

+ comblant une partie des fissures et des diaclases, des particules limoneuses de 2 à 5  $\mu\text{m}$ ., grossièrement isodiamétriques, non orientées (ph. 1, Pl. 7). Celles-ci sont composées en majeure partie, par les produits d'altération des plagioclases et, en plus petite partie, par des fragments d'autres minéraux : quartz, feldspaths potassiques et micas. Cette présence de particules dans les fissures et les diaclases montre qu'elles ne sont pas en place, mais résultent d'une redistribution; celle-ci s'est faite sous forme figurée du fait de la présence de différents minéraux en mélange. L'absence d'orientation du dépôt pourrait être due à la forme des particules qui sont isodiamétriques et à leur taille relativement grossière. Cette accumulation de particules limoneuses ne résulte pas d'une redistribution interne à ce domaine. On n'y observe pas, en effet, de cavités qui correspondraient à des zones d'alimentation, en particulier à l'emplacement des plagioclases. C'est donc une *accumulation absolue* au sein de ces domaines à structure conservée. Ces figures d'accumulation sont recoupées par les domaines à structure particulière (pl. 6). L'accumulation limoneuse est donc antérieure à la formation de ces domaines à structure particulière, c'est-à-dire antérieure au fauchage de l'arène.

- Les domaines à structure particulière (ph. 3, pl. 7)

Les domaines à structure particulière sont composés d'éléments de plus petite taille : sables fins et limons. Ils présentent un gradient granulométrique : les particules les plus fines sont à la base et les plus grosses au sommet du domaine. Les minéraux sont les mêmes que dans les domaines à structure pétrographique; la biotite, notamment, est présente dans les différentes fractions et à tous les niveaux. Les micas des fractions sableuses s'orientent suivant l'horizontale. La porosité intersticielle croît de la base au sommet du domaine; elle est plus importante que dans les domaines à structure pétrographique.

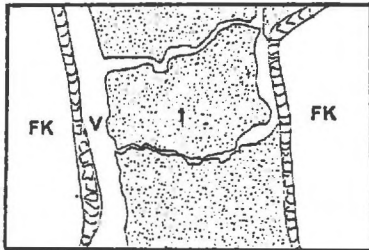
Ces domaines ne sont pas le siège d'une altération préférentielle. En effet, leur composition minéralogique est la même que celle des domaines à structure pétrographique; la biotite, notamment, facilement altérable, est toujours présente. Ces domaines doivent donc correspondre à la seule microdivision des minéraux, *d'origine mécanique* (forces de frottement lors du décrochement et du déplacement vers l'aval; forces mises en jeu lors d'alternances gel-dégel ...).

Ces domaines à structure particulière seraient ensuite le siège d'un appauvrissement en particules les plus fines à leur sommet et d'une accumulation partielle de ces mêmes particules à leur base, ce qui expliquerait le gradient granulométrique et la porosité sommitale importante. Ces domaines appauvris ne peuvent pas être à l'origine de l'accumulation observée dans les domaines à structure pétrographique, puisqu'ils en recourent les figures. Ils ont donc pu plutôt contribuer à enrichir des niveaux plus profonds ou plus en aval.

Cette alternance de domaines à structure conservée et détruite, avec décalage progressif vers l'aval, apparaît dès que les plagioclases ont subi leur altération maximale. C'est ainsi qu'à l'aval d'un filon de quartz où l'altération des plagioclases est plus profonde, le fauchage apparaît à une plus grande profondeur.

PLANCHE 7 - TRANSITION ENTRE LES ENSEMBLES I ET II DE L'ARÈNE.

PHOTO 1 - Particules limono-argileuses comblant une diaclase. (L.P.)-





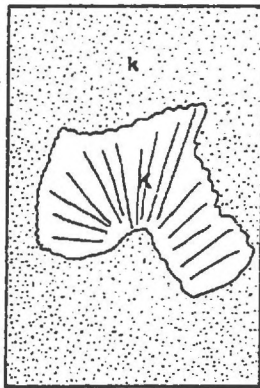
- FK Feldspaths potassiques.
-  Cristaux de quartz bordant les lèvres de la diaclase.
-  Particules limono-argileuses comblant la diaclase.
- V Vides.

PHOTO 2 - Kaolinite en éventail. (L.P.) -





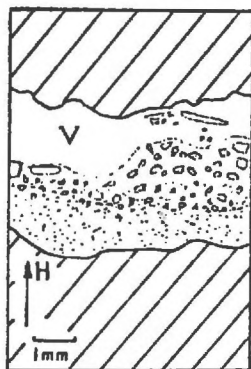


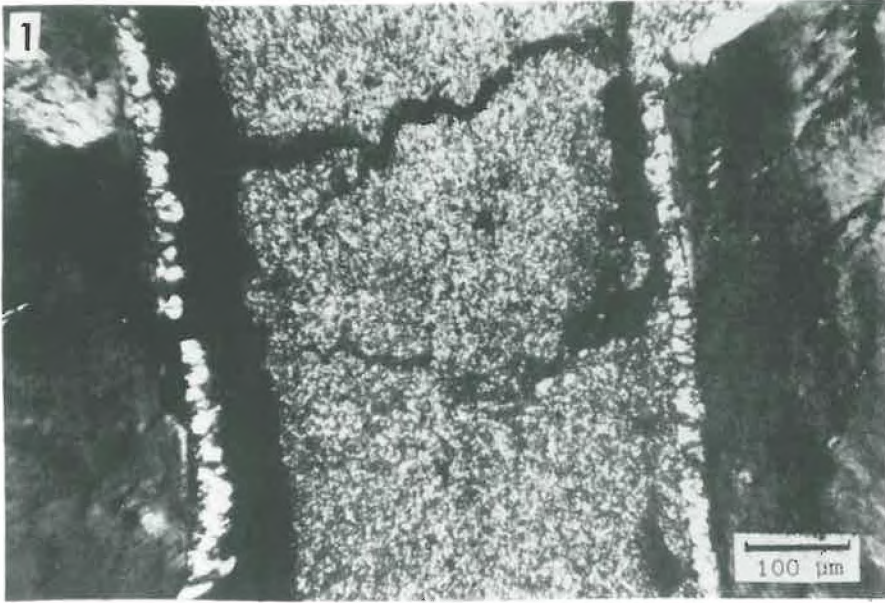
-  Eventail de kaolinite.
-  Cristallites de kaolinite composant le " voile microcristallin " d'altération du plagioclase.

PHOTO 3 - Domaine à structure particulière. (L.N.) -



-  Domaine à structure pétrographique conservée.
- V Vides.
-  Particules présentant un gradient granulométrique croissant vers le haut.



- Conclusion : la chronologie relative dans cette zone de transition

Les relations établies entre les constituants et les différents domaines subhorizontaux, permettent de préciser une chronologie relative de cette différenciation de l'arène :

- Le premier stade correspondrait à l'accumulation de particules limono-argileuses dans les fissures et les diaclases du sommet de l'arène à structure conservée.

- Au second stade se produit un léger glissement vers l'aval, les uns sur les autres de volumes lamellaires ("lits") qui conservent la structure du granite. Ce glissement est accompagné par une microdivision des minéraux sur les surfaces de contact. Ainsi, commencent à se différencier des domaines à structure particulière, dont la localisation doit correspondre à la fissuration subhorizontale observée dans le granite et encore perceptible dans l'arène à structure conservée.

- Enfin, ces domaines à structure particulière s'appauvrissent et se différencient granulométriquement.

La naissance du fauchage correspond à l'altération maximale des plagioclases en argile, ce qui prépare les modifications de structure.

Ce processus complexe du " fauchage de l'arène " crée donc, au moins à son début, une alternance de "lits " à granulométries différentes. On montre ainsi, qu'à partir d'un matériau homogène (équant) ayant une distribution granulométrique donnée, on peut progressivement passer dans cette zone de transition à un matériau apparemment stratifié, et dont les "lits " différenciés présentent deux distributions granulométriques distinctes. Une telle transformation structurale avait été interprétée comme résultant d'une succession de dépôts granulométriquement différents par de nombreux auteurs. Et si certains auteurs avaient envisagé une origine autochtone de ces formations litées (AUROUSSEAU, 1976; LEGROS, 1976; LAUTRIDOU, 1975; FLAGEOLLET, 1977) le mécanisme de formation proposé ici n' avait pas encore - à notre connaissance - été présenté.

B - PARTIE SUPERIEURE DE LA TRANSITION.

Dans la partie supérieure de la transition, la structure pétrographique disparaît complètement; la division des minéraux est importante.

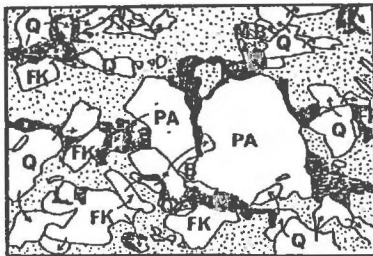
Les particules sableuses (quartz et feldspaths potassiques), et les produits d'altération des plagioclases qui restent encore assemblés, en constituant des amas (millimétriques) à bords arrondis, sont entourés par un fond matriciel composé de particules limoneuses, dont la nature minéralogique est variée: quartz, feldspaths potassiques, micas et minéraux secondaires (*Ph. 1 et 2, pl. 8*). Le plasma argileux de ce fond matriciel d'altération ne présente pas d'orientations particulières : il est asépique. La porosité est fissurale et de cavités; elle détermine une structure polyédrique partielle (les fissures n'étant pas sécantes). Cette porosité paraît plus importante que celle de la partie inférieure prise dans son ensemble. Localement, on peut observer des reliques de l'organisation sous-jacente: petits domaines à structure conservée présentant une fissure comblée par des particules limoneuses accompagnés de domaines à structure particulière et granulométrie plus fine présentant une orientation des particules micacées.

Ce niveau résulte donc de la destruction des structures originelles sous-jacentes, par la poursuite de la microdivision des minéraux primaires et la formation d'un fond matriciel d'altération.

PLANCHE 8 -

- SOMMET DE LA TRANSITION ENTRE LES ENSEMBLES I ET II DE L'ARÈNE.
- ARÈNE A STRUCTURE DÉTRUITE (ENSEMBLE II).

PHOTO 1 (L.N.) et 2 (L.P.) - Sommet de la transition entre les ensembles I et II de l'arène.








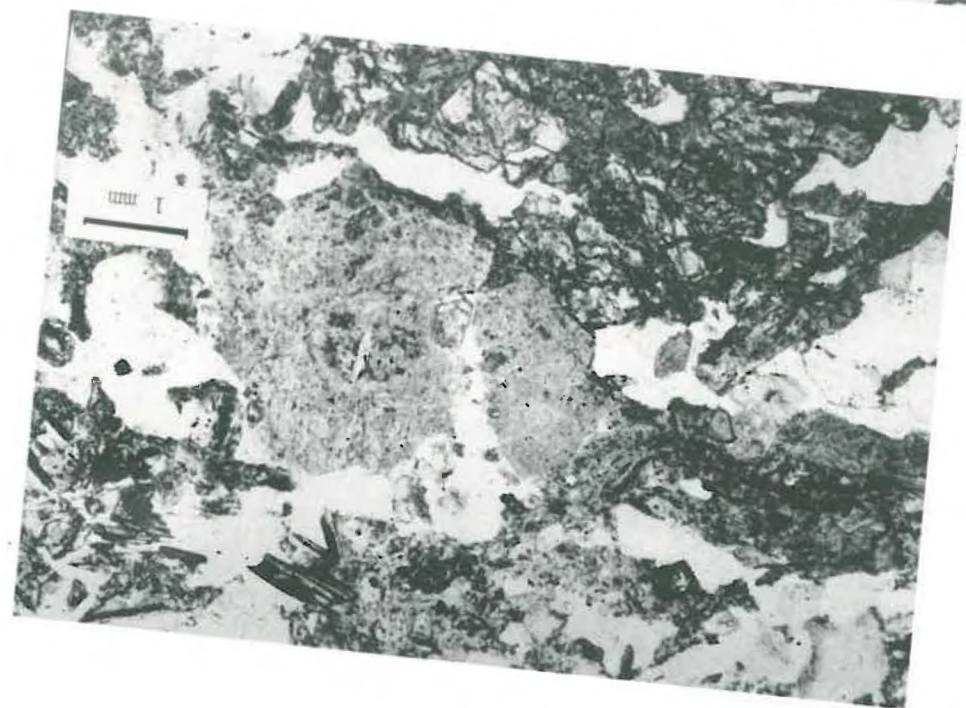
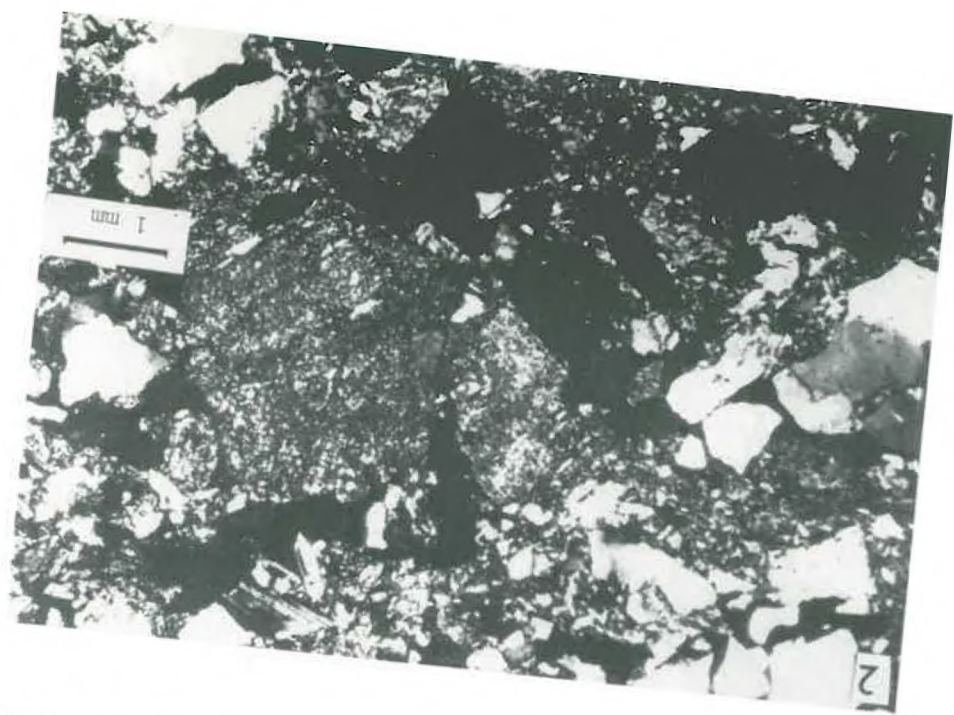
- Q Quartz
- FK Feldspaths potassiques.
- M Muscovite.
- B Biotite.
- PA Voile microcristallin d'altération des plagioclases.
-  Fond matriciel.
-  Vides.

PHOTO 3 - Arène à structure détruite. (L.N.)



-  Particules grossières
-  Coiffes d'éléments fins au-dessus des éléments grossiers.
-  Amas lâche de particules fines à assemblage intertextique.



#### IV - ENSEMBLE II : ARÈNE À STRUCTURE DÉTRUITE.

##### A - ETUDE AU MICROSCOPE OPTIQUE

###### - Structure

La structure est particulaire à très faiblement agrégée. On distingue par ordre d'abondance décroissant (ph. 3, pl. 3):

- des particules mono- ou polycristallines de la taille des sables et des graviers (1 à 5 mm)
- des amas lâches de 0.1 à 0.5 mm de diamètre de particules limoneuses et argileuses; leur assemblage est intertextique;
- des coiffes limonoargileuses au-dessus des éléments grossiers; elles peuvent avoir jusqu'à 0.5 mm d'épaisseur. Dans ces coiffes, on observe un gradient granulométrique: les particules les plus fines sont localisées à la base et les plus grosses au sommet de la coiffe.

###### - Porosité

La porosité est interparticulaire, de type ortho; c'est une porosité d'entassement. Elle représente 30 à 40 % de la surface de la lame; le diamètre moyen des vides est de 0.5 mm.

###### - Distribution granulométrique et nature minéralogique des particules

Les éléments grossiers, sables et graviers, représentent 40 % de la lame; les éléments fins, limons et argiles, 20 à 30 %; les vides 30 à 40 %.

###### + Les éléments grossiers :

. Les quartz et orthoclases, aux bords anguleux, sont prépondérants dans les fractions sables grossiers et graviers; quelques amas constitués par les produits d'altération des plagioclases subsistent dans ces fractions;

. Les micas sont fortement divisés et correspondent aux fractions sables fins et limons.

###### + Les éléments fins :

La répartition granulométrique des éléments fins est régulière; on n'observe pas la prépondérance d'une classe granulométrique particulière. Tous les minéraux primaires sont présents : quartz, orthoclases, micas; ainsi que les minéraux argileux secondaires. Le plasma a une coloration jaune, très pâle en L.N. et polarise dans les gris et blancs du 1er ordre. On n'y observe pas d'orientations préférentielles : le plasma est asépique. Par rapport au sommet de l'ensemble I et à la zone de transition, la teneur en éléments fins est plus faible.

- Traits pédologiques

En plus des coiffes d'éléments fins recouvrant les éléments grossiers, on observe localement quelques revêtements argileux jaune orangé en L.N., à forte biréfringence, bien orientés. Ils sont identiques à ceux que l'on retrouvera abondants dans les raies brun rougeâtre.

B - DONNEES DIFFRACTOMETRIQUES

Des diagrammes de diffraction de R.X. ont été effectués sur la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$  de l'ensemble II. La composition minéralogique de cette fraction est analogue à celle de l'ensemble I, c'est-à-dire essentiellement de la kaolinite, augmentée ici d'une faible quantité de quartz et d'argiles micacées.

C - CONCLUSION

Cet ensemble II présente incontestablement des caractères d'appauvrissement que l'on décèle par :

- la diminution de la teneur en éléments fins par rapport aux niveaux sous-jacents.
- la structure particulaire et la porosité importante
- la redistribution des éléments résiduels en coiffes d'éléments fins au-dessus des éléments grossiers.

Cet appauvrissement (ou éluviation) de l'ensemble II peut être relié aux accumulations (ou illuviation) de particules limonoargileuses observées dans les fissures et les diaclases de la zone de transition entre l'ensemble I et l'ensemble II et au sommet de l'ensemble I. Cette accumulation n'est pas visible immédiatement sur le terrain, car sa couleur est la même que celle du fond matriciel environnant, c'est-à-dire blanchâtre. On peut penser que ces transferts de particules limono-argileuses sont favorisés par la porosité grossière de l'arène qui est maintenue par le squelette sablo-graveleux de particules résistantes de quartz et feldspaths potassiques (PEDRO, CHAUVEL, 1973), Ces transferts de particules limono-argileuses n'excluent pas un appauvrissement de l'ensemble II par lixiviation, c'est-à-dire par des départs en solution.



## V - LES RAIES BRUN ROUGEÂTRE

### A - ETUDE AU MICROSCOPE OPTIQUE

L'arrangement des constituants dans les raies est celui de l'ensemble II, enrichi de revêtements d'argile qui sont microlités, très bien orientés, à forte biréfringence, jaune orangé en L.N. et L.P. Ces revêtements recouvrent toute la porosité à certains niveaux, sans la combler (*ph. 1, pl. 9*); ils recouvrent les coiffes le cas échéant (*ph. 2, pl. 9*). Ces revêtements présentent une polarité verticale : leur partie inférieure est plus épaisse que leur partie supérieure. On n'observe aucune intégration au fond matriciel : la limite entre le revêtement et le fond matriciel est très nette. Localement, on peut observer des revêtements présentant des intercalations limoneuses (*ph. 3 & 4, pl. 9*); la composition minéralogique de ces lits grossiers reflète celle du fond matriciel environnant : minéraux secondaires accompagnés d'un peu de quartz, feldspaths potassiques et micas. Ces revêtements s'installent dans la porosité de l'arène, l'arrangement des éléments formant le fond matriciel étant le même au-dessous, au-dessus et au sein de la raie. Ces raies vont en s'épaississant vers l'aval; il n'y a pas de différence entre une raie fine et une raie épaisse si ce n'est la plus grande épaisseur d'arène enrichie en revêtements argileux.

### B - DETERMINATION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION INFÉRIEURE A 2 $\mu\text{m}$

#### - Données diffractométriques

Etant donné le faible volume des revêtements argileux, il n'a pu être effectué de prélèvements sélectifs; seule l'analyse de la fraction inférieure à 2  $\mu\text{m}$  d'une raie brune épaisse a été réalisée. Le diagramme de R.X. (*fig. 25*) montre, outre la kaolinite dont la raie(020) disparaît, le quartz et l'argile micacée, la présence de vermiculites au sens strict (légère fermeture à 10 Å après traitement au KCl) et hydroxyalumineuse (fermeture à 10 Å après chauffage à 350°C) et d'interstratifiés 10-14 Å. Par comparaison avec l'arène, on note un enrichissement en vermiculite et en interstratifiés, enrichissement que l'on attribue à l'illuviation d'argile provenant des horizons supérieurs.

#### - Analyse élémentaire à la sonde électronique

Une analyse élémentaire qualitative effectuée sur un revêtement argileux montre la présence de : Si, Al, Fe, Ti, Mg et K (*fig. 26*). On remarque dans ces revêtements l'abondance de Fe, Ti, Mg et K, alors que ces éléments sont absents dans les argiles d'altération observées dans l'arène: kaolinite et vermiculite hydroxyalumineuse composées essentiellement de Si et Al. Ceci est un argument supplémentaire en faveur de la présence de vermiculite s.s. dans les revêtements.

PLANCHE 9 - RAIES BRUN ROUGEÂTRE.

PHOTO 1 - Raie brun rougeâtre. (L.N.) -







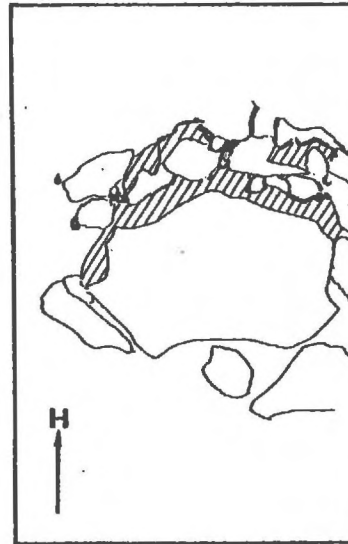
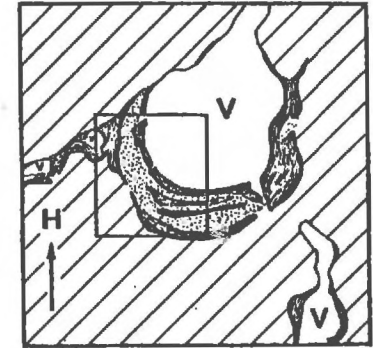
-  - Revêtements argileux.
-  - Particules grossières
-  - Coiffes d'éléments fins au-dessus des éléments grossiers.
-  - Amas lâche de particules fines à assemblage intertextique.




PHOTO 2 - Revêtements argileux recouvrant une coiffe. (L.N.) -

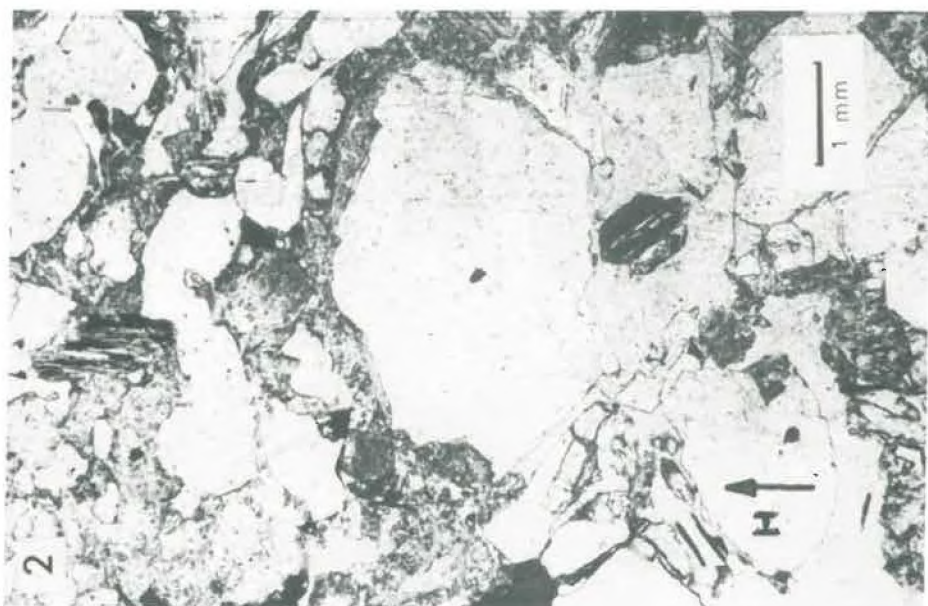
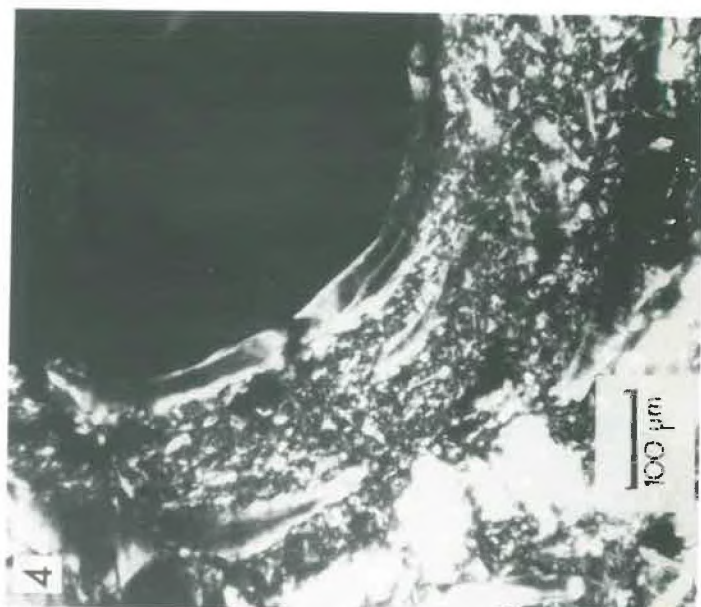
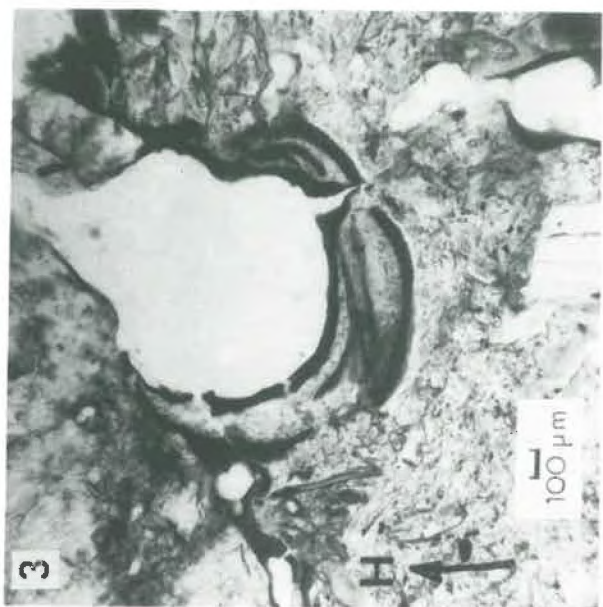


H  
↑

PHOTOS 3 (L.N.) & 4 (L.P.) - Revêtement présentant un lit limoneux.



-  - lit argileux
-  - lit limoneux; particules de même nature que celles du fond matriciel environnant
-  - Emplacement de la photo 4.



