	0!	-444	56	17!	279	22	7!	237	16	6!
107!V1!	!	201	9	14!	-300	21	2!	-302	21	3!	418	41	9!	564	74	21!	247	14	5!	312	23	8!	165	6	3!
108!V2!	!	211	24	8!	320	120	8!	-163	31	2!	83	8	1!	-15	0	0!	-1	0	0!	-108	13	3!	-183	39	9!
109!V3!	!	334	12	13!	-423	67	7!	536	107	13!	-453	77	15!	-361	49	13!	-173	11	3!	-4	0	0!	249	23	8!
110!AcE1!	!	688	19	10!	-716	378	31!	235	41	4!	-251	46	7!	103	8	2!	398	116	27!	362	96	23!	65	3	1!
111!AcE2!	!	466	21	9!	395	138	10!	-508	229	21!	-14	0	0!	17	0	0!	-232	48	10!	-233	48	10!	-59	3	1!
112!AcE3!	!	576	5	16!	1117	147	19!	1320	206	32!	1069	135	33!	-484	28	9!	-574	39	14!	-416	21	8!	9	0	0!
113!TAc1!	!	353	5	16!	-753	72	9!	583	43	7!	-606	47	11!	-1011	131	41!	462	27	10!	266	9	3!	426	23	10!
114!TAc2!	!	240	8	15!	-437	40	5!	631	84	12!	-345	25	6!	74	1	0!	412	36	12!	246	13	4!	442	41	17!
115!TAc3!	!	306	15	12!	-223	25	2!	275	38	4!	184	17	3!	279	39	9!	-386	75	20!	-307	47	13!	-363	66	21!
116!TAc4!	!	563	17	11!	623	237	21!	-704	302	32!	180	20	3!	25	0	0!	9	0	0!	77	4	1!	-9	0	0!
!	!				535!			419!			376!			357!			382!			347!			246!		182!

-ANNEXE IV-

Indice de vide et indice d'eau des  
mottes étudiées à l'interface des  
domaines intermédiaire et brun-jaune.

Profil	eIS	eM1,5	eM6	σF0,5	σF1	σF1,5	σF2	σF2,5	σF3	σF3,5	σF4	σF5	σFc
<hr/>													
P1													
1	0.688	0.719	0.656	0.636	0.638	0.625	0.571	0.511	0.470	0.472	0.442	0.181	0.016
2	0.673	0.772	0.655	0.657	0.633	0.632	0.556	0.508	0.479	0.462	0.437	0.168	0.012
<hr/>													
P2													
1	0.744			0.600	0.605	0.572	0.502	0.405	0.386	0.374	0.336	0.144	0.016
2	0.619	0.632	0.577	0.564	0.544	0.510	0.444	0.398	0.386	0.382	0.363	0.204	0.013
3	0.741			0.717	0.699	0.702	0.668	0.623	0.579	0.559	0.488	0.237	0.021
<hr/>													
P3													
1	0.635	0.627	0.588	0.629	0.581	0.504	0.487	0.425	0.400	0.363	0.296	0.154	0.016
2	0.561	0.560	0.535	0.485	0.454	0.417	0.383	0.352	0.346	0.298	0.274	0.204	0.014
3	0.696	0.727	0.687	0.657	0.642	0.593	0.585	0.492	0.472	0.458	0.406	0.256	0.025