

- III C₁
- 200/210
Limon moyen très sableux - Mêmes couleurs que ci-contre - Assez frais à frais - Petites racines rares dans les fentes gleyifiées - Plages oxydées assez étendues - Structure massive - Très ferme - Horizon de transition de plus en plus enrichi en sable - Limite graduelle et régulière.
- III C₂
- 240
Sable argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Assez frais à frais - Phénomènes d'oxydo-réduction assez importants - Structure massive - Très ferme.

Le profil est particulièrement complexe. La dégradation est très marquée, un A₂ très délavé surmontant un Bg & A se prolongeant par des langues assez importantes.

Deux horizons de compacité s'observent dans le profil. Le premier d'ordre exclusivement génétique se marque dans la partie inférieure de l'horizon en voie de dégradation ; le second est situé au niveau de la discontinuité entre les deux matériaux supérieurs.

Nous avons donc affaire à un limon sableux typique, le sable représentant environ 20 % de la composition granulométrique dans le matériau I. Le dépôt indiqué III apparaissant à plus de 2 mètres est un sable argileux très proche du substrat tertiaire sous-jacent. La teneur en argile est, d'une manière générale, assez peu importante, tandis que le rapport granulométrique des limons ne peut pas faire l'objet d'une interprétation étant donné l'hétérogénéité originelle des dépôts.

Les indices d'entraînement calculés sont de 2,2 pour l'argile totale, de 5,8 pour l'argile fine.

La densité apparente présente un maximum dans le B₂tgx, où la porosité totale descend à 32 % ; sous ce niveau cette donnée se maintient à 36 %.

La stabilité structurale est moyenne en surface, la teneur en matière organique y étant importante, elle diminue fortement dans les horizons les plus compacts pour remonter ensuite. Les réserves en eau correspondent à la granulométrie du sédiment.

Nous sommes en présence en surface d'un mull acide, la matière organique offrant un rapport C/N de 14.

Le pH varie entre 4,5 et 5,0. La saturation du complexe est la plus faible en A₂ et Bg et A : 25 et 26 %, elle augmente ensuite progressivement en profondeur, avec quelques variations.

La C. E. C. rapportée à l'argile varie d'une manière très importante : d'environ 20 méq. dans le A₂ elle passe à 57 puis 70 dans le matériau II. Nous enregistrons dans le III C, une valeur de 105 méq. ce qui est tout à fait particulier.

Le fer libre est très peu représenté dans la partie supérieure du sol, tandis qu'il est très abondant dans le II C₂ et le II C₃. L'indice calculé entre le B₂t et le A₂ est de 2,95, c'est-à-dire plus élevé que celui de l'argile ; il est vraisemblable qu'une partie du fer a été éliminée latéralement sous forme réduite et donc très mobile. Le rapport fer libre / fer HCl est de 43 dans le A₂ pour passer ensuite à des valeurs comprises entre 50 et 60.

L'aluminium échangeable sature le complexe d'une manière importante, hormis dans le A₁₁. Cette saturation, de plus de 70 %, dans le A₂ et le Bg & A, diminue ensuite progressivement dans les horizons sous-jacents : 61 - 39 - 30 et 23 %.

Quant à l'alumine libre, elle présente une répartition en "profil" très net dans la partie supérieure du sol, avec un maximum très marqué au niveau du B₂tgx : 2,64, et un rapport B₂t/A de 1,33.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette - Nature. De nature essentiellement quartzeuse, le squelette présente cependant quelques feldspaths, des grains de glauconie plus ou moins altérée et un peu de biotite.

Dimensions. Très hétérogène, représentant la texture limono-sableuse du matériau. Le matériau enfoui comporte de gros grains de quartz à contours très arrondis.

Distribution. La distribution de base se présente au hasard, celle par référence paraît sans relation.

Orientation. Le squelette est généralement assez fortement orienté.

Plasma - Répartition. D'une manière générale très hétérogène, particulièrement dans les horizons B₃gx et II Btg où de nombreuses ségrégations ferriques apparaissent. Dans ce dernier horizon enfoui, des plages fortement appauvries en fer et même **argile** peuvent s'observer.

Séparations. La particularité de ce profil est de présenter de petites séparations réparties dans la masse dans le matériau supérieur, en association avec des séparations sur squelette assez peu discernables aux grossissements normaux. L'horizon II Btg montre une dominance de séparations sur squelette ainsi qu'en bandes dans la masse, ou associées à des vides.

Les assemblages plasmiques passent donc essentiellement du type insepique au type squelsepique, avec masopique assez important dans les plages réduites, et associé au type vosepique.

Nature. Les conditions d'oxydo-réduction ont provoqué dans l'horizon A₂ une dissociation du fer et de l'argile, provoquant une hétérogénéité du plasma.

Des zones appauvries ou enrichies en fer sont bien évidentes. Argileux à argilo-ferrique dans le B₂tg, le plasma devient essentiellement argilo-ferrique au niveau du B₃g, pour présenter à nouveau de nombreuses plages déferrifiées dans les horizons profonds.

Distribution. Dans le haut du profil cette distribution représente la tendance aux ségrégations ferriques. Dans les horizons B₂tg et B₃g elle caractérise de plus l'apparition des plages isolées liées à l'assemblage insepique. Dans l'horizon II Btg la distribution est assez complexe : formation de bandes plus ou moins alignées correspondant à l'assemblage masopique, distribution par référence du type cutanique ou subcutanique respectivement en relation avec les assemblages du type squelsepique et vosepique.

Horizons → Unités de description ↓	B ₂ t _{gx}	B ₃ g _x	II Btg
<u>S. Matrix</u>			
<u>Squelette</u>	Quartz essentiellement Hétérogène grains importants	- Quelques feldspaths - Hétérogène grains importants	Biotite glauconie, Hétérogène - Quelques gros grains très arrondis.
<u>Plasma</u>	Argileux à argilo-ferrique Traces de matière organique - Hétérogène - Dense localement	Argilo-ferrique à argileux - Très denses par endroits - Hétérogène	Argileux à argilo-ferrique Hétérogène - Ségrégations Fe fortement appauvri localement.
<u>Séparations plasmiques</u>	Isolées dans masse - Sur squelette localement	Isolées dans la masse - Sur squelette dans zones plus denses.	Sur squelette, dans la masse et en bordure des vides
<u>Assemblages plasmiques</u>	(squel)-Insepique	(squel)-Insepique ^c	vo-ma-Squelsepique - Tendance Lattiseipique localement.
<u>Structure de base</u>	SK > P1	SK > P1	SK > P1
<u>Assemblage élémentaire</u>	Aggloméré à intertextique	Porphyrique	Porphyrique-Intertextique localement.
<u>Vides</u>	Cavités et chenaux ortho et méta, assez réguliers Quelques "planes"	Cavités ortho et méta, quelques chenaux méta.	Cavités méta, quelques ortho, Chenaux méta - Quelques "planes".
<u>Caractéristiques pédologiques</u>			
<u>Orthic - Séparations (v. Plasma)</u>			
<u>Concentrations Cutanes</u>	. Argilanes à ferri-argilanes fins et continus modérément orientés et striés . Fragments de ferri-argilanes réenglobés dans la S. Matrix, fortement orientés	. Argilanes jaune clair d'illuviation secondaire accompagnés de "silt". . Ferriargilanes anciens recouverts par argilanes plus récents, et/ou fragmentés.	. "Void" et "channel" ferriargilanes striés et bien orientés. . "Channel" et "plane" argilanes d'illuviation secondaire faiblement striés et orientés - Quelques skeletalanes
<u>Glaebules</u>	Nodules ferriques à limites diffuses - Ségrégations Fe Ma sur les parois de certains vides Quelques papules	Quelques nodules à limites assez nettes à nettes Quelques papules	Nodules biréfringents à limites très nettes. Quelques papules peu orientés.
<u>Hérités - Pedorelicts</u>	Fragments de ferriargilanes repris dans la masse	Fragments de ferriargilanes réenglobés	Quelques nodules paraissant indépendants de la masse les englobant.
<u>Elementary fabric (Kubiens)</u>	Agglomeratic à Intertextic.	Porphyropectic	Porphyropectic

Orientation. Le degré d'orientation, assez faible en surface, devient relativement fort dans le B_3 et le II B_2tg ; la trame, plutôt tachetée dans les horizons supérieurs, présente ensuite une striation beaucoup plus accentuée dans certaines fractions du plasma.

Structure de base - Le squelette présente toujours une assez nette dominance par rapport au plasma. L'assemblage élémentaire, du type granulaire à aggloméré dans les niveaux supérieurs passe aux types intertextique puis porphyrique en profondeur. Un aspect particulièrement dense caractérise le niveau B_3gx .

Vides - Des vides d'entassement et cavités ortho des horizons supérieurs, on passe dans les horizons B_3 à des cavités ortho et méta, accompagnées de quelques chenaux et faces planes en relation avec la compacité du fragipan.

Caractéristiques pédologiques -

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Dans l'horizon B_2tg apparaissent des revêtements argileux à argile-ferriques fins et continus, ainsi que des ferriargilanes semblant en voie de fragmentation. Des fragments de cutanes s'observent par ailleurs réenglobés dans le S-Matrix. Dès le B_3g se présentent des argilanes jaune clair d'illuviation secondaire, associés à du limon fin, relativement faiblement orientés. Des ferriargilanes y sont recouverts par des apports plus récents et beaucoup moins ferriques.

Dans le II B_2tg des revêtements vraisemblablement anciens, assez ferriques et bien orientés cotoient des revêtements secondaires et fortement déferriifiés. On observe quelques skeletanes limoneux.

Glaebules. De nombreuses ségrégations ferriques sont présentes dans tout le solum, particulièrement sur les parois des vides de l'horizon B_2tg qui se trouve dans la zone de fluctuation caractéristique de la nappe temporaire.

On note une évolution typique de la netteté des limites des nodules en fonction de la profondeur : diffuses dans le B_2tg , assez nettes à nettes dans le B_3gx , très nettes dans le II B_2tg .

Quelques papules assez peu orientées se retrouvent dans tous les horizons du sous-sol.

Pedorelicts. Des fragments de ferriargilanes réenglobés profondément dans la matrice du matériau supérieur pourraient correspondre à une redistribution de traits pédologiques appartenant à un sol plus ancien, tout comme certaines nodules apparaissant aux environs de la discontinuité lithologique.

Assemblages élémentaires selon Kubiena. -

En fonction de la profondeur on passe successivement des assemblages "granular" ou "bleached sand" en surface, à "agglomeratic", "intertextic" puis enfin "porphyropeptic".

Stade d'évolution - Le stade "Braunerde" caractérise l'ensemble du sol, associée à très peu de "Teilplasma" dans le matériau de couverture, et par contre une assez importante quantité de "Braunlehm" illuvial est partout présent en assez grande quantité.

Conclusions - Les caractéristiques micromorphologiques de ce sol permettent de confirmer plusieurs aspects importants.

- La discontinuité manifeste au niveau du II B_2tg
- L'ancienneté du matériau enfoui
- La dégradation très importante de la formation de couverture.
- L'importance des processus d'hydromorphie dans cette dégradation.

DETERMINATIONS MINÉRALOGIQUES

Nous nous sommes limités à étudier l'évolution minéralogique des trois horizons principaux développés dans le matériau I : A₂ - B₂tgx - B₃gx, ainsi que de deux prélèvements particuliers. Les échantillons ont été séparés à deux microns.

Nous commenterons tout d'abord les résultats des échantillons provenant des horizons, ensuite ceux des échantillons sélectifs.

Horizons A₂ - B₂tgx - B₃gx.

Les trois réflexions classiques à 7,2, 10 et 14 Å sont présentes dans les diffractogrammes Mg. Le pic à 7,2 est très net partout, mais diminue d'intensité en fonction de la profondeur. Celui à 10 Å est très net dans A₂, peu différencié dans le B₂ et à peine marqué dans le B₃. La réflexion à 14 Å est très nette dans le A₂, nette dans les deux autres échantillons où elle est plus large à la base.

Le traitement au glycérol provoque un gonflement plus ou moins important pour tous les échantillons. Une réflexion à 10 Å, assez nette mais cependant étalée est visible sur les trois diagrammes. Le A₂ montre une réflexion nette à 14 et assez nette à 17 Å, les deux autres présentent un léger maintien à 14 Å et un déplacement vers des distances plus grandes avec un maximum à 17 Å.

Le traitement au potassium provoque une fermeture plus ou moins importante. La réflexion à 10 Å est très nette partout mais son intensité diminue en fonction de la profondeur. L'échantillon A₂ présente une réflexion petite mais bien différenciée à 14 Å ; cette réflexion est très atténuée dans le B₂t et à peine décelable dans le B₃.

On constate donc dans les trois horizons la présence de kaolinite, d'illite et de minéraux gonflants. On note une diminution relative de la kaolinite et de l'illite en fonction de la profondeur.

Un minéral non gonflant à 14 Å est très net dans le A₂ et présent également, en moindre quantité probablement, dans les deux autres horizons. Il s'agit de vermiculite alumineuse.

Dégradation.

La diffractogramme Mg donne une réflexion très nette à 7,2, peu marquée à 10, et nette à 14 Å.

Après traitement au glycérol on note une réflexion nette à 10, une autre bien nette à 14, une autre assez large mais bien dessinée à 17 Å.

Le traitement K provoque une fermeture partielle avec léger accident vers 14 Å.

Indépendamment de la kaolinite et de l'illite, la vermiculite Al est donc bien représentée, comme dans le A₂, ces minéraux étant accompagnés de minéraux interstratifiés gonflants.

Revêtements réduits.

Sur le diagramme Mg trois réflexions nettes sont présentes : 7,2 - 10 et 14 Å.

Après traitement au glycérol un déplacement important intervient, avec maximum vers 16/17 Å.

L'échantillon K fournit un diffractogramme où la réflexion à 10 Å est très importante, la fermeture étant incomplète, sans accident particulier.

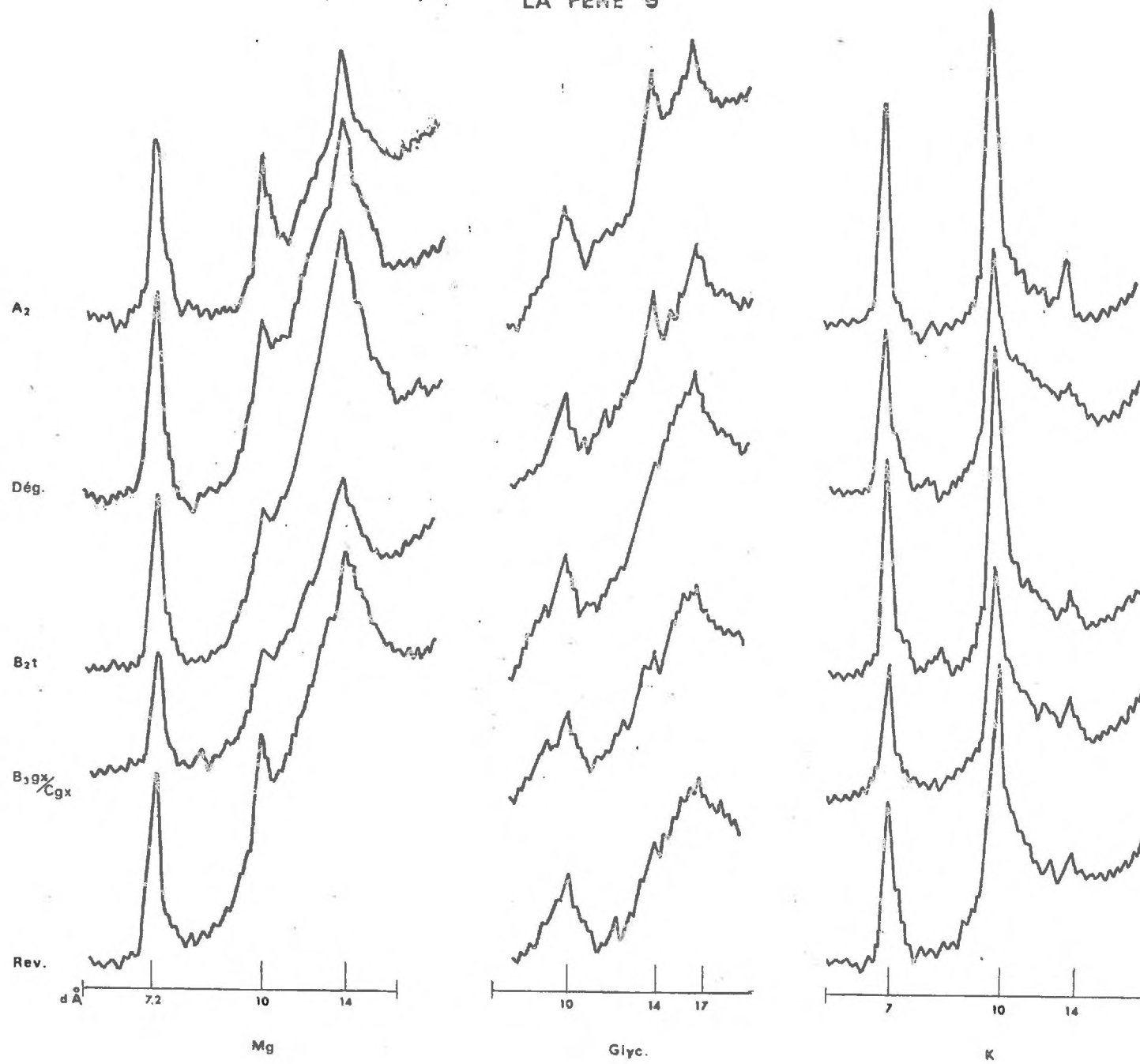


Fig. 74

Les revêtements contiennent donc de la kaolinite, de l'illite et des minéraux 2/1 gonflants du type montmorillonite.