DOCUMENTATION  
2000-1-1-1-1

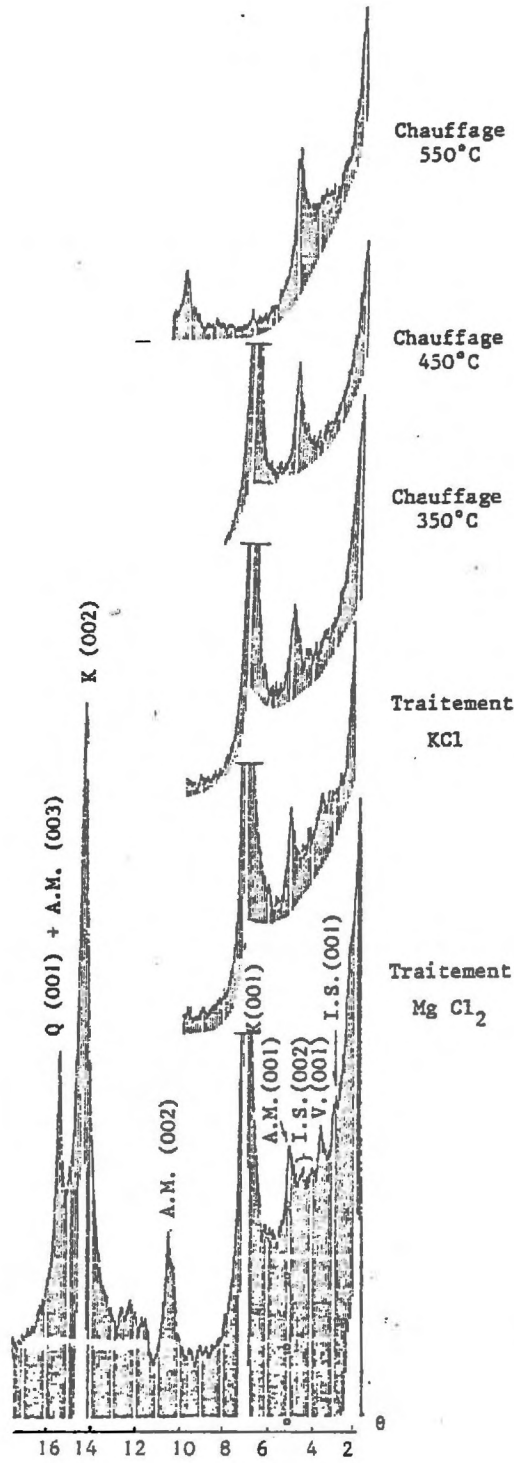


FIGURE 25 - Raie brun rougeâtre, fraction < 2  $\mu$ m. diagramme Rayons X d'argile orientée.

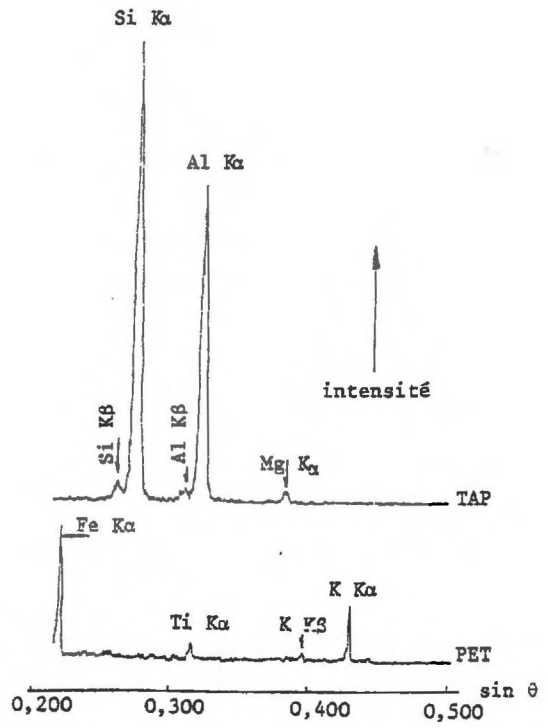


FIGURE 26 - Raie brun rougeâtre, spectre X d'un revêtement argileux.

C - CONCLUSIONS.

Les revêtements argileux caractérisant les raies brun rougeâtre résultent d'une accumulation sous forme particulière comme en témoignent les microlitages et leur alternance occasionnelle avec des passées limoneuses. La composition élémentaire et la nature minéralogique de l'argile constituant les revêtements sont différents de celles des argiles présentes dans l'arène; cette argile illuviale proviendrait donc des horizons supérieurs.

Ces revêtements se surimposent aux structures de l'ensemble II, y compris les "coiffes". L'accumulation d'argile constituant les raies est donc postérieure à l'appauvrissement de l'arène hôte; la présence discrète de revêtements interstratifiés de limons issus de l'arène environnante montre que ces particules limoneuses sont encore mobiles, donc que l'arène entourant la raie continue à s'appauvrir.

L'absence de papules et d'intégration de ces revêtements au fond matriciel laisserait supposer que les structures sont stables au niveau de la raie.

Ces revêtements existent de manière discrète dans toute l'arène; leur abondance à certains niveaux, amenant la constitution de raies subhorizontales, aux limites inférieures et supérieures très nettes, reste inexpliquée dans la présente étude. Ces raies ne correspondent pas à des structures d'accueil particulières à l'échelle de nos observations.

L'épaississement des raies vers l'aval pourrait s'expliquer de deux façons :

- par une migration et une accumulation latérale de l'argile; LEGROS (1975) en a observé de semblables dans les arènes granitiques du Massif Central;

- par des quantités d'argile différentes fournies par les horizons sus-jacents; à l'amont, le lessivage du sol brun acide alimenterait les raies fines; à l'aval, le lessivage plus intense du sol brun lessivé entrainerait l'épaississement des raies.

VI - CONCLUSION A L'ÉTUDE DE L'ARÈNE.

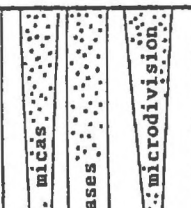

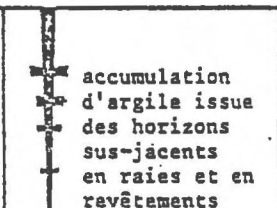
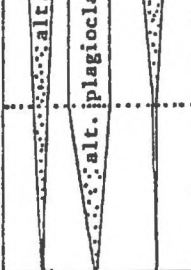

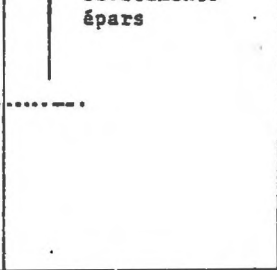



On peut tenter de relier dans un tableau récapitulatif (tab.8), les principaux caractères des arènes, aux processus qui seraient - d'après cette étude - à l'origine de la différenciation de celles-ci.

Dans l'arène à structure conservée (ensemble I), les transformations sont minéralogiques. L'altération consiste en une hydrolyse partielle des micas qui les transforme en vermiculite hydroxyalumineuse, et totale des plagioclases; la kaolinite et des oxyhydroxydes cristallisés ou amorphes précipitent; l'aluminium est conservé, le silicium est partiellement lixivié, K, Mg, Ca, Na sont lixiviés.

On distingue ensuite un couple d'horizons appauvris et enrichis en particules limono-argileuses : l'ensemble II à structure particulaire et présentant des coiffes, est appauvri; la base de la transition avec l'ensemble I et le sommet de l'ensemble I sont enrichis en particules limono-argileuses. Le fauchage apparaît dès que l'altération des plagioclases en argile est totale et postérieurement à l'accumulation qu'il recoupe. Dans les bandes microdivisées par le fauchage, le lessivage s'installe.

Enfin, une argile, issue des horizons sus-jacents à l'arène, se dépose sur les structures du sommet de l'arène.

TABLEAU 8 - Tableau récapitulatif des caractères et des processus majeurs affectant les différents ensembles de l'arène.

<p>Ensemble II Arène à structure détruite.</p>	<p>structure particulaire et "coiffes"</p>		<p>appauvrissement en particules limono-argileuses</p>		 <p>accumulation d'argile issue des horizons sus-jacents en raies et en revêtements épars</p>
<p>transition sommet base</p>	<p>apparition du fond matriciel désorganisation par lit</p>		<p>appauvrissement</p> <p>accumulation de particules limono-argileuses</p>		
<p>Ensemble I Arène à structure conservée.</p>	<p>structure pétrographique</p>		<p>accumulation de particules limono-argileuses</p>		

**TROISIEME PARTIE :**

**LES HORIZONS SABLO-LIMONEUX  
A LIMONEUX**

## INTRODUCTION

La séquence étudiée ici est différenciée au sein de matériaux sablo-limoneux à limoneux qui sont situés au-dessus de l'arène sableuse. Elle va du sol brun acide à l'amont, au sol brun faiblement lessivé à fragipan, situé à l'aval dans le pseudotalweg, (voir coupe à de la fig. 10).

L'étude des horizons qui composent la séquence a consisté en :

- une analyse macroscopique
- des déterminations physico-chimiques classiques : granulométrie, pH, complexe adsorbant, détermination minéralogique de la fraction inférieure à 2 $\mu$ m
- une analyse au microscope optique

A partir de ces données, la caractérisation des processus pédologiques majeurs qui déterminent l'évolution de cette séquence, sera tentée.

## I - ETUDE MACROSCOPIQUE

### A - INTRODUCTION

Pour rendre compte de la répartition verticale et latérale des divers horizons sablo-limoneux à limoneux, trois domaines ont été distingués en fonction de la topographie (fig. 34, p. 102)

- un domaine amont (AM) où les horizons limoneux sont discontinus, formant des poches dans un horizon sablo-limoneux;
- un domaine de versant (VE) où les horizons limoneux sont continus, d'épaisseur inférieure à 120 cm, et présentent entre eux des transitions verticales et latérales graduelles;
- un domaine aval (AV) dans le pseudotalweg, où les horizons limoneux sont plus épais (>120cm) et ont des caractères et des transitions plus contrastés.

Le domaine amont correspond au sol brun acide, le domaine aval au sol brun faiblement lessivé et le domaine de versant à la transition entre ces deux types de sols. Cette présentation synthétique de la séquence étant ainsi faite, il ne sera plus utilisé, dans la suite du texte, de dénomination génétique. Les horizons ont, à cet effet, été désignés par les modalités de certaines des variables qui les caractérisent (couleur, texture en particulier) et par un sigle indiquant le domaine auquel ils appartiennent (AM, VE, AV) pour ne pas préjuger de leur genèse.

Cependant, les taches claires et ocres, classiquement attribuées à l'hydromorphie, seront désignées comme telles dans la description macroscopique. L'observation microscopique ultérieure permettra de savoir s'il y a d'autres processus qui entrent en jeu dans leur formation.



Par ailleurs, les variables caractérisant la Matière Organique et l'activité biologique n'ont pas été prises en compte, du fait de la mise en culture et de l'observation d'un front de carrière. L'horizon labouré présente sur l'ensemble de la séquence, les caractéristiques suivantes<sup>(1)</sup>: une couleur brun foncé 10 YR 3/3, une texture limoneuse, une structure peu nette polyédrique moyenne à sous-structure polyédrique fine; les pores intraagrégats ne sont pas visibles à l'oeil nu; l'horizon est cohérent; il s'épaissit fortement de l'amont vers l'aval, passant de 15 à 30 cm. La limite qui sépare cet horizon labouré de l'horizon sous-jacent est très nette : cette limite correspond à la base du labour; cependant dans l'horizon sous-jacent, on observe systématiquement sur 10 à 20 cm d'épaisseur, des taches plus ou moins foncées (10 YR 4/3.5 - 10 YR 5/4) qui sont probablement dues à une pénétration, localement plus profonde, de l'activité biologique végétale ou animale.

### B - LE DOMAINE AMONT

Le domaine amont est composé de trois types de profils qui se distinguent par la présence, simultanée ou non, de trois horizons : l'arène sablo-limoneuse AM3, l'horizon limoneux AM1 et l'horizon limoneux AM2 ; leur agencement vertical est figuré dans le tableau 9.

TABLEAU 9 - Profils du domaine amont.

Profils	I	II	III
Horizons		Horizon labouré	
	Arène	horizon limoneux AM1	
	sablo-limoneuse AM3		h. limoneux AM2
	Arène à structure détruite		
	Arène à structure conservée		

#### 1. Caractérisation des différents horizons

##### "L'arène sablo-limoneuse : AM3"

Elle présente une couleur brun jaunâtre. De texture sableuse à la base, elle s'enrichit progressivement en limons lorsqu'on monte vers la surface. La structure est massive à l'état humide et particulière à l'état sec. Les fractions limoneuses, lorsqu'elles deviennent plus abondantes, peuvent s'assembler en agrégats microgrumeleux<sup>(2)</sup>. La couleur brun jaunâtre est donnée par ces fractions limoneuses. La porosité est très importante; les pores sont très fins, interparticulaires. Cet horizon est meuble.

(1) Vocabulaire : Glossaire de Pédologie (1969) - Couleurs prises à l'état humide : charte Munsell.

(2) Structure microgrumeleuse = structure floconneuse, structure "fluffy" des anglo-saxons.

"L'horizon limoneux : AM1"

De couleur brun jaunâtre (10 YR 5/8), sa texture est limoneuse. Sa structure est polyédrique grossière très peu nette à sous-structure microgrumeleuse. La porosité est très importante; les pores sont très fins, très abondants, interagrégats. Cet horizon est meuble.

"L'horizon limoneux : AM2"

De couleur brun jaunâtre (10 YR 5/8), il a une texture limoneuse un peu plus argileuse que celle de l'horizon précédent et il est plus riche en éléments grossiers (graviers). Sa structure est polyédrique grossière peu nette à sous-structure polyédrique très fine associée à une structure microgrumeleuse. Cet horizon présente une porosité très fine et fine importante pénétrant les agrégats et interagrégats. Il est plus cohérent que le précédent.

La comparaison des caractères des différents horizons (tab. 10) permet d'opposer deux groupes d'horizons à partir de la texture et de la structure :

- les horizons limoneux AM1 et AM2, à texture limoneuse et à structure polyédrique et microgrumeleuse. Ces horizons présentent entre eux une limite distincte, qui correspond principalement à une variation de la sous-structure : polyédrique très fine associée à microgrumeleuse dans l'horizon limoneux AM2 et microgrumeleuse dans l'horizon limoneux AM1.
- les arènes (ensemble II et arène sablo-limoneuse AM3) dans lesquelles la texture est à dominante sableuse et la structure massive ou particulaire. Ces horizons présentent entre eux une limite graduelle qui correspond principalement à une variation texturale : l'arène sablo-limoneuse AM3 est plus riche en limons que l'arène ensemble II.

Ces deux groupes d'horizons sont séparés entre eux par des limites nettes.

TABLEAU 10 - Domaine amont, tableau récapitulatif.

HORIZON	COULEUR	TEXTURE	STRUCTURE	POROSITE	COHESION	TRANSITION
Labour	10YR 3/3	limoneuse	struct.poly.moy. peu nette à sous-struct. poly. fine	Pas de pores intra-agrégats visibles à l'œil nu	cohérent	
hz. limoneux AM1	10YR 5/6	limoneuse	struct.poly. grossière très peu nette à sous-struct. microgrumeleuse	très fine, très importante inter-agrégats	meuble	
hz. limoneux AM2	10YR 5/8	limoneuse légerc. plus argil. et graveleuse	struct.poly.grossière peu nette à sous-struct. poly.très fine associée à st.microgrumeleuse	très fine et fine, importante intra-agrégats et pénétrant les agrégats	légèrement plus cohérent	
arène sablo-limoneuse AM3	10YR 5/6	sablo-limoneuse	massive ou particulaire, localement microgrumeleuse.	très fine, très importante, inter-particulaire	meuble	
arène à structure détruite	grisâtre	gravelo-sableuse	"	fine, très importante interparticulaire	meuble	

## 2. Distribution dans l'espace de ces horizons

L'arène sablo-limoneuse AM3 est située au-dessus de l'ensemble II. Les horizons limoneux (AM1 et AM2) apparaissent discontinus au sommet des arènes (*fig. 27*). L'examen de deux coupes orthogonales montre qu'il s'agit de poches et non de bandes, l'arène sablo-limoneuse (AM3) étant continue autour des poches.

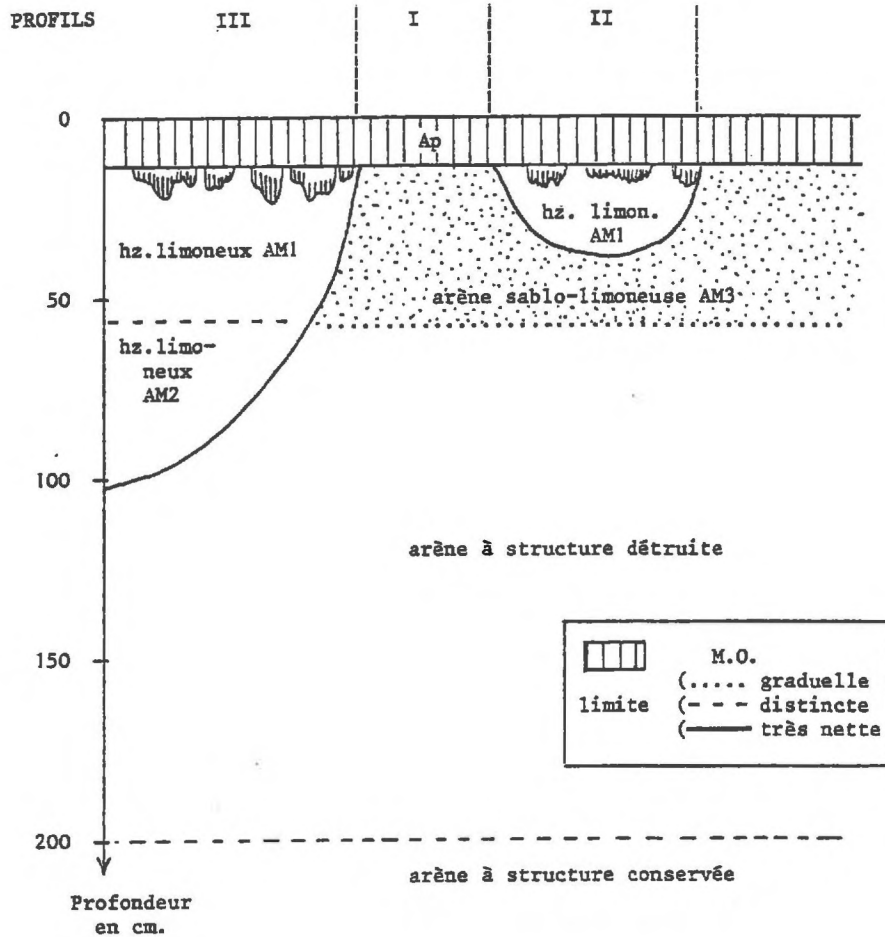


FIGURE 27 - Les différents profils du domaine amont.

Lorsque les horizons limoneux sont absents, le profil est du type I : horizon labouré - arène sablo-limoneuse AM3 - arène à structure détruite puis conservée. L'unité cartographique 1 qui les représente (*fig. 28*), forme un fond cartographique continu.

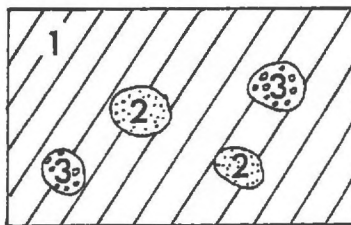


FIGURE 28 - Représentation cartographique schématique des sols du domaine amont.

Lorsque les horizons limoneux apparaissent, on distingue suivant la profondeur de la poche, deux profils différents :

- + dans les poches peu profondes, le profil II, caractérisant l'unité cartographique 2 est composé par l'horizon labouré - l'horizon limoneux AM1 - l'arène sablo-limoneuse AM3 et les arènes à structure détruite puis conservée.
- + dans les poches profondes, le profil III, caractérisant l'unité cartographique 3 est constitué par l'horizon labouré - l'horizon limoneux AM1 - l'horizon limoneux AM2 - et les arènes à structure détruite puis conservée.

La représentation cartographique montre que les unités 2 et 3 forment une mosaïque avec l'unité 1.

En conclusion, les sols du domaine amont sont caractérisés par :

- une variation granulométrique, verticale et latérale, très rapide, des limons aux sables; cette variation suit une limite irrégulière, individualisant des poches limoneuses;
- la sous-structure microgrumeleuse des horizons limoneux;
- la structure particulière des horizons sableux.

C - LE DOMAINE DE VERSANT

1. Répartition verticale et caractérisation des différents horizons

La figure 29 représente schématiquement le profil de versant.

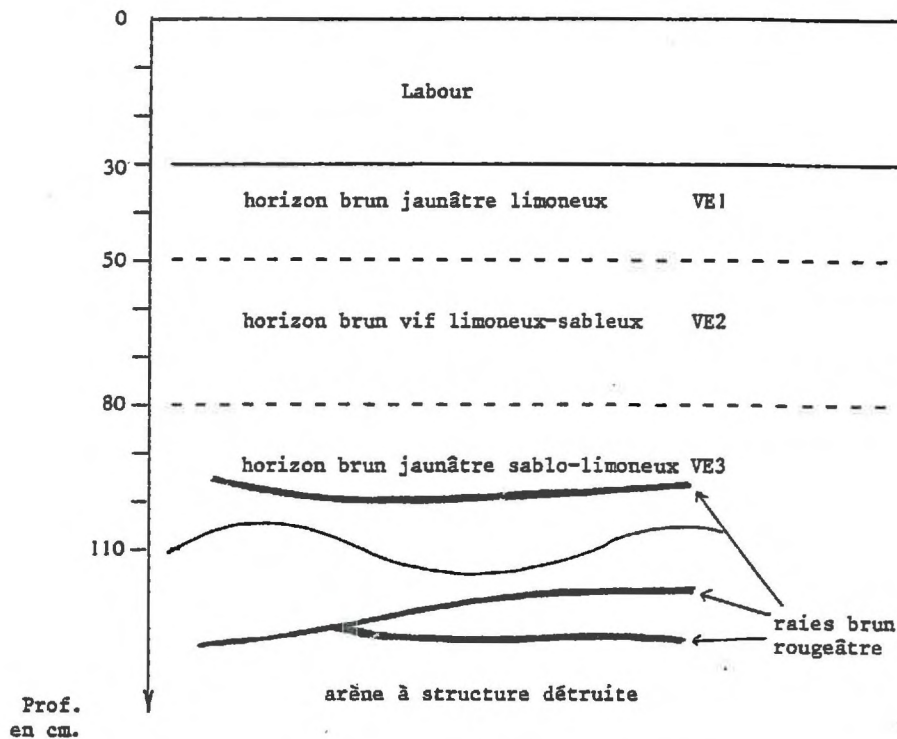


FIGURE 29 - Schéma du profil de versant.

D'après ce schéma, on observe donc, de la profondeur vers la surface :

- " L'arène à structure détruite " précédemment décrite qui présente une transition nette et ondulée avec l'horizon susjacent.
- "L'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux"VE3 (110 à 80 cm)

De couleur 10 YR 5/6, sa texture est sablo-limoneuse, sa structure massive ou particulaire suivant l'état d'humidité. Il présente une porosité interparticulaire importante. On observe quelques raies sub-horizontales de couleur un peu plus rouge (10 YR 5/8) riches en revêtements argileux, et quelques taches peu contrastées, plus grises que la matrice et entourées d'un liséré rouille; ces taches témoignent d'une légère hydromorphie, localisée. Cet horizon est meuble. La transition est graduelle avec l'horizon sus-jacent.

- "L'horizon brun vif limono-sableux"VE2 (80-50 cm)

De couleur 7.5 YR 5/6, sa texture est limono-sableuse légèrement plus riche en argile que les autres horizons du profil. Sa structure est polyédrique moyenne, nette. Sa porosité est très fine inter- et intra-agrégats et importante. Cet horizon est cohérent. La transition est graduelle avec l'horizon sus-jacent.

- "L'horizon brun jaunâtre limoneux" VE1 (50 - 30 cm)

De couleur 10 YR 5/6, sa texture est limoneuse. Sa structure est polyédrique moyenne peu nette à sous-structure micro-grumaleuse; la porosité est très fine, inter-agrégats, très importante. Cet horizon est meuble.

Le sommet de cet horizon, fortement taché par la Matière Organique, présente, sur l'ensemble de la séquence, une structure à tendance massive et une porosité plus faible : c'est la semelle de labour. La transition avec l'horizon labouré (0 - 30 cm) est très nette et régulière.

En résumé, on note que :

- les caractéristiques de couleur, texture, structure et porosité de ces sols présentent des variations très progressives. Les horizons définis ont donc entre eux des transitions graduelles, contrairement aux sols de l'amont. D'autre part, ces horizons présentent maintenant une continuité dans l'espace.

- la succession verticale des horizons peut être ainsi simplifiée :

- + un horizon inférieur, proche de l'arène par sa texture et sa structure, "l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3". Il présente des raies riches en revêtements argileux, comme au sommet de l'arène à structure détruite; ces raies sont plus discrètes que dans l'arène, le contraste de couleur étant beaucoup moins fort. Quelques rares taches, peu contrastées, indiquent une légère hydromorphie dans cet horizon.
- + deux horizons riches en éléments fins, se différencient par la couleur et la structure:
  - . "l'horizon brun vif limono-sableux" VE2 à structure polyédrique
  - . "l'horizon brun jaunâtre limoneux" VE1 à sous-structure micro-grumaleuse.

- la proportion des particules de taille inférieure à 50 µm croît graduellement de l'arène aux horizons superficiels (Ap non compris).

## 2 - Variation latérale de ces horizons

### A l'amont

Le passage des sols à horizons limoneux discontinus de l'amont, aux sols à horizons limoneux continus du versant, se fait au niveau d'un épais filon de quartz. La différenciation en trois horizons se réalise très rapidement en quelques mètres, l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 apparaissant le dernier.

### Vers l'aval

- . Les horizons s'épaississent progressivement.
- . L'horizon de la base du profil, brun jaunâtre, sablo-limoneux, VE3, devient massif et très cohérent (aspect fragique<sup>(1)</sup>)
- . L'hydromorphie se marque plus nettement dans l'horizon inférieur, le contraste des taches augmentant; et elle apparaît même discrètement dans les horizons supérieurs.

---

(1) J'appelle fragique l'association des caractères "massif" et "très cohérent".

### 3 - Comparaison du domaine amont et du domaine de versant

Un schéma (fig.30) permet de rapprocher les horizons déjà décrits dans ces deux domaines. Il apparaît que l'horizon "brun jaunâtre limoneux" VE1 du domaine de versant peut être rapproché des horizons du domaine amont, de par sa couleur et sa structure microgrumeleuse; les deux autres horizons s'en distinguent nettement.

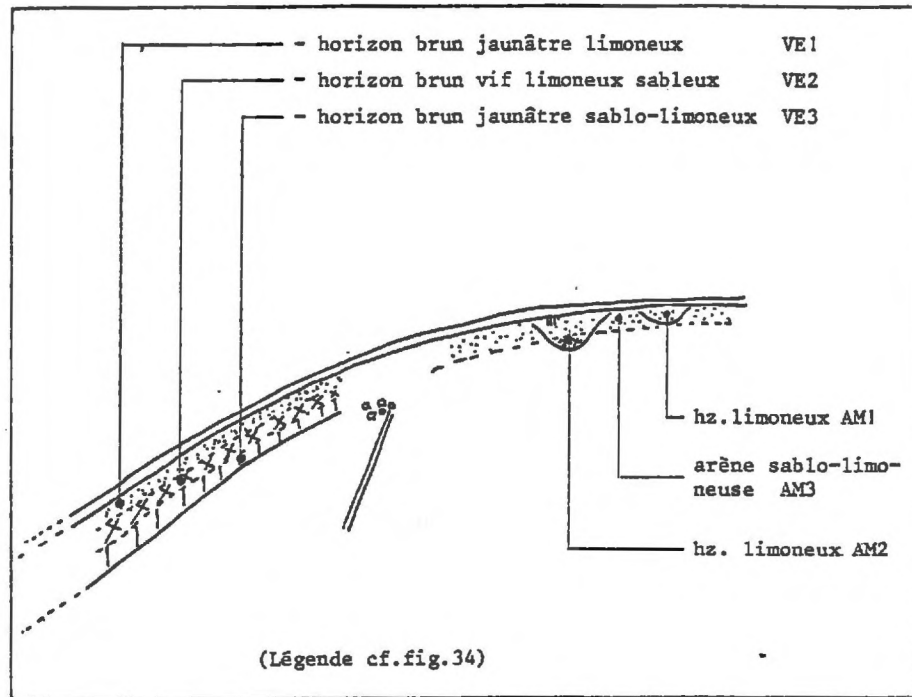


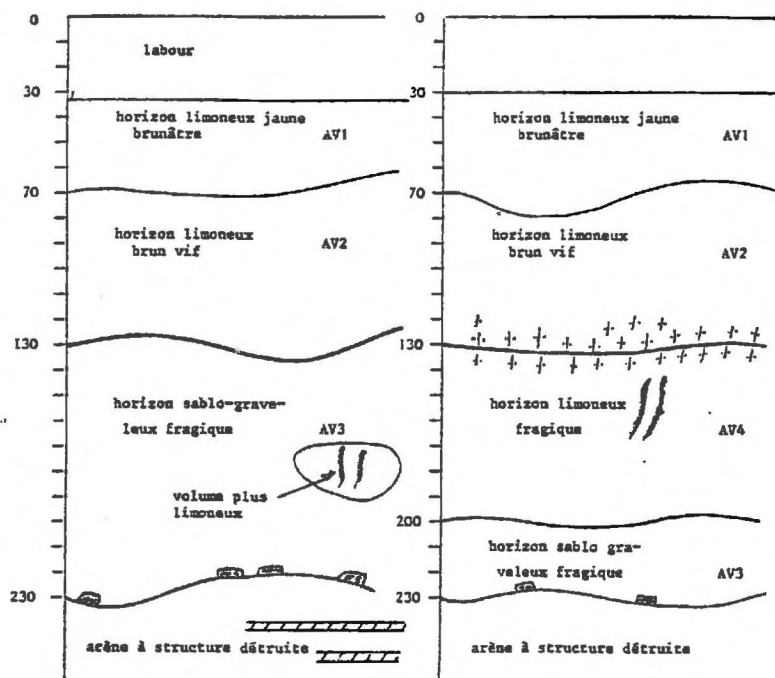
FIGURE 30 - Représentation schématique des sols de l'amont et du versant.

En conclusion, les sols du versant sont caractérisés :

- par une variation graduelle des caractères granulométriques et structuraux. Ainsi, de la base au sommet du profil, on passe progressivement d'une texture sableuse à une texture limoneuse; et on observe la succession des structures suivante : d'abord massive, puis polyédrique nette et enfin polyédrique à sous-structure micro-grumeleuse.
- par un couple d'horizons apparemment appauvris et enrichis en argile :
  - . VE1 plus clair et plus pauvre en argile
  - . VE2 plus rouge et plus riche en argile
- par l'existence de revêtements argileux en raies subhorizontales à la base du profil (VE3).

## 1. Répartition verticale et caractérisation des horizons

Dans la région étudiée, les sols des pseudotalwegs présentent deux types de succession d'horizons, l'un ou l'autre dominant suivant les talwegs; ils sont schématisés sur la figure 31.



- Fig. 31 a -

- Fig. 31 b -

- ⊥ hydromorphie en taches
- cailloux de quartz
- raies brun rougeâtre
- hydromorphie en bandes verticales grise à liseré rouille.

FIGURE 31 - Schéma des profils du pseudotalweg.

## a. Le premier type de profil (fig. 31 a)

Ce profil domine à l'aval de la carrière du Sourn. Ces différents horizons sont, de la base au sommet :

- L'arène à structure détruite (> 230 cm) présente au niveau du pseudo-talweg des raies sub-horizontales brun rougeâtre d'un centimètre d'épaisseur. Ces raies peuvent se poursuivre dans l'horizon supérieur. La transition avec l'horizon sus-jacent est distincte et ondulée; elle est soulignée par la présence de cailloux de quartz anguleux d'origine filonienne.



- *L'horizon sablo-graveleux fragile AV3 (de 230 à 130 cm)*

Il présente une couleur brunâtre, donnée par la fraction limoneuse. Sa texture globale est sableuse, mais la distribution des éléments est hétérogène. On observe des volumes très riches en graviers et sables, d'autres plus riches en limons :

- . de 230 à 190 cm, ces volumes sont répartis en bandes horizontales
- . de 190 à 130 cm, ils ont une répartition apparemment aléatoire.

L'hydromorphie, non visible dans les zones graveleuses, se traduit dans les zones limoneuses par des bandes verticales grises de 3 cm de largeur, à liséré rouille (5mm) très contrastées. La cohésion de la zone grise est inférieure à celle du fond matriciel environnant. La structure est massive et nette. Dans les plages sablo-graveleuses, la porosité est très importante, fine et moyenne; elle est faible et fine dans les plages plus limoneuses. On observe des revêtements argileux minces brun-rougeâtre dans toute la porosité fine et moyenne des zones sablo-graveleuses et sur quelques fissures verticales. A la base de l'horizon, il existe des revêtements argileux en bandes sub-horizontales. Cet horizon présente une cohésion forte à l'état sec de 230 à 190 cm et très forte de 190 à 130 cm. La transition est très nette et ondulée avec l'horizon sus-jacent.

- *L'horizon limoneux brun vif (130 - 70 cm) AV2*

De couleur brun vif (7.5 YR 5/6) , il présente quelques taches plus claires (10 YR 7/4) d'hydromorphie. Sa texture est limoneuse; on observe cependant quelques zones plus riches en graviers. Sa structure est polyédrique, nette, moyenne et grossière. La porosité est fine et importante, mais de répartition hétérogène; on observe en effet des zones à très faible porosité. L'horizon est cohérent, les zones à très faible porosité présentant une cohésion plus forte. La transition est distincte et ondulée avec l'horizon sus-jacent.

- *L'horizon limoneux jaune brunâtre (de 70 à 33 cm) AV1*

Dans cet horizon, de couleur 10 YR 6/6, il apparaît quelques taches plus claires d'hydromorphie, liées aux zones à faible porosité, de 1 à 2 cm de diamètre. La texture est limoneuse. La structure est polyédrique, moyenne et grossière, nette. La porosité est très fine et fine, importante, pénétrant les agrégats; il existe quelques zones à très faible porosité, moins étendues et moins abondantes que dans l'horizon sous-jacent. Le passage à l'horizon labouré a été décrit précédemment.

Ce premier type de profil est composé de deux ensembles d'horizons à texture et structure différentes, séparés par une limite très nette : l'horizon fragile sablo-graveleux AV3 d'une part et les horizons limoneux brun vif AV2 et jaune brunâtre AV1 d'autre part.

Les horizons à texture limoneuse ont une structure fragmentaire. Ils se différencient entre eux par la couleur et la porosité. L'horizon jaune brunâtre AV1 est plus poreux, une partie de sa porosité est plus fine que celle de l'horizon brun vif AV2; de plus, les zones non poreuses et plus cohérentes sont peu nombreuses et marquées par l'hydromorphie dans l'horizon supérieur jaune brunâtre AV1, plus nombreuses et non hydromorphes dans l'horizon inférieur brun vif AV2.

L'horizon fragile sablo-graveleux AV3 est massif et très cohérent. Il apparaît comme étant constitué par un mélange comprenant des zones proches de l'arène du point de vue textural et d'autres plus limoneuses. C'est dans cet horizon que les revêtements argileux se marquent le mieux sur le terrain.

b . Le deuxième type de profil (31 b)

Ce deuxième type de profil est, à l'aval de la carrière du Sourn, moins fréquent que le premier type. Il se compose des mêmes horizons que le premier type, avec toutefois une épaisseur et des caractères liés à l'hydromorphie modifiés ; il s'ajoute en plus, un horizon fragique limoneux.

- L'arène à structure détruite (> 230 cm) présente les mêmes caractères que dans le premier type de profil.
- L'horizon sablo-graveleux, fragique AV3 (230 - 200 cm) devient ici beaucoup moins épais. La transition est très nette et ondulée avec l'horizon sus-jacent.
- L'horizon limoneux fragique AV4 (200 - 130 cm). De couleur 7.5 YR 5/6 , il présente une texture limoneuse. Il apparaît des taches d'hydromorphie :
  - . en bandes verticales grises, à liséré rouille, au sein de l'horizon. Ces bandes sont identiques à celles de l'horizon AV3
  - . en taches claires au sommet de l'horizon; celles-ci sont nombreuses.Sa structure est massive, localement lamellaire très grossière, très nette. La porosité est très faible. Cet horizon est très cohérent. La transition est distincte avec l'horizon sus-jacent.
- L'horizon limoneux brun vif AV2 (130 - 70 cm). Cet horizon présente de très nombreuses taches claires d'hydromorphie, surtout vers sa base. Les autres caractères sont ceux de son homologue du premier type de profil.
- L'horizon limoneux jaune brunâtre AV1 (70 - 30 cm). Cet horizon est équivalent à son homologue du premier type de profil.

c . Les différences essentielles entre les deux types de profils

Le second type de profil présente aussi des variations texturales et structurales très importantes; cependant ces variations ne sont pas simultanées comme dans le premier type de profil (fig. 32) ; cela conduit à l'individualisation d'un horizon limoneux, massif et très cohérent, dont la porosité est très faible. Cette faible porosité induit une hydromorphie en bandes verticales au sein de l'horizon et en taches à son sommet et à la base de l'horizon sus-jacent.

	nomenclature	texture	structure	hydromorphie
1er type de profil	jaune brunâtre limoneux AV1	LIMONEUSE	POLYEDRIQUE	en taches claires peu abondantes
	brun vif limoneux AV2			
	fragique sablo- graveleux AV3	SABLO GRAVELEUSE	MASSIVE	en bandes verticales localisées dans les volumes limoneux
2ème type de profil	jaune brunâtre limoneux AV1		POLYEDRIQUE	en taches claires peu abondantes
	brun vif limoneux AV2	LIMONEUSE		en taches claires très abondantes
	fragique limoneux AV4		MASSIVE	en bandes verticales tra- versant tout l'horizon
	fragique sa- blo graveleux AV3	sablo- graveleuse		

FIGURE 32 - Variation des caractères principaux des profils du pseudotalweg.

2 - Variation et répartition latérale de ces horizons

Le passage d'un type de profil à l'autre s'effectue sur quelques mètres. Il correspond à une réduction de l'épaisseur de l'horizon sablo-graveleux AV3 (fig.33). La limite entre l'horizon fragique limoneux AV4 et l'horizon fragique sablo-graveleux AV3 est très nette.

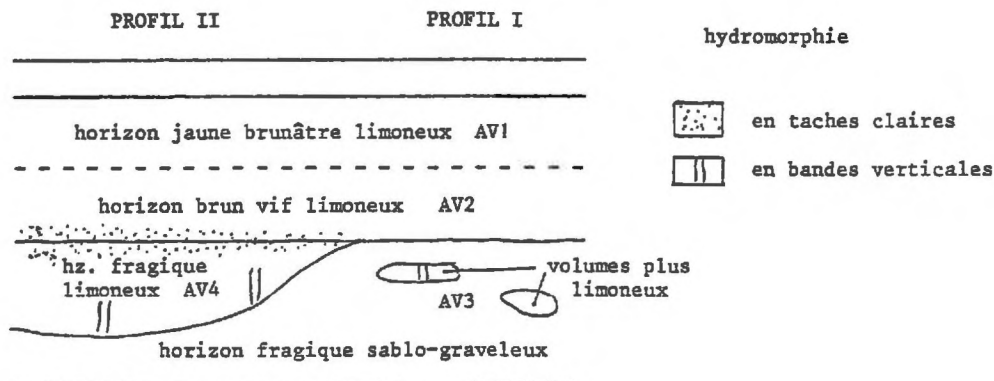


FIGURE 33 - Schéma du passage du Profil I au Profil II dans le pseudotalweg.

Les règles de la distribution spatiale de ces deux types de profils n'ont pu être déterminées. Cependant, l'existence dans la même position d'horizons à caractère fragique de textures différentes, limoneux et sablo-graveleux, prouve que ce caractère est indépendant de la texture du matériau. Lorsque le caractère fragique affecte un horizon limoneux, la porosité est alors très faible et une hydromorphie importante est induite dans l'horizon supérieur. Au contraire, lorsqu'il affecte un horizon sablo-graveleux, la porosité reste très importante et il n'y a pas d'hydromorphie induite.

La transition avec les sols du domaine de versant est la suivante : l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 du versant apparaissait vers l'aval, massif et très cohérent; ces caractères, en s'affirmant, donnent l'horizon fragique sablo-graveleux AV3. Au fur et à mesure que le caractère fragique s'accroît, le contraste granulométrique entre les horizons supérieurs à texture fine et l'horizon inférieur à texture plus grossière s'accroît; l'horizon brun vif limono-sableux VE2 du versant apparaît en continuité avec l'horizon brun vif limoneux AV2 de l'aval.

En conclusion, les sols du domaine aval sont constitués de deux horizons limoneux à structure polyédrique, qui se différencient principalement par la couleur. Ces horizons surmontent un fragipan limoneux et/ou sablo-graveleux; une hydromorphie induite par le fragipan se marque dans les matériaux limoneux. C'est dans ces sols, enfin, que les revêtements argileux sont les plus nets.





#### E - CONCLUSION A L'ETUDE MACROSCOPIQUE

Les variables observées ont permis de distinguer différents horizons que l'on peut regrouper en fonction de leur ressemblance, de la manière suivante (tab.11) d'après leur caractères structuraux et indépendamment de leur granulométrie.

- TABLEAU 11 - Nomenclature des horizons sablo-limoneux à limoneux.

AVAL	VERSANT	AMONT
jaune brunâtre limoneux AV1	brun jaunâtre limoneux VE1	limoneux AM1
brun vif limoneux AV2	brun vif limo- no-sableux VE2	limoneux AM2
sablo-graveleux fragique AV3	brun jaunâtre sablo-limoneux VE3	arène sablo- limoneuse AM3
limoneux fragique AV4		

- Légende -

	ens. $\alpha$		ens. $\gamma$
	ens. $\beta$		ens. $\delta$



II - DONNÉES ANALYTIQUES

A - GRANULOMETRIE (1)

Pour tenir compte des éléments grossiers, de la taille des graviers, qui présentent de fortes variations le long de la séquence, les analyses granulométriques sont présentées en pour cent de la terre entière. En opérant un découpage en 4 classes granulométriques (A = 0 - 2  $\mu$ m ; L = 2 - 50  $\mu$ m ; S = 50 - 2000  $\mu$ m ; G = 2 - 20 mm) et en représentant ces classes sur des histogrammes, on constate que tous les échantillons peuvent se regrouper en 3 types d'histogrammes différents (fig. 35).

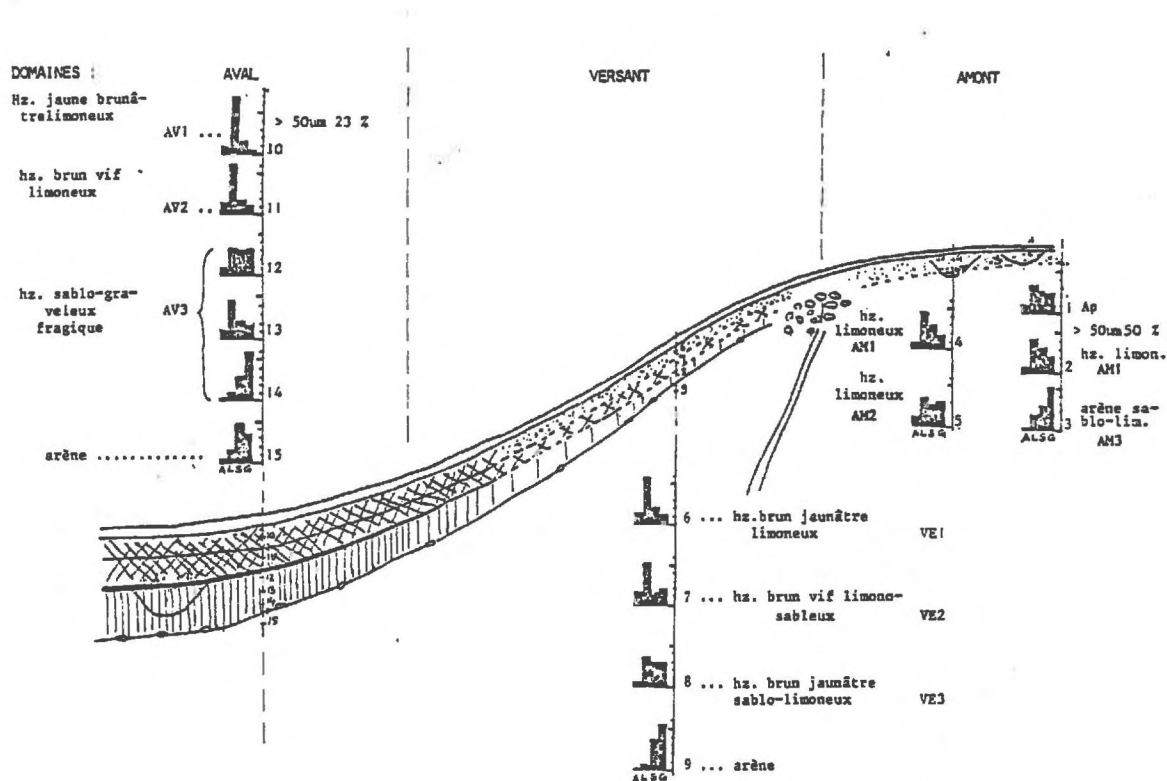


FIGURE 35 - La distribution granulométrique.

(1) Les analyses granulométriques (8 fractions) sont présentées en annexe.

## 1 - Les trois types d'histogrammes

Les différents horizons se regroupent de la façon suivante :

- Type I  $L < S < G$ 
  - . arène à structure détruite
  - . arène sablo-limoneuse AM3
  - . volumes sableux de l'horizon sablo-graveleux fragique AV3
- Type II  $L = S = G$ 
  - . horizon limoneux AM2
  - . horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE2
  - . horizon sablo-graveleux fragique AV3
- Type III  $L > S > G$ 
  - . horizon limoneux AM1
  - . horizon brun jaunâtre limoneux VE1
  - . horizon brun vif limono-sableux VE2
  - . horizon jaune brunâtre limoneux AV1
  - . horizon brun vif limoneux AV2
  - . volumes limoneux de l'horizon sablo-graveleux fragique AV3
  - . horizon limoneux fragique AV4

## 2 - Les relations entre ces trois types; leurs positions respectives dans la séquence.

Les observations morphologiques nous permettent de préciser les relations entre ces trois types d'histogrammes en fonction de la position topographique.

### - Sur le versant

On observe la succession des trois types en remontant dans le profil :

- . Type I : l'arène à structure détruite
- . Type II : l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3
- . Type III : l'horizon brun vif limono-sableux VE2 et l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1.

Morphologiquement, nous avons vu que les variations texturales étaient progressives : on passe graduellement d'une distribution à éléments grossiers dominants à une distribution à éléments limoneux dominants. De la base au sommet du profil, le sol s'enrichit progressivement en limons et s'appauvrit en sables et graviers.

### - A l'amont

. dans les poches peu profondes, on passe directement du type I (arène sablo-limoneuse AM3) au type III (horizon limoneux AM1). Morphologiquement, la limite est très nette. Notons, cependant, que l'horizon "limoneux" est encore riche en éléments grossiers : 50 % d'éléments de taille supérieure à 50  $\mu$ m.

. Dans les poches plus profondes, l'horizon limoneux AM2, qui se développe entre l'arène et l'horizon limoneux AM1, présente une distribution de type II. La limite morphologique avec l'arène est nette.

Dans les sols de l'amont, on constate donc que le passage des distributions à graviers dominants aux autres distributions est rapide. La distribution intermédiaire peut ne pas exister.





TABLEAU 13 - LF + LG en % de la terre entière.

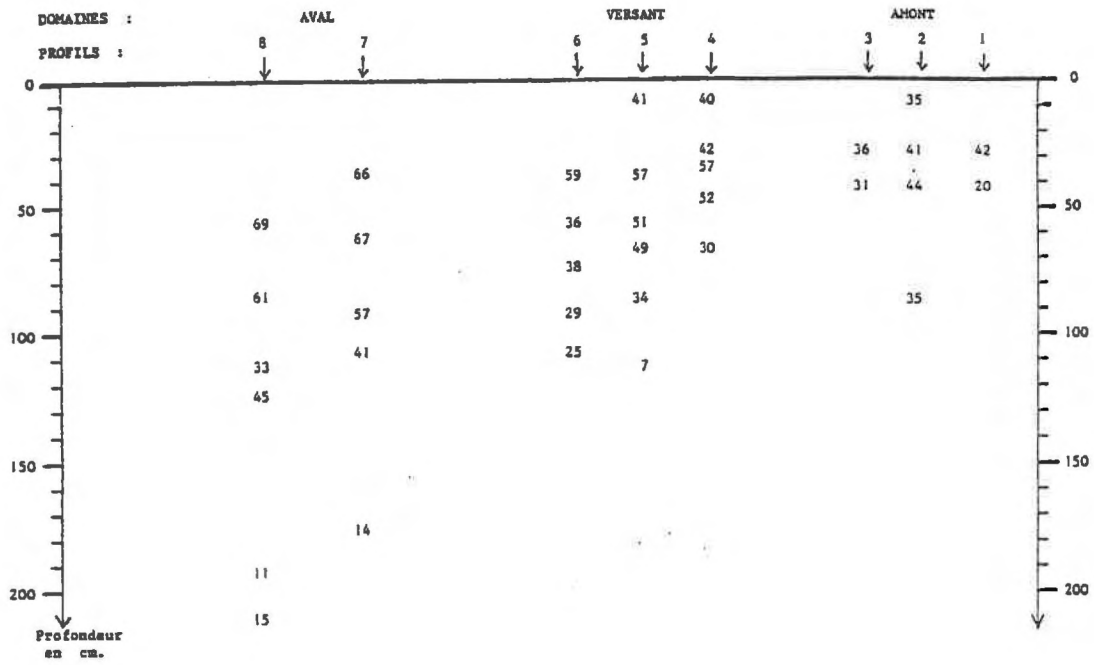
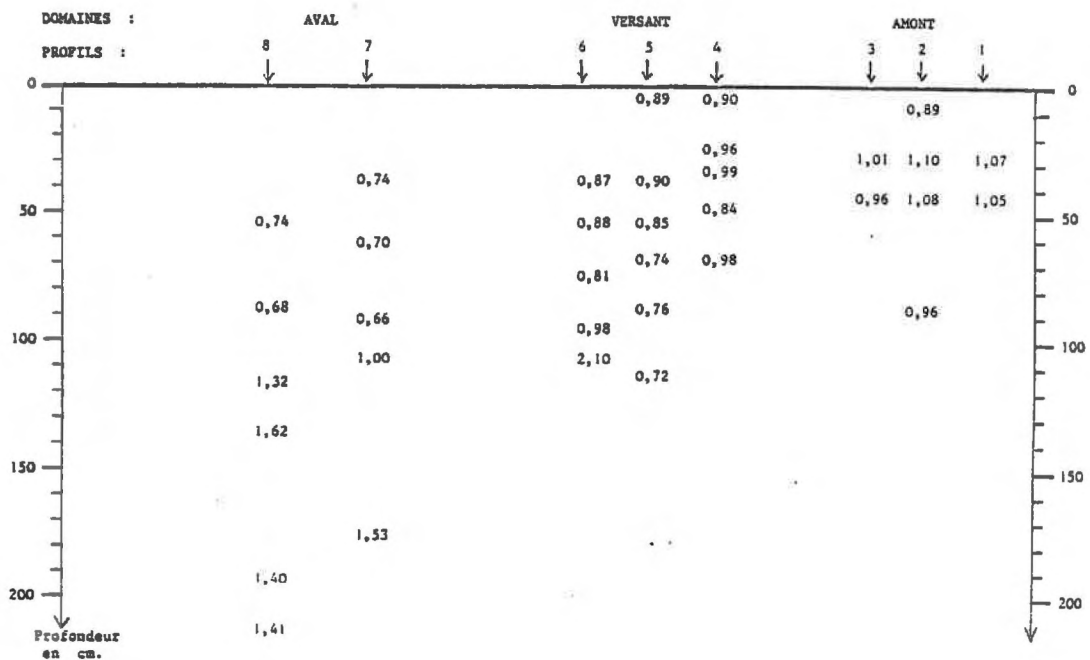


TABLEAU 14 - Rapport LF/LG.



#### 4 - L'argile granulométrique

La teneur en argile granulométrique de l'arène est très faible : 2 - 5 % ; celle de l'ensemble sablo-limoneux à limoneux varie entre 10 et 20 % (fig. 36). Les sols les plus nettement différenciés en argile sont les sols de versant avec un "indice d'entraînement" de l'argile de 2, alors que les sols d'amont et d'aval ont un indice d'entraînement < 1.5.

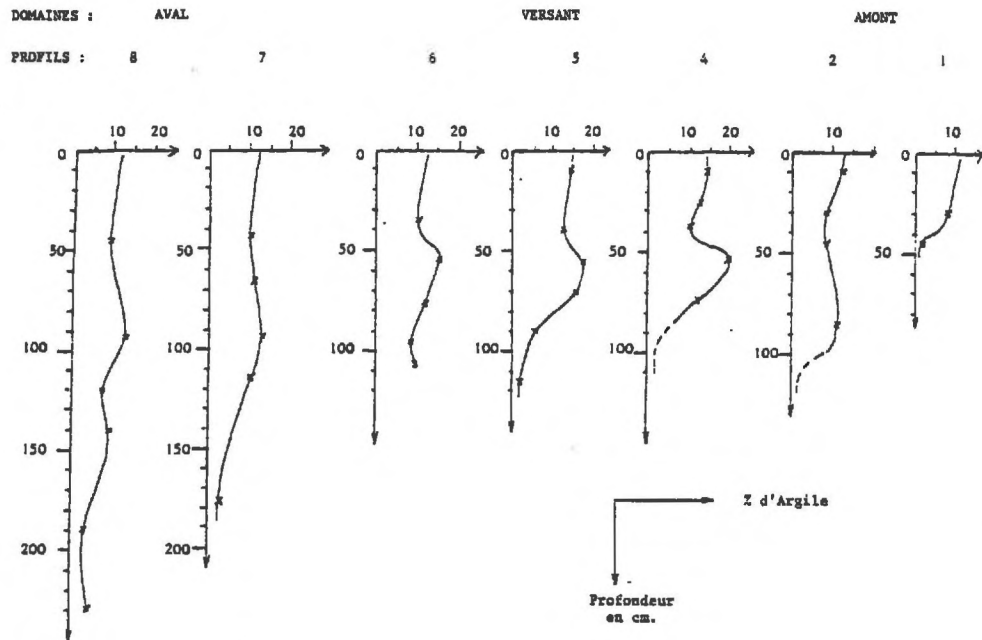


FIGURE 36 - Profils verticaux d'argile granulométrique en % de la terre entière.

#### 5 - Conclusion à l'étude granulométrique.

A partir de cette étude, il est possible d'observer les quelques points suivants :

- un accroissement de la teneur en argile, de l'arène à l'ensemble sablo-limoneux à limoneux. Dans ce dernier ensemble, le profil de l'argile granulométrique s'apparente à celui du sol brun faiblement lessivé pour les sols du versant et du pseudotalweg.
- sur le versant, un accroissement progressif de la teneur en limons, de l'arène à l'horizon sous cultural, tandis qu'à l'amont et à l'aval, les variations sont plus rapides.
- dans les horizons AM1, VE1 et AV1, un accroissement de la teneur en limons, essentiellement en LG de l'amont vers l'aval.

LE CALVEZ (1979) a montré que ces différentes distributions granulométriques étaient compatibles avec un modèle de mélange de deux matériaux. Chaque échantillon M est, dans ces conditions, une combinaison linéaire de deux pôles A et S :

$$M = xA + (1 - x) S$$

x étant le pourcentage du matériau A dans l'échantillon M.

Il détermine ainsi la composition granulométrique des deux pôles A et S qui sont respectivement limoneux (A) et sableux (S) (tab. 15).

TABLEAU 15 - Composition granulométrique des pôles sableux et limoneux.  
(in LE CALVEZ - 1979)

%	Pôle sableux	Pôle limoneux
A	13.5	13.5
LF	20	33.5
LG	13.5	49
S <sub>1</sub>	7	3.5
S <sub>2</sub>	7	
S <sub>3</sub>	14.5	
S <sub>4</sub>	13	
S <sub>5</sub>	12	
Σ	100	100

et établit le long de la séquence les courbes d'isovaleurs de x (fig. 37) qui délimitent les volumes dont la composition granulométrique correspond à un même pourcentage de mélange.

D'autres types de données : morphologiques, minéralogiques, analytiques et cartographiques sur ce substrat granitique et sur d'autres roches lui permettent d'attribuer le pôle limoneux A à un apport éolien et le pôle sableux S au substrat local.

Ainsi les limites de l'étude microscopique qui va suivre, apparaissent dès maintenant. On ne pourra, en effet, établir de filiation génétique entre les fonds matriciels de deux horizons quelconques de la séquence, ni y suivre l'altération des minéraux. Par contre, cela sera possible pour des horizons présentant le même pourcentage de mélange, donc la même roche-mère ou pour différents domaines d'un même horizon. Les traits pédologiques (revêtements, concentrations plasmiques...) eux, se développant dans le fond matriciel postérieurement au mélange, seront un outil efficace pour décrypter l'histoire de ces sols.