Les déterminations minéralogiques mettent donc en évidence dans ce profil l'apparition d'une chloritisation secondaire se manifestant particulièrement dans les zones éluvies.

DISCUSSION - CONCLUSIONS

Nous avons donc affaire ici à un sol très évolué développé dans un matériau ancien redistribué et à teneur en sable importante.

La végétation est acidiphile et la colonisation forestière très ancienne, peut-être même la zone n'a-t-elle jamais été déforestée.

Les deux niveaux de compacité provoquent une endhydromorphie importante du sol, encore accrue par la présence du niveau imperméable des argiles de Saint-Gobain en profondeur. Cette ambiance réductrice très agissante au cours de l'année a certainement provoqué une tendance d'autant plus grande à la dégradation du sol.

Il faut noter également que sous une couverture encore plus acidifiante que celle actuellement en place aux abords du profil, nous avons pu observer dans le massif une tendance podzolique beaucoup plus accentuée.

La dégradation de ce sol est donc manifeste, elle est très nette morphologiquement et très bien traduite dans les résultats d'analyses, particulièrement sur le plan minéralogique.

Il s'agit cependant d'un matériau un peu particulier par rapport à tous ceux que nous avons étudié précédemment, la teneur en sable y étant très importante.

Au demeurant, ce profil est peut-être celui où la dynamique du fer est le plus sous la dépendance d'une hydromorphie importante, reflétée par la différence enregistrée entre l'entraînement apparent de l'argile et du fer libre.

Ce sol constitue un "sol lessivé glossique à pseudogley" ou un "sol hydromorphe lessivé (acide)".

Il correspond dans la 7^e approximation soit à un "Aquic Fraglosudalf" soit à un "Glossaqualf" à fragipan.

Dans la légende de la carte des sols du monde de la F. A. O. il est à ranger parmi les "Gleyic Podzoluvisols".

4.34. CONCLUSIONS SUR L'ETUDE DES PROFILS TYPES

Nous avons donc décrit en détail une série de profils qui représentent les principaux types de sols développés dans la couverture limoneuse étudiée.

Les degrés d'évolution observés sont sensiblement différents suivant l'ancienneté de la mise en place et l'action des autres facteurs de la genèse. Très fréquemment, des caractères typiques d'une évolution ancienne cotoient des aspects directement liés à l'évolution actuelle.

Les différences enregistrées portent sur la morphologie : qualité de la structure, hydromorphie..., sur les particularités des horizons diagnostiques ou caractéristiques, enfin sur les données analytiques : teneur et répartition de l'argile, du fer, de l'aluminium, saturation du complexe, nature des minéraux argileux...

Les résultats que nous venons d'exposer ont prouvé qu'il était indispensable d'avoir constamment à l'esprit, au cours des interprétations, la notion d'âge du sol, même si nous sommes amenés ensuite à intégrer les différentes unités dans une seule séquence théorique.

Au sein de chacun des groupes présentés des différences ont été observées.

Les sols développés sur *limon d'apport récent*, âgés de quelques dix mille ans au maximum (Dudal - 1953, Pecrot - 1956, Meyer - 1960), sont différents en Picardie, Soissonnais et Haute-Brie. Ces différences tiennent essentiellement à la granulométrie et à l'état plus ou moins carbonaté ou calcique du matériau originel.

Sur *limon d'apport plus ancien* une variation semble apparaître lorsqu'on passe de la Haute-Brie à couverture très épaisse, au Tardenois à manteau moins épais sur substrat plus argileux, avec tendance à la "plansolisation" ; ces sols seraient naturellement beaucoup plus vieux. Notons que des unités-sols assez proches ont été décrites en France par d'autres auteurs (Riedel et Franc de Ferrière - 1951, Plaisance - 1964).

Quant aux *sols polygéniques*, deux types principaux se présentent en fait : -superposition de matériaux et interférence des processus - redistribution de dépôts préalablement évolués. Le premier serait le cas le plus général, le second étant plus localisé.

En ce qui concerne la *systematique des sols*, les principales unités rencontrées sont les suivantes :

- C. P. C. S. - 1967 : Sol brun lessivé - Sol lessivé - Sol lessivé à pseudogley - Sol lessivé acide à pseudogley - Sol lessivé glossique.

Nous y ajouterons deux faciès de transition : Sol lessivé en voie de dégradation et Sol "plansolique", tous deux à hydromorphie.

- *7e approximation* : Typic Hapludalf - Typic Agrudalf - Typic Fragiudalf - Aquic Fragiudalf - Typic Fraglossudalf - Aquic Fraglossudalf - Typic Glossudalf - Albaqualf.

- *Légende F. A. O.* : Orthic Luvisol - Gleyic Luvisol - Dystric Podzoluvisol - Eutric Podzoluvisol - Gleyic Podzoluvisol - Albic Podzoluvisol.

L'analyse que nous venons de faire nous permet de mettre en évidence un certain nombre d'aspects qui nous paraissent fondamentaux.

Au *plan morphologique* tout d'abord :

- structure des horizons "argilliques", nature et répartition des produits d'illuviation.
- apparition des phénomènes de "dégradation" de ces horizons.
- importance prise par l'horizon du type E₃ dans l'évolution des sols.
- différenciation d'un horizon compact du type fragipan.

Au *plan micromorphologique* ensuite :

- nature et répartition des concentrations plasmiqes.
- comportement réciproque de l'argile et des oxydes.
- expression des phénomènes d'oxydo-réduction à l'échelon microscopique.

Au *plan analytique* enfin :

- importance de la répartition des argiles fines.
- dynamique du fer en fonction de l'argile.
- dynamique de l'aluminium en fonction de la désaturation de l'argile et de l'évolution des minéraux argileux.
- variation des propriétés physiques : porosité et stabilité structurale en fonction des stades d'évolution.
- évolution des minéraux argileux, au sein du solum et en fonction des degrés de développement, en relation avec la capacité d'échange de l'argile : accumulations relatives de certains minéraux et tendance à la chloritisation secondaire dans les stades les plus avancés.

Certains de ces problèmes ont naturellement déjà fait l'objet de recherches que nous avons évoquées au début de cette partie. Citons plus précisément celles de *Cline, Dudal, Tavernier et Smith* pour les aspects morphologiques, celles, très récentes de *Bouma et al.* pour la micromorphologie, celles de *Manil, Millot, Jackson, Scheffer et al., Schwertman, Pedro et Duchaufour* pour la partie analytique.

Afin d'avoir une vue d'ensemble suffisante des problèmes posés, il nous faut encore posséder un minimum de données concernant la nature des produits de déplacement ainsi que celle de zones particulièrement éluvies ; c'est ce que nous allons aborder dans le chapitre suivant.

*

*

*

4.4. ETUDE DETAILLEE DES PROBLEMES LIES AUX PROCESSUS D'ELUVIATION / ILLUVIATION

Les principaux caractères des profils que nous venons d'étudier en détail nous ont montré l'importance prise par les processus de lessivage à différents stades de l'évolution des sols.

Nous pouvons distinguer, suite à l'interprétation d'un grand nombre d'observations et de résultats analytiques, une illuviation dite "primaire" caractérisant les sols bruns lessivés et lessivés, et une illuviation dite "secondaire", liée aux phénomènes de dégradation des horizons Bt d'accumulation (*de Coninck* - 1968).

Les conditions de déplacement des produits colloïdaux sont relativement complexes.

L'illuviation "primaire", ou lessivage classique des sols sous nos climats, s'opère dans des conditions de milieu qui ont été précisées à maintes reprises, à savoir : formation de complexes organo-minéraux, désaturation partielle du complexe absorbant, alternance des conditions hydriques du sol (*Suchaut* - 1968, *1^{re} approximation* - 1964/67).

L'illuviation dite "secondaire" requiert des conditions plus particulières et d'une certaine manière, plus agressives : désaturation plus prononcée, milieu réducteur pendant une grande partie de l'année.

Pour avoir la possibilité de définir avec un maximum de précision et de sécurité les divers aspects des processus d'illuviation / illuviation dans les sols qui nous occupent, nous tenterons une caractérisation de différents types de revêtements liés à des stades d'évolution déterminés, en l'associant d'une part à celle de plages éluviées et dégradées, d'autre part à celle d'échantillons de référence provenant d'agrégats correspondants.

Les résultats obtenus complèteront ainsi l'analyse des profils réalisée au chapitre précédent.

4.41. METHODOLOGIE

Les revêtements correspondant aux deux principaux types d'illuviation que nous venons de citer ont donc pu être observés et prélevés sur le terrain. Ils ont été examinés et analysés séparément.

D'autres, caractérisant des sols dont le degré d'évolution paraissait en transition entre ceux présentant des revêtements appartenant nettement à un type ou à l'autre, ont fait l'objet des mêmes observations.

Pour certains revêtements toutes les déterminations utilisées ont été appliquées, pour d'autres une partie seulement à titre de confirmation.

Afin de permettre des comparaisons intéressantes, nous avons également étudié dans certains cas des échantillons provenant des mêmes sols et représentant soit les zones de dégradation éventuelles soit, la matrice de l'horizon où les enduits argileux ont été prélevés.

Nous envisagerons donc successivement la caractérisation granulométrique détaillée, avec fractionnement de l'argile en classe fine : 0-0,2 micron et classe grossière : 0,2-2 microns, la teneur en fer libre, les analyses minéralogiques des argiles, enfin l'analyse chimique totale des fractions fines des échantillons sélectionnés.

Certaines analyses de produits d'illuviation ont déjà été exposées au chapitre précédent ; nous y ferons naturellement référence.

Nous terminerons par l'exposé de quelques résultats complémentaires obtenus par des techniques plus particulières.

L'intérêt de la détermination des surfaces spécifiques sera évoqué, ainsi que l'utilisation de la microscopie électronique : microscopie à balayage et microsonde.

4.42 DONNEES GRANULOMETRIQUES ET FER LIBRE

Nous présentons dans le tableau suivant les résultats de l'analyse granulométrique et du dosage du fer libre pour un certain nombre d'échantillons caractéristiques.

Ils correspondent à des revêtements d'illuviation primaire caractérisant des sols bruns lessivés et lessivés (6 premières lignes), à des produits correspondant à des sols en voie de dégradation (2 suivantes), et à des revêtements typiques d'illuviation secondaire (5 dernières lignes).

Les résultats de l'analyse granulométrique, sont présentés en pourcentage relatif de l'argile fine (0-0,2 microns) et de l'argile grossière (0,2-2 microns).

- CARACTERISATION DES REVETEMENTS -

	Granulométrie (μ).					Répartition de l'argile (%)		Fer libre Fe ₂ O ₃ %
	0-2	2-10	10-20	20-50	> 50	0-0,2	0,2-2	
V.14	65.1	5.3	3.5	24.4	1.7	75	25	3.17
V.10	64.5	5.2	6.1	21.7	2.5	72	28	2.40
H.16	57.0	8.7	5.9	25.6	1.8	72	28	2.27
V.3	52.4	6.8	8.6	30.0	2.2	70	30	2.77
V.2	52.2	8.5	10.3	26.8	2.2	65	35	2.43
V.5	41.0	13.6	6.8	33.8	4.8	64	36	2.49
R.24	52.0	6.8	9.4	28.5	3.3	68	32	2.15
R.32	49.8	8.6	8.6	29.7	3.3	62	38	2.47
M.15	32.6	16.3	11.4	37.3	2.4	48	52	0.28
M.30	31.9	11.8	15.1	36.7	4.5	54	46	0.41
M.31	28.9	9.9	14.8	42.8	3.6	50	50	0.31
M.32	31.0	9.8	16.3	40.2	2.7	57	43	0.39
C.T.22	37.3	10.0	15.7	34.7	2.3	60	40	0.46

On constate immédiatement la teneur en argile très importante des revêtements primaires par rapport aux prélèvements effectués dans les sols dégradés : 40 à 85 % dans le premier cas contre 30 à 33 dans le second. Ceci confirme la présence importante de fractions limoneuses dans le dernier type et l'interstratification fréquente que l'on y observe en lames minces.

L'analyse de la répartition des argiles met également en évidence la nette dominance de la fraction la plus fine dans le cas de l'illuviation primaire, tandis que les revêtements secondaires présentent des quantités pratiquement égales des deux fractions.

En ce qui concerne le fer libre, les différences sont particulièrement spectaculaires, passant de plus de 2,5 % dans le premier cas, à moins de 0,50 % dans le second. Ceci correspond naturellement à l'influence du milieu réducteur dans les sols dégradés hydromorphes, qui provoque une deferrification très nette des produits colloïdaux de déplacement.

La différence de coloration très visible des deux types de cutanes observés au microscope en est bien évidemment une conséquence. Au demeurant, la perte de biréfringence progressive enregistrée pour les revêtements hydromorphes pourrait éventuellement être liée à la diminution du pourcentage en argile fine que nous avons constatée.

Ces résultats confirment et précisent les hypothèses avancées précédemment par différents auteurs concernant la migration préférentielle d'argiles très fines (Crossman - 1959 - Tuol et Holz - 1959-1961 - Buchaufour - 1968).

4.43. ANALYSES MINERALOGIQUES

Les fractions argileuses des revêtements dont nous venons de commenter l'analyse granulométrique et les teneurs en fer libre ont fait l'objet de déterminations minéralogiques par diffractométrie aux rayons X.

Les différents traitements que nous avons utilisé pour obtenir les résultats déjà commentés antérieurement ont été appliqués.

De manière à compléter notre matériel, d'autres prélèvements, dont il ne nous a pas été possible de déterminer la composition granulométrique, ont également été analysés :

- revêtements primaires : CR 23 - V17
- revêtements secondaires : CT 11

D'autre part, pour faciliter nos interprétations, d'autres échantillons particuliers empruntés aux mêmes profils ont été analysés pour quelques cas.

De cette façon nous avons traité quelques matrices : V17 - V10 - V2 - CT22 - M31 - M32 - et deux échantillons provenant de plages dégradées : V10 - CT22.

Nous ferons, au cours de ce chapitre, références à des résultats déjà exposés précédemment et concernant certains échantillons faisant partie de profils typiques étudiés en détail au chapitre 4.3.

En fin de chapitre nous commenterons quelques résultats de déterminations de surfaces spécifiques.

4.43.1. SOLS BRUNS LESSIVES

Les échantillons provenant de trois sols typiques caractérisent ce stade. Nous présenterons les résultats du profil V14, ceux des profils CR23 et V3 sont présentes en annexe.

- PROFIL V14 -

Revêtements.

Les revêtements auxquels nous avons affaire ici sont typiques d'une illuviation primaire, avec dominance d'argile fine et teneur en fer libre importante comme nous l'avons vu plus haut.

Fraction 0-0,2 μ .

L'échantillon Mg montre une réflexion très large centrée sur 14 Å, quelques traces s'observent vers 7,2 Å. Le traitement au glycol provoque un léger déplacement vers des distances basales plus grandes. A 250° une réflexion à 10 Å se dessine et s'accroît à 400° et 550° tout en demeurant très large.

Après traitement K une réflexion large à partir de 10 Å est présente. Le chauffage à 250° provoque une fermeture très faible, la réflexion à 10 Å se dessinant faiblement ; à 400° et 550° cette réflexion est mieux marquée, mais la fermeture reste très incomplète.

Fraction 0,2-2 μ .