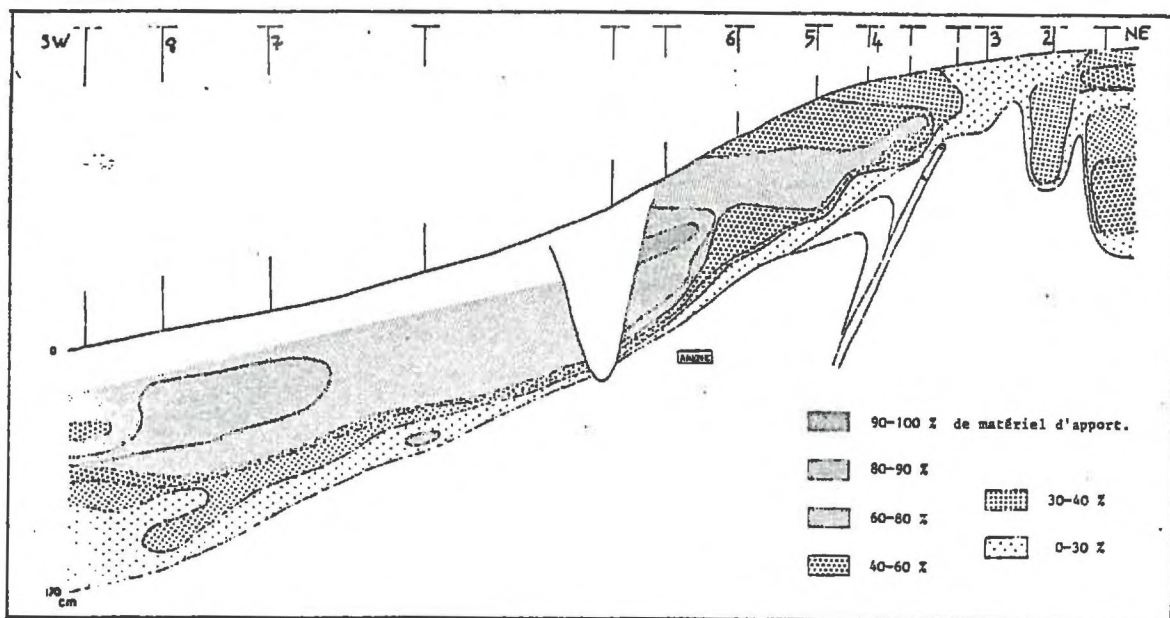


FIGURE 37 - Courbes d'isovaleurs de x : pourcentage de matériaux d'apport (d'après LE CALVEZ, 1979; p.158).

B - DONNEES CHIMIQUES

Etant donné que la séquence se trouve en milieu cultivé, les caractères intrinsèques du sol sont masqués par suite de la fertilisation; il en résulte que les données obtenues renseigneront peu sur le milieu pédologique naturel.

1 - pH

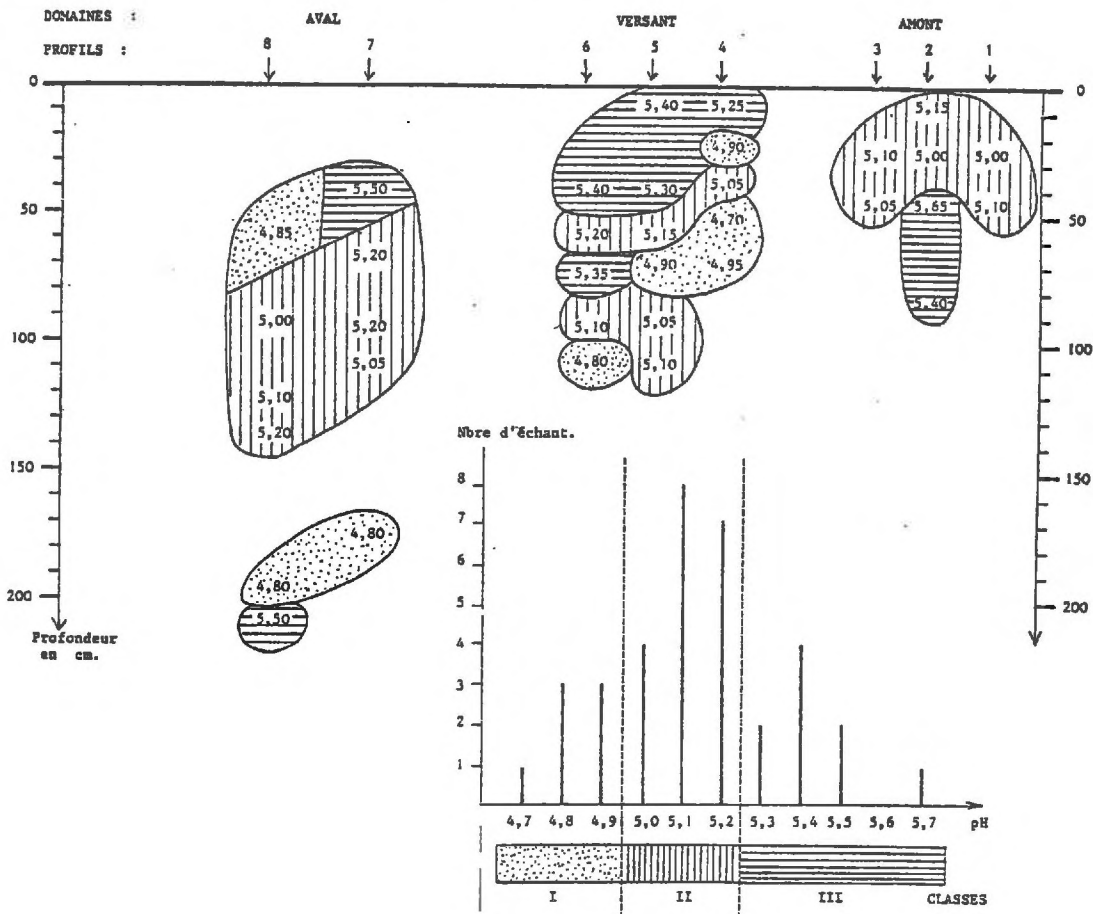
Il s'agit des mesures suivantes : pH eau, KCl et NaF.

- Le pH eau (tab. 16) varie entre 4.8 et 5.6. Les variations au sein d'un même horizon sont du même ordre que les variations entre horizons. Ainsi, si on effectue un découpage en trois classes en fonction de la fréquence des différents pH :

- classe I :  $4.7 \leq \text{pH} \leq 4.9$
- classe II :  $5.0 \leq \text{pH} \leq 5.2$
- classe III :  $5.3 \leq \text{pH} \leq 5.7$

on constate que les domaines définis ne correspondent pas aux horizons; un même horizon peut contenir les trois classes. (Exemple : l'horizon jaune brunâtre limoneux AV1) et une même classe peut contenir plusieurs horizons. On peut simplement dire que ce sont des sols acides où des ions aluminium sont susceptibles d'apparaître sur le complexe adsorbant.

TABLEAU 16 - pH eau.

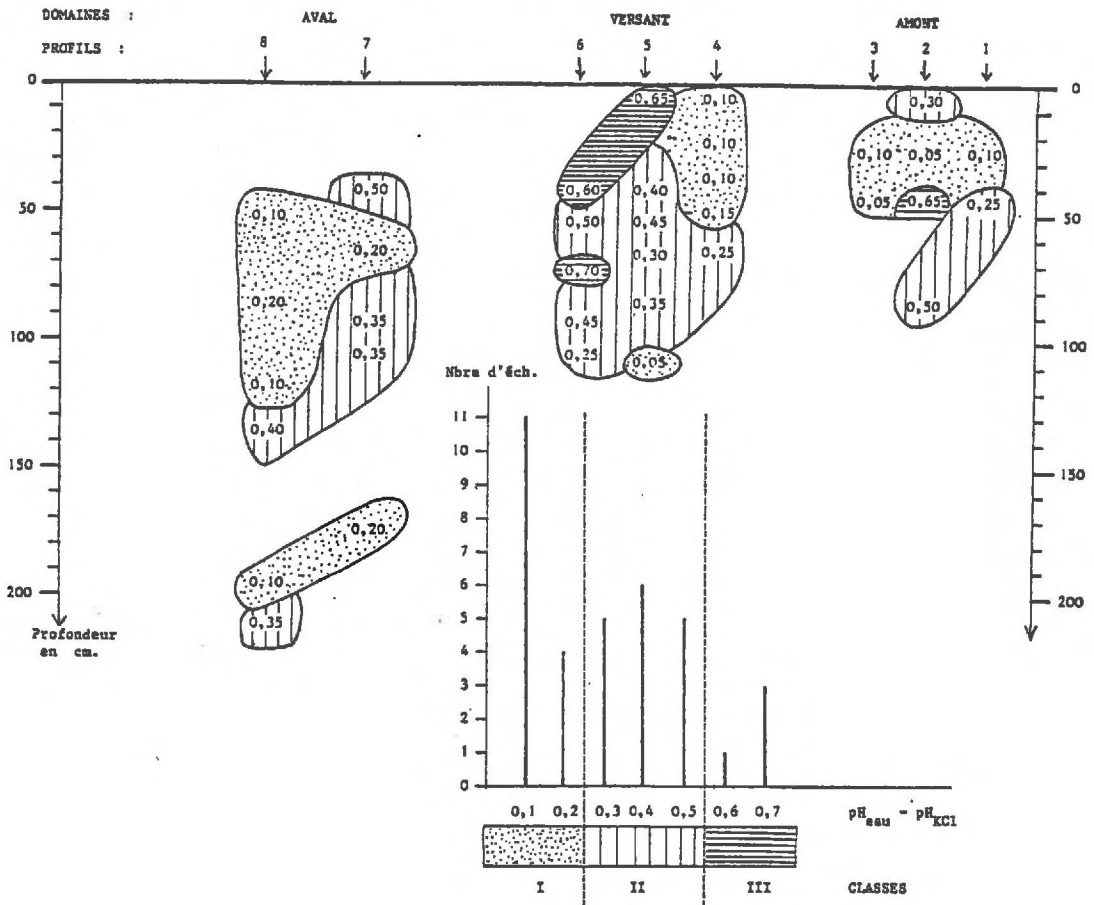


- Le pH KCl (tab. 17) . Ces sols présentent une faible acidité d'échange : la différence pH eau - pH KCl est peu élevée, inférieure à 0.7. De la même manière, en effectuant un découpage en 3 classes pour la différence pH eau - pH KCl :

- classe I :  $0.1 \leq \Delta pH \leq 0.2$
- classe II :  $0.3 \leq \Delta pH \leq 0.5$
- classe III :  $0.6 \leq \Delta pH \leq 0.7$

les domaines définis ne correspondent à aucun des domaines précédents; on ne peut donc donner un sens à ces variations.

TABLEAU 17 - pH eau - pH KCl.



- Le pH NaF (tab. 18) varia entre 9.6 et 11.3; ces variations sont ordonnées le long de la séquence. La partie supérieure des profils et l'amont de la séquence présentent les pH les plus élevés, le fragipan sablo-graveleux AV3 à l'aval est caractérisé par les pH les plus bas. Ces valeurs de pH indiquent la présence de constituants amorphes dans la partie supérieure des profils et à l'amont de la séquence ( $10.7 \leq pH \leq 11.3$ ).

2 - Complexe adsorbant (tab. 19 & 20)

La capacité totale d'échange T varie de 12 à 15.6 meq/100g pour les horizons enrichis en matière organique, de 10.6 à 3.7 pour les autres. Le taux de saturation S/T varie de 9 à 37 %. Ce sont donc des sols à faible capacité d'échange et fortement désaturés. Le complexe montre des quantités de potassium importantes : K = 2 Mg, ce qui est une conséquence de la fertilisation. Le taux de saturation est donc plus élevé qu'en milieu naturel.

TABLEAU 18 - pH NaF.

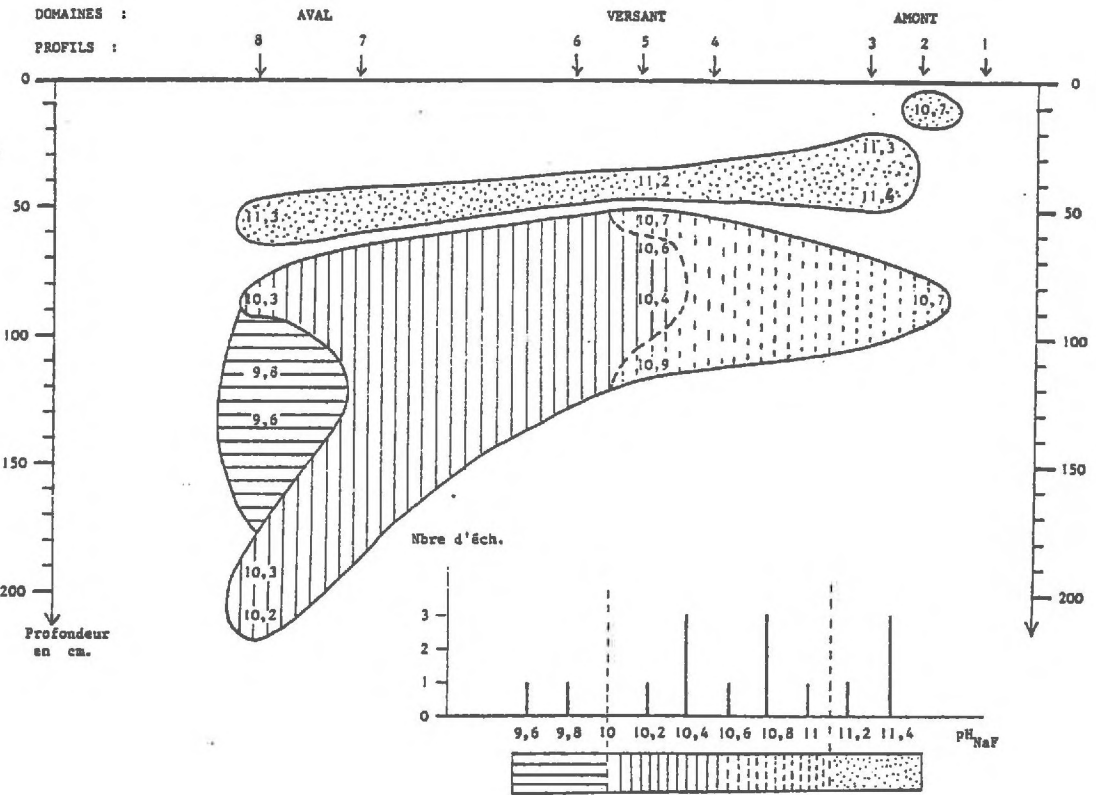


TABLEAU 19 - Complexe adsorbant.

AVAL			VERSANT			AMONT			DOMAINES			PROFILS									
8	7		6	5	4	3	2	1													
S	T	S/T	S	T	S/T	S	T	S/T	S	T	S/T										
												0									
				4,27	14,6	29	4,39	15,4	28				10								
						1,43	12,0	11					20								
						0,97	10,5	9	1,32	9,50	13	1,28	12,1	10	1,28	9,3	13				
			1,49	4,5	33	1,29	10,6	12	1,29	9,5	13						40				
									1,51	8,9	16	1,17	8,10	14	1,25	10,5	11	1,05	10,7	9	
1,34	8,1	16				2,18	7,7	28	1,57	9,3	16									50	
			1,25	6,7	18				1,67	9,7	17	1,44	4,6	31							60
						1,92	5,6	34													70
2,71	8,1	33							2,24	8,5	26				1,47	7,7	19				80
			3,07	8,2	37	1,98	6,7	29													90
																					100
			2,66	10	26	1,61	8,5	18	0,60	3,7	21										110
1,91	7,7	24																			120
2,22	9,10	24																			130
																					140
																					150
			2,21	7,3	30																160
1,57	6,1	25																			170
																					180
1,76	6,9	25																			190
																					200
																					210
																					220

S : somme des cations échangeables ) en mEq. pour 100 g.  
T : capacité d'échange ) de terre fine.  
S/T : taux de saturation du complexe adsorbant.



C - MINERALOGIE DES ARGILES

Les déterminations ont été effectuées par diffractométrie des RX sur agrégats orientés, associée aux traitements préconisés par ROBERT (1975).

Les espèces minérales observées sont (tab. 21)

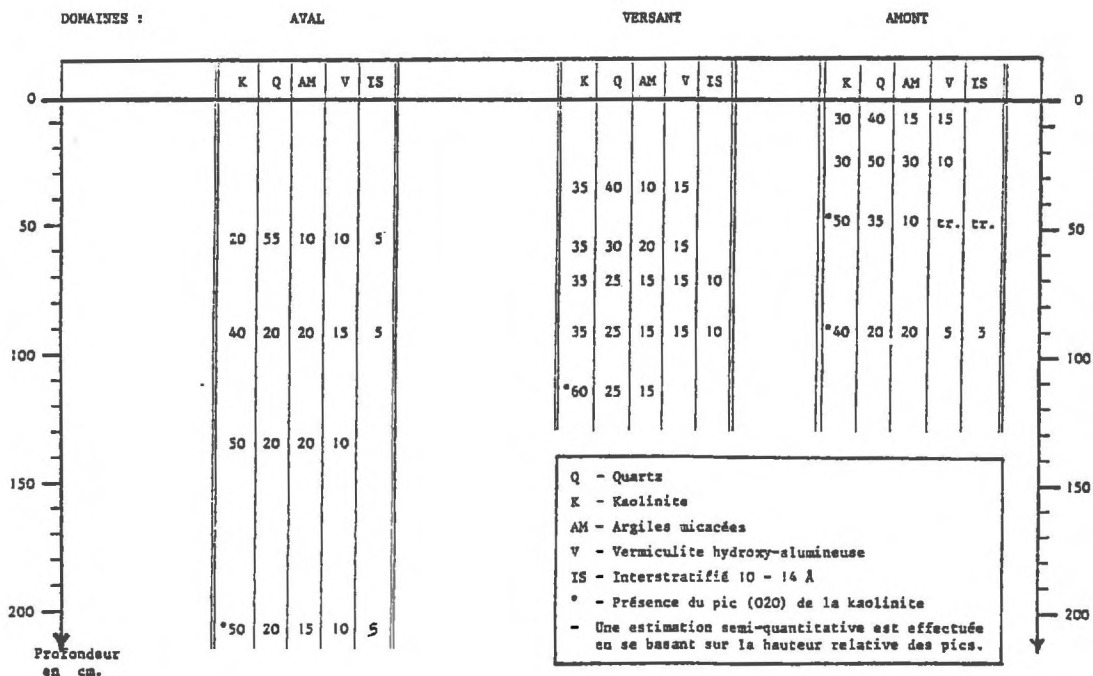
- . la kaolinite K
- . le quartz Q
- . les argiles micacées AM
- . la vermiculite hydroxyalumineuse V (14 Å à Mg, K, EG fermeture à 350°C et 450°C)
- . des interstratifiés IS (10 - 14 Å) d'argiles micacées et de vermiculite hydroxyalumineuse: (12 - 13 Å) à Mg, K et EG ; fermeture à 350°C et 450°C).

Dans l'arène, la kaolinite est dominante associée au quartz et aux argiles micacées : K > Q > AM. Dans l'ensemble des horizons plus limoneux, les argiles micacées ont la même importance que dans l'arène; la vermiculite hydroxyalumineuse et les interstratifiés deviennent plus abondants, la quantité maximum apparaissant dans les horizons brun vif VE2 et AV2; quartz et kaolinite présentent un rapport qui s'inverse de la base au sommet des profils : à la base K > Q; au sommet K < Q.

La prépondérance du quartz dans les horizons superficiels peut être due :

- à une accumulation relative, par altération et départ des argiles;
- et/ou à une accumulation absolue, par microdivision des quartz de la taille des limons.
- et/ou à une composition différente, plus riche en quartz de la fraction argileuse du matériau d'apport.

TABLEAU 21 - Composition minéralogique de la fraction argileuse.





D - CONCLUSIONS

Les horizons caractérisés morphologiquement se différencient dans un matériau présentant de fortes variations granulométriques. *Ces variations ne correspondent pas au découpage des horizons*; différents horizons peuvent avoir en effet la même distribution granulométrique; par exemple, les horizons jaune brunâtre limoneux AV1, brun vif limoneux AV2 et fragile limoneux AV4. Cette différenciation texturale peut être interprétée comme le résultat d'un mélange de deux matériaux (LE CALVEZ, 1979).

Ces horizons sont peu différenciés du point de vue physico-chimique. La fertilisation du milieu a pu masquer certaines différences. Ils présentent un pH acide compris entre 4.5 et 5.5 et un complexe désaturé.

La fraction argileuse de ces horizons est composée des mêmes espèces minéralogiques, dont les proportions varient suivant les horizons. La kaolinite domine dans l'arène; le quartz domine à la partie supérieure des profils; quant aux argiles micacées, vermiculite hydroxyalumineuse et interstratifiés 10-14 Å, ils sont présents à peu près partout.

### III - ETUDE AU MICROSCOPE OPTIQUE

#### PREAMBULE

Dans ce chapitre, le niveau de caractérisation des horizons n'est pas le même que celui adopté pour l'étude de l'arène. On s'attachera ici, principalement, aux structures et aux traits pédologiques, la caractérisation de l'état d'altération des minéraux étant abordé plus rapidement : j'emploierai des termes comme peu altéré, moyennement altéré ... étant conscient de leur imprécision.

Pour des raisons de facilité de présentation et parce que c'est dans ce domaine que la transition entre l'arène et les horizons sablo-limoneux et limoneux du sol est la plus progressive, je présenterai d'abord les horizons du domaine de versant. Ces horizons seront ensuite comparés à ceux de l'amont et de l'aval.

Les descriptions se feront de la base au sommet des profils. Pour se référer dans la nomenclature des horizons, il faut se référer à la figure 34.

#### A - LE DOMAINE DE VERSANT

##### 1 - L'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3

###### a - Description

###### α - Fond matriciel

###### - Structure , porosité

Cet horizon présente deux domaines que l'on différencie essentiellement par la structure et par la porosité :

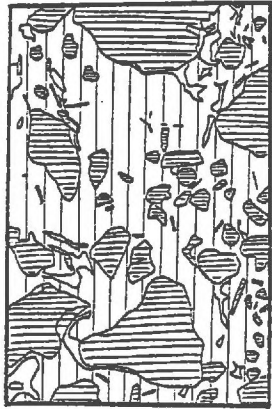
- . un domaine majeur (70 à 80 % de la surface totale s.t.) à structure massive et à porosité constituée de cavités, chambres et chenaux de 0.4 à 1 mm de diamètre (ph.1, pl.10). Cette porosité couvre 10 à 15 % du domaine.
- . un domaine peu étendu (20 à 30 % de la s.t.) à structure grumaleuse et microgrumaleuse, les agrégats étant nettement disjoints ou plus ou moins accolés. La porosité de ce domaine est interagrégats et en chenaux de 0.5 à 0.8 mm de diamètre; elle couvre 30 % du domaine.

###### - Granulométrie , altération

Les éléments grossiers, sables et graviers, représentent 20 % de la surface totale; la fraction fine, limons et argiles, 60 à 70 %; les 10 à 20 % restant étant la porosité.

PLANCHE 10 - DOMAINE DE VERSANT.

PHOTO 1 - Horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 - domaine massif-(L.N.)-






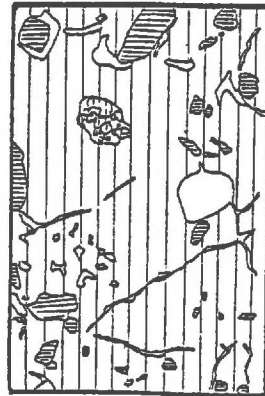



-  Fond matriciel limono-sableux.
-  Éléments grossiers.
-  Porosité de chenaux.

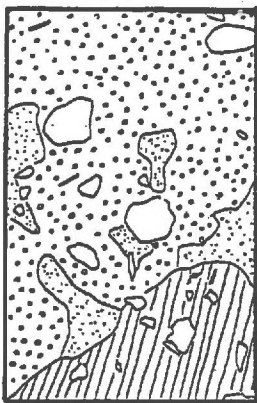
PHOTO 2 - Horizon brun vif limono-sableux VE2. (L.N.) -



-  Fond matriciel limoneux.
-  Éléments grossiers.
-  Porosité fissurale de chenaux et cavités.

PHOTOS 3 et 4 - Horizon brun jaunâtre limoneux VE1.

PHOTO 3 - Structure -(L.N.)-







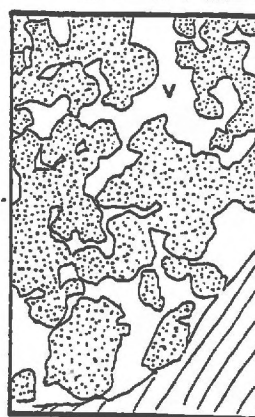



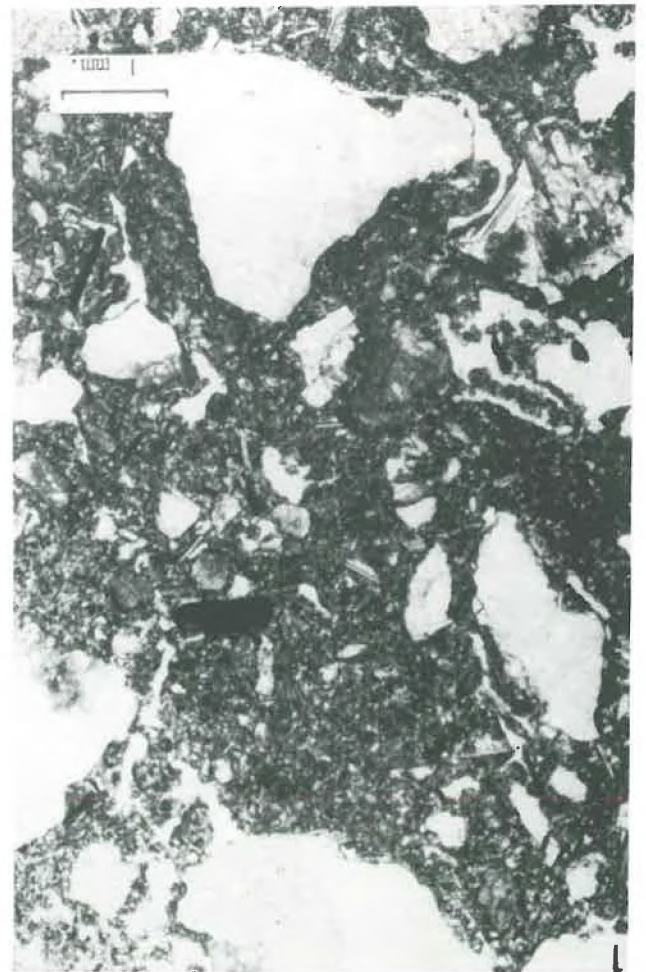
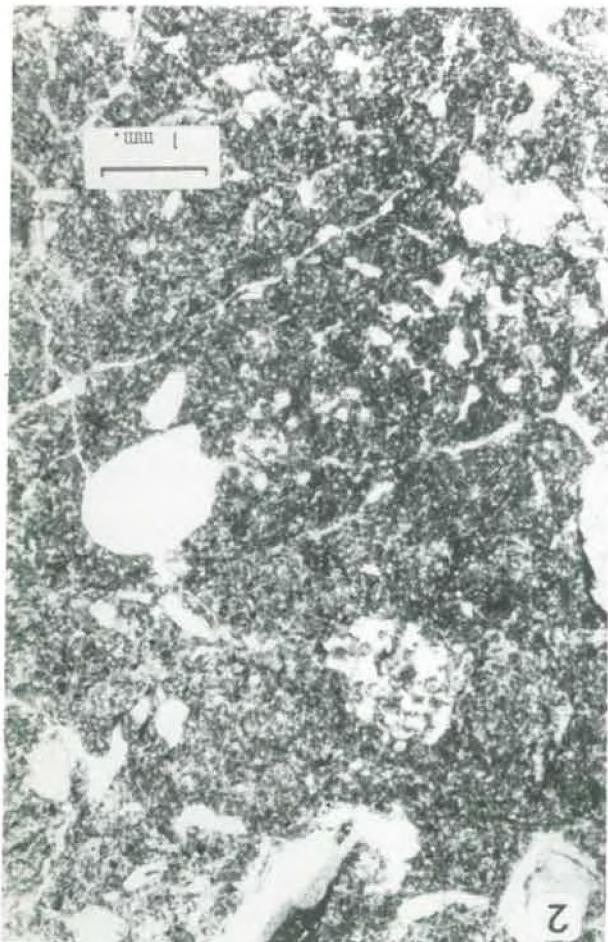
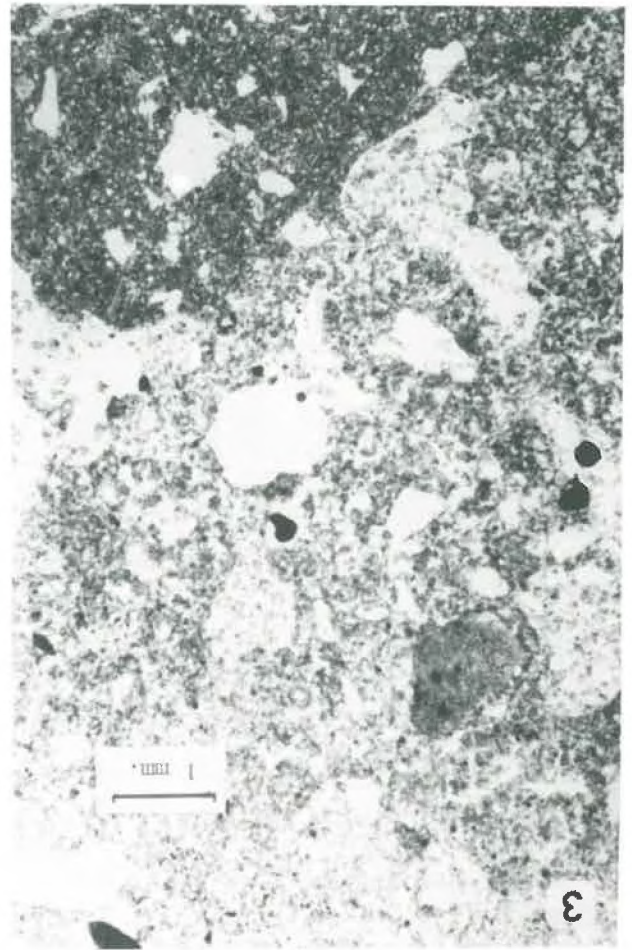
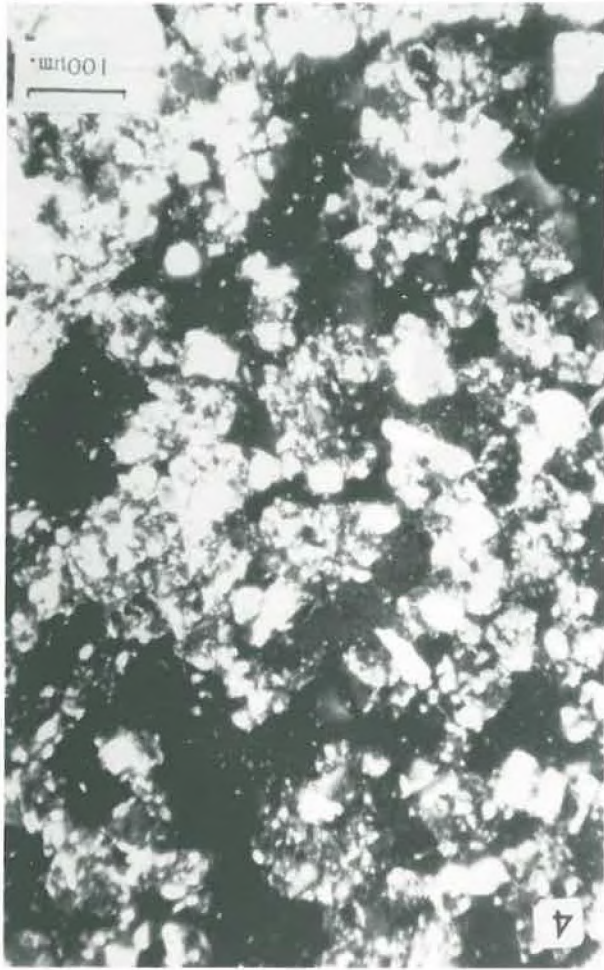
- Domaine microgrumeleux :
-  agrégats disjoints.
  -  agrégats + jointifs.
  -  Domaine polyédrique.
  -  Éléments grossiers.

PHOTO 4 - Agrégats microgrumeleux. (L.P.) -



-  Agrégats microgrumeleux.
-  Agrégats polyédriques.
-  Vides.



- . Les éléments grossiers sont constitués par une majorité de quartz. Ces quartz sont à bords anguleux, faiblement altérés. Certains d'entre eux sont fortement microdivisés en éléments de la taille des limons grossiers; cette microdivision n'est cependant qu'un artefact dû au sciage de l'échantillon : le quartz, élément le plus dur, est fracturé lors du sciage(1). Les orthoclases et les micas sont présents en plus faible quantité, faiblement altérés. Il n'y a pas de plagioclases.
- . La fraction fine est composée de quartz, feldspaths et micas; il n'y a pas prépondérance d'une classe granulométrique particulière. La matrice est nettement colorée en jaune.

- *Orientations plasmiques*

L'assemblage plasmique est squelinsépique peu net; les domaines biréfringents sont peu abondants.

β - *Traits pédologiques*

- *Revêtements*

On distingue deux types de revêtements :

- . des revêtements comparables à ceux présents dans les raies brun rougeâtre de l'arène. Ils couvrent une partie de la porosité du domaine massif. Ils sont composés d'argile jaune orangé en LN et LP, à biréfringence forte à moyenne; ils sont microlités. Ils présentent quelques inclusions limoneuses de quartz. La limite du revêtement et du fond matriciel est généralement nette; quelquefois, on observe une indentation de cette limite dans le fond matriciel.
- . des revêtements très peu épais, jaune pâle en LN et jaune gris en LP, à biréfringence faible et discontinue couvrant des cavités de grande taille. Ce type est peu abondant.

- *Papules*

Quelques papules correspondant aux revêtements du 1er type apparaissent dans la matrice.

- *Autre trait*

On observe, autour de certains éléments grossiers, une gangue squelinsépique qui arrondit la forme de l'élément. Cette gangue est discordante avec la matrice environnante; elle présente une granulométrie plus fine et une plus grande abondance de micas par rapport à celui-ci.

γ - *Transition arène ensemble II et horizon brun jaunâtre sablo-limoneux(VE3)*

La transition entre l'ensemble II de l'arène et l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux s'effectue très rapidement (sur quelques millimètres); elle consiste en l'apparition de la fraction fine colorée en jaune et en la disparition des structures de l'arène, des coiffes en particulier.

b - *Conclusions*

En comparant cet horizon aux horizons sous-jacents, on constate :

---

(1) Cet artefact disparaît en meulant la face sciée sur une épaisseur suffisante.

- une augmentation considérable de la fraction fine (limon + argile) qui présente une coloration jaune produite vraisemblablement par l'extraction du fer du réseau des biotites. Il y a en même temps passage à une structure massive, l'organisation particulière et en coiffes de l'arène disparaissant. Dans les différentes fractions granulométriques, les éléments de différentes natures : quartz, feldspaths potassiques, micas, sont présents, hormis les plagioclases
- la présence de revêtements argileux jaune orangé, comparables à ceux qui caractérisent les raies brun rougeâtre.

De plus, trois observations plus ponctuelles demandent à être commentées:

- Les domaines à forte porosité et à structure grumeleuse sont vraisemblablement d'origine biologique, étant donné la structure grumeleuse. La présence de domaines à porosité différente confirme la variabilité de celle-ci à l'échelle même de l'horizon et souligne l'importance de la taille de l'échantillon lorsque l'on désire la quantifier sur lames minces (MURPHY et BANFIELD, 1978).
- Les revêtements pâles, mal orientés, peu épais, dans la porosité large peuvent s'interpréter de deux façons différentes : impliquent-ils un dépôt dans un milieu acide et réducteur (FEDOROFF, 1973) ou bien sont-ils plus grossiers et mal orientés parce qu'ils sont situés dans la porosité large et pâles parce que les minéraux primaires constitutifs ne sont pas totalement altérés et conservent du fer dans leur réseau cristallin. Un élément de réponse pourrait être apporté par le dosage à la microsonde du fer total dans ces deux types de revêtements.
- Enfin la gangue squelsépique autour des éléments grossiers n'a pas d'explication évidente. Les différences de granulométrie et de nature minéralogique entre la gangue et le fond matriciel environnant conduisent à lui accorder un caractère relictuel.

## 2 - L'horizon brun vif limono-sableux VE2

### a - Description

#### α - Fond matriciel

#### - Structure et porosité (ph. 2, pl. 10).

La structure est fragmentaire, définie par un réseau de fentes non jointives de 2 à 5 mm de long. Il s'agit donc d'une structure polyédrique partielle (incomplètement délimitée) de 2 à 5 mm de côté.

La porosité globale est de 20 %. On peut la classer en :

- . une porosité grossière indépendante de la structure, composée de cavités à bords irréguliers de 1 mm de diamètre et de chenaux de 2 mm de diamètre et 1 cm de long pouvant être comblés par des agrégats en croissant formant alors un striotubula.
- . une porosité fissurale définissant les agrégats
- . une porosité intraagrégats fine (< 0.2 mm de diamètre) de vésicules et de chenaux.

#### - Granulométrie et altération

Les éléments grossiers, sables et graviers, représentent 10 %, les fractions plus fines 70 % et la porosité 20 % de la surface totale. Les éléments grossiers sont du quartz dominant, associé aux feldspaths et micas, faiblement à moyennement altérés.

Dans les fractions plus fines, le quartz prédomine largement au sein de la fraction limons grossiers; les micas se retrouvent dans la fraction limons fins. Le plasma, de couleur jaune en LN est plus abondant que dans l'horizon sous-jacent.

- *Orientations plasmiques*

L'assemblage plasmique est squelsépique. On observe localement des concentrations plasmiques argileuses présentant aussi un assemblage squelsépique.

β - Traits pédologiques

- *Revêtements*

On observe les deux types de revêtements précédemment décrits :

- . les revêtements jaune orangé sont localisés dans une partie de la porosité fine intragrégats
- . des revêtements pâles et peu épais apparaissent dans la porosité grossière.

- *Papules*

Les papules déjà présentes dans l'horizon VE3, deviennent ici nombreuses; elles correspondent au premier type de revêtement; elles sont soit simplement fragmentées, soit déformées et plus ou moins intégrées au fond matriciel.

b - Conclusions

Dans cet horizon, on observe un affinement de la texture, une structuration et des indices d'illuviation.

α - Affinement de la texture

L'affinement de la texture s'accompagne d'un tri minéralogique : le quartz domine dans les fractions sableuses et limoneuses, les micas sont présents dans la fraction limoneuse fine. On peut envisager par altération un passage dans les fractions les plus fines des feldspaths et des micas, entraînant une accumulation résiduelle du quartz dans les fractions plus grossières. Cependant, le quartz, originaire de l'arène, est de la taille des sables grossiers et on n'observe pas, sauf artefact, de microdivision importante de celui-ci. On est donc conduit à accepter l'hypothèse d'un mélange de deux matériaux ( LE CALVEZ, 1979) pour expliquer cette variation granulométrique. Cet horizon présente enfin un plasma argileux plus abondant que l'horizon sous-jacent.

β - Structuration

On distingue deux agents de la structuration :

- + l'activité biologique produisant notamment les striotubules
- + les alternances d'humectation et de dessiccation qui auraient ici un effet plus marqué que dans l'horizon précédent, pour deux raisons :
  - . la proximité de la surface : les contrastes d'humidité sont alors plus forts;
  - . la plus grande abondance de plasma, seul à être susceptible de gonfler. L'assemblage squelsépique de celui-ci pourrait être un témoin de ces contraintes : FIES (1978) a observé l'acquisition de telles orientations au cours des cycles humectation-dessiccation, en conditions expérimentales.

$\gamma$  - Illuviation

L'illuviation jaune orangé est localisée dans la porosité fine intra agrégats. Elle ne couvre pas les fentes de la structure polyédrique et présente beaucoup d'intégration au fond matriciel. Les concentrations plasmiques argileuses à assemblage squeletique peuvent être interprétées comme des revêtements argileux complètement intégrés au fond matriciel. Il est vraisemblable que cette illuviation ne se produit pas actuellement dans cet horizon étant donné son absence sur les fentes délimitant les agrégats polyédriques.

Le second type de revêtement a été discuté antérieurement.

3 - L'horizon brun jaunâtre limoneux VE1

a - Description

$\alpha$  - Fond matriciel

- Structure (ph.3 , pl.10) (fig. 38)

On observe une association de domaines polyédriques et de domaines microgrumeleux en proportions équivalentes. Les polyèdres ont 2 mm à 2 cm de côté; leurs limites sont très nettes à diffuses. Les agrégats microgrumeleux ont 0.2 à 0.5 mm de diamètre; leurs bords sont irréguliers. Ils sont soit bien individualisés dans la porosité grossière, soit partiellement jointifs.

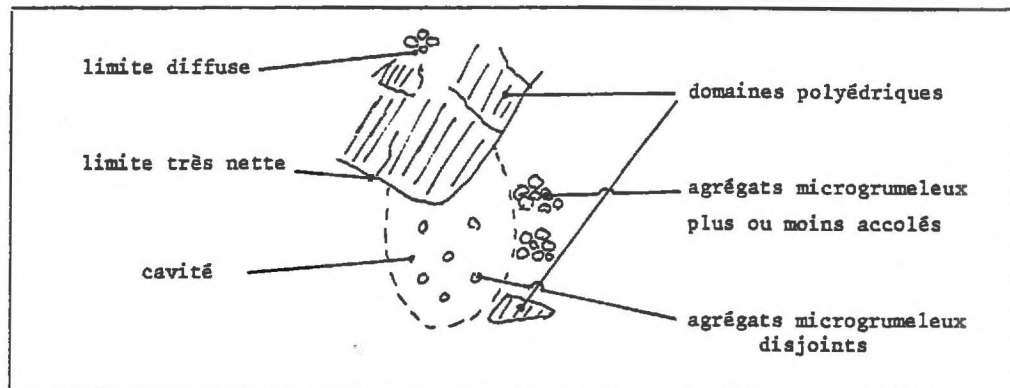


FIGURE 38 - Structure de l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1.

- Porosité

La porosité globale est de 30 à 40 %; elle se décompose en :

- + une porosité interagrégats microgrumeleux très fine et très importante
- + de nombreuses fentes irrégulières déterminant la structure polyédrique
- + des chenaux et cavités à bords réguliers, de 1 à 2 mm de diamètre.

- Granulométrie et altération

Les éléments grossiers représentent 10 %, les fractions plus fines 50 à 60 % et la porosité 30 à 40 % de la surface. Les éléments grossiers ont les mêmes caractéristiques que dans l'horizon sous-jacent. Les fractions plus fines sont différentes suivant les domaines :

- les domaines polyédriques sont équivalents à l'horizon sous-jacent; quartz dominant dans la fraction limoneuse, plasma jaune franc, relativement abondant, riche en domaines biréfringents.



- les agrégats microgrumeleux ont une fraction limoneuse essentiellement quartzreuse, un plasma très pâle, poussiéreux, pauvre en domaines biréfringents (p. 4, p. 10).

- Orientations plasmiques

Les domaines polyédriques présentent un assemblage squelsépique; les domaines microgrumeleux, un assemblage silasépique.

β - Traits pédologiques

On n'observe pas d'argilanes dans la porosité. De nombreuses papules jaune orangé, équivalentes aux revêtements décrits dans les horizons sous-jacents, fragmentées et/ou déformées et complètement intégrées au fond matriciel apparaissent dans le domaine polyédrique uniquement.

b - Discussion, conclusions

- α - Structures polyédriques et microgrumeleuses : caractérisation, et liens génétiques.

On observe dans cet horizon l'association de deux domaines à structure et fond matriciel différents :

- Un domaine à structure polyédrique qui présente un plasma jaune franc, abondant, à assemblage squelsépique, riche en papules plus ou moins intégrées au fond matriciel. Ce domaine présente globalement la même organisation que l'horizon sous-jacent; il s'en distingue par l'absence de revêtement dans la porosité intragrégats et leur intégration au fond matriciel
- Un domaine à structure microgrumeleuse, les agrégats étant disjoints ou plus ou moins jointifs. Ce domaine se caractérise par un plasma peu abondant, pâle, à assemblage silasépique.

L'existence de limites diffuses entre l'agrégat polyédrique et l'agrégat microgrumeleux prouve qu'il existe un lien de parenté entre les deux, mais n'en indique pas le sens. La comparaison des fonds matriciels respectifs montre que l'agrégat microgrumeleux paraît plus pauvre en argile et en fer que l'agrégat polyédrique. Le passage d'une espèce à l'autre implique donc, soit un enrichissement, soit un appauvrissement suivant le sens de la transformation comme le résume le schéma suivant (fig. 39).

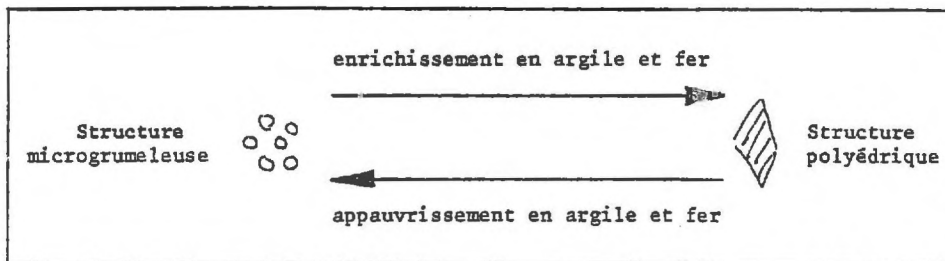


FIGURE 39 - Relations entre les structures microgrumeleuses et polyédriques.

Or, les seules accumulations d'argile observées se situent dans les domaines polyédriques et ne sont pas fonctionnelles. On est donc conduit à penser que dans cet horizon, il y a formation d'agrégats microgrumeleux aux dépens de la structure polyédrique avec un appauvrissement en argile et en fer.

Les agents de l'évolution de la structure vont être brièvement passés en revue : destruction de la structure, microagrégation, appauvrissement et accumulation.

#### $\beta$ - Destruction de la structure polyédrique

La destruction de la structure polyédrique peut être due à l'activité biologique et/ou au lessivage. Pour expliquer le fait que l'accumulation d'argile observée dans les domaines polyédriques ne soit pas fonctionnelle, deux hypothèses peuvent être avancées :

- + l'effet du facteur pente ; le rajeunissement des versants par érosion rapproche de la surface des structures qui sont alors en déséquilibre avec les conditions locales de milieu. Cet effet est très probable ici, l'horizon étudié étant très proche de la surface, juste sous le labour et en position haute.
- + l'existence de deux phases pédogénétiques différentes.

#### $\gamma$ - Microagrégation

##### - Formation des agrégats microgrumeleux

Dans la littérature, deux types d'agents sont envisagés : chimique et biologique.

##### + Agent chimique

AUROUSSEAU (1976), BOUDOT & BRUCKERT (1978), BRUCKERT & SELINO (1978) attribuent cette structure à la présence, dans ces sols acides, de composés organiques solubles qui forment des complexes organo-minéraux avec l'argile et les hydroxydes de fer et d'aluminium. Les derniers auteurs pensent que cette structure caractérise les horizons B des sols bruns ocreux essentiellement.

##### + Agent biologique

Cette structure résulterait de l'action conjuguée de la microfaune et de la microflore. Issus de boulettes fécales de collemboles et d'Enchytreides (BAL, 1973 ; BABEL, 1968), ces agrégats évolueraient sous l'action des bactéries qui minéralisent la matière organique et produisent des polysaccharides liant les particules minérales entre elles (BRUCKERT & SELINO, 1978 ; FEHRMANN & WEAVER, 1978). Pour BRUCKERT et SELINO, la structure microgrumeleuse des sols bruns acides serait d'origine biologique.

Des observations et des analyses en milieu non cultivé seraient nécessaires pour pouvoir choisir entre ces deux voies.

##### - Étude des domaines microgrumeleux jointifs

Les domaines microgrumeleux plus ou moins jointifs peuvent représenter une étape vers la formation de ces agrégats ou bien une évolution ultérieure de ceux-ci (fig. 40)

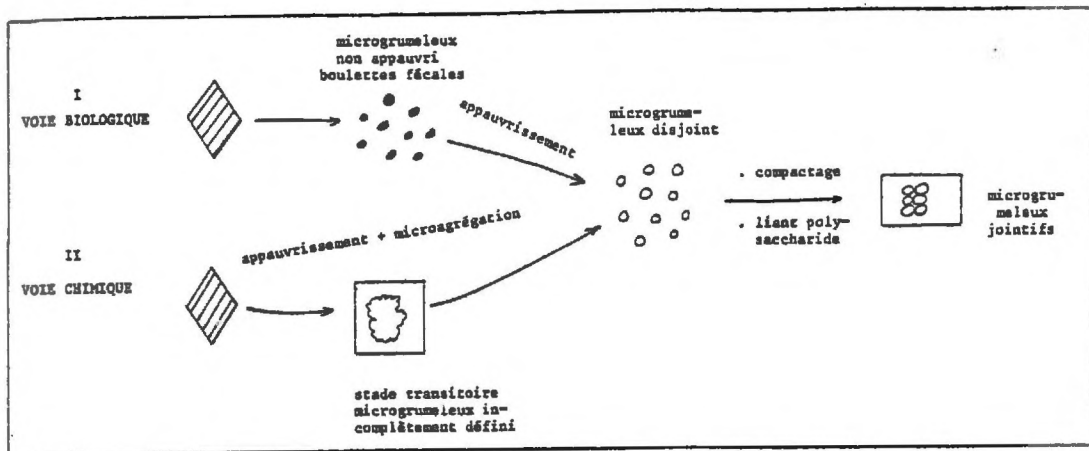


FIGURE 40 - Schéma d'évolution de la structure dans l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1.

Lors de la formation des agrégats microgrumeleux, selon la voie biologique ou chimique empruntée, la transition avec l'agrégat polyédrique sera différente :

- par la voie biologique, le passage de la structure polyédrique à la structure microgrumeleuse sera brutal; il n'y aura pas de stade de transition entre les deux types d'agrégats.
- par la voie chimique, l'appauvrissement et la microagrégation seront des phénomènes progressifs et il existera alors un domaine de transition constitué d'agrégats microgrumeleux incomplètement définis.

Après leur formation, les agrégats microgrumeleux peuvent évoluer vers des assemblages plus gros, tendant vers des formes polyédriques. Pour AUROUSSEAU (1976), cette évolution résulte d'un compactage des microagrégats; pour BRUCKERT et SELINO (1978), elle est due à des liens polysaccharidiques entre les agrégats élémentaires.

En suivant la voie biologique, les domaines microgrumeleux jointifs résulteraient seulement de l'évolution ultérieure des agrégats microgrumeleux disjointes. Ils peuvent, par contre, être antérieurs ou postérieurs aux agrégats microgrumeleux disjointes si on suit la voie chimique. La seule observation au microscope optique ne permet pas de trancher la question.

#### δ - Appauvrissement et accumulation

##### - Compatibilité entre l'appauvrissement et la microagrégation

Dans le cas d'une structuration d'origine biologique, l'appauvrissement est favorisé par la division mécanique due à l'activité biologique, cette division induisant une augmentation des surfaces de contact, eau - particules solides.

Dans le cas d'une structuration d'origine chimique, le lessivage de l'argile est rendu possible par la destruction à certaines périodes de l'année du lien argile - matière organique. Les composés organiques, responsables de la stabilité des argiles, passent en effet par une phase soluble lorsque le sol est à son maximum de saturation en eau (SOUCHIER, 1971 in AUROUSSEAU, 1976).

- Comparaison au profil d'argile granulométrique et des caractères microscopiques du domaine de versant.

La comparaison des résultats de l'analyse granulométrique et des données microscopiques montre que le profil de l'argile granulométrique, présentant un minimum relatif dans l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 et un maximum absolu dans l'horizon brun vif limono-sableux VE2 ne s'explique pas par un simple transfert d'argile du premier horizon vers le second. En effet, l'observation microscopique (fig. 41) montre que les argilanes les plus abondants se trouvent dans l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 et dans les raies brun rougeâtre de l'arène.

Dans l'horizon brun vif limono-sableux VE2, on note : l'absence de revêtements sur les éléments structuraux, quelques argilanes dans les pores fins et de nombreuses papules(1). Ainsi, l'accumulation maximale dans la porosité actuelle ne correspond pas au maximum d'argile granulométrique mais s'effectue plus bas. L'horizon brun jaunâtre limoneux VE1, enfin, apparaît plus pauvre en plasma. Le minimum de la courbe granulométrique correspond au départ de l'argile. L'argile, issue de cet horizon, va, par contre, enrichir

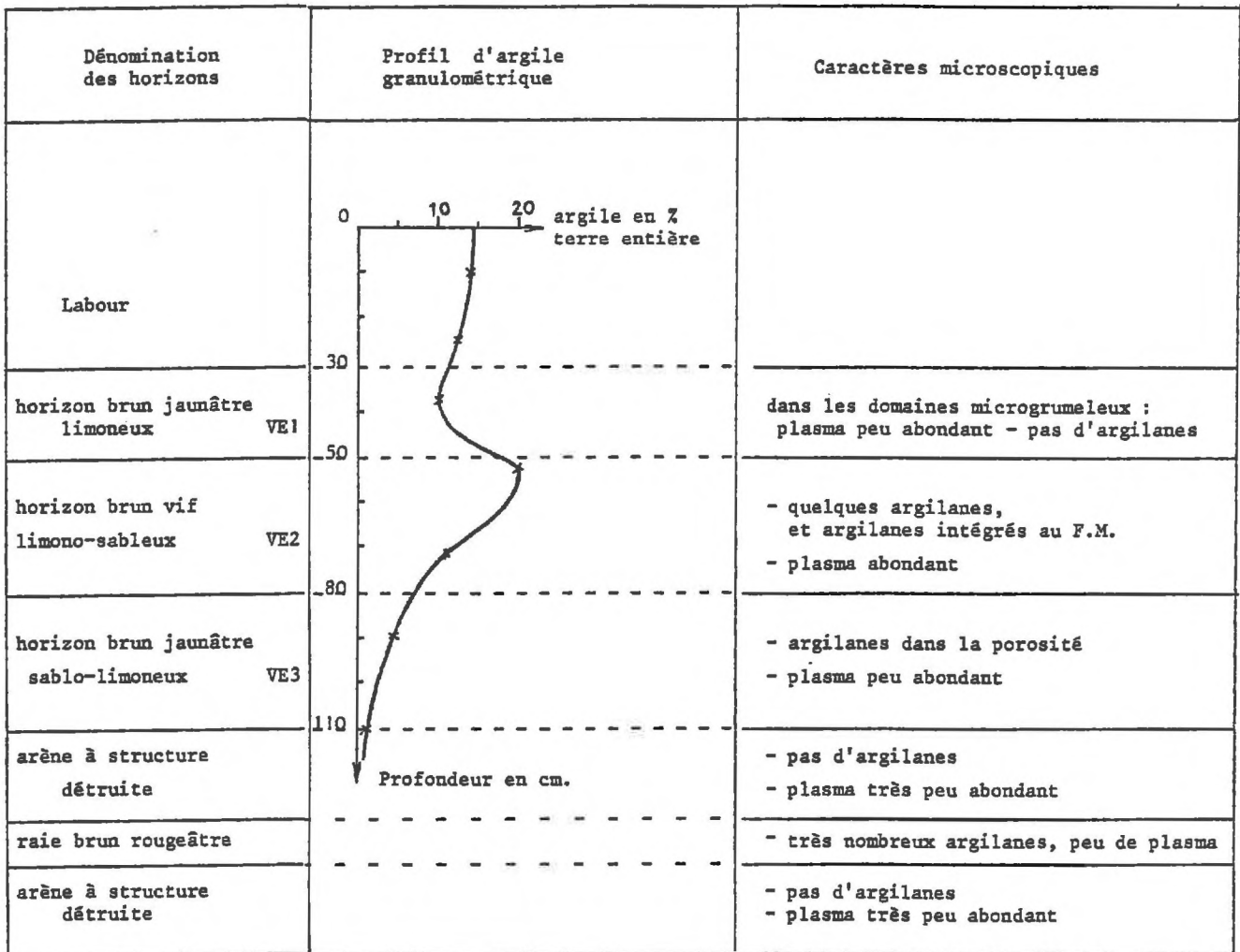


FIGURE 41 - Comparaison du profil d'argile granulométrique et des caractères microscopiques.