Le diagramme Mg montre une réflexion très large à 14 Å, avec d'autres assez bien marquées à 7,2 et 3,34 Å. L'échantillon glycolé montre un déplacement relativement faible avec maximum vers 15 Å. Les chauffages ne provoquant qu'une fermeture très partielle des minéraux. Aucune réflexion n'est à 10 Å après 250°, un palier se présente à 400° ; il faut atteindre 550° pour voir se dessiner une réflexion assez mal différenciée à 10 Å. La fermeture est donc très mauvaise.

L'échantillon K présente une réflexion large à partir de 10 Å, ce pic étant cependant mieux différencié que sur les autres diffractogrammes. A 250° cette réflexion à 10 Å s'améliore ; elle s'accroît encore légèrement après chauffage à 400°, ainsi qu'à 550°, tout en demeurant très incomplète.

Conclusions.

La caractéristique principale de ces déterminations est la très mauvaise fermeture des minéraux après chauffage, ce qui incite à penser à une quantité importante de minéraux interstratifiés. Le gonflement au glycol est cependant assez peu important.

La fraction fine contient donc vraisemblablement une dominance de minéraux interstratifiés à 10-14 Å, ainsi qu'un peu de kaolinite.

La fraction grossière présente une quantité plus importante de kaolinite ainsi que du quartz. L'illite ne semble pas présente en quantité notable.

4.43.2. SOLS LESSIVES

Trois sols ont été retenus pour illustrer ce stade d'évolution, dont le degré de développement est progressif : V5 - V17 - V10. Un quatrième, V2 est présenté en annexe.

- PROFIL V5 -

Revêtements.

Ces revêtements proviennent d'un profil de sol lessivé caractéristique de la partie sud de la Thiérache. Nous en avons donné l'analyse granulométrique plus haut.

Fraction 0-0,2 μ .

On note sur le diagramme Mg une réflexion très large à maximum vers 14/16 Å, une autre à 10 Å plus ou moins bien différenciée, deux autres à 7,2 et 3,34 Å. Le gonflement au glycol est très net jusqu'à 17 Å et plus. La fermeture au chauffage reste incomplète à 250°, elle est plus avancée à 400 et 550°.

Le traitement K fournit un diagramme où une réflexion large à 10 Å et plus est présente, avec un maximum relativement net à 10/12 Å. La fermeture est légère à 250°, elle est presque complète à 400°, avec cependant une réflexion très large ; on note peu de changement à 550°.

Fraction 0,2-2 μ .

L'échantillon Mg montre une réflexion très large à partir de 12 Å et maximum vers 14/16 Å ; un pic à 10 Å est assez net, d'autres vers 7,2 et 3,34 Å sont très nets. Le traitement au glycol provoque un gonflement assez net à 15 Å et plus, avec différenciation marquée à 10 Å. La fermeture est marquée à 250°, très nette dès 400°.

L'échantillon K montre une réflexion bien différenciée à 10 Å, tandis que la fermeture est bonne au chauffage dès 250°.

Conclusions.

Il faut noter une cristallinité moyenne des échantillons. La fraction grossière contient essentiellement du quartz, de la kaolinite, de l'illite et des minéraux gonflants du type montmorillonite. Une dominance de ce dernier type avec des traces de quartz et de kaolinite caractérise la fraction fine.

- PROFIL V17 -

Revêtements - Matrice.

Ici également, il nous a semblé intéressant de prélever deux types d'échantillons particuliers : revêtements argileux et matrice des agrégats de l'horizon B_{2t}.

VERVINS 14

Revêtements

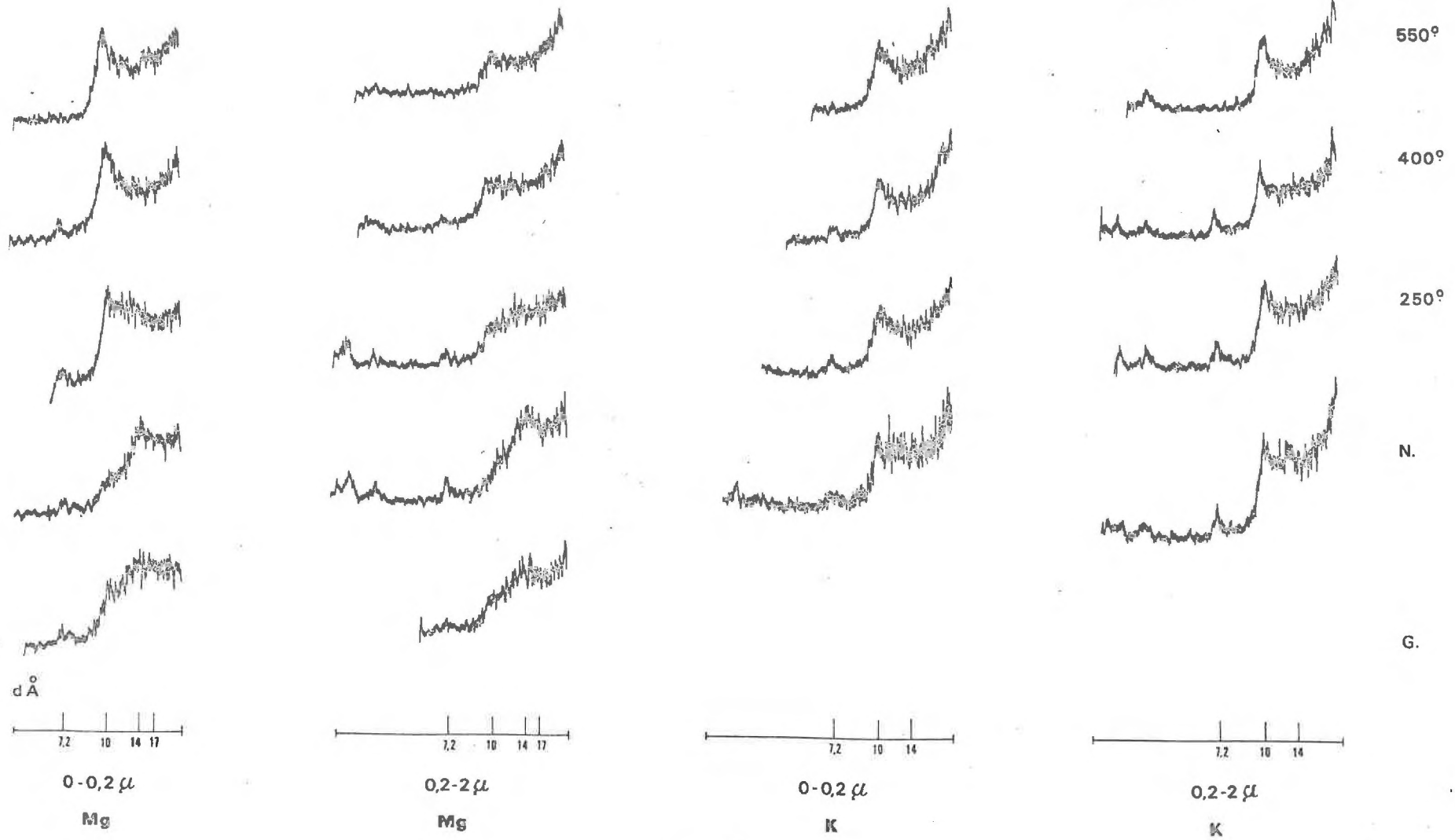


Fig. 75

VERVINS 5

Revêtements

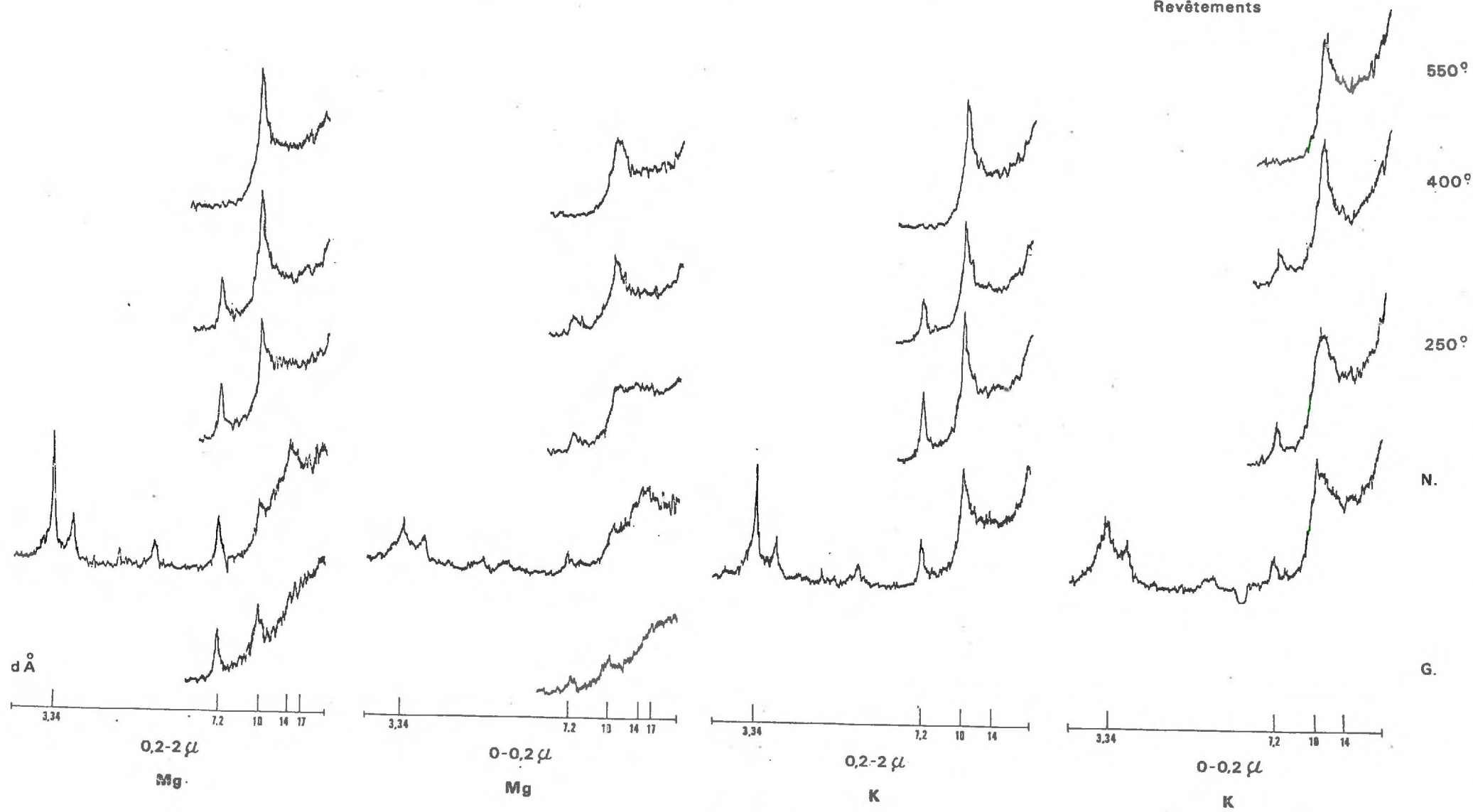


Fig. 76

VERVINS 17

Revêtements

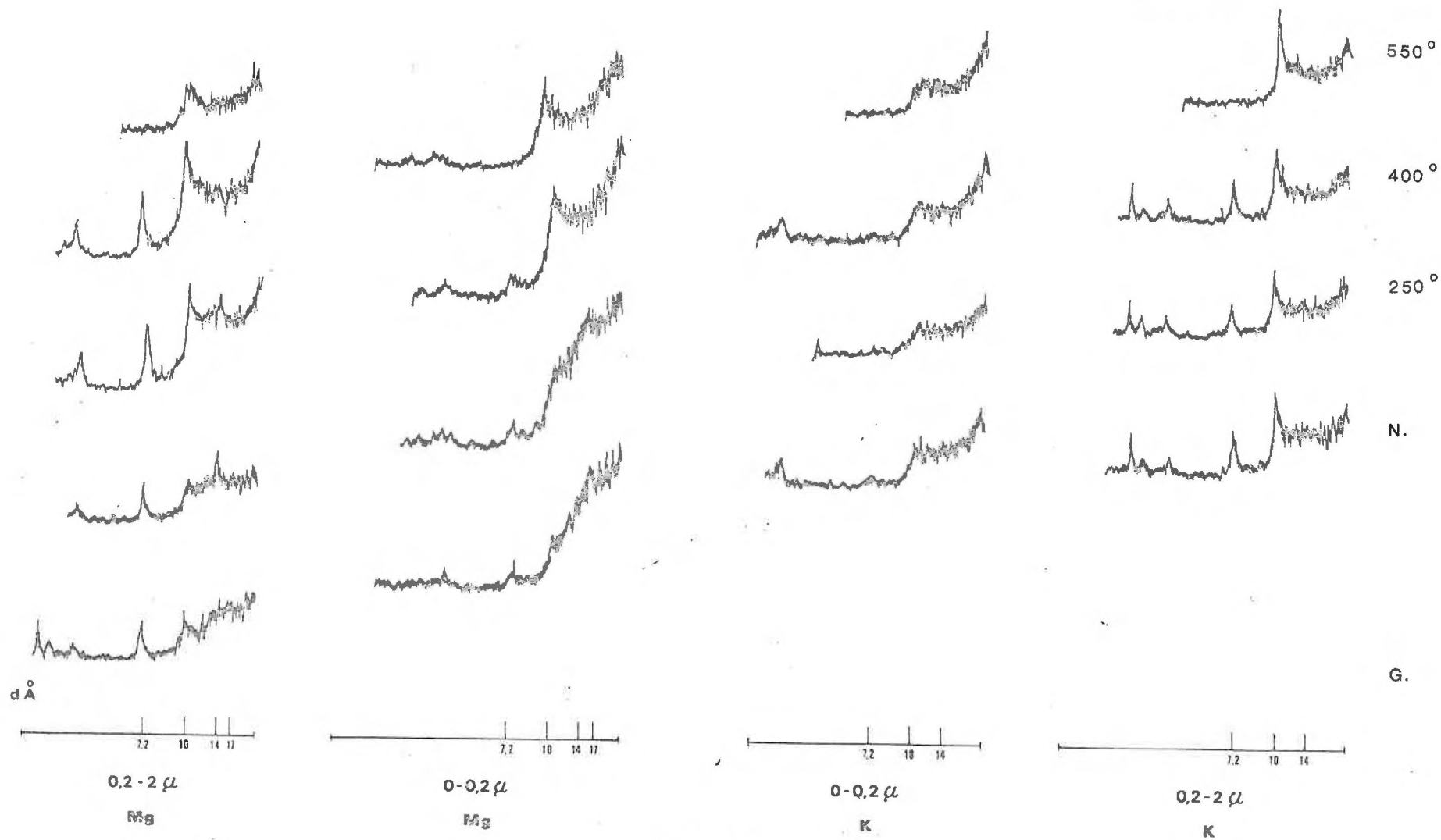


Fig. 77

VERVINS 17

Matrice

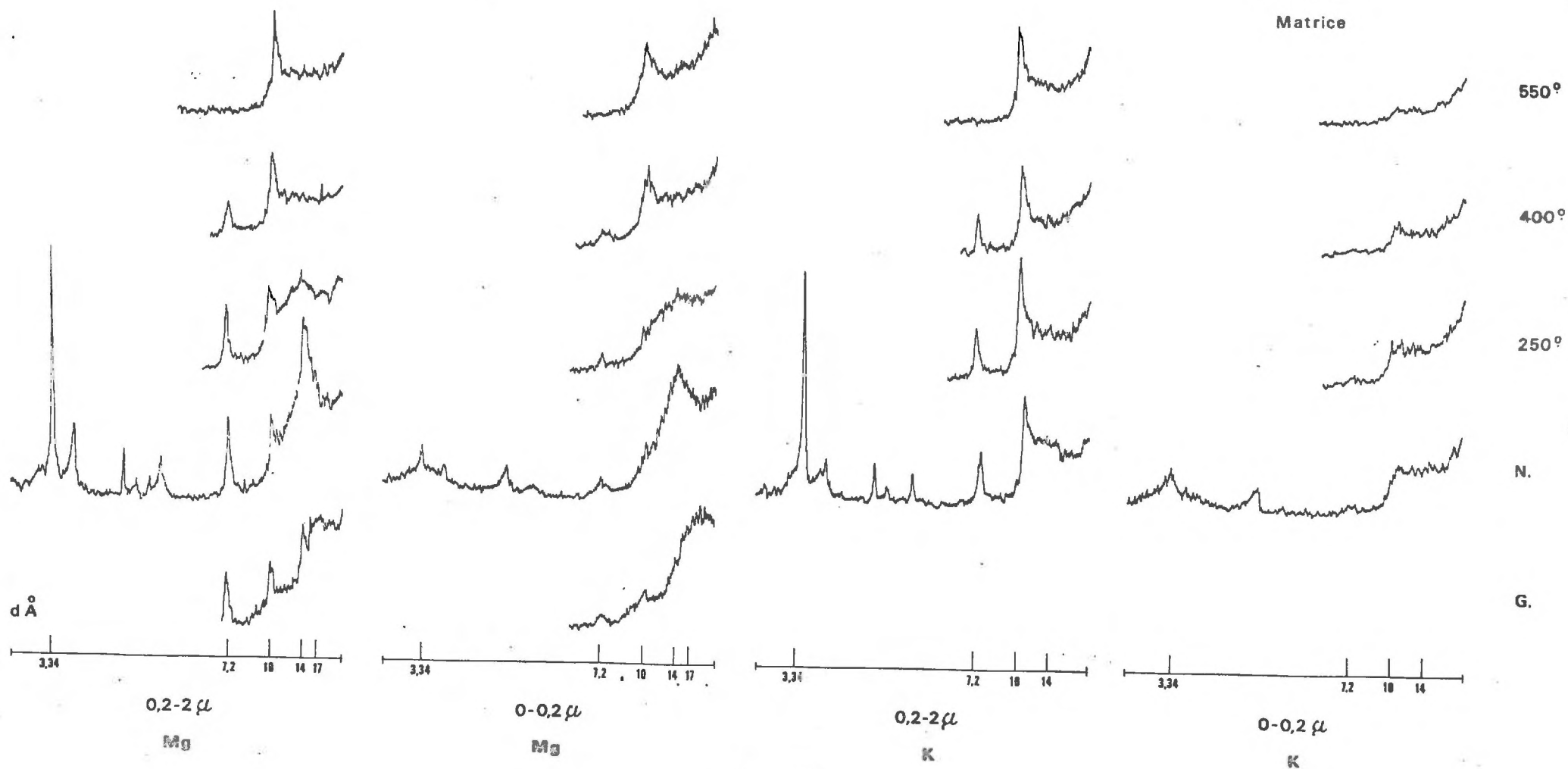


Fig- 78

Revêtements.