(1) Le plasma plus abondant de cet horizon est plus pâle que les revêtements, il ne doit pas être dû à l'intégration des revêtements mais à la composition initiale du mélange et à l'altération.

un volume beaucoup plus important que l'horizon brun vif limono-sableux sous-jacent. Ce fait a déjà été remarqué par FEDOROFF et AUROUSSEAU (1979) dans les sols bruns acides du Morvan granitique. Ces auteurs l'expliquent par l'absence de modifications chimiques importantes qui induiraient l'apparition d'un front de floculation et/ou l'absence d'arrêt ou de ralentissement du front d'humectation du fait d'une porosité et d'un drainage climatique importants. Le profil granulométrique de l'argile fine ( $< 0.2 \mu\text{m}$ ) qui est la fraction de l'argile qui se mobilise dans le sol (JAMAGNE, 1973; DE CONINCK et al., 1976) correspondrait peut-être mieux aux observations microscopiques.

#### 4 - Conclusion à l'étude du domaine de versant

L'observation microscopique permet de préciser les données macroscopiques et analytiques et d'établir la chronologie de certains processus.

L'affinement de la texture s'accompagne d'un tri minéralogique : le quartz domine dans les fractions limoneuses. Ceci est en accord avec les résultats de LE CALVEZ (1979) qui observe dans les analyses chimiques totales une augmentation forte de  $\text{SiO}_2$  et une baisse de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Le profil d'argile granulométrique qui s'apparenterait à un sol brun lessivé témoigne, en fait, plus de l'appauvrissement de l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 que d'un enrichissement des horizons sous-jacents.

La transformation des structures et son sens sont établis. La structure massive de l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux est primitive; elle ne résulte pas d'une compaction : il n'y a pas d'intégration de revêtements, de papules, ni d'orientations plasmi-ques importantes. La structure polyédrique apparaît ensuite, du fait de la composition différente de l'horizon brun vif limono-sableux VE2 qui est plus riche en plasma et de sa position plus proche de la surface. Enfin, la structure microgrumeleuse se développe aux dépens de la structure polyédrique.

Enfin, lors de la description sur le terrain, la variation des différents caractères apparaissait graduelle, tandis que l'observation microscopique montre qu'elle correspond à des organisations différentes pouvant présenter entre elles des limites très nettes; l'apparence graduelle semble due au fait que ces organisations sont étroitement imbriquées sur une certaine épaisseur.

### B - LE DOMAINE AMONT

#### 1 - L'arène sablo-limoneuse AM3

##### a - Description

##### $\alpha$ - Fond matriciel

##### - Structure , porosité

La structure est particulière pour les éléments grossiers et micro-grumeleuse pour les fractions plus fines limoneuses et argileuses.

La porosité est très importante, interparticulaire et interagrégats microgrumeleux.

- *Granulométrie, altération*

Les éléments grossiers sont très abondants, identiques à ceux de l'arène à structure détruite. On note cependant l'absence d'amas constitués par les produits d'altération des plagioclases (cf. 2<sup>ème</sup> partie, IV, A).

Les fractions plus fines, limoneuses et argileuses sont plus abondantes que dans l'arène. Le plasma présente une coloration jaune pâle en LN plus intense que dans cette dernière et un assemblage asépique.

β - Traits pédologiques

On n'observe pas de traits pédologiques

b - Conclusion

Cet horizon, du fait de sa proximité de la surface, est soumis à une altération et une pédoturbation plus accentuées que l'arène à structure détruite sous-jacente. Cela se traduit par :

- des fractions limoneuses et argileuses plus importantes et dont la coloration est plus intense
- l'absence des coiffes et des amas de produits d'altération des plagioclases.

Les fractions limoneuses et argileuses présentent de plus une micro-agrégation comparable à celle de l'horizon brun jaunâtre limoneux du versant VE1.

2 - Les "poches limoneuses"

a - Description

α - L'horizon limoneux AM2 (situé à la base des poches profondes)

- Fond matriciel

- *Structure*

On observe l'association d'une structure polyédrique partielle, très peu nette, très fine (1 - 5 mm) couvrant 70 % de la surface et d'une structure micro-grumeleuse occupant 30 % de la surface, localisée dans la porosité grossière.

- *Porosité*

La porosité globale est importante, 30 - 40 %; elle est composée de cavités et chenaux à bords réguliers de 1 - 2 mm de diamètre souvent encombrés d'agrégats microgrumeleux et de fentes.

- *Granulométrie et altération*

Cet horizon présente les mêmes caractères que "l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux" VE3 du versant.

- Orientations plasmiques

L'assemblage plasmique est squelinsépique peu net dans le domaine polyédrique; il est silasépique dans les domaines microgrumeleux.

- Traits pédologiques

On observe très localement des revêtements jaune orangé dans les domaines polyédriques.

β - L'horizon limoneux AM1

L'horizon limoneux AM1 est équivalent au domaine microgrumeleux de "l'horizon brun jaunâtre limoneux" VE1 du versant avec une plus grande abondance des agrégats microgrumeleux disjoints par rapport aux agrégats microgrumeleux plus ou moins jointifs et quelques agrégats polyédriques de l'horizon sous-jacent.

Dans les zones enrichies en matière organique, on constate que les agrégats microgrumeleux sont plus nets, plus colorés en brun rouge et plus abondants.

b - Conclusions

L'horizon limoneux AM2 présente :

- les caractères granulométriques de la base du profil de versant, c'est-à-dire une texture riche en sables.
- les caractères structuraux de la partie supérieure de ce profil, c'est-à-dire l'association des domaines microgrumeleux appauvris en argile et de domaines polyédriques plus riches en argile.

L'horizon limoneux AM1 présente une structure microgrumeleuse généralisée. Dans les zones enrichies en matière organique, les agrégats microgrumeleux sont très proches de ceux décrits par AUROUSSEAU (1976) dans le A3 des sols bruns acides du Morvan granitique.

La microagrégation affecte tous les horizons du domaine amont. La subsistance de domaines polyédriques plus riches en argile à la base des poches montre que là aussi, l'appauvrissement accompagne la microagrégation. Il est vraisemblable que celui-ci sévit aussi dans l'arène sablo-limoneuse bien qu'on ne dispose pas de repère pour quantifier cet appauvrissement.

3 - Conclusion à l'étude du domaine amont

Par rapport aux analyses macroscopique et granulométrique qui séparent l'arène sablo-limoneuse AM3 et les horizons limoneux AM1 et AM2 du point de vue de la texture, l'observation au microscope optique permet de reconnaître dans l'arène sablo-limoneuse AM3, aussi bien que dans les horizons AM1 et AM2, la présence d'une structure micro-grumeleuse. Cette observation montre que *la structure microgrumeleuse est indépendante de la texture du matériau* et que les mêmes processus d'appauvrissement et de micro-agrégation s'expriment dans les différents horizons du domaine amont. Ces horizons présentent des caractères appauvris et une structure microgrumeleuse plus nette et plus généralisée que dans

le domaine de versant (fig. 42). On note l'absence d'horizon à structure strictement polyédrique et d'horizon à structure massive.

DOMAINES :		VERSANT	AMONT
<u>Structure</u>			
polyédrique 0 % ↓ 100 %	microgrumeleuse 100 % ↓ 0 %	----- ----- ----- -----	----- AM1, AM3 ----- VE1 ----- AM2 ----- VE2

FIGURE 42 - Abondance relative des domaines polyédriques et microgrumeleux dans les horizons de l'amont et du versant.

C - LE DOMAINE AVAL

I - Les horizons fragiques

II - L'horizon sablo-graveleux fragique AV3

III - La matrice

La description qui suit est celle d'une zone à texture intermédiaire (cf. § ID4) (ph. 1, pl. 11).

a - Description

α - Fond matriciel

- Structure

La structure est massive

- Porosité

La porosité couvre 10 % de la surface totale; elle est composée d'une majorité de cavités larges de 0.5 à 1.5 mm de diamètre de type méta et de quelques chenaux et fentes.

- Granulométrie, altération

Les éléments grossiers, sables et graviers, représentent 30 %, les fractions plus fines 60 % et la porosité 10 % de la surface totale. L'ensemble est comparable à l'horizon brun-jaunâtre sablo-limoneux VE3 du versant, avec une plus grande abondance des micas dans les fractions grossières et un plasma moins abondant et de répartition hétérogène; on observe même des plages exemptes de plasma.

- Orientations plasmiques

L'assemblage plasmique est squelinsépique dans les domaines où existe un plasma, silasépique dans les autres.

β - Traits pédologiques

- Revêtements

Toute la porosité est tapissée; les revêtements sont épais, simples ou



complexes à polarité verticale nette. On distingue des lits à granulométrie très différente (ph. 2, pl. 11) .

- argileux jaune orangé microlités, à biréfringence forte, bien orientés
- argilo-limoneux jaune pâle, mal orientés, à biréfringence moyenne
- limoneux, les grains étant quartzeux et/ou micacés

On n'observe pas de cycles dans l'alternance des dépôts; le dépôt le plus récent peut être aussi bien grossier que fin.

- *Papules*

De nombreux revêtements des différents types sont complètement inclus dans le fond matriciel. Ils ne présentent pas cependant de fragmentation ni de déformation; ils doivent donc correspondre à des pores totalement comblés.

b - Conclusions

Cet horizon présente, comme l'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 sus-jacent à l'arène, une texture grossière, une structure massive, une porosité moyenne de cavités et de chenaux relativement larges et l'absence de témoins de contraintes tels que : la fragmentation des revêtements ou leur déformation et leur inclusion au fond matriciel, et des assemblages plasmiques de type masépique. Il s'en différencie par la présence de domaines pauvres en plasma, à assemblage silasépique et par la quantité importante et la variété des types de revêtements.

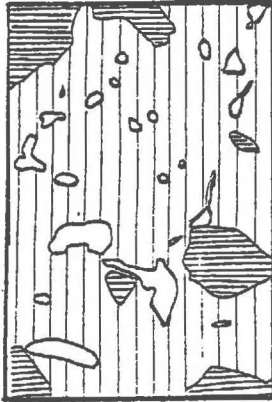
Ces deux derniers caractères sont interprétés ci-dessous, les autres caractères le seront après l'étude de l'ensemble des horizons fragiques. Dans les sols lessivés dégradés, les revêtements complexes argilo-limoneux sont très abondants. Ils y ont été souvent décrits (JAMAGNE, 1973 ; DE CONINCK, 1976 ; EIMBERCK - ROUX, 1977). Les interprétations de ces auteurs sont les suivantes :

- La migration des différents composants s'effectue sous forme particulière. Ceci est évident pour les éléments grossiers; pour les argiles, le microlitage des revêtements en témoigne.
- Les lits grossiers sont interprétés en faisant référence à des concepts sédimentologiques et auraient une signification paléoclimatique. Les accumulations grossières seraient transportées par un fluide plus compétent que les accumulations fines. Elles seraient favorisées par la porosité large. Les alternances fines et grossières témoigneraient de circulations d'eau d'intensités différentes qui traverseraient l'horizon au cours des alternances climatiques saisonnières ou au cours d'épisodes climatiques différents. Dans ce dernier cas, on observe effectivement une hiérarchie des différents types d'accumulation (EIMBERCK - ROUX, 1977); à l'opposé, aucun ordre n'est observé ici.

Dans l'horizon décrit ici, il est possible de faire l'économie de tels raisonnements en raison de l'existence de domaines où le plasma est quasiment absent, laissant les éléments grossiers libres. On peut alors penser que les éléments grossiers tombent simplement par gravité dans les pores, en l'absence d'agent vecteur, après la disparition du plasma qui les lie entre eux. Les accumulations complexes limoneuses et argileuses témoigneraient donc du lessivage d'un horizon dominant amont ou supérieur, pour leurs parties argileuses et de la disparition locale du plasma au sein de l'horizon d'accumulation, pour leurs parties limoneuses. La disparition du plasma peut être due à des phénomènes de lessivage ou de dégradation au sein de cet horizon; processus qui engendrerait les domaines à assemblage silasépique.

PLANCHE 11 - DOMAINE AVAL : HORIZONS FRAGIQUES.

PHOTO 1 - Horizon sablo-graveleux fragique AV3 - (L.P.) -






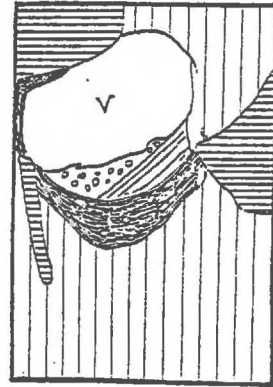





-  Éléments grossiers.
-  Fond matriciel sablo-limoneux.
-  Pores présentant des revêtements argileux et argilo-limoneux.

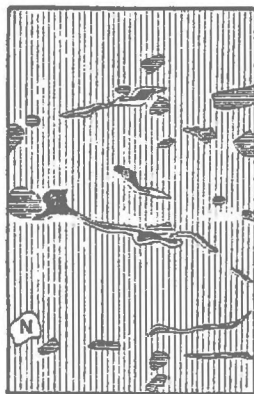
PHOTO 2 - Revêtement complexe (L.P.)-



-  Éléments grossiers.
-  Fond matriciel sablo-limoneux.
-  Lit argileux.
-  Lit argilo-limoneux.
-  Lit limoneux riche en micas.

PHOTOS 3 et 4 - Horizon limoneux fragique AV4.

PHOTO 3 - Domaine non hydromorphe. (L.N.)







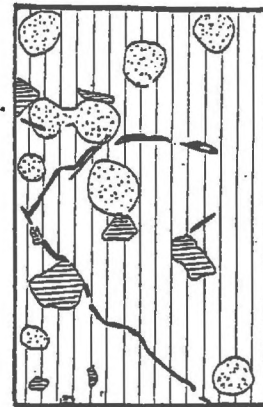




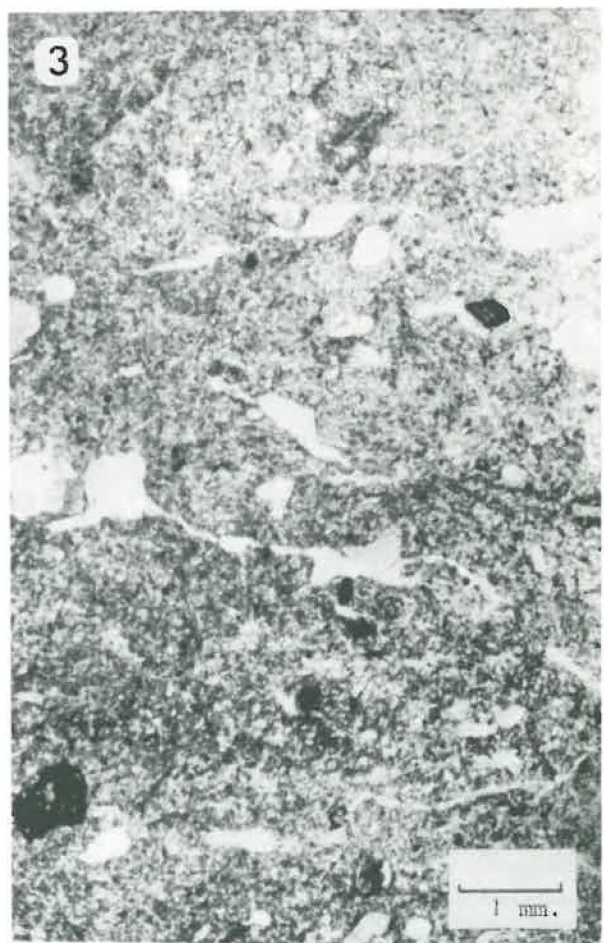
-  Fond matriciel limoneux (quartz).
-  Éléments grossiers.
-  Concentration d'oxydes en nodules.
-  Pores présentant des revêtements argileux.

PHOTO 4 - Domaine hydromorphe. (L.N.).



-  Fond matriciel limoneux (quartz).
-  Éléments grossiers.
-  Concentration d'oxydes en halos glébulaires.
-  Porosité fissurale.



## 112 - Les bandes verticales grises à liseré rouille

Dans les domaines les plus limoneux de l'horizon précédent apparaissent des bandes verticales grises à liseré rouille

### a - Description

Trois zones sont distinguées au microscope (*fig. 43*).

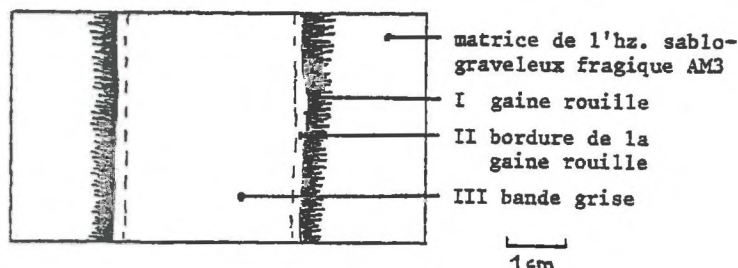


FIGURE 43 - Bande verticale grise à liseré rouille.

### I - La gaine rouille

Cette gaine a globalement la même organisation que l'horizon environnant. Elle présente de plus (*ph. 1, pl. 12*) :

- une coloration ocre qui imprègne l'ensemble du fond matriciel et des traits pédologiques. Son intensité est maximum en bordure de la bande grise avec laquelle elle présente une limite très nette, puis elle diminue progressivement lorsqu'on s'éloigne de la bande grise.
- des revêtements d'oxydes opaques d'une vingtaine de microns d'épaisseur qui présentent une limite intérieure dentelée. Ces revêtements apparaissent sur une partie des pores; ils recouvrent les revêtements complexes argilo-limoneux.

### II - En bordure de la gaine rouille

On observe des revêtements qui ont les mêmes caractéristiques de localisation, de taille, de forme, de type (alternances argileuses et limoneuses), certains sont même en continuité avec des revêtements situés dans la gaine rouille (*ph. 1, pl. 12*). Ils en diffèrent par leur couleur jaune plus pâle en LN, leur biréfringence plus faible, et leur moins bonne orientation. Le plasma apparaît moins abondant et plus pâle que celui de l'horizon environnant.

### III - La bande grise

La bande grise présente le même squelette que celui de l'horizon adjacent, un plasma peu abondant et très pâle, un assemblage silasépique. La porosité, de fentes, est grossière, couvrant 10 à 20 % de la surface. On n'observe pas de revêtements argileux, seulement quelques concentrations limoneuses (*ph. 2 & 3, pl. 12*).

### b . Conclusions

La présence en bordure de la bande grise de revêtements qui se déstabilisent (ils se décolorent, perdent leur orientation ...) montre que dans celle-ci, il y a disparition des revêtements argilo-limoneux et appauvrissement en plasma, conduisant à la formation d'un assemblage silasépique.

Ces bandes sont donc le siège non seulement d'une hydromorphie, qui est marquée par une coloration grise et ocre, mais encore d'une dégradation du matériel pédolo-

PHOTO 1 - Déstabilisation d'un revêtement complexe (L.N.).

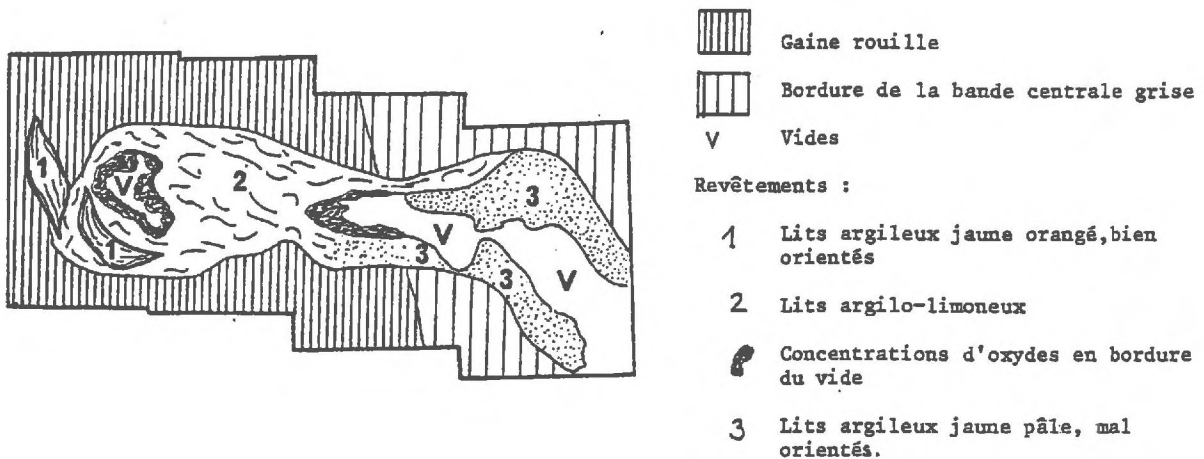


PHOTO 2 - Matrice de l'horizon AV3. (L.N.).

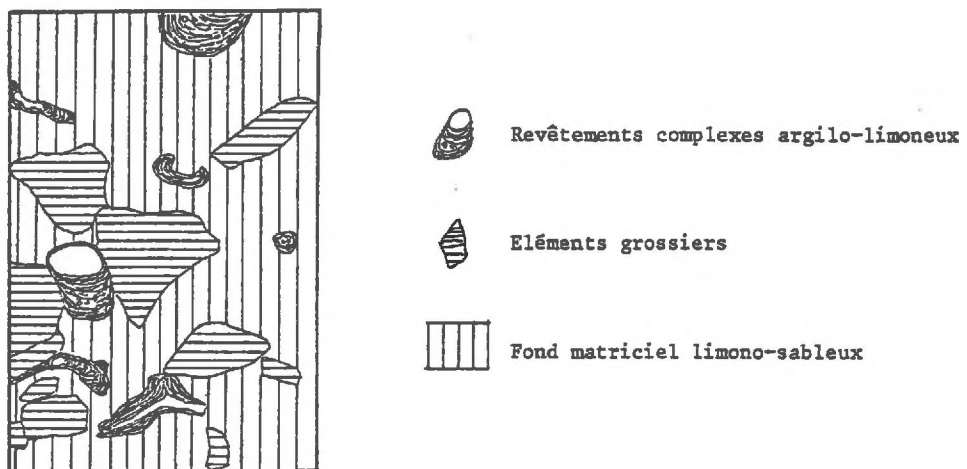
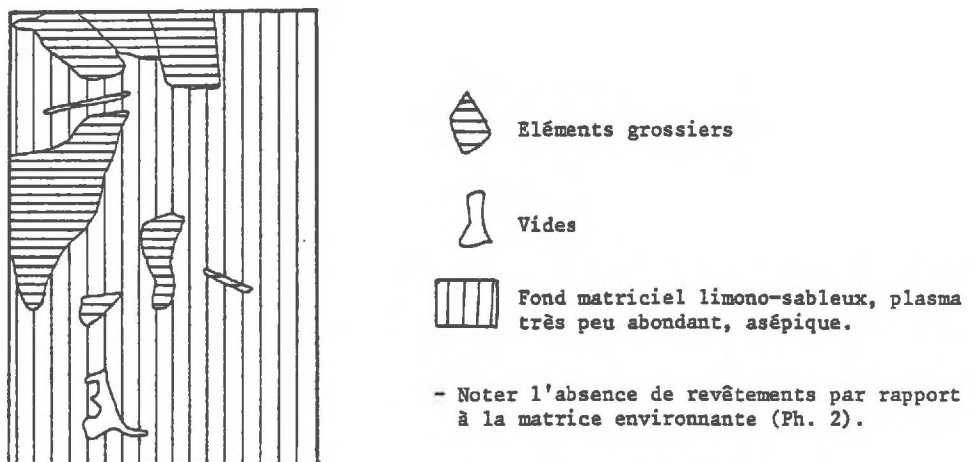


PHOTO 3 - Bande grise. (L.N.).





gique. On ne peut dire à la simple observation au microscope optique s'il s'agit d'une remise en suspension de l'argile après déferrisation (JAMAGNE, 1973) ou d'une destruction des réseaux silicatés (ROBERT et RAZZAGUE KARIMI, 1975). L'analyse in situ, à la sonde électronique de revêtements se déstabilisant, apporterait, par l'observation du comportement des différents éléments Si, Al, Fe, K ..., un début de réponse (BRINKMAN & al., 1973, JAMAGNE & JEANSON, 1978; DUCLOUX, 1978). Sur le terrain, on constate que ces fentes de dégradation n'apparaissent qu'à la base du "sol", dans les domaines limoneux, contrairement à la dégradation classique (JAMAGNE, 1973) qui commence au sommet du B<sub>2</sub>t. Elle correspond à ce qu'EIMBERCK - ROUX (1977) a appelé "dégradation hydromorphe". Il faut noter, par rapport à ces auteurs, l'absence dans notre cas d'"illuviation secondaire".

## 12 - L'horizon limoneux fragique AV4

L'observation macroscopique a permis de distinguer dans cet horizon : un domaine non hydromorphe et des domaines hydromorphes en bandes subverticales grises et rouille et en taches claires au sommet de l'horizon. Le domaine non hydromorphe, puis les taches claires seront successivement décrits.

### 121 - Description

#### a - Le domaine non hydromorphe (ph.3, pl.11)

##### α - Fond matriciel

##### - Structure

La structure est massive, à tendance lamellaire très grossière (1 cm d'épaisseur).

##### - Porosité

La porosité est très faible et irrégulièrement répartie :

- . sur 95 % de la surface, elle est de 5 %, en petites cavités (< 1 mm) et en fissures
- . sur 5 % de la surface, elle est plus importante 10 à 20 % et en chenaux et cavités exempts de revêtements

##### - Granulométrie, altération

Les éléments grossiers représentent 5 %, les fractions plus fines 90 % et la porosité 5 % de la surface totale. La fraction fine est composée d'un limon essentiellement quartzueux et d'un peu de micas; le plasma est très peu abondant, jaune franc.

##### - Orientations plasmiques

L'assemblage est silasépique à squelsépique. Il est dense; le nombre de quartz par unité de surface est important.

##### β - Traits pédologiques

##### - Revêtements

On observe les différents types de revêtements décrits dans l'horizon précédent; les interstratifications grossières sont ici composées essentiellement de limons quartzueux.

- *Papules*

De nombreux revêtements sont complètement inclus au fond matriciel. Quelques-uns sont fragmentés ou déformés.

- *Concentrations d'oxydes*

Des concentrations d'oxydes en nodules apparaissent dans le fond matriciel. Elles sont peu abondantes; couvrant 1 % de la surface totale; elles sont très contrastées : noires en LN et lie de vin en LP; elles présentent des limites progressives ou très nettes avec le fond matriciel.

b - Les taches claires (ph. 4 , pl. 11)

α - Fond matriciel

- *Structure, porosité*

Dans ce domaine, deux zones se différencient par la structure et la porosité :

- . une zone majeure, couvrant 80 à 90 % de la surface, à structure massive et porosité très faible (1 à 2 %), fissurale..
- . une zone peu étendue, couvrant 10 à 20 % de la surface, à structure grumeleuse de 1 à 3 mm de diamètre; ce domaine est beaucoup plus poreux (30 % de la surface totale). C'est une porosité d'entassement en cavités et chenaux à bords irréguliers, de 0.5mm de diamètre.

- *Granulométrie, altération*

Les éléments grossiers représentent 10 %, les fractions plus fines 90 % de la surface totale. Ces fractions fines sont essentiellement des limons grossiers quartzeux; le plasma est très peu abondant, très pâle.

- *Orientations plasmiques*

L'assemblage est silasépique, dense.

β - Traits pédologiques

- *Revêtements, papules*

On note l'absence de revêtements argileux ou argilo-limoneux. Seules quelques papules argileuses de petite taille apparaissent dans le fond matriciel.

- *Autres concentrations plasmiques*

On observe quelques concentrations d'éléments limoneux fins, micacés. Des concentrations d'oxydes apparaissent sous forme de halos glébulaires, arrondis, de 1 mm de diamètre, recouvrant 5 % de la surface. Ils sont en continuité avec le fond matriciel et présentent une coloration plus ou moins intense.

122 - Conclusions

L'horizon limoneux fragile AV4 est constitué d'un matériau essentiellement quartzeux, pauvre en plasma. Il présente les mêmes types d'accumulations que l'horizon sablo-graveleux fragile AV3 peut-être moins abondantes.

Les taches claires ne sont pas seulement le siège d'une hydromorphie qui se marque par la ségrégation des oxydes en halos glébulaires, mais encore d'une dégradation. En effet, on note par rapport au domaine non hydromorphe, la disparition des revê-



tements argileux et l'appauvrissement en argile du fond matriciel qui induit l'assemblage plasmique silasépique. La porosité de ces taches claires est encore plus faible que celle de la zone non hydromorphe.

Localement, dans ces horizons très peu poreux, apparaissent de petits domaines très poreux, vraisemblablement d'origine biologique. Ces domaines sont secondaires à la structure massive qu'ils détruisent; on n'observe pas en effet, de témoins de tassement, ni de vides résiduels polyconcaves dans cet horizon. On est donc là en présence d'un mécanisme de destruction de ces structures massives, qui doit être à l'origine de leur disparition sous haies dans la bocage (CARNET, 1978).

### 13 - Conclusion à l'étude des horizons fragiques

Ces horizons, outre leur caractère fragique (structure massive et cohésion forte) sont marqués par des variations granulométriques importantes, par différents types d'accumulations texturales, par des phénomènes d'hydromorphie et de dégradation.

- Les analyses macro- et microscopiques n'ont pas permis de déterminer le ou les processus responsables du caractère fragique, ni de lui attribuer des traits microscopiques spécifiques. Cependant, certains faits sont acquis. Ainsi, par l'observation macroscopique, la distribution spatiale du fragipan à la base des profils et à l'aval des séquences et l'indépendance des caractères fragiques et granulométriques ont été montrées. L'analyse microscopique permet de définir la chronologie de ces deux caractères. En effet, la nature minéralogique et la composition granulométrique des deux horizons dans lesquels ils s'expriment, sont très différentes : quartz, feldspaths et micas dans l'horizon sablo-graveleux; quartz essentiellement dans l'horizon limoneux. Le passage de l'un à l'autre, que ce soit par un mélange de deux matériaux ou par altération (disparition des feldspaths et des micas, microdivision des quartz) suppose des modifications structurales très importantes qui sont incompatibles avec l'absence de figures de tassement (vides polyconcaves) et de témoins de compression (assemblages plasmiques masépiques) observée. L'acquisition du caractère fragique est donc postérieure à la différenciation granulométrique.
- Les différents types d'accumulations texturales argileuses et limoneuses couvrent principalement les pores actuels ou les comblent complètement; mais ils sont très rarement fragmentés ou déformés et inclus au fond matriciel. Cela souligne la stabilité, l'absence de contrainte appliquée à ces horizons depuis le dépôt de ces revêtements.
- L'hydromorphie est, dans ces horizons, toujours accompagnée par la dégradation. En effet, lorsque l'on observe des redistributions d'oxydes, les plages appauvries en oxydes le sont aussi en argile. La dégradation présente plusieurs faciès :
  - + Discrète et généralisée, dans la masse de l'horizon, elle serait responsable des accumulations texturales grossières et des domaines à assemblages silasépiques. Elle est alors contemporaine de l'accumulation argileuse, leurs produits étant interstratifiés.
  - + Bien exprimée et localisée, en bandes verticales et en taches claires, elle est alors sous la dépendance des caractères limoneux et fragiques, la conjonction de ces deux caractères induisant une faible perméabilité (CARNET, 1978). Dans ce cas, elle est postérieure à l'accumulation argileuse qu'elle détruit.

2 - L'horizon brun vif limoneux AV2

a - Description (ph. 1, pl. 13)

$\alpha$  - Fond matriciel

- Structure

La structure est polyédrique partielle peu nette, moyenne (2 cm), à sous-structure polyédrique partielle fine (1 mm) peu nette.

- Porosité

La porosité couvre 15 % de la surface totale; elle est de type méta. On distingue : des cavités grossières (1 - 2 mm de diamètre) et fines (0.5 mm de diamètre), des chenaux et chambres de 0.5 à 1 mm de diamètre et des fentes délimitant les polyèdres.

- Granulométrie, altération

Les éléments grossiers représentent 5 à 10 %, les fractions plus fines 70 à 75 % et la porosité 15 % de la surface totale. La nature des éléments, leur taille et leur état d'altération, sont comparables à ceux de l'horizon brun vif limono-sableux VE2 du versant.

- Orientations plasmiques

L'assemblage plasmique est squelinsépique

$\beta$  - Traits pédologiques

Cet horizon présente de nombreux revêtements argileux jaune orangé, micro-lités, bien orientés, recouvrant 50 % de la porosité, notamment les fentes, à l'exclusion des cavités grossières. Ils peuvent présenter localement des inclusions ou des lits de quartz (ph. 2, pl. 13). On observe une intégration notable de ces revêtements allant jusqu'à former des concentrations argileuses.

b - Conclusions

Cet horizon est caractérisé par la relative abondance et la position des revêtements argileux. Ces revêtements argileux apparaissent sur les fentes délimitant la structure polyédrique; ils sont donc postérieurs à cette structuration. Ils sont plus abondants que dans l'horizon brun vif limono-sableux VE2 du versant, recouvrant la majeure partie de la porosité. La présence de revêtements argileux dans la porosité et sur les fentes, leur intégration notable au fond matriciel, l'assemblage plasmique squelinsépique sont les caractères typiques de l'horizon B des sols bruns lessivés (JAMAGNE, 1973).

3 - L'horizon jaune brunâtre limoneux AV1

a - Description

α - Fond matriciel

- Structure (ph. 3, pl. 13)

On observe deux domaines d'égale extension :

- un domaine grumeleux; les agrégats de 0.5 à 1 mm de diamètre y sont plus ou moins jointifs
- un domaine à structure polyédrique partielle peu nette de 1 à 2 cm de côté.

- Porosité

La porosité globale est de 30 à 40 %; elle est du même type que celle de l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 du versant : interagrégats grumeleux, chenaux et cavités, fentes.

- Granulométrie, altération

Les éléments grossiers représentent 5 à 10 %, les fractions plus fines 50 à 65 % et la porosité 30 à 40 % de la surface totale. Par rapport à l'horizon brun jaunâtre limoneux du versant VE1, le quartz devient encore plus nettement prépondérant dans les fractions limoneuses et le plasma, pâle, moins abondant.

- Orientations plasmiques

L'assemblage plasmique est silasépique; on observe une distribution hétérogène du squelette et du plasma, due à des concentrations de limons quartzeux en flots dans le fond matriciel.

β - Traits pédologiques

- Domaine polyédrique

- Revêtements

On distingue :

- + des accumulations limoneuses de quartz dans la porosité grossière
- + quelques revêtements argilo-limoneux jaune orangé identiques à ceux de l'horizon sous-jacent

- Papules, concentrations d'oxydes

On observe :

- + des papules argilo-limoneuses plus ou moins fracturées et déformées;
- + des concentrations d'oxydes en halos glébulaires millimétriques qui recouvrent, le cas échéant, les revêtements argilo-limoneux.

- Domaine grumeleux

Dans le domaine grumeleux, on remarque quelques papules argilo-limoneuses et des concentrations d'oxydes en halos glébulaires.

PLANCHE 13 - DOMAINE AVAL : HORIZONS LIMONEUX NON FRAGIQUES.

PHOTO 1 - Horizon brun vif limoneux AV2. (L.N.) -






-  Vides
-  Fond matriciel limoneux (quartz).
-  Revêtements argileux présentant une légère intégration au fond matriciel.

PHOTO 2 - Revêtement avec interstratification limoneuse de quartz. (L.N.) -







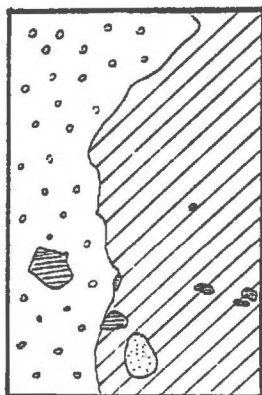




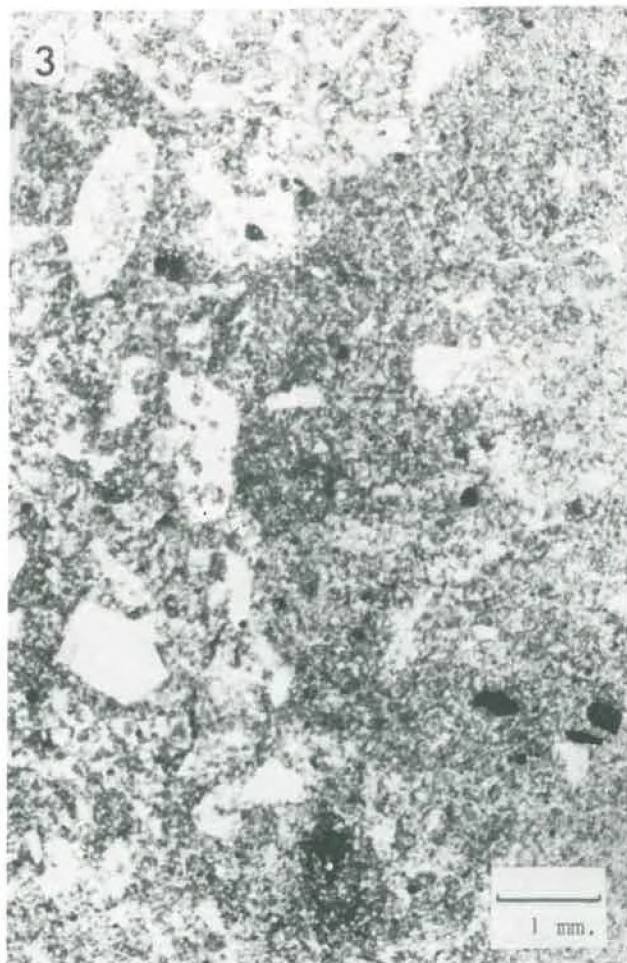
-  Fond matriciel.
-  Lit argileux avec quelques inclusions de limons quartzeux.
-  Lit limoneux essentiellement quartzeux.
-  Vides.

PHOTO 3 - Horizon jaune-brunâtre limoneux. (L.N.) -



-  Domaine grumeleux.
-  Domaine polyédrique.
-  Concentration d'oxydes en halos glébulaires.
-  Eléments grossiers.



b - Discussion, conclusions

$\alpha$  - Appauvrissement et hydromorphie

Cet horizon est nettement appauvri et très légèrement hydromorphe, dans son ensemble.

L'appauvrissement est marqué par la présence :

+ du plasma pâle, peu abondant et de l'assemblage silasépique;

+ des accumulations grossières dans la porosité et des concentrations grossières dans le fond matriciel, qui entraînent une distribution hétérogène du squelette et du plasma. Cette distribution caractérise l'horizon A<sub>2</sub> des sols lessivés (JAMAGNE, 1973).

Les revêtements argilo-limoneux, peu nombreux, et les papules partiellement fossilisées par les concentrations d'oxydes ne caractérisent vraisemblablement pas une accumulation actuelle dans cet horizon, mais témoignent plutôt de son approfondissement aux dépens de l'horizon d'accumulation sous-jacent.

Cet horizon est plus fortement appauvri que l'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 du versant; sa couleur, sa pauvreté en plasma en témoignent. Il est d'autre part plus épais que son homologue du versant VE1. Ces observations permettent de conclure que les accumulations d'argile observées dans l'horizon brun vif limoneux AV2 et les horizons fragiques AV3 sont principalement d'origine verticale.

L'hydromorphie temporaire est indiquée par les ségrégations d'oxydes en halos glébulaires et imprégnant les cutanes. La limite diffuse des glébules souligne l'autochtonie des glébules et l'actualité du phénomène.

$\beta$  - Relation entre les agrégats grumeleux et polyédriques

Les agrégats polyédriques ne peuvent résulter d'un tassement des agrégats grumeleux. Il existe en effet dans les agrégats polyédriques des accumulations argilo-limoneuses de taille supérieure aux agrégats grumeleux; accumulations dont nous venons de voir qu'elles ne sont pas fonctionnelles dans cet horizon. Les agrégats grumeleux se développent donc aux dépens des agrégats polyédriques. Etant donné leur taille grossière et leur forme arrondie, ces agrégats sont vraisemblablement d'origine biologique.

$\gamma$  - Relations entre les structures microgrumeleuses, grumeleuses et polyédriques au niveau de la séquence.

Au niveau de la séquence, on observe les variations structurales suivantes dans les ensembles  $\alpha$  et  $\beta$  définis macroscopiquement (fig. 44). (AV1; VE1; AM 1, 2 & 3).

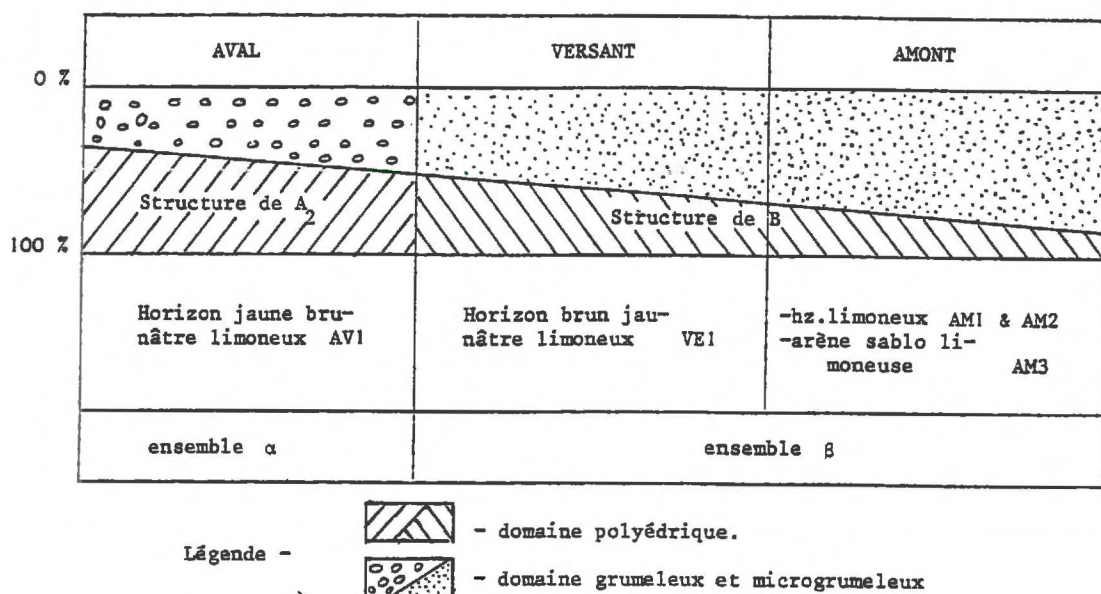


FIGURE 44 - Variations structurales dans les ensembles α et β .

- A l'amont, dans l'horizon limoneux AM1, les agrégats microgrumeleux couvrent la majeure partie de l'horizon.

- Dans le versant (VE1), les agrégats microgrumeleux couvrent 50 % de l'horizon. Ils se développent aux dépens de domaines polyédriques plus riches en argile et il s'ensuit un appauvrissement.

- A l'aval (AV1), les agrégats sont plus grossiers, grumeleux. Ils couvrent 50 % de l'horizon et se développent aux dépens de domaines déjà fortement appauvris.

Ainsi, à l'amont et dans le versant, les domaines microgrumeleux se développent aux dépens de domaines plus argileux qu'ils appauvrissent, tandis qu'à l'aval, les domaines grumeleux se développent aux dépens de domaines déjà fortement appauvris. Les différentes hypothèses sur l'origine des structures microgrumeleuses et grumeleuses conduisent aux deux cas de figures suivants :

- 1) L'origine de l'agrégation est biologique dans les deux ensembles. Cela implique l'existence d'espèces différentes, localisées dans l'espace; l'activité biologique serait plus forte à l'amont. Est-ce que les conditions de milieu sont suffisamment différentes pour entraîner de telles variations d'espèces et de peuplement ? Une réponse négative à cette question permettrait de rejeter l'origine biologique à l'amont.
- 2) L'origine de l'agrégation est physico-chimique à l'amont et biologique à l'aval.

#### 4 - Conclusion à l'étude du domaine aval

Dans le domaine aval, les manifestations du transfert de l'argile sont les plus importantes microscopiquement. L'horizon jaune brunâtre limoneux AV1 est plus nettement appauvri et plus épais que l'horizon brun jaunâtre limoneux VE 1. Les horizons brun vif limoneux et fragiques AV2 et 3 sont plus nettement enrichis en argile que leurs homologues du versant VE 2 et 3, présentant respectivement des organisations argilliques et accumuliques (FEDOROFF, 1973). On peut donc admettre que l'essentiel des transferts est vertical. On constate enfin que le profil d'argile granulométrique n'est pas aussi nettement contrasté; des profils d'argile fine ( $< 0.2 \mu\text{m}$ ) seraient vraisemblablement plus conformes aux données microscopiques.

La présence de revêtements complexes dans des horizons de composition granulométrique et de nature minéralogique différentes permet d'apporter la preuve de l'origine locale, interne à l'horizon, des lits grossiers dans les revêtements complexes. En effet, la fraction limoneuse du revêtement reflète la nature du fond matriciel environnant : elle est riche en kaolinite dans les raies brun rougeâtre de l'arène, riche en micas dans l'horizon sablo-graveleux fragique, essentiellement quartzreuse dans les horizons limoneux fragique et brun vif limoneux. Ainsi, dans un revêtement complexe, les différents lits ont-ils des provenances différentes. Cette constatation explique pourquoi, quelle que soit l'abondance des interstratifications limoneuses, on n'observera pas de modification des courbes granulométriques comme certains auteurs ont pu le remarquer (DE CONINCK et al., 1976). Plus généralement, on peut penser que les trois traits pédologiques suivants :

- . accumulations limoneuses dans la porosité des horizons lessivés;
- . lits grossiers dans les revêtements complexes;
- . coiffes d'éléments fins au-dessus des éléments grossiers;

ont la même signification. Il s'agit, dans les trois cas, de redistributions, sous l'effet de la gravité, d'éléments du squelette à la suite de la disparition du plasma. Disparition qui, elle, peut avoir plusieurs origines : lessivage, lixiviation, dégradation.

L'hydromorphie apparaît discrètement dans l'horizon jaune brunâtre limoneux sous forme de halos glébulaires. Elle est accompagnée par la dégradation dans les horizons fragiques et présente différentes formes : en bandes verticales, en taches claires, et dispersée dans la masse de l'horizon sous forme de lits limoneux dans les revêtements complexes. La dégradation en bandes verticales ne dépend pas du contact  $A_2$  Bt, mais apparaît à la base du profil.

Enfin, si l'origine du caractère fragique n'est pas déterminée, sa place dans la chronologie des processus est acquise : *après* la différenciation granulométrique en sables et limons et *avant* l'accumulation d'argile.



#### D - CONCLUSION A L'ETUDE AU MICROSCOPE OPTIQUE

L'analyse microscopique a permis de caractériser des processus et d'établir des chronologies. Ce sont principalement : la structuration, l'accumulation, l'hydromorphie, la dégradation et le caractère fragique.

##### *La structuration*

Les structures microgrumeleuses à l'amont de la séquence et les structures fragiques à l'aval, apparaissent aussi bien dans des horizons sableux ou limoneux et postérieurement à cette différenciation texturale. On observe donc l'indépendance, pour ce type de matériau pauvre en argile et à cette échelle, des caractères texturaux et structuraux. La chronologie des structures a été établie dans le versant. La structure massive est primitive, la structure polyédrique apparaît ensuite et enfin la structure microgrumeleuse détruit la structure polyédrique et l'horizon s'appauvrit.

##### *L'accumulation*

Différents types d'accumulation ont été observés :

- Une accumulation argileuse en revêtements jaune orangé identiques à ceux caractérisant les raies brun rougeâtre. Dans le versant, la plupart de ces revêtements ne sont plus fonctionnels; à l'aval, par contre, ils recouvrent les faces structurales et caractérisent un horizon B<sub>2</sub>t.
- Des accumulations limoneuses, absolues dans les pores, seules ou intercalées de lits argileux; ou résiduelles, dans le fond matriciel. Ces accumulations résultent de la disparition du plasma.

##### *L'hydromorphie et la dégradation*

L'analyse microscopique a permis d'affirmer, dans certains cas, qu'il y avait dégradation, c'est-à-dire disparition des revêtements et élimination du plasma, alors que macroscopiquement on ne peut indiquer que l'hydromorphie. On ne peut cependant, par la seule analyse microscopique, savoir s'il y a remise en suspension ou destruction de l'argile.

##### *Le caractère fragique*

Le caractère fragique apparaît à l'aval des séquences et à la base des profils. Il est postérieur à l'acquisition des caractéristiques granulométriques de l'horizon au sein duquel il s'exprime, et antérieur à l'accumulation d'argile qui s'y effectue.

## **CONCLUSIONS GENERALES**

Une arène granitique et sa couverture sablo-limoneuse sus-jacente ont fait l'objet, dans ce travail, d'une *analyse pédographique*. Cette analyse, qui consiste en l'association de différentes techniques d'observation et d'analyse *en place* des constituants et des structures, a permis de localiser les constituants secondaires, de caractériser certains processus d'altération, de transfert et d'organisation, et d'établir leur chronologie relative.

- DANS L'ARÈNE -

On observe d'abord, dans une arène à structure conservée, une fragmentation importante de tous les minéraux et une *altération différentielle des micas et des plagioclases* :

- les micas s'exfolient et se transforment en vermiculite hydroxyalumineuse. Cette altération, qui implique un départ important d'éléments (K , Fe , Mg , Ti , Ca , Na , Si), est *localisée à la bordure exfoliée* des lamelles, tandis que la partie centrale de ces lamelles reste saine. Cette altération, qui reste discrète pour la muscovite, se généralise pour la biotite lorsqu'on se rapproche de la surface.

- les plagioclases font l'objet d'une hydrolyse totale qui progresse selon un front discontinu, en créant des *cavités*. Ces dernières sont partiellement occupées par la kaolinite néoformée : il apparaît ainsi une porosité importante.

- enfin, certains éléments libérés par ces hydrolyses se déplacent sur de courtes distances et participent à des néoformations :

. aiguilles d'oxydes de fer et de titane au sein des plages altérées en vermiculite ou ponctuations sur la kaolinite.

. kaolinite *crystallisant perpendiculairement aux parois de certains vides*, le plus souvent entre des lamelles de biotites et, plus rarement, entre des lamelles de muscovites ou au contact d'autres minéraux.

D'importantes *modifications structurales* apparaissent ensuite dans l'arène :

- un *transfert de particules limono-argileuses* conduit, d'une part, à la différenciation d'une "arène à structure détruite", appauvrie, présentant des *coiffes* et, d'autre part, à l'apparition de figures d'accumulation dans les fissures et les diaclases du sommet de l'arène à structure conservée. Ce transfert doit être favorisé par la porosité grossière

de l'arène maintenue par le squelette de sables grossiers quartzeux et feldspathiques.

- un *fauchage* de la partie supérieure de l'arène se développe ensuite. Il prend naissance au sommet de l'arène à structure conservée et consiste en un glissement, les uns sur les autres, de volumes lamellaires ("lits") qui conservent la structure du granite. Ce glissement est accompagné par une microdivision des minéraux sur les surfaces de contact. Ainsi est créée une *alternance de lits* à structure et granulométrie différentes à partir d'un matériau homogène. Ce fauchage apparaît postérieurement à l'accumulation de particules limono-argileuses dont il recoupe les figures.

- enfin, une argile s'accumule de manière localisée dans l'arène à structure détruite formant des *raies subhorizontales brun rougeâtre*. Cette argile provient de la couverture superficielle et se dépose postérieurement à l'appauvrissement de l'arène hôte puisque les revêtements argileux recouvrent des coiffes.

Il est ainsi démontré que la différenciation pédologique descend profondément dans l'arène.

#### - DANS LA COUVERTURE SABLO-LIMONEUSE À LIMONEUSE -

La couverture superficielle est constituée d'un matériau composite dont une partie limoneuse est d'origine éolienne et l'autre partie, plus sableuse, est issue de l'arène; LE CALVEZ (1979) a pu déterminer en chaque point de la séquence la composition du mélange. La différenciation pédologique affecte ensuite ce matériau indépendamment de sa composition sableuse ou limoneuse : c'est ce que j'ai plus particulièrement étudié, montrant que le matériau, primitivement massif, se structure en polyèdres tandis que le lessivage s'installe; *le sol brun lessivé est ensuite remplacé, à partir de l'amont, par un sol brun acide* à structure microgrumeleuse:

+ la structure massive subsiste à la base des profils et à l'aval de la séquence. Une accumulation d'argile vient couvrir toute la porosité et l'horizon acquiert un caractère fragique. L'absence d'intégration au fond matriciel de cette illuviation montre que le versant est stable depuis cette illuviation. Dans cet horizon profond, apparaissent ensuite des caractères de dégradation de types différents :

- bien exprimés et localisés en bandes subverticales aux couleurs contrastées, gris et rouille.

- discrets et généralisés dans l'ensemble de l'horizon. Cette dégradation entraîne la disparition du plasma, créant des domaines limono-sableux où le plasma est absent et induisant la formation de lits limoneux dans des revêtements complexes argilo-limoneux. On a pu montrer, en effet, l'origine locale, interne à l'horizon des lits grossiers dans les revêtements complexes argileux et limoneux.

+ on observe, par ailleurs, deux cycles successifs dans le lessivage. Le premier cycle correspond au sol brun lessivé de l'aval qui présente un couple d'horizons A<sub>2</sub> et Bt fonctionnel. Le second cycle correspond au développement du sol brun acide, à l'amont, aux dépens d'un horizon B de sol brun lessivé. L'accumulation d'argile correspondant à ce second cycle ne constitue pas un horizon Bt mais enrichit un volume plus important à la base du sol et dans l'arène.

- INTÉRÊT CARTOGRAPHIQUE -

Cette étude a permis de situer dans le temps les pédogenèses brun lessivé et brun acide. Il serait important d'intégrer cette notion historique dans la représentation cartographique. C'est la tentative effectuée par BOULET (1978) en Guyane qu'il conviendrait alors d'appliquer. Une cartographie à grande échelle de bassins versants élémentaires permettrait de caractériser *leurs différents stades d'évolution*. Ces stades seraient ensuite, à des échelles plus petites, les unités élémentaires cartographiées.

**BIBLIOGRAPHIE**

**ANNEXE**

- ANDERSON, J.L. & BOUMA, J. (1977). - Water movement through pedal soils II. Unsaturated flow. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 (2) : 419 - 423.
- AUROSSEAU, P. (1976). - Morphologie et genèse des sols sur granite du Morvan. *Thèse Ing.-Doct., Univ. Rennes*, multigr. 177 p.
- BAL, L. (1973). - Micromorphological analysis of soils. Lower levels in the organization of organic soil materials. *Thèse, Univ. Utrecht* : 174 p.
- BABEL, U. (1968). - Enchytraeen Lösungsgefüge in Löss. *Geoderma*, 2 : 57 - 63.
- BARRIOS, J. PLANCON, A. CRUZ, M.I. & TCHOUBAR, C. (1977). - Qualitative and quantitative study of stacking faults in a hydrazine treated kaolinite - Relationship with the infrared spectra. *Clays and Clay Minerals*, 25 : 422 - 429.
- BENCE, A.E. & ALBEE, A.L. (1968). - Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxydes. *J. Geol.*, 76 : 382 - 403.
- BERNER, R.A. HOLDREN, G.R. (1977). - Mechanism of feldspar weathering; some observational evidence. *Geology (Boulder) (U.S.A.)*, 5 (6) : 369 - 372.
- BISDOM, E.B.A. (1967). - Micromorphology of a weathered granite near the Ria de Arosa (N.W. Spain). *Over druk UIT. Leidse geologische mededelingen* 37 : 33 - 67.
- BISDOM, E.B.A. HENSTRA, S. HORNSVELD, E.M. JONGERIUS, A. & LETSCH, A.C. (1976). - Wavelength and energy dispersive X-Ray microanalysis with EMA and SEM - EDXRA on thin sections of soils. *Neth. J. Agric. Sci.*, 24 : 209 - 222.
- BOCQUIER, G. (1971). - Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux au Tchad. Interprétation biogéodynamique. *Thèse Strasbourg* : 363 p.
- BOCQUIER, G. & NALOVIC, L. (1972). - Utilisation de la microscopie électronique en pédologie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 10(4) : 411 - 434.
- BOUDOT, J.P. & BRUCKERT, S. (1978). - Complexes organométalliques et structures microagrégées des sols sur matériaux chloriteux du système schisto-grauwackeux vosgien. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol*, 1 : 31 - 40.
- BOULET, R. FRITSCH, E. & HUMBEL, F.X. (1978). - Méthode d'étude et de représentation des couvertures pédologiques de Guyane Française. *ORSTOM, Centre de Cayenne*, 177 : multigr. 24 p.
- BOUMA, J. & DEKKER, L.W. (1978). - A case study on infiltration into dry clay soil. I. Micromorphological observations. *Geoderma* 20 (1) : 27 - 40.
- BRESSON, L.M. (1974). - Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Séquence évolutive sur pluviglaciale calcaire dans le Jura méridional. Etude de microscopie intégrée. *Thèse, Univ. Paris VII* : 197 p.
- BRESSON, L.M. (1978). - Nouvelles perspectives en microscopie intégrée : les lames ultra-minces et la microanalyse laser. In *Micromorfologia de suelos*, Proceedings of the fifth International Working Meeting on Soil Micromorphology. *Grenade, Espagne*, (1) : 19 - 32.
- BREWER, R. (1964). - Fabric and mineral analysis of soils. *John Wiley ed., New York* : 470 p.
- BRINKMAN, R. JONGMANS, A.G. MIEDEMA, R. & MARSKANT, P. (1973). - Clay decomposition in seasonally wet, acid soils : micromorphological, chemical and mineralogical evidence from individual argillans. *Geoderma*, 10 : 259 - 270.
- BRUCKERT, S. & SELINO, D. (1978). - Mise en évidence de l'origine biologique ou chimique des structures microagrégées foisonnantes des sols bruns ocreux. *Pédologie* 28 (1) : 46 - 59.