Fraction 0-0,2 μ .

L'échantillon Mg donne une réflexion très large à partir de 14 Å. Rien de bien discernable n'apparaît après gonflement au glycol. Le chauffage à 250° provoque une fermeture très faible, qui s'améliore assez nettement à 400 et 550°.

Après traitement au potassium une réflexion très large à partir de 10 Å apparaît. Le chauffage ne provoque pratiquement pas de fermeture, même à 550°.

Fraction 0,2-2 μ .

Le diffractogramme Mg montre une réflexion très large à partir de 10 Å, avec un pic plus intense à 14 Å, ainsi que d'autres à 7,2 et 3,34 Å. Le glycol provoque un léger déplacement vers des distances basales plus grandes, avec différenciation d'un pic, faiblement marqué, à 10 Å. Le chauffage progressif amène une fermeture très incomplète, même à 550°.

L'échantillon K montre une réflexion assez nette à 10 Å, avec extension vers 14, ainsi que la présence de quartz et kaolinite. Les résultats du chauffage sont les suivants : - à 250° : fermeture assez nette - à 400° : réflexion intense à 10 Å, fermeture quasi complète - à 550° : pas de modification sensible.

Matrice.

Fraction 0-0,2 μ .

On note, après traitement Mg, une réflexion large à 14 Å, avec un pic léger à 10 Å ; des traces sont présentes à 7,2 et vers 3,3 Å. Le glycol provoque un gonflement jusqu'à 16/17 Å. Le chauffage à 250° montre un étalement de la réflexion ; à 400° la fermeture est incomplète avec apparition d'une réflexion à 10 Å ; à 550° on ne note aucune variation.

Le diffractogramme K montre une réflexion très large à 10 Å et plus. Le chauffage ne provoque pratiquement aucun changement jusqu'à 550°.

Fraction 0,2-2 μ .

Des réflexions nettes à 14, assez nettes à 10, 7,2 et 3,34 Å sont présentes sur le diagramme de l'échantillon Mg. Le traitement au glycol provoque un déplacement avec maximum vers 17/18 Å. On observe, au chauffage : - à 250° : un étalement avec réflexion peu marquée à 14 et 10 Å - à 400 et 550° : une fermeture incomplète avec traces très légères à 14 Å.

L'échantillon K montre une réflexion à 10 Å assez bien différenciée, avec traces de quartz et kaolinite. Le chauffage provoque une assez bonne fermeture dès 250°, sans changement notable à 400 et 550°.

Conclusions.

Revêtements. Dans la fraction fine se trouvent vraisemblablement des micropores intergrades gonflants, tandis que l'argile grossière contient en plus de l'illite, de la kaolinite et du quartz.

Matrice. Les résultats sont assez analogues, avec cependant une meilleure différenciation de l'illite et de la kaolinite dans l'argile grossière.

- PROFIL V10 -

Revêtements - Dégradation - Matrice.

Ce profil a été étudié en détails au chapitre précédent. Rappelons qu'il représente un stade de transition vers les sols plus évolués, du type dégradé, que nous allons traiter dans les pages qui suivent.

Revêtements argileux.

Fraction 0-0,2 μ .

On distingue sur le diagramme Mg une réflexion large, en bande, avec maximum à 14 Å et peu de différenciations à 10 et 7,2 Å. Le gonflement provoque un déplacement vers 16 Å, avec un léger maintien à 14 Å, apparaissant après traitement au citrate.

Le traitement K montre une réflexion large à partir de 10 Å. Les chauffages provoquent une fermeture progressive mais toujours très incomplète. Notons l'apparition d'un petit maximum à 14 Å après chauffage à 400°.

Fraction 0,2-2 μ .

L'échantillon Mg montre un maximum très marqué à 14,5 Å, une réflexion légèrement différenciée à 10 et des traces peu nettes à 7,2 et 3,34. Le traitement au glycol provoque un étalement du pic à partir de 14 vers des distances basales plus grandes. Le traitement au citrate permet l'apparition d'une réflexion peu nette vers 14/16 Å.

L'échantillon traité au KCl montre une réflexion très large à 10 Å et au-dessus, avec un maximum faiblement marqué à 10/11 Å, des traces sont discernables vers 7,2 et 3,3 Å. Le chauffage à 250° amène une fermeture partielle qui ne semble plus se modifier aux températures supérieures.

Dégradation.

Fraction 0-0,2 μ .

L'examen du diffractogramme Mg montre une réflexion faible à 7,2 Å et un maximum à 14 Å, assez flou, étalé, sans séparation nette à 10 Å. Le traitement au glycol provoque un déplacement de 14 à 16-18 Å. Le chauffage à 250° nous montre un étalement vers 10 Å, sans maximum bien marqué, à 400° la fermeture reste toujours partielle, à 550° elle est plus prononcée mais cependant toujours très incomplète.

Le traitement au potassium donne un diffractogramme où une réflexion floue à maximum vers 10/12 Å est présente ainsi qu'un pic peu marqué à 7,2 Å. Les chauffages successifs à 250, 400 et 550° n'amènent qu'une fermeture très partielle.

Fraction 0,2-2 μ .

L'échantillon Mg montre un pic excessivement net à 14 Å, un autre bien exprimé à 10, deux autres bien délimités à 7,2 et 3,34 Å. Le traitement glycol permet de discerner une partie différenciée à 14 avec gonflement irrégulier jusqu'à 20 Å avec deux petits maxima à 16 et 18 Å. Le chauffage provoque une fermeture entre 10 et 14 Å, avec une réflexion très nette à 14 Å. A 400 et 550° on constate une fermeture très avancée, mais des réflexions à 14 et 12 Å restent présentes.

Le traitement K permet de discerner essentiellement une réflexion très nette à 10, une autre modérée à 14 Å. Au chauffage, la réflexion à 14 Å se maintient légèrement à 250 et 400°.

-SBL-
VERVINS 10

Revêtements

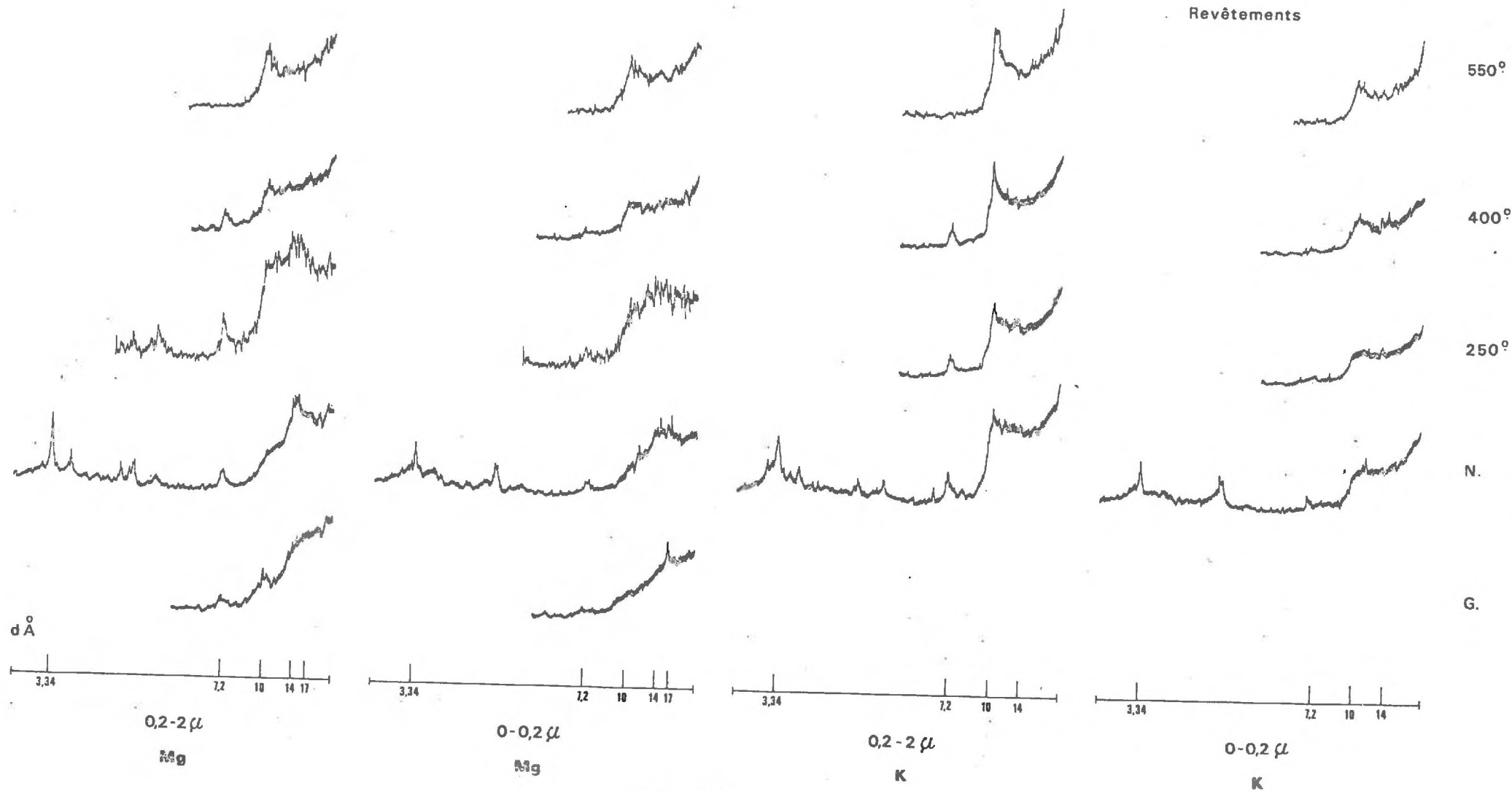


Fig. 79

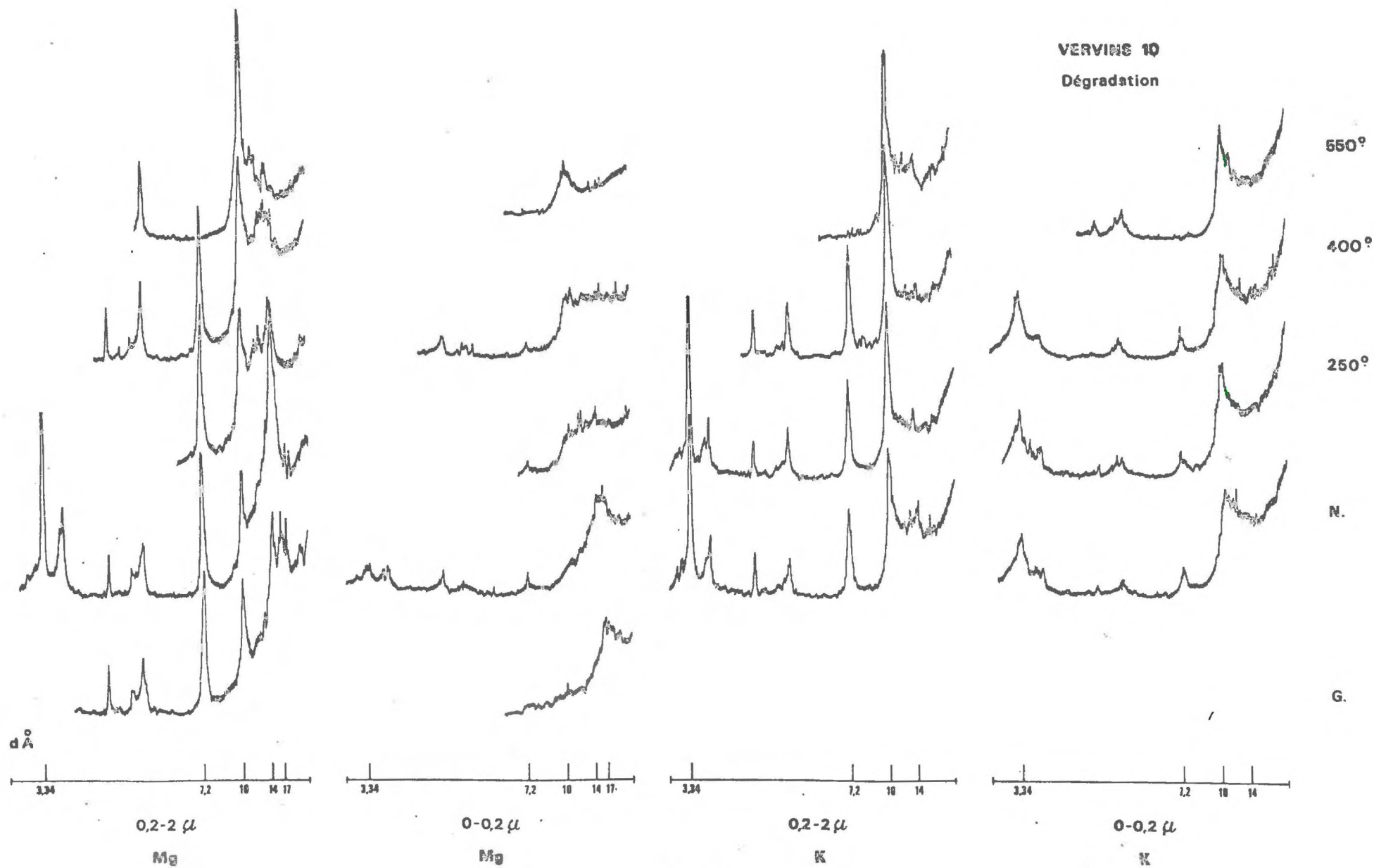


Fig. 80

- SBL -
 VERVINS 10
 Matrice

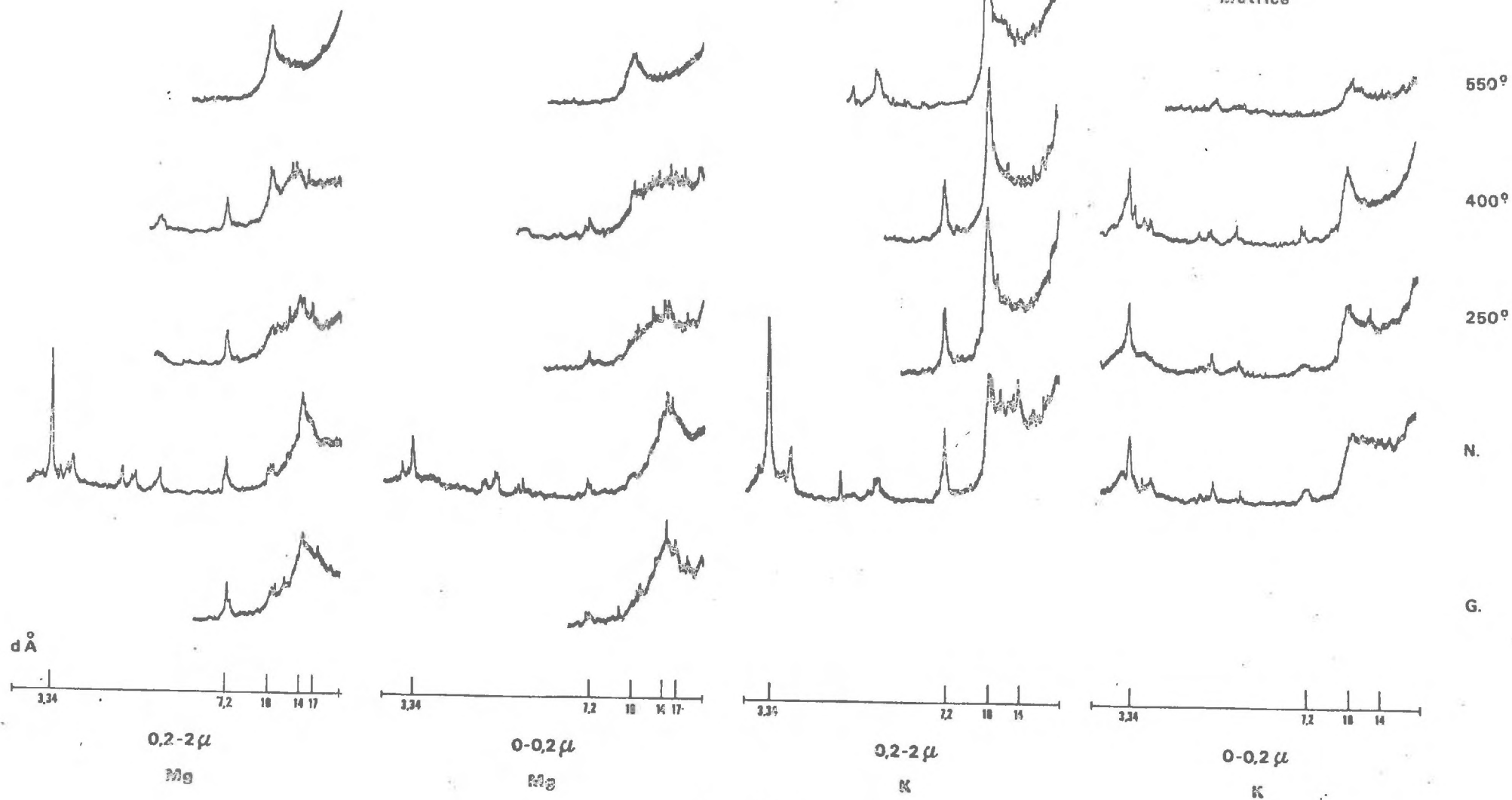


Fig. 81

Matrice.

Fraction 0-0,2 μ .

On constate tout d'abord la présence d'une réflexion très large à 14/15 Å, avec très peu de dissociation à 10 Å. Le glycol ne provoque pratiquement pas de gonflement. Au chauffage se présente un maximum à 14/15 Å malgré une légère fermeture qui va en s'accroissant à 400° ; à 550° la fermeture est très incomplète sur 10 Å.

Au potassium, une réflexion très large et floue apparaît vers 10 Å et plus. Le chauffage provoque une faible fermeture à 250°, qui s'accroît à 400° tout en demeurant incomplète. On note à 550° une fermeture moins bonne qu'à 400°, ce qui constitue une particularité.

Fraction 0,2-2 μ .

L'échantillon Mg se présente de manière assez analogue au précédent, la réflexion à 14 Å étant cependant un peu plus nette. Peu de gonflement s'observe au traitement glycol, tandis que le chauffage provoque à 250° une légère fermeture avec maintien à 14/15 Å d'un maximum relatif. A 400° la fermeture est plus prononcée avec dissociation à 10 Å et réflexion large à 14. A 550° la fermeture est pratiquement complète sur une réflexion à 10 Å étalée cependant à la base.

Le traitement K montre une réflexion large avec deux maxima à 10 et 14 Å, et deux réflexions nettes et très nettes respectivement à 7,2 et 3,34 Å. Le chauffage à 250° amène une bonne fermeture avec cependant une faible réflexion à 14 Å, tandis qu'à 400° et 550° la fermeture est meilleure encore, avec disparition des traces à 14 Å.

Conclusions.

Revêtements argileux. La fraction 0-0,2 μ comporte des quantités assez faibles de kaolinite et de quartz, relativement peu d'illite, mais une quantité assez importante de minéraux gonflants du type 2/1.

La kaolinite, le quartz et l'illite sont plus abondants dans la fraction grossière, toujours associés à des minéraux gonflants.

Dégradation. La fraction fine contient peu de kaolinite, mais essentiellement des minéraux gonflants intergrades du type montmorillonite.

La fraction grossière est riche en quartz, kaolinite, illite, et présente, à côté d'une certaine quantité de minéraux gonflants, un minéral à 14 Å du type vermiculite alumineuse ou chlorite secondaire.

Matrice. Très peu de minéraux gonflants sont présents dans les deux fractions envisagées.

Kaolinite et illite sont présentes, particulièrement dans la fraction grossière, accompagnées par un minéral à 14 Å non gonflant.

Ces déterminations nous confirment donc une certaine évolution de ce sol au plan minéralogique, déjà évoquée plus haut (cf. 4.31.).

Kaolinite et illite sont présentes dans tous les échantillons, en moindres proportions cependant dans l'argile fine, et ce particulièrement dans les revêtements argileux. Des minéraux intergrades gonflants sont présents, en faible quantité cependant dans la matrice.

Un minéral à 14 Å non gonflant se retrouve pratiquement partout, peut-être s'agit-il d'un peu de chlorite héritées.

Enfin, l'horizon A₂ et les petites plages de dégradation montrent la formation peu avancée d'intergrades du type vermiculite A1.

4.43.3. SOLS LESSIVES A PSEUDOGLEY

Les échantillons des profils R32 et CT11 ont été analysés. Ce sont des sols qui présentent des caractères bien affirmés d'hydromorphie, avec un début de dégradation de l'horizon argillique.

Les résultats correspondant aux revêtements du profil CT11 sont présentés en annexe.

- PROFIL R32 -

Revêtements.

Les revêtements du profil Rozoy 32 sont très peu déferrifiés malgré un début d'hydromorphie du profil qui représente un sol lessivé à pseudogley de profondeur.

Fraction 0-0,2 µ.

L'échantillon Ilg présente une réflexion très nette à 14/15 Å, avec une légère inflexion à 10 et des traces à 7,2 et 3,3 Å. Le traitement au glycol provoque un déplacement net à 17 Å et plus. Un étalement s'observe à 250°, à 400° la réflexion à 10 est distincte, la fermeture est modérée.

Après traitement au potassium se présente une réflexion large à partir de 10, mais avec maximum bien dessiné à 10 Å. Le chauffage à 250° provoque une fermeture très avancée, à 400 et 550° l'amélioration est faible.

Fraction 0,2-2 µ.

Le diagramme Mg montre une réflexion très nette à 14 Å, une faible différenciation à 10, et des pics bien dessinés à 7,2 et 3,34 Å. Le traitement au glycol provoque un déplacement très net avec un maximum à 16/17 Å. A 250° un étalement ne marque pas d'inflexion notable à 10 Å, à 400° la fermeture est pratiquement complète, pas de changement sensible à 550°.

Le diffractogramme K présente une réflexion très nette à 10, d'autres correspondant au quartz et à la kaolinite. Le chauffage à 250° provoque une fermeture pratiquement complète, à 400 et 550° on ne note plus aucune modification particulière.

Conclusions.

La fraction fine semble donc contenir essentiellement des minéraux gonflants du type montmorillonite, avec très peu d'illite, de kaolinite et de quartz.

La fraction grossière contient moins de minéraux gonflants mais plus d'illite, de kaolinite et de quartz.

ROZOY 32
Revêtements

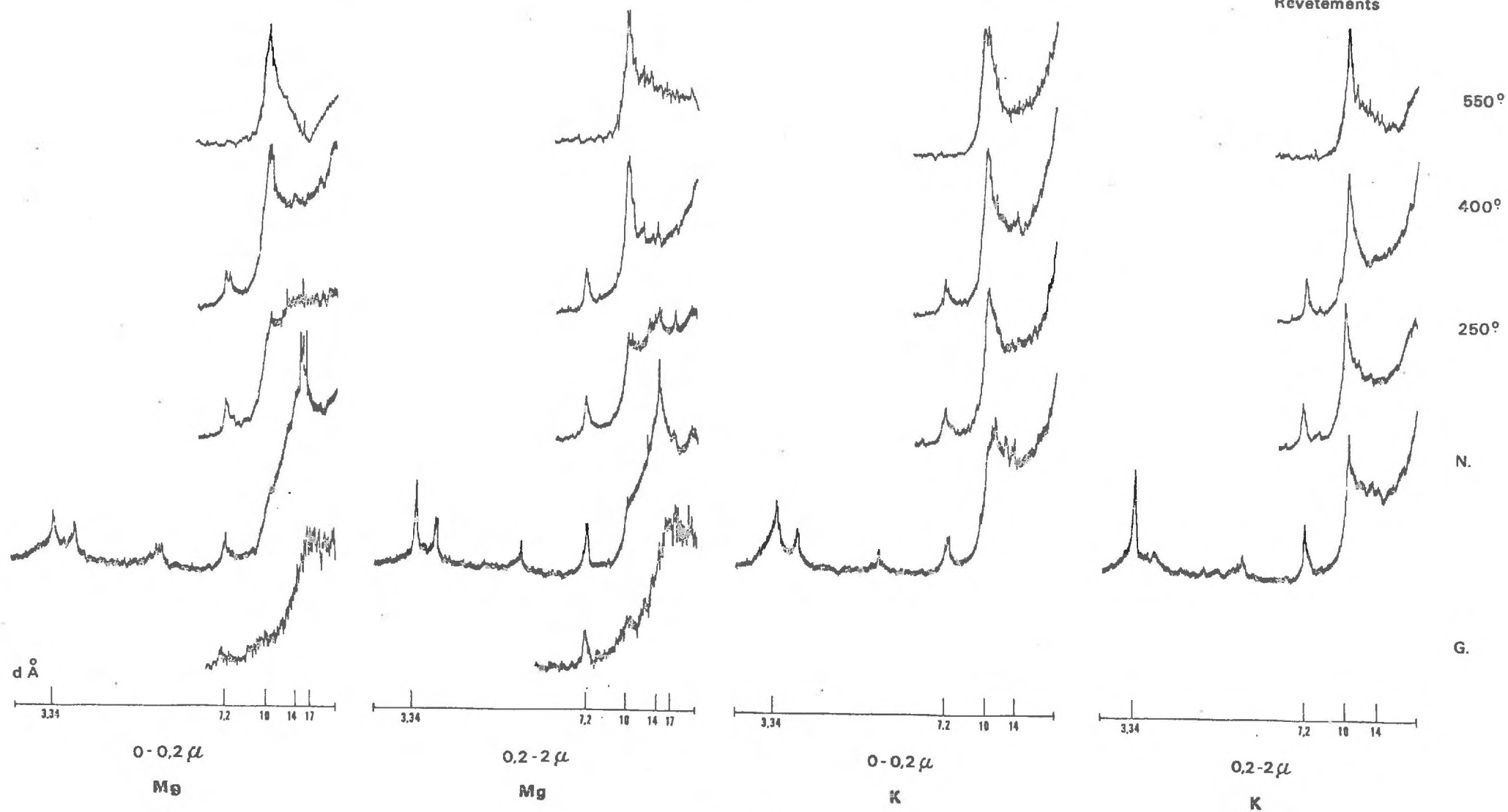


Fig. 82

4.43.4. SOLS LESSIVES GLOSSIQUES

Les profils Montmirail 31, 32 et 15 (M31, M32, M15) ainsi que Château-Thierry 22 (CT22), ont été étudiés en détails au chapitre précédent. Nous allons pouvoir préciser nos premières interprétations minéralogiques grâce à l'analyse des échantillons complémentaires prélevés. Les données du profil M15 sont présentées en annexe.

- PROFIL M31 -

Revêtements - Matrice.

Le profil Montmirail 31 est très fortement évolué, il représente un des stades les plus dégradés que nous avons pu observer.

Les échantillons étudiés correspondent à des revêtements d'illuviation secondaire et à la matrice qui leur est liée dans le profil.

Revêtements.

Fraction 0-0,2 μ .

Le diffractogramme Mg montre une réflexion très large à partir de 10 Å, avec maximum à 13/14 Å. Le gonflement au glycol provoque le déplacement très net à 17 Å et plus, avec maximum relatif à 17 Å. Les chauffages à 250° et 400° n'amènent pratiquement pas de fermeture.

Le diagramme K est très peu différencié, on observe un étalement progressif à partir de 10 Å, ainsi que des traces à 3,34 et vers 7 Å.

Fraction 0,2-2 μ .

L'échantillon fournit un diagramme Mg où une réflexion très large à 10 Å et plus est présente ; on observe un maximum très net à 10 et un autre moins bon à 14 Å ; des réflexions à 7,2 et 3,34 Å sont également très nettes. Le traitement au glycol montre un déplacement à 17 Å et plus, avec un léger accident à 14 Å.

Les chauffages apportent les modifications suivantes : - à 250° : fermeture légère sur 10 Å, avec un maximum très net à 14 Å - à 400° : le maximum à 14 Å disparaît - à 550° : la fermeture est partielle sur 10 Å.

Le diagramme K montre une réflexion assez nette à 7,2 et 10 Å et très nette à 3,34 Å.

Matrice.

Fraction 0-0,2 μ .

L'échantillon Mg fournit un diagramme à réflexion large centrée sur 15/16 Å, sans différenciation à 10, avec traces de quartz et kaolinite. Le traitement au glycol provoque un déplacement relativement peu important vers 16 à 18 Å. Après chauffage à 250° on observe un étalement avec maximum relatif vers 13/15 Å ; à 400° la fermeture s'ébauche avec apparition d'une réflexion à 10 Å : à 550° la fermeture est meilleure mais toujours très incomplète.

Le diffractogramme K montre une réflexion à partir de 10 Å. Les chauffages à 250° et 400° provoquent une fermeture sur un maximum à 10 Å ; à 550° la fermeture est meilleure. Remarquons qu'après un chauffage de deux heures à 550° un élargissement de la réflexion à 10 Å apparaît.

Fraction 0,2-2 μ .

Une réflexion très large à maximum sur 14/15 Å se présente sur le résultat de l'analyse Mg, accompagné d'une réflexion à 10 moyenne et d'autres très nettes à 7,2 et 3,34 Å. Un gonflement jusqu'à 16/18 Å intervient après traitement au glycol, avec différenciation meilleure du pic à 10 Å. Le chauffage à 250° montre le maintien d'un maximum à 14, à 400° ce maximum disparaît tandis que la réflexion à 10 Å se marque bien ; à 550° la fermeture est nettement meilleure.

Le diffractogramme K montre un maximum très net à 10 Å, avec réflexion à 7,2 et 3,34 Å. A 250° la fermeture paraît quasi complète.

Remarque : Des traces de feldspaths semblent présentes dans la fraction grossière.

Conclusions.

Revêtements. La fraction fine semble contenir une majorité de minéraux gonflants très désordonnés, accompagnés de très peu d'illite, kaolinite et quartz. L'argile grossière contient des minéraux gonflants du type montmorillonite, de l'illite, de la kaolinite, du quartz en quantité importante et un minéral du type vermiculite intergrade, probablement alumineuse.

Matrice. Ici également des minéraux intergrades partiellement gonflants paraissent constituer la majorité de la fraction fine, en association avec de faibles quantités d'illite, kaolinite et quartz.

La fraction grossière contient des minéraux gonflants, de l'illite, de la kaolinite, du quartz et un peu de vermiculite Al.

- PROFIL M32 -

Revêtements - Matrice.

Ce profil est un des plus dégradés que nous ayons étudiés.

Deux types d'échantillons ont été prélevés : revêtements argileux et matrice. Nous en avons donné les résultats de l'analyse granulométrique et du fer libre dans le premier tableau de ce chapitre.

Revêtements.

Fraction 0-0,2 μ .

Le diagramme Mg montre une réflexion très large à partir de 10 Å, avec un maximum vers 15. Quelques traces de quartz et kaolinite sont présentes. Le diagramme K montre une très légère réflexion à 10 Å s'étalant vers les distances plus grandes ainsi que des traces à 7,2 et 3,34 Å.

Fraction 0,2-2 μ .

Comme pour la fraction plus fine, une réflexion très large se présente sur le diagramme Mg à partir de 10 Å, avec deux maxima relatifs à 10 et 14,5 Å ; deux autres sont très nettes à 7,2 et 3,34 Å.

Le diagramme K montre une réflexion peu marquée à 10 Å avec un palier vers les distances plus grandes, ainsi que d'autres assez nette à 7,2 et très nette à 3,34 Å. Le chauffage à 550° amène une fermeture partielle avec réflexion assez bonne à 10 Å.

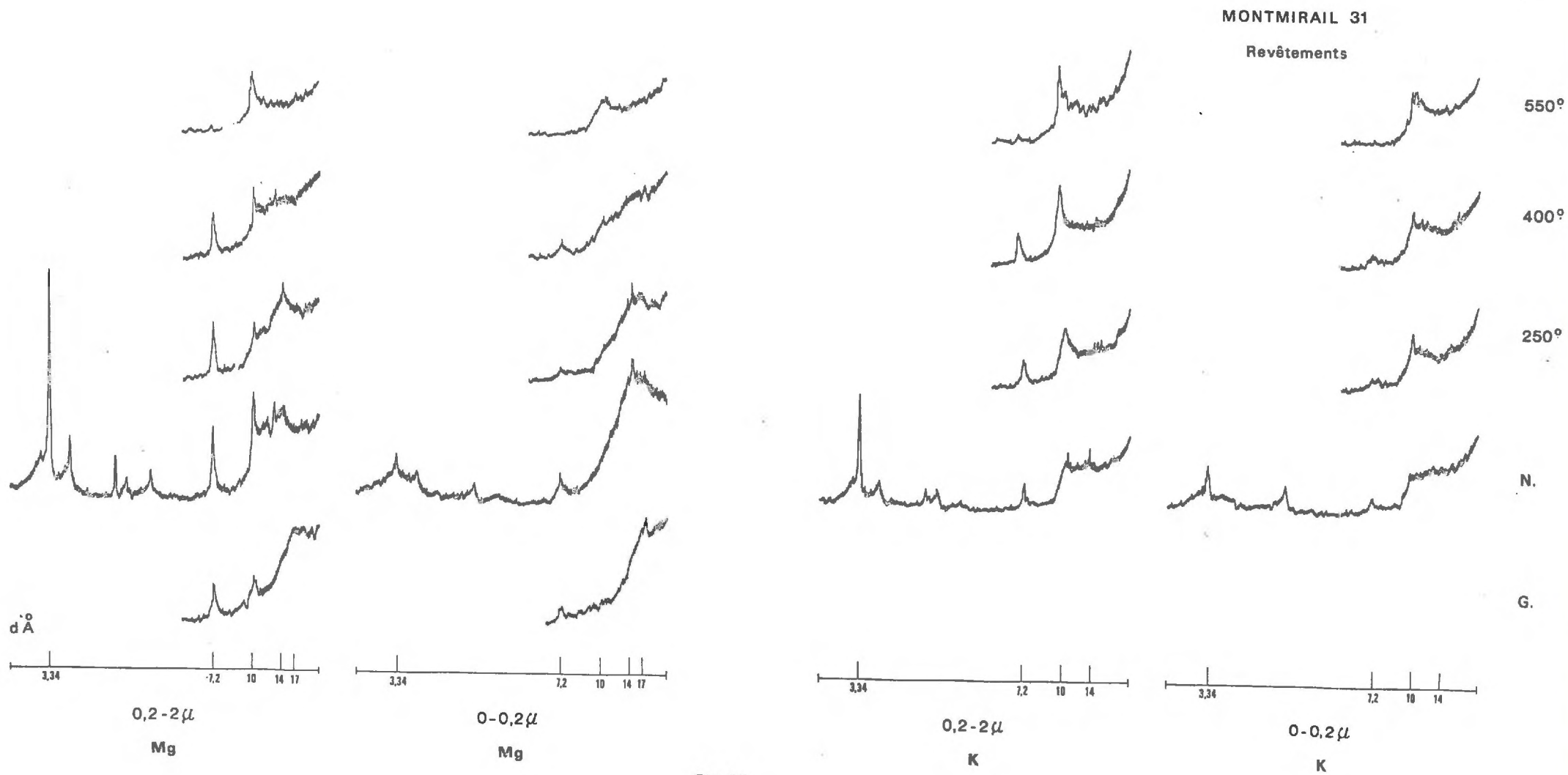


Fig 83

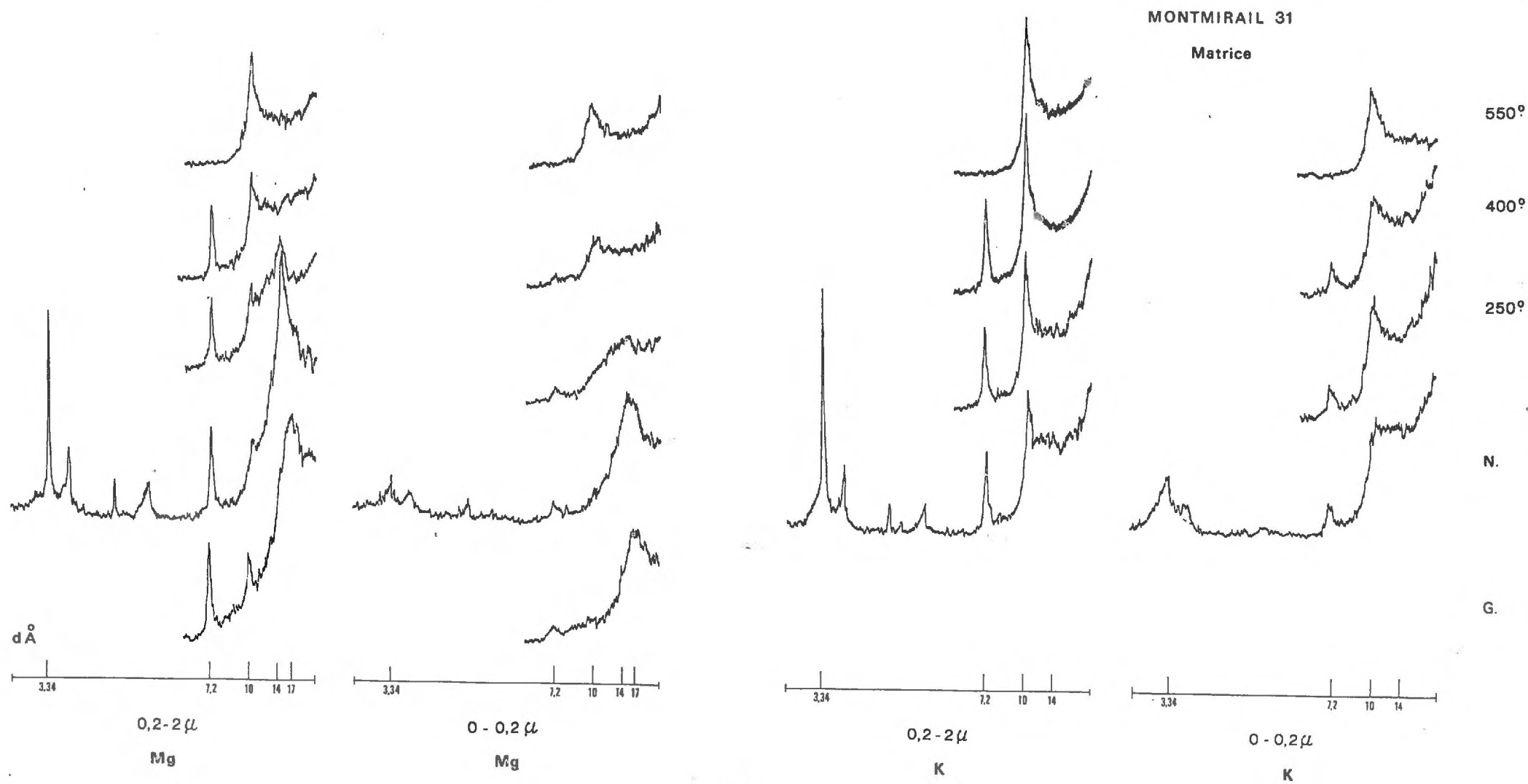


Fig 84

- S L G -
MONTMIRAIL 32
 Revêtements

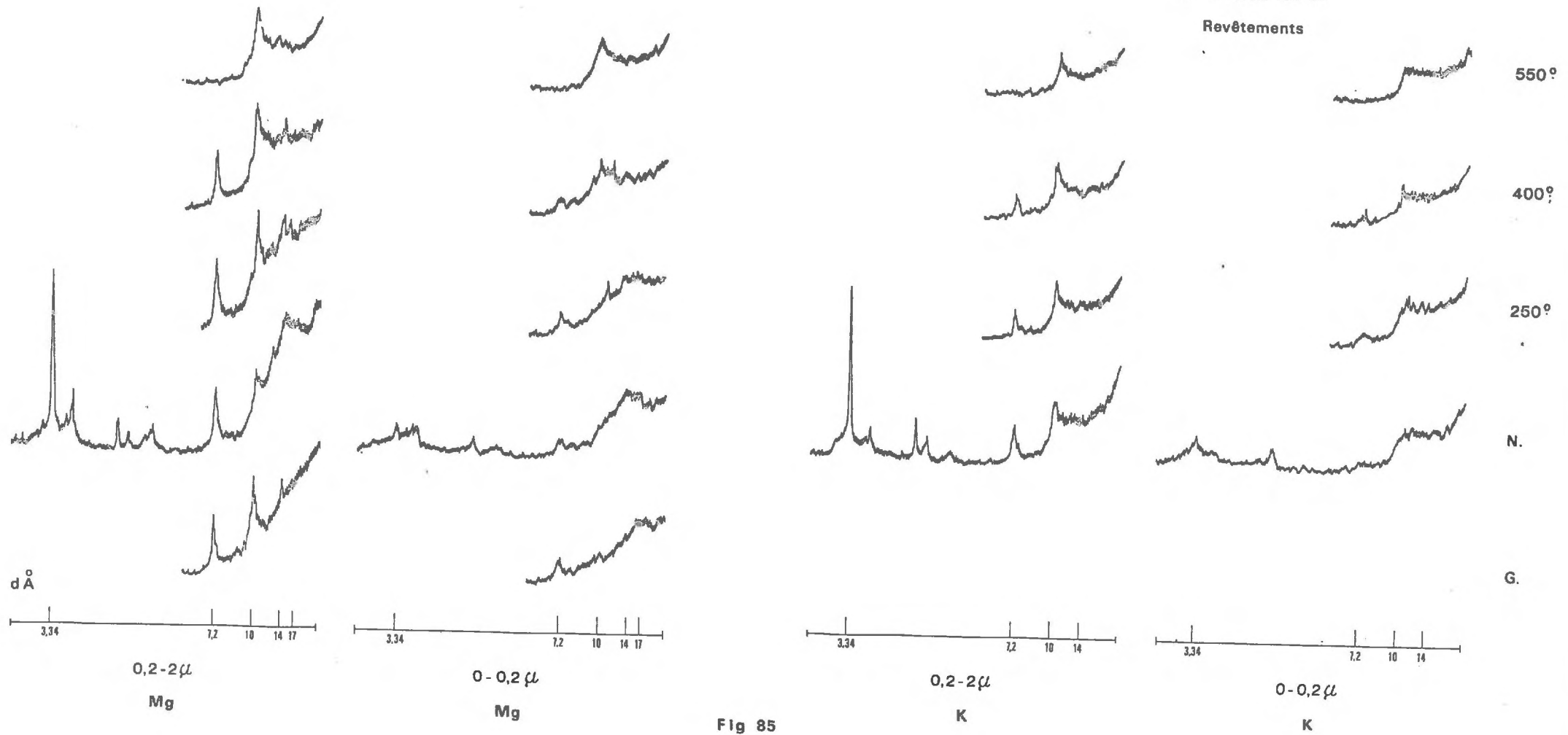


Fig 85

- S L G -
MONTMIRAIL 32

Matrice

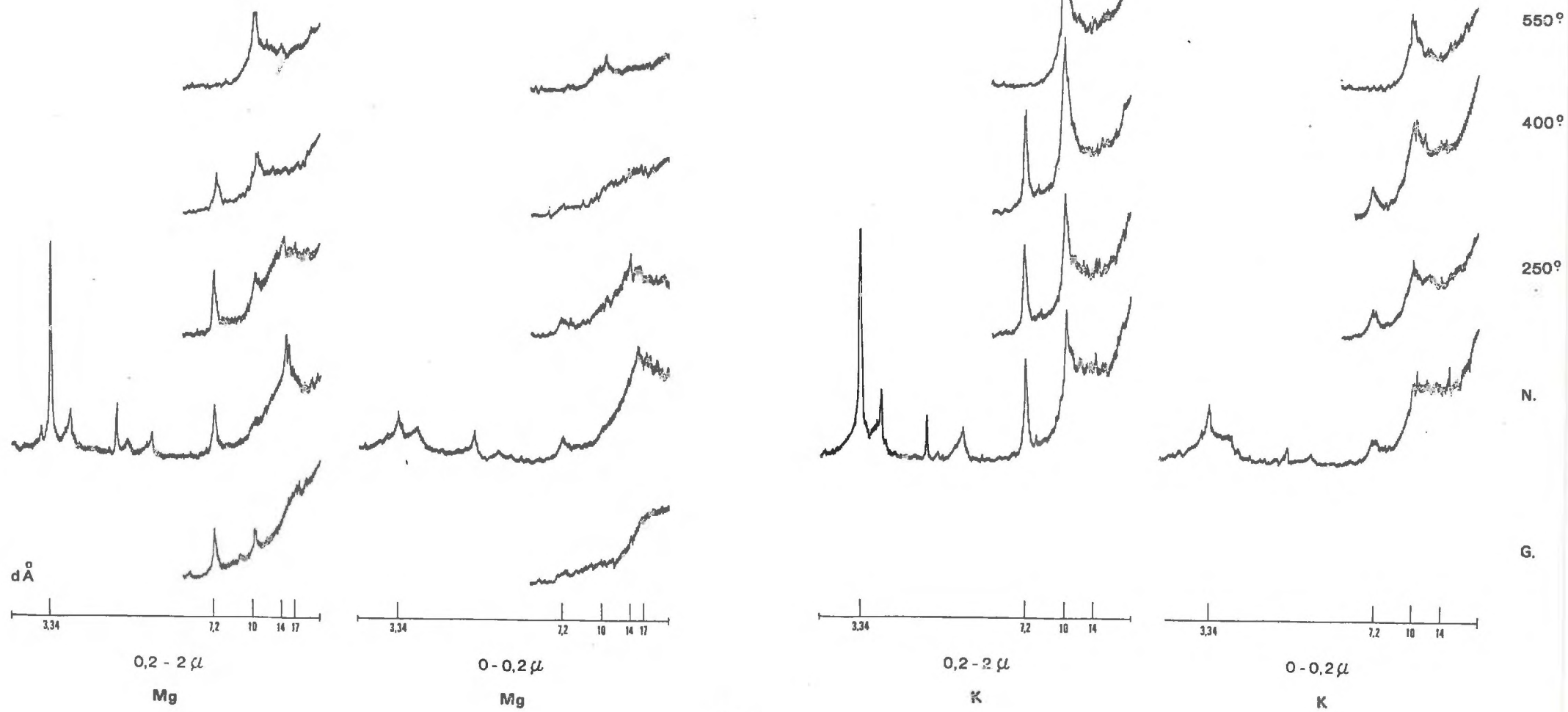


Fig 86

Matrice.

Fraction 0-0,2 μ .

L'échantillon Mg montre une réflexion très large à partir de 12 Å, avec maximum peu prononcé vers 15/17 Å ; des traces sont décelables à 7,2 et vers 3,34 Å. Après traitement au glycol on constate un "halo" débutant à 14, avec maximum à 17/18 Å. Le chauffage à 250° provoque peu de changement, le maximum demeurant à 14 Å ; à 400° nous avons un étalement sans maximum prononcé.

Le diagramme K montre une réflexion large à partir de 10 Å, sans maximum prononcé : et avec des traces à 7,2 et 3,3 Å. On observe, au chauffage :
- à 250° : une légère fermeture, avec début de différenciation à 10 Å - à 400° : une fermeture un peu meilleure, avec une réflexion à 10 plus nette - à 550° : amélioration de la fermeture.

Fraction 0,2-2 μ .

Après traitement Mg, une réflexion très large à partir de 10 Å se présente, mais avec un maximum très net à 14 Å ; d'autres réflexions sont également marquées à 7,2 et 3,34 Å. Un gonflement apparaît après traitement au glycol : étalement avec différenciation à 10 et maximum vers 17/18 Å. Le chauffage à 250° apporte une fermeture légère, avec traces de réflexion à 10 et maximum à 14 Å.

Le diffractogramme de l'échantillon K montre une réflexion large à partir de 10, avec un maximum très net à 10 Å, d'autres réflexions sont nettes à 7,2 et 3,34 Å. Le chauffage à 250° amène une fermeture pratiquement complète.

Conclusions.

Revêtements. Comme pour les cas précédents l'argile fine contient une dominance de minéraux gonflants avec un peu d'illite, kaolinite et quartz.

L'argile grossière présente nettement plus d'illite, kaolinite, quartz et un peu de vermiculite alumineuse.

Matrice. Intergrades partiellement gonflants, un peu d'illite, kaolinite et quartz caractérisent la fraction fine.

La fraction grossière est constituée par un mélange de minéraux de type montmorillonite, illite, et kaolinite, en mélange avec une quantité assez importante de quartz.

- PROFIL CT22 -

Revêtements - Dégradation - Matrice.

Ce sol lessivé dégradé à pseudogley, à tendance "planosolique", a été étudié de manière détaillée au chapitre précédent. Nous y avons évoqué les caractéristiques d'échantillons particuliers : revêtements hydromorphes, plages de dégradation, matrice.

Revêtements argileux.

Fraction 0-0,2 μ .

Le diagramme Mg montre un petit pic à 10 Å, ainsi qu'une réflexion large étalée entre 14 et 18 Å, avec un maximum à 16. Le traitement au glycol provoque un déplacement compris entre 16 et 20 Å, avec un léger maintien à 14.

A 250° on observe un étalement de la réflexion ; à 400° la fermeture est légère mais très incomplète ; elle est plus nette à 550°, la réflexion à 10 Å restant cependant très large. Nous verrons que cette fermeture est beaucoup moins bonne que celle que nous enregistrerons dans la fraction plus grossière.

Le traitement K confirme ce que nous venons d'exposer : mauvaise fermeture sans amélioration particulière aux températures élevées.

Fraction 0,2-2 µ.

Réflexions nettes à 3,34 - 7,2 et 10 Å, large entre 14 et 17/18 Å. Au glycol, une partie ne gonfle pas et reste à 14, une autre se déplace à 17 Å. Le chauffage montre : - à 250° : peu de modifications - à 400° : fermeture vers 10 Å - à 550° : fermeture beaucoup plus complète avec réflexion nette à 10 Å.

Le traitement K montre les réflexions du quartz et de la kaolinite, une réflexion large à 10 Å et une petite à 14 Å. Le chauffage à 250° provoque peu de variations : faible fermeture avec maintien de la légère réflexion à 14 Å. A 400° cette dernière a disparu, tandis qu'après 550° la fermeture est incomplète sur 10 Å.

Dégradation.

Fraction 0-0,2 µ.

Le diffractogramme Mg est très flou, les réflexions du quartz et de la kaolinite sont peu nettes, une réflexion très large se présente à 14,5/15 Å. Le glycol provoque un déplacement vers 16 Å. Après chauffages successifs à 250 - 400 et 550° on constate une fermeture partielle des minéraux.

L'échantillon K montre une réflexion très large à 10 Å et plus, ainsi que d'autres assez faibles à 3,34 et 7,2 Å. La fermeture est très incomplète après les chauffages successifs.

Fraction 0,2-2 µ.

Diagramme Mg par contre très clair, avec réflexions très nettes à 7,2 - 10 et 14,5 Å. Le traitement au glycol ne provoque pratiquement aucun gonflement : maximum à 14,5 Å. Le chauffage donne les résultats suivants : - à 250° : fermeture sur une réflexion bien individualisée à 10 Å, maintien très net à 14 Å - à 400° : fermeture de la majeure partie sur 10, traces à 14 Å - à 550° : fermeture plus complète, apparition d'une réflexion plus nette à 14 Å.

Le diffractogramme de l'échantillon K montre des réflexions très nettes à 7,2 et 10 et 14 Å. A 250°, la fermeture est partielle avec réflexion à 14 ; à 400° la fermeture est pratiquement complète, aucune modification n'est décelable après chauffage à 550°.

Matrice.

Fractions 0-0,2 µ.

Nous constatons une grande analogie avec ce que nous avons observé pour les autres fractions d'argiles fines : peu de quartz, de kaolinite et d'illite, présence d'édifices gonflants désordonnés.

Fractions 0,2-2 µ.

Le diffractogramme Mg montre des réflexions nettes à 3,34 - 7,2 et 14 Å, peu différenciée à 10 Å. Le glycol provoque un gonflement très prononcé étalé entre 17 et 10 Å, alors qu'une réflexion à 14 Å est maintenue. Le chauffage provoque un élargissement de la réflexion principale vers 10 Å avec un maximum à 14 cependant maintenu jusqu'à 250°.

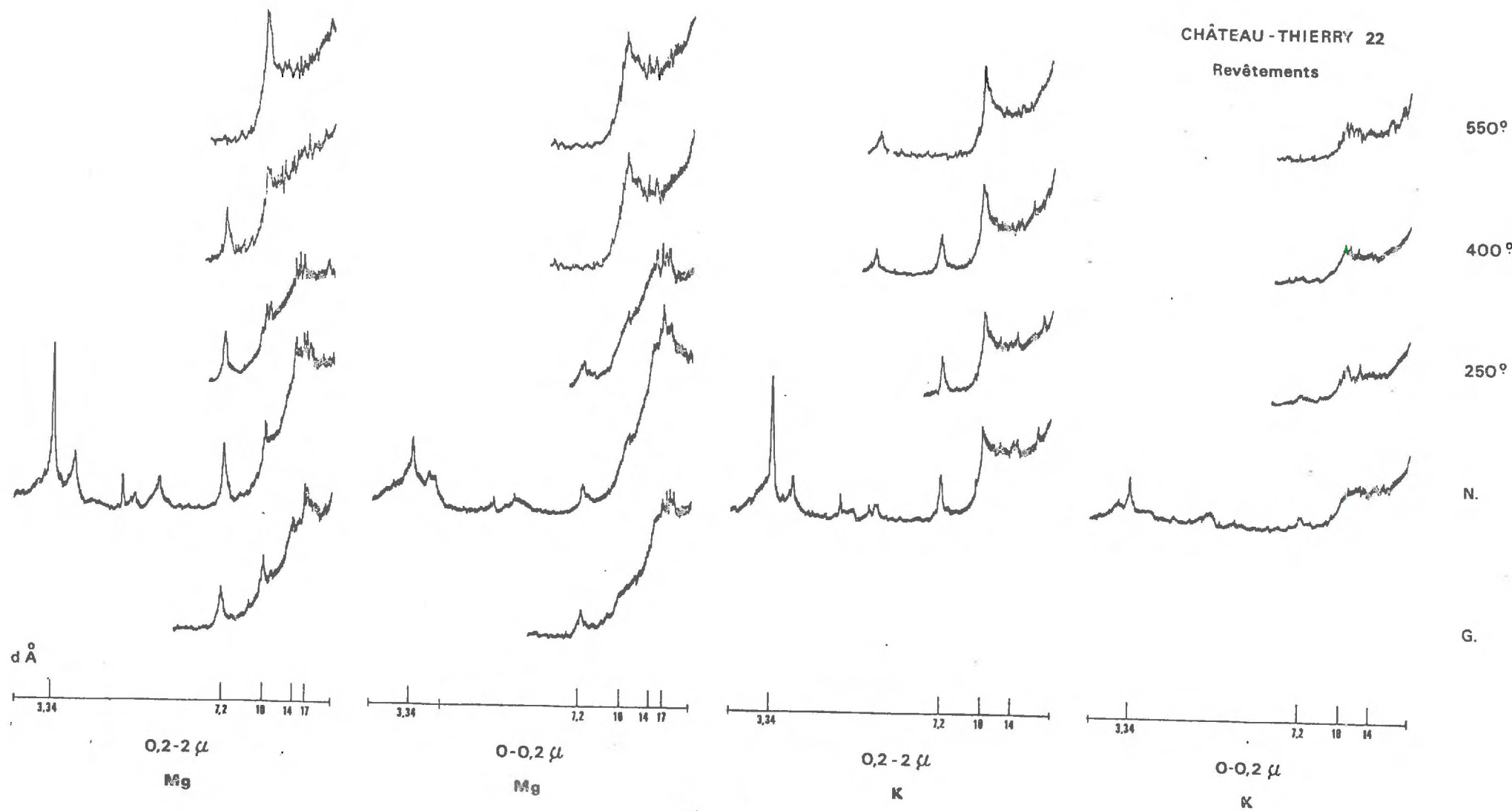


Fig. 87

-SLG-
CHÂTEAU-THIERRY 22
Dégradation

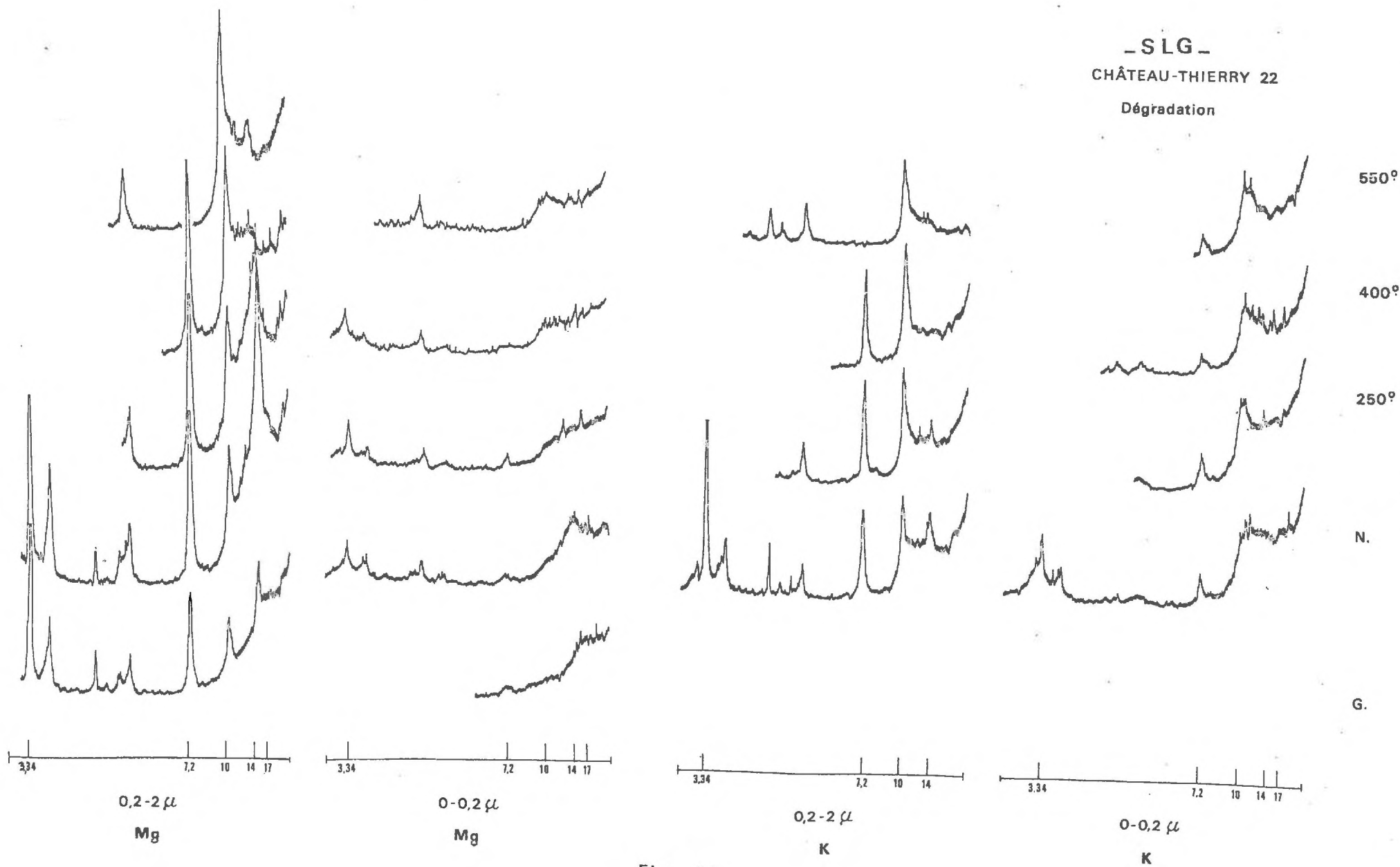


Fig. 88

CHÂTEAU - THIERRY 22

Matrice

550°

400°

250°

N.

G.

$d \text{ \AA}$



0,2-2 μ

Mg



0,2-2 μ

K

Fig. 89

Le diffractogramme de l'échantillon K est assez analogue au Mg, mais avec une réflexion large entre 10 et 14 Å. La fermeture au chauffage est bonne dès 250°, très bonne dès 400°, avec une réflexion cependant toujours très large à la base.

Conclusions.

Revêtements argileux. La fraction argileuse fine contient donc essentiellement un peu d'illite en association avec des édifices 2/1 partiellement gonflants et mal définis.

L'argile grossière contient du quartz, de la kaolinite, de l'illite, des minéraux gonflants et un peu de vermiculite légèrement alumineuse. La netteté des réflexions, donc la cristallinité, apparaît nettement moins bonne que pour les échantillons de plages dégradées.

Dégradation. L'argile fine comporte très peu de quartz et de kaolinite, à côté de minéraux plus ou moins gonflants vraisemblablement mal cristallisés et interstratifiés.

L'argile grossière contient en quantité notable : quartz, kaolinite, illite, ainsi que des minéraux à 14 Å non gonflants et assez résistants : vermiculite Al et probablement chlorite secondaire.

La qualité des pics obtenus pour cette fraction indique une très bonne cristallinité des minéraux présents.

Matrice. L'argile fine comporte très peu de quartz, peu d'illite et de kaolinite, mais une assez grande quantité d'édifices gonflants désordonnés.

La fraction grossière contient plus de quartz, de kaolinite et d'illite, des minéraux gonflants mieux cristallisés, ainsi qu'un minéral à 14 Å non gonflant, type chlorite secondaire ou vermiculite Al.

Les fractions argileuses fines montrent dans les trois cas une dominance d'édifices gonflants peu définis, associés à très peu de quartz, kaolinite et illite. Les fractions grossières, par contre, présentent toutes une certaine teneur en quartz, kaolinite, illite et minéraux gonflants, ainsi qu'un minéral non gonflant à 14 Å du type intergrade alumineux.

La comparaison des diagrammes permet de constater une cristallinité bien meilleure pour les échantillons provenant des plages dégradées, pour lesquels le minéral à 14 Å est plus stable et mieux exprimé.

On constate donc, d'une manière générale, la présence sur tout le solum de minéraux du type vermiculite alumineuse, ce qui semblerait justifier un degré d'évolution très avancé de ce sol.

4.43.5. DÉTERMINATIONS DE SURFACES SPECIFIQUES

La détermination des surfaces spécifiques a été effectuée sur la fraction argileuse de trois horizons caractéristiques ainsi que sur des prélèvements plus localisés, grâce à l'obligeance de Monsieur R. Guyot.

Sur la fraction inférieure à 2 microns d'un horizon B_{2t} d'un sol brun lessivé du Soissonnais, cette analyse nous a donné une valeur de 220 m²/g, la C. E. C. de l'argile y étant de 50 à 55 méq. Les minéraux argileux correspondent assez bien à ces valeurs : illite, kaolinite et minéraux intergrades partiellement gonflants.

Quatre échantillons d'un sol lessivé glossique ont fourni les résultats suivants :

- Horizon B₂t : 291 m²/g.

L'augmentation par rapport à la valeur obtenue pour le sol brun lessivé correspond vraisemblablement à la teneur plus importante en minéraux gonflants enregistrée dans ces sols, particulièrement dans la fraction argileuse fine.

- Horizon A₂ : 145 m²/g - 168 m²/g.

Ces deux valeurs très-nettement plus faibles caractérisent probablement les niveaux acidifiés, à C. E. C. de l'argile faible : 25/30 méq., et où les analyses minéralogiques ont décelé, d'une part, une accumulation relative de quartz et de kaolinite, d'autre part, la présence de quantités plus ou moins importantes de minéraux du type vermiculite alumineuse ou chlorite secondaire.

- Revêtements secondaires : 251 m²/g.

Ce résultat n'est pas en opposition avec ceux des analyses minéralogiques : intergrades gonflants dans la fraction fine, tendance à la chloritisation secondaire dans la fraction argile grossière.

Afin de pouvoir comparer deux stades de dégradation progressifs sur la base des données minéralogiques nous avons effectué la mesure des surfaces spécifiques sur des échantillons d'argile fine et d'argile grossière de zones dégradées et de revêtements d'illuviation secondaire.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	<u>Sol lessivé en voie de dégradation</u>	<u>Sol lessivé dégradé glossique</u>
<u>Dégradation</u>		
Fraction 0-0,2 μ	349	357
Fraction 0,2-2 μ	152	95
<u>Revêtements</u>		
Fraction 0-0,2 μ	321	338
Fraction 0,2-2 μ	305	284

On constate tout d'abord que les différences les plus importantes s'observent entre zones dégradées et revêtements pour les fractions argileuses grossières 0,2-2 μ . Les valeurs passent du simple au double pour le sol en voie de dégradation et du simple au triple pour le sol glossique.

Ceci confirme ce que nous venons de remarquer plus haut en ce qui concerne la différence B₂t/A₂ du sol dégradé.

Entre les deux stades d'évolution nous observons :

- d'une part la variation des valeurs pour la fraction argile grossière, particulièrement pour la dégradation : 152/95. Encore une fois, ceci pourrait correspondre essentiellement à l'augmentation de la teneur en intergrades alumineux.
- d'autre part l'augmentation légère des valeurs enregistrées pour l'argile fine : apparition d'intergrades gonflants.

Ces quelques commentaires montrent que les résultats obtenus sont en bonne concordance avec les données recueillies par les autres types d'analyses et techniques de caractérisation.

4.43.6. CONCLUSIONS SUR LES RESULTATS MINERALOGIQUES

Les déterminations effectuées sur les échantillons particuliers : revêtements argileux ou argilo-limoneux, matrices des agrégats, plages de dégradation, et dont nous venons de commenter les résultats, nous permettent un certain nombre de conclusions.

Il faut tout d'abord remarquer, et ce de manière générale pour l'ensemble des déterminations, que la composition de la fraction argileuse fine 0-0,2 μ , est très différente de celle de la fraction argileuse grossière : 0,2-2 μ . On observe dans le premier cas une dominance de minéraux intergrades généralement gonflants ainsi que l'absence quasi systématique de quartz ; dans le second cas, au contraire, le quartz est très largement représenté, associé à d'autres minéraux à 7,2, 10 ou 14 Å.

L'étude de la composition minéralogique des *revêtements* nous a montré des différences assez sensibles entre ceux issus d'une illuviation dite "primaire", en milieu favorablement drainé, et ceux dus aux phénomènes d'illuviation en milieu hydromorphe et désaturé, illuviation dite "secondaire".

Les revêtements des *sols bruns lessivés et lessivés* présentent dans la fraction 0-0,2 μ des minéraux intergrades plus ou moins gonflants, des illites cuvertes, ainsi que de très faibles quantités d'illite, de kaolinite et quartz. Il faut noter, dans un des tout premiers stades d'évolution, la très faible organisation des minéraux constitutifs des revêtements argileux.

Les *sols dégradés hydromorphes* possèdent des revêtements où la fraction argileuse fine contient essentiellement des minéraux gonflants associés, ici également, à de très faibles quantités d'illite, de kaolinite et de quartz. La fraction argileuse grossière contient, à côté de minéraux gonflants nettement moins abondants que dans la fraction fine, de l'illite, de la kaolinite, du quartz en quantité importante, et des tenours variables en vermiculite du type alumineux.

On constate donc que la différence la plus évidente entre les deux types de revêtements se retrouve essentiellement dans la fraction d'argile grossière.

Nos résultats sont à rapprocher de ceux de *Crossman* (1959), en ce qui concerne la dominance d'argiles montmorillonitiques dans les revêtements des sols lessivés, et confirment certaines hypothèses émises par *Milloy* (1962) et *Duchaufour* (1968). Les enrobements des sols glossiques présentent, comme *Bullock* (1958) l'avait déjà souligné, une composition qui peut être considérée comme intermédiaire entre celle du A₂ et du B₂t. Nous pouvons préciser que cette observation s'applique surtout à la fraction d'argile grossière.

En ce qui concerne les *matrices* prélevées à titre de comparaison avec les revêtements argileux correspondants, on note quelques différences.

Si pour l'illuviation primaire peu de variations peuvent être mises en évidence, on constate par contre que les fractions fines des matrices des sols dégradés paraissent contenir des constituants relativement mieux cristallisés que ceux de la fraction correspondante des revêtements. Au demeurant, les fractions grossières ne contiennent pas ou très peu d'intergrades alumineux, excepté dans les sols les plus évolués ; ceci est en accord avec les résultats de *Bullock* (1968).

Les quelques échantillons prélevés dans des *zones de dégradation* montrent dans l'argile fine 0-0,2 μ la présence pratiquement exclusive de minéraux gonflants, tandis que l'argile grossière contient, à côté de quantités moindres de ces minéraux gonflants, de l'illite, de la kaolinite, beaucoup de quartz, ainsi que des intergrades alumineux du type vermiculite ou même chlorite secondaire. Ces résultats semblent valables tant pour les petites plages blanches et délavées des horizons argilliques en voie d'altération que pour la partie supérieure des langues caractéristiques des sols glossiques.

Les données obtenues par Grossman (1959) et Arnold (1963), sur des échantillons d'argiles 0-2 μ , contenaient déjà implicitement ces notions : départ d'argiles du type montmorillonite et apparition d'intergrades alumineux.

Nous reprendrons l'essentiel de ces conclusions partielles dans notre synthèse de la cinquième partie

4.44. ANALYSES CHIMIQUES TOTALES

Sur la base des résultats que nous venons d'exposer et de commenter, nous avons effectué une sélection de quelques échantillons de fractions argileuses 0-0,2 μ et 0,2-2 μ sur lesquels une analyse chimique totale a été réalisée.

Cette sélection est la suivante :

- Revêtements typiquement primaires : VERVINS 10 - VERVINS 2.
- Revêtements de transition : Rozoy 24.
- Revêtements typiquement secondaires : MONTMIRAIL 31 - MONTMIRAIL 32 - CHATEAU-THIERRY 22.

De plus, à titre comparatif, la matrice des horizons où ont été prélevés les échantillons Montmirail a également été analysée.

Enfin, pour préciser l'utilisation des éléments d'information fournis par ce type de détermination, nous avons effectué l'analyse chimique de trois prélèvements particuliers prélevés dans le profil La Fère 6 : revêtements secondaires, matrice, dégradation, que nous comparerons aux analyses des fractions fines des horizons A₂ et B₂t. Ces dernières analyses concernant la fraction 0-2 μ .

ANALYSE DES REVETEMENTS ARGILEUX.

Le tableau, qui nous donne les résultats des produits calcinés, nous permet tout d'abord de constater, sur l'ensemble des résultats, des valeurs du Ki systématiquement plus petites pour les fractions 0-0,2 μ que pour les fractions 0,2-2 μ , pour chaque échantillon.

-- REVETEMENTS ARGILEUX --

- Revêtements "primaires" - Transition - Revêtements "secondaires" -

ELEMENTS	VERVINS 10		VERVINS 2		ROZOY 24		CHATEAU 22		MONTMIRAIL 31		MONTMIRAIL 32	
	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2
SiO_2	52.80	53.49	52.51	53.63	52.52	53.12	56.24	58.05	55.13	59.36	55.65	59.24
Al_2O_3	26.89	25.90	27.63	27.53	27.09	26.12	27.40	25.78	29.31	27.47	30.52	28.18
Fe_2O_3	12.73	11.54	11.73	10.90	12.63	11.84	8.87	7.53	8.40	6.48	7.75	6.27
FeO	.	0.36	0.25	0.38	0.29	0.41	0.23	0.24	.	0.22	0.23	0.20
TiO_2	0.88	1.03	0.87	1.08	0.89	1.02	0.82	1.23	0.91	1.34	0.93	1.45
CaO	0.49	0.30	0.33	0.63	0.38	0.34	0.90	0.22	0.34	0.17	0.18	0.21
MgO	3.28	2.99	3.79	2.97	3.28	2.76	3.08	2.77	3.44	2.94	3.25	2.19
K_2O	2.72	2.85	2.68	2.99	2.72	2.87	2.76	3.22	2.25	2.97	2.23	3.00
Na_2O	0.20	0.28	0.22	0.31	0.28	0.26	0.22	0.38	0.21	0.42	0.21	0.36
K1	3.34	3.51	3.23	3.31	3.29	3.46	3.49	3.83	3.20	3.67	3.10	3.57

Les valeurs en SiO_2 sont toujours plus faibles dans les fractions les plus fines, tandis que Al_2O_3 y est toujours légèrement mieux représenté.

Ceci correspondrait essentiellement à la teneur en quartz fin toujours présente dans les fractions argileuses grossières et pratiquement systématiquement très faible ou nulle dans les fractions fines, comme nous l'avons mis en évidence par les analyses minéralogiques.

Les différences entre K_1 de 0-0,2 μ et de 0,2-2 μ sont les plus élevées dans les échantillons de Montmirail provenant de sols dégradés ; les K_1 des fractions fines y sont particulièrement bas, ce qui pourrait correspondre à des couches alumineuses plus importantes dans les argiles fines.

Un des éléments les plus importants d'interprétation est la variation de la teneur en Fe_2O_3 .

Les échantillons provenant des trois premiers profils présentent des teneurs relativement importantes, de l'ordre de 11 à 13 %, tandis que les derniers en sont beaucoup moins pourvus : 6 à 9 %. Notons que les teneurs sont toujours relativement plus importantes dans les fractions fines.

Nous avons vu plus haut que les argiles d'illuviation "secondaire" sont toujours fortement déferriées, et paraissent migrer indépendamment du fer.

Si l'on compare les valeurs de ce tableau aux teneurs en fer libre présentées dans le tableau du chapitre 4.42., on peut en déduire assez raisonnablement que les argiles ont été déferriées très profondément par altération. Il paraît en effet évident qu'en plus du fer dit "libre", une certaine quantité de fer probablement issu des couches octaédriques des minéraux a été libérée par attaque en milieu acide.

Ceci confirmerait donc une certaine "dégradation" bien réelle des minéraux argileux à ce stade d'évolution.

Le graphique ci-après (fig. 90) nous donne la variation de ces teneurs en fer en fonction du stade d'évolution.

Peu d'interprétations complémentaires peuvent être faites à partir de résultats de ce tableau, hormis cependant la teneur systématiquement légèrement plus élevée de K_2O dans l'argile grossière qui pourrait correspondre aux minéraux illitiques que nous avons mis en évidence dans cette fraction par l'analyse minéralogique.

Il faut remarquer que cette différence de teneur en potassium est nettement plus importante pour les revêtements des sols dégradés que pour ceux des sols bruns lessivés.

COMPARAISON REVETEMENTS ARGILEUX / "MATRICES".

Le tableau ci-dessous reprend les résultats des échantillons des profils dégradés de Montmirail et présente à titre comparatif ceux d'échantillons prélevés au sein de l'horizon, au même niveau.

Fer dans les revêtements argileux

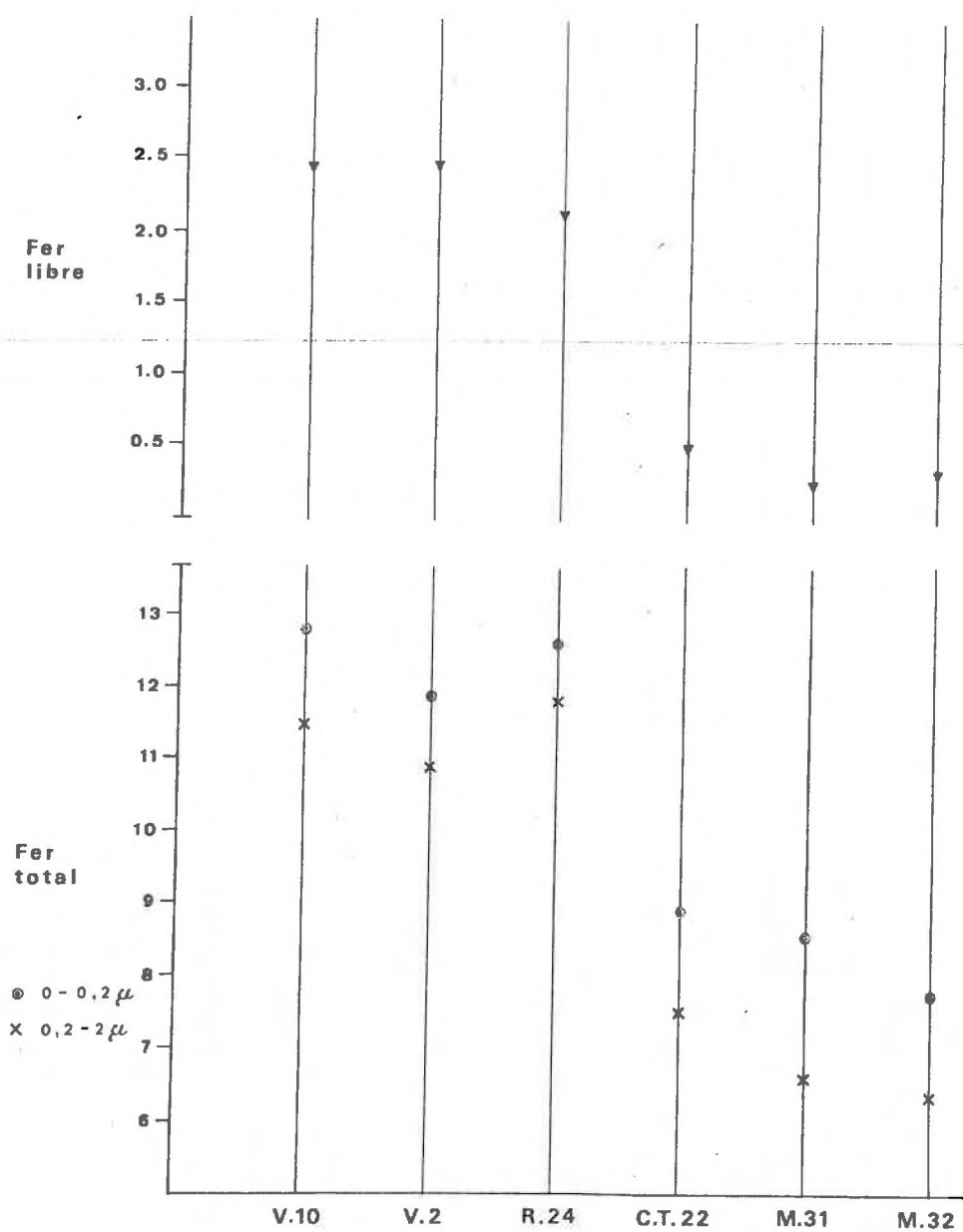


Fig. 90

- REVETEMENTS ARGILEUX ET MATRICES -

ELEMENTS	MONTMIRAIL 31				MONTMIRAIL 32			
	Revetements		Matrice		Revetements		Matrice	
	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2	0-0,2	0,2-2
SiO ₂	55.13	59.36	54.49	57.43	55.65	59.24	52.52	57.32
Al ₂ O ₃	29.31	27.47	26.56	23.77	30.52	28.18	28.32	25.04
Fe ₂ O ₃	8.40	6.48	13.15	11.43	7.75	6.27	13.20	10.63
FeO	.	0.22	.	0.44	0.23	0.20	.	.
TiO ₂	0.91	1.34	0.60	1.03	0.93	1.45	0.52	1.05
CaO	0.34	0.17	0.31	0.34	0.18	0.21	0.28	0.26
MgO	3.44	2.94	2.90	2.10	3.25	2.19	3.19	1.96
K ₂ O	2.25	2.97	2.15	2.80	2.23	3.00	1.98	2.71
Na ₂ O	0.21	0.42	0.14	0.28	0.21	0.36	0.15	0.21
Ki	3.20	3.67	3.49	4.11	3.10	3.57	3.15	3.89

Les Ki de la matrice sont plus élevés que ceux