- CARNET, Ch. (1978). - Etude des sols et de leur régime hydrique en région granitique de Bretagne : une approche du rôle du bocage. *Thèse, Univ. Rennes* : 235 p.
- CHEVASSU, G. (1976). - Les roches granitiques et leur altération. Reconnaissance géotechnique de tracés en Bretagne. *Lab. Ponts Chaussées. Rapp. Rech. Fr.* 61 : 1 - 134.
- COGNE, J. (1974). - Le Massif Armoricaïn. In *DEBELMAS - Géologie de la France. - Doin Ed. Paris*, 1 : 105 - 161.
- COLLIER, D. (1961). - Mise au point sur les processus de l'altération des granites en pays tempéré. *Ann. Agron.* 12 (3) : 273 - 331.
- CON-INCK de, F. FAVROT, J.C. TAVERNIER, R. & JAMAGNE, M. (1976). - Dégradation dans les sols lessivés hydromorphes sur matériaux argilo-sableux. Exemple des sols de la nappe détritique bourbonnaise (France). *Pédologie* 26 (2) : 105 - 151.
- C.P.C.S. (1967). - Classification des sols. *Multigr.*, 87 p.
- CUGNY, M.Th. & RASCLE, S. (1977). - Etude et cartographie des sols sur les granites de Pontivy (Morbihan). *Mém. DEA, ENSA - Univ. Rennes, S.D.S.* 93 : *Multigr.*, 92 p.
- CURMI, P. (1979). - Genèse d'une structure litée à granulométrie hétérogène dans une arène granitique. *C.R.Acad. Sci., Paris, sér. D.* 288 : 731 - 733.
- CURMI, P. (1979). - Différenciation pédologique dans une arène granitique bretonne. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 1 : 1 - 15.
- DEJOU, J. (1967). - L'altération des granites à deux micas du massif de La Pierre qui vire. *Ann. Agron.* 18 (2) : 145 - 201.
- DEJOU, J. GUYOT, J. & ROBERT, M. (1977). - Evolution superficielle des roches cristallines et critallophylliennes dans les régions tempérées. *INRA* 439 p.
- DELVIGNE, J. & MARTIN, H. (1970). - Analyse à la microsonde électronique de l'altération d'un plagioclase en kaolinite par l'intermédiaire d'une phase amorphe. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* II : 259 - 295.
- DUCLOUX, J. (1978). - Contribution à l'étude des sols lessivés sous climat atlantique. *Thèse, Univ. Poitiers*: 151 p.
- EBERHART, J.P. & TRIKI, R. (1972). - Essai d'identification de minéraux argileux par microdiffraction électronique en utilisant les réflexions basales (001). *Gr. Franç. Argiles*, 24 : 3 - 14.
- EIMBERCK - ROUX, M. (1977). - Les sols lessivés glossiques de l'Argonne méridionale. Caractérisation micromorphologique et minéralogique. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.*, 2 : 81 - 94.
- ESTEVOLE-CHOUX, J. (1970). - Contribution à l'étude des argiles du Massif Armoricaïn. *Mém. Soc. Géol. Minéral. Bretagne*, 14: 319 p.
- FARMER, V.C. (1974). - Infrared Spectra of Minerals. *Mineralogical Society, London* : 341 p.
- FEDOROFF, N. (1973). - Classification of translocated particles. In *Soil microscopy, Proceedings of the fourth International Working Meeting on Soil Microscopy. Ed. by Rutherford, The Limestone Press. Kingston, Ontario.* 695 - 715.
- FEDOROFF, N. & AUROUSSEAU, P. - Micromorphologie des sols bruns acides sur matériaux granitiques (à paraître).
- FEHRMANN, R.C. & WEAVER, R.W. (1978). - Scanning electron microscopy of Rhizobium spp. Adhering to fine silt particles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42 : 279 - 283.
- FIES, J.C. (1978). - Porosité du sol : étude de son origine texturale. *Thèse, Univ. L. Pasteur Strasbourg.* 139 p.
- FLAGEOLLET, J.C. (1977). - Origine des reliefs, altérations et formations superficielles : contribution à l'étude géomorphologique des massifs anciens cristallins. L'exemple du Limousin et de la Vendée du Nord-Ouest. *Sci. de la terre, Nancy.* 35 : 461 p.



- GUYOT, G. MALET, P. & VERBRUGGHE, M. (1976). - Climat et aménagement en pays de bocage. *INRA - DARS*.
- HAMEURT, J.M. (1961). - Etude géologique et pétrographique du massif granitique de Pontivy. *Thèse 3ème cycle, Nancy*. 104 p.
- JAMAGNE, M. (1973). - Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du Nord de la France. *Thèse Fac. Gembloux (Belgique)* : 445 p.
- JAMAGNE, M. & JEANSON, C. (1978). - Illuviation primaire et secondaire dans les sols lessivés sur matériaux limoneux. Micromorphologie et microanalyse élémentaire. *In Micromorfologia de suelos, Proceedings of the fifth International Working Meeting on Soil Micromorphology. Grenade, Espagne, (2)* : 935 - 965.
- JOLY, A. & SEBERT, Ch. (1975). - Contribution à la connaissance du profil cultural. *Mém. DEA, ENSFA - INRA - Univ. Rennes, S.D.S. 25 : Multigr.* 83 p.
- LARIVIERE, G. & VERDOU, J.P. (1969). - Contribution à l'étude du climat de la Bretagne. *Monog. Météorol. Nat.* 73.
- LAUTRIDOU, J.P. (1975). - Les arènes litées des massifs de Vire et d'Avranches : âge et genèse, *in symposium : Modelés d'origine froide et roches cristallines, Paris, Ed. Raynal, Univ. Pasteur, Strasbourg* : 141 - 146.
- LE CALVEZ, L. (1979). - Genèse des formations limoneuses de Bretagne Centrale : essai de modélisation. *Thèse, Univ. Rennes* : 213 p.
- LEGROS, J.P. (1975) - Origine et évolution des accumulations litées argileuses dans les arènes cristallines des régions tempérées humides. Cas du Mont Pilat. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 281 : 1817 - 1820.
- LEGROS, J.P. (1976). - Migrations latérales et accumulations litées dans les arènes du massif cristallin et cristallophyllien du Pilat (Ardèche, Loire, Haute-Loire). *Bull. Ass. Fr. Et. Sol*, 3 : 205 - 220.
- MAURICE, F. MENY, L. & TIXIER, R. (1979). - Microanalyse et microscopie électronique à balayage. *Ed. de Physique, Orsay, France* : 532 p.
- MEROT, Ph. (1978). - Le bocage en Bretagne granitique : une approche de la circulation des eaux. *Thèse, Univ. Rennes* : 195 p.
- MEUNIER, A. (1977). - Les mécanismes de l'altération des granites et le rôle des microsystèmes. Etude des arènes du massif granitique de Parthenay (Deux Sèvres). *Thèse, Univ. Poitiers*. 248 p.
- MILLOT, G. (1964). - Géologie des argiles. *Masson Ed., Paris* : 499 p.
- MILLOT, G. LUCAS, J. & PAQUET, H. (1965). - Evolution géochimique par dégradation et aggradation des minéraux argileux dans l'hydrosphère. *Géol. Rundsch.*, 55 : 1 - 20.
- MURPHY, C.P. & BANFIELD, C.F. (1978). - Pore space variability in a subsurface horizon of two soils. *J. Soil Sci.* 29 : 156 - 166.
- PEDRO, G. & CHAUVEL, A. (1973). - Sur la nature et l'importance relative des principaux mécanismes intervenant dans le processus de lessivage pédologique. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 277 : 1133 - 1136.
- PEDRO, G. JAMAGNE, M. & BEGON, J.C. (1978). - Two routes in genesis of strongly differentiated acid soils under humid, cool - temperate conditions. *Geoderma* 20 : 173 - 189.
- ROBERT, M. (1970). - Etude expérimentale de la désagrégation du granite et de l'évolution des micas. *Thèse, Fac. Sci., Paris*. 194 p.
- ROBERT, M. (1975). - Principe de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des Rayons X. *Ann. Agron.*, 26 (4) : 363 - 399.

- ROBERT, M. & RAZZAGHE-KARIMI, M. (1975). - Mise en évidence de deux types d'évolution minéralogique des micas trioctaédriques en présence d'acides organiques hydrosolubles. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 280 : 2175 - 2178.
- SEDDOH, F. (1973). - Altération des roches cristallines du Morvan. Etude minéralogique, géochimique et micromorphologique. *Thèse, Univ. Dijon*. 341 p.
- SEDDOH, F. & PEDRO, G. (1975). - Aspects microgéochimiques de l'altération superficielle. Application à l'étude de l'évolution des minéraux dans les arènes granitiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 13 (1) : 7-25.
- SEDDOH, F. & ROBERT, M. (1972). - Intérêt de l'utilisation du microscope électronique à balayage pour l'étude des micas et de leur évolution. *Bull. Soc. Fr. Min. Crist.*, 95 : 75 - 83.
- SIEFFERMANN, G. (1973). - Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun : variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. *Mem. ORSTOM*, 66. 183 p.
- SOUCHIER, B. (1971). - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). *Mém. Serv. Carte Géol. Als.Lorr.*, 23 : 134 p.
- TARDY, Y. (1969). - Géochimie des altérations. Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. *Mém. Serv. Carte Géol. Als. Lorr., Strasbourg*, 31 : 199 p.
- VICENTE, M.A. RAZZAGHE-KARIMI, M. & ROBERT, M. (1977). - Formation of Aluminium hydroxyvermiculite (Intergrade) and smectite from mica under acidic conditions. *Clay Minerals*, 12 : 101 -112.
- Les Bocages - (1976). - Histoire, Ecologie, Economie - Table Ronde CNRS : Aspects physiques, biologiques et humains des écosystèmes bocagers des régions tempérées humides. *INRA - CNRS - Univ. Rennes* : 586 p.
- Glossaire de Pédologie - Description des horizons en vue du traitement informatique. *ORSTOM Bondy - Initiations, Doc. Techn. n° 13* (1969) : 82 p.

- ANNEXE : Données granulométriques.

Domaine	AMONT							
	1		2				3	
Profil								
Horizon	AM1	AM1	Ap	AM1	AM1	AM2	AM1	AM3
Profondeur en cm.	24-34	40-48	8-16	24-34	40-50	82-92	28-35	40-48
Éléments < 2 mm. en % de terre entière	75	70	74	77	83	70	82	52
En % d'éléments 2 mm.								
A 0 - 2 µm.	12,3	12,7	16,4	10,3	10,0	15,2	9,7	5,4
LF 2 - 20 µm.	24,0	21,6	22,5	28,1	27,8	24,3	26,5	19,3
LG 20 - 50 µm.	23,8	22,5	24,2	25,5	25,7	25,3	24,8	18,3
S1 50 - 100 µm.	5,6	6,1	5,9	6,1	5,9	5,7	6,0	9,9
S2 100 - 200 µm.	4,5	4,5	3,9	3,6	4,5	4,2	4,0	7,0
S3 200 - 500 µm.	10,0	10,4	8,0	8,0	10,2	9,2	9,6	17,4
S4 500 - 1000 µm.	9,8	11,1	8,5	8,2	9,7	7,6	9,4	13,5
S5 1 - 2 mm.	10,0	11,1	10,6	10,2	6,2	8,5	10,0	9,2

- ANNEXE : Données granulométriques.

Domaine	VERSANT															
Profil	4					5						6				
Horizon	Ap	VE1	VE1	VE2	VE2	Ap	VE1	VE2	VE2	VE3	Arène	VE1	VE2	VE2	VE3	Arène
Profondeur en cm.	5-15	21-30	35-38	48-56	65-73	5-15	36-45	52-62	67-75	86-96	110-120	35-45	50-60	70-80	90-100	110-120
Eléments < 2 mm. en % de terre entière	79	79	91	88	68	79	87	82	80	70	44	86	69	71	68	77
En % d'éléments 2 mm.																
A 0 - 2 µm.	17,4	16,5	11,2	21,4	17,0	17,6	13,1	20,1	18,5	7,1	3,9	11,3	21,7	16,2	11,2	11,7
LF 2 - 20 µm.	24,0	25,8	31,3	27,0	21,9	24,7	31,3	28,6	25,9	21,1	7,0	31,9	24,5	24,0	21,0	21,6
LG 20 - 50 µm.	26,8	26,9	31,6	32,0	22,4	27,2	34,6	33,8	35,1	27,2	9,7	36,5	27,8	29,5	21,5	10,3
S1 50 - 100 µm.	5,3	5,3	5,4	4,5	5,9	5,0	4,9	4,4	4,4	6,5	14,0	4,7	4,5	5,6	6,5	9,0
S2 100 - 200 µm.	3,8	3,5	2,7	2,4	4,9	3,6	2,5	2,2	2,1	5,3	14,0	2,5	3,4	4,0	6,1	6,9
S3 200 - 500 µm.	8,7	7,9	6,2	5,3	10,9	7,7	4,9	3,7	4,8	11,9	26,6	5,3	6,7	8,9	12,7	14,3
S4 500 - 1000 µm.	8,0	6,6	5,7	4,2	9,1	6,9	4,6	3,4	4,8	11,8	16,1	3,9	5,6	7,1	10,9	13,8
S5 1 - 2 mm.	6,0	7,5	5,9	3,2	7,9	7,3	4,1	3,8	4,4	9,1	8,7	3,9	5,8	4,7	10,1	12,4

- ANNEXE : Données granulométriques.

Domaine	AVAL										
Profil	7					8					
Horizon	AV1	AV1	AV2	AV3	Arène	AV1	AV2	AV3	AV3	AV3	Arène
Profondeur en cm.	38-48	59-69	87-97	102-117	170-180	38-48	88-98	113-133	133-153	188-203	240-250
Eléments < 2 mm. en % de terre entière	90	93	86	82	59	94	89	68	83	43	66
En % d'éléments 2 mm.											
A 0 - 2 µm.	11,4	12,3	15,3	12,5	5,8	9,8	14,8	10,5	11,2	6,9	6,0
LF 2 - 20 µm.	31,0	29,8	26,2	25,2	14,4	31,1	27,7	27,2	33,2	15,5	13,0
LG 20 - 50 µm.	42,1	42,3	39,9	25,3	9,4	42,3	40,7	20,6	21,1	11,1	9,2
S1 50 - 100 µm.	5,0	4,6	4,3	6,3	10,2	4,0	3,8	6,1	7,1	6,2	10,5
S2 100 - 200 µm.	1,4	1,5	1,9	5,5	10,1	1,6	1,6	5,0	4,3	6,9	7,3
S3 200 - 500 µm.	3,0	3,0	4,4	9,8	20,6	3,4	3,7	9,5	8,4	19,9	18,5
S4 500 - 1000 µm.	3,0	3,1	4,0	7,4	16,6	3,2	3,4	9,4	8,1	17,2	21,5
S5 1 - 2 mm.	3,1	3,4	4,0	8,0	12,3	4,6	4,3	11,7	6,6	16,3	14,0



LISTE DES TABLEAUX

1 - Analyses chimiques totales d'échantillons de granite de Pontivy.....	10
2 - Hauteur mensuelle des précipitations - Bubry 1964 - 1976 .....	11
3 - Composants du bilan hydrique en Bretagne : ETP, P. ....	11
4 - Analyses quantitatives ponctuelles à la sonde électronique de plages " saines " et altérées voisines de 5 plagioclases .....	41
5 - Analyses quantitatives ponctuelles à la sonde électronique de lamelles voisines " saines " et exfoliées en bordure de 4 muscovites .....	47
6 - Analyses quantitatives ponctuelles à la sonde électronique de lamelles voisines " saines " et exfoliées de 5 biotites .....	55
7 - Analyses quantitatives ponctuelles à la sonde électronique des exfolia- tions et des minéraux cristallisés perpendiculairement aux lamelles d' une biotite .....	58
8 - Tableau récapitulatif des caractères et des processus majeurs affectant les différents ensembles de l'arène .....	85
9 - Profils du domaine amont .....	90
10 - Domaine amont, tableau récapitulatif .....	91
11 - Nomenclature des horizons sablo-limoneux à limoneux .....	101
12 - Nomenclature des horizons sablo-limoneux à limoneux .....	105
13 - LF + LG en % de la terre entière .....	106
14 - Rapport LF/LG .....	106
15 - Composition granulométrique des pôles sableux et limoneux (in LE CALVEZ, 1979). .....	108
16 - pH eau .....	109
17 - pH eau - pH KCl .....	110
18 - pH NaF .....	111
19 - Complexe adsorbant .....	111
20 - Cations échangeables .....	112
21 - Composition minéralogique de la fraction argileuse .....	113

LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1	: Ensemble I : arène à structure conservée .....	29
Ph. 1	- Base de l'arène à structure conservée	
Ph. 2	- Sommet de l'arène à structure conservée	
Ph. 3 & 4	- biotite	
Planche 2	: Altération des Plagioclases .....	39
Ph. 1	- microscope optique	
Ph. 2	- image X de répartition du Calcium	
Ph. 3	- traversée	
Ph. 4 & 5	- observations au M.E.B.	
Planche 3	: Altération des Muscovites .....	45
Ph. 1	- microscope optique	
Ph. 2	- image X de répartition du potassium	
Ph. 3	- traversée	
Ph. 4,5,6	- observations au M.E.B.	
Planche 4	: Altération des Biotites .....	53
Ph. 1	- microscope optique	
Ph. 2	- image X de répartition du potassium	
Ph. 3	- image X de répartition du fer	
Ph. 4	- traversée	
Planche 5	: Altération des Biotites .....	61
Ph. 1	- image e <sup>-</sup> secondaires d'une biotite présentant des exfoliations et de la kaolinite orientée perpendiculairement aux lamelles.	
Ph. 2 & 3	- observations au M.E.B. : biotite de la fraction 360 - 240 µm .	
Planche 6	: Transition entre les ensembles I et II de l'arène : montage .....	67
Planche 7	: Transition entre les ensembles I et II de l'arène .....	71
Ph. 1	- particules limono-argileuses comblant une diaclase	
Ph. 2	- kaolinite en éventail	
Ph. 3	- Domaine à structure particulière	
Planche 8	: Sommet de la transition entre les ensembles I et II de l'arène - Arène à structure détruite - .....	75
Ph. 1 & 2	- Sommet de la transition entre les ensembles I et II de l'arène	
Ph. 3	- Arène à structure détruite	
Planche 9	: Raies brun rougeâtre .....	81
Ph. 1	- Raie brun rougeâtre	
Ph. 2	- revêtements argileux recouvrant une coiffe	
Ph. 3 & 4	- revêtement présentant un lit limoneux	



Planche 10	: Domaine de versant .....	117
Ph. 1	- horizon brun jaunâtre sablo limoneux VE3	
Ph. 2	- horizon brun vif limono-sableux VE2	
Ph. 3	- horizon brun jaunâtre limoneux VE1 : structure	
Ph. 4	- horizon brun jaunâtre limoneux VE1 : agrégats microgrumeleux	
Planche 11	: Domaine aval, horizons fragiques .....	133
Ph. 1	- horizon sablo-graveleux fragique AV3	
Ph. 2	- Revêtement complexe	
Ph. 3	- horizon limoneux fragique AV4 , domaine non hydromorphe	
Ph. 4	- horizon limoneux fragique AV4 , domaine hydromorphe	
Planche 12	: Domaine aval, bande verticale grise à liséré rouille .....	137
Ph. 1	- Déstabilisation d'un revêtement complexe	
Ph. 2	- matrice AV3	
Ph. 3	- bande grise	
Planche 13	: Domaine aval, horizons limoneux non fragiques .....	145
Ph. 1	- horizon brun vif limoneux AV2	
Ph. 2	- Revêtement avec interstratification limoneuse de quartz	
Ph. 3	- horizon jaune brunâtre limoneux AV1	

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
PREMIERE PARTIE : Le cadre de l'étude .....	5
I - Le milieu .....	7
A - Présentation géologique .....	8
1 - Mise en place .....	8
2 - Pétrographie et caractères chimiques .....	9
B - Approche géomorphologique .....	10
C - Caractères climatiques .....	11
D - Occupation des sols .....	12
II - Revue sur les travaux antérieurs .....	13
A - Les arènes .....	13
1 - Altération du granite .....	13
a - En région tempérée .....	13
b - Dans le massif Armoricaïn .....	13
2 - Distribution des arènes dans le paysage .....	14
B - La couverture limoneuse .....	15
C - La différenciation pédologique .....	15
1 - Principaux types de sols .....	15
2 - Distribution des sols dans le paysage .....	15
III - Conclusions : L'objet étudié, la démarche et les méthodes mises en oeuvre .....	20
A - Objet étudié .....	20
B - Démarche .....	21
C - Méthodes d'étude .....	21
DEUXIEME PARTIE : L'arène granitique .....	23
I - Etude macroscopique : définition et positionnement des ensembles différenciés dans l'arène .....	25
- Ensemble I ou Arène à structure conservée .....	25
- Transition entre l'ensemble I et l'ensemble II : la naissance du fauchage ...	25
- Ensemble II ou Arène à structure détruite .....	26
- Raies brun rougeâtre .....	26
II - Ensemble I : arène à structure conservée .....	27
A - Etude globale au microscope optique .....	27
1 - Description .....	27
2 - Conclusions .....	31
B - Observations et analyses à l'échelle du minéral .....	33
1 - Choix des techniques .....	33
2 - Altération des plagioclases .....	33
α - Détermination minéralogique de la fraction inférieure à 2 μm .....	34
β - Microanalyses à la sonde électronique .....	36
γ - Observations morphologiques au microscope électronique à balayage ...	41

3 - Altération des muscovites .....	42
α - Données diffractométriques .....	42
β - Microanalyses à la sonde électronique .....	42
γ - Observations morphologiques au microscope électronique à balayage ...	48
4 - Altération des biotites .....	48
α - Diffractométrie des Rayons X .....	48
β - Microanalyses à la sonde électronique .....	50
- les domaines exfoliés .....	50
- les minéraux secondaires cristallisés perpendiculairement aux surfaces des biotites .....	56
γ - Observations morphologiques au microscope électronique à balayage ...	63
5 - Concentrations opaques .....	63
6 - Conclusions .....	65
III - Transition entre l'arène à structure conservée et l'arène à structure détruite: la naissance du fauchage .....	66
A - Partie inférieure de la transition .....	66
- Les domaines à structure pétrographique conservée .....	66
- Les domaines à structure particulière .....	69
- Conclusion : la chronologie relative dans cette zone de transition .....	73
B - Partie supérieure de la transition .....	73
IV - Ensemble II : arène à structure détruite .....	77
A - Etude au microscope optique .....	77
B - Données diffractométriques .....	78
C - Conclusions .....	78
V - Les raies brun rougeâtre .....	79
A - Etude au microscope optique .....	79
B - Détermination minéralogique de la fraction < 2 μm .....	79
C - Conclusions .....	84
VI - Conclusions à l'étude de l'arène .....	85
TROISIEME PARTIE : Les horizons sablo-limoneux à limoneux .....	87
Introduction .....	89
I - Etude macroscopique .....	89
A - Introduction .....	89
B - Le domaine amont .....	90
1 - Caractérisation des différents horizons .....	90
- L'arène sablo-limoneuse AM3 .....	90
- L'horizon limoneux AM1 .....	91
- L'horizon limoneux AM2 .....	91
2 - Distribution dans l'espace de ces horizons .....	92
C - Le domaine de versant .....	94
1 - Répartition verticale et caractérisation des différents horizons .....	94
- L'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 .....	94
- L'horizon brun vif limono-sableux VE2 .....	94
- L'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 .....	95
2 - Variation latérale de ces horizons .....	95
3 - Comparaison du domaine amont et du domaine de versant .....	96

D - Le domaine aval .....	97
1 - Répartition verticale et caractérisation des différents horizons .....	97
a - Le premier type de profil .....	97
- L'horizon sablo-graveleux fragique AV3 .....	98
- L'horizon limoneux brun vif AV2 .....	98
- L'horizon limoneux jaune brunâtre AV1 .....	98
b - Le deuxième type de profil .....	99
- L'horizon fragique limoneux AV4 .....	99
c - Les différences essentielles entre les deux types de profils. ....	99
2 - Variations et répartition latérale de ces horizons .....	100
E - Conclusion à l'étude macroscopique .....	101
II - Données analytiques .....	103
A - Granulométrie .....	103
1 - Les trois types d'histogrammes .....	104
2 - Les relations entre ces trois types, leurs positions respectives dans la séquence .....	104
3 - Les horizons à éléments limoneux dominants .....	105
4 - L'argile granulométrique .....	107
5 - Conclusion à l'étude granulométrique .....	107
B - Données chimiques .....	109
1 - pH .....	109
2 - Complexe adsorbant .....	110
C - Minéralogie des argiles .....	113
D - Conclusions .....	114
III - Etude au microscope optique .....	115
Préambule .....	115
A - Le domaine de versant .....	115
1 - L'horizon brun jaunâtre sablo-limoneux VE3 .....	115
a - Description .....	115
b - Conclusions .....	119
2 - L'horizon brun vif limono-sableux VE2 .....	120
a - Description .....	120
b - Conclusions .....	121
α - Affinement de la texture .....	121
β - Structuration .....	121
γ - Illuviation .....	122
3 - L'horizon brun jaunâtre limoneux VE1 .....	122
a - Description .....	122
b - Discussion, conclusions .....	123
α - Structures polyédriques et microgrumeleuses : caractérisation, liens génétiques .....	123
β - Destruction de la structure polyédrique .....	124
γ - Microagrégation .....	124
δ - Appauvrissement et accumulation .....	125
4 - Conclusion à l'étude du domaine de versant .....	127
B - Le domaine amont .....	127
1 - L'arène sablo-limoneuse AM3 .....	127
a - Description .....	127
b - Conclusions .....	128

NP. Inv. 667

2 - Les poches limoneuses .....	128
a - Description .....	128
$\alpha$ - L'horizon limoneux AM2 .....	128
$\beta$ - L'horizon limoneux AM1 .....	129
b - Conclusions .....	129
3 - Conclusion à l'étude du domaine amont .....	129
C - Le domaine aval .....	130
1 - Les horizons fragiques .....	130
11 - L'horizon sablo-graveleux fragique AV3 .....	130
111 - Matrice .....	130
a - Description .....	130
b - Conclusions .....	131
112 - Bandes subverticales grises à liseré rouille .....	135
a - Description .....	135
b - Conclusions .....	135
12 - L'horizon limoneux fragique AV4 .....	139
121 - Description .....	139
a - Le domaine non hydromorphe .....	139
b - Les taches claires .....	140
122 - Conclusions .....	140
13 - Conclusion à l'étude des horizons fragiques .....	141
2 - L'horizon brun vif limoneux AV2 .....	142
a - Description .....	142
b - Conclusions .....	142
3 - L'horizon jaune brunâtre limoneux AV1 .....	143
a - Description .....	143
b - Discussion, conclusions .....	147
$\alpha$ - Appauvrissement et hydromorphie .....	147
$\beta$ - Relation entre les agrégats grumeleux et polyédriques .....	147
$\gamma$ - Relations entre les structures microgrumeleuses, grumeleuses et polyédriques au niveau de la séquence .....	147
4 - Conclusion à l'étude du domaine aval .....	149
D - Conclusion à l'étude au microscope optique .....	150
Conclusions générales .....	151
Bibliographie .....	157
Annexe .....	163
Liste des figures .....	167
Liste des tableaux .....	169
Liste des planches photographiques .....	171
Table des matières .....	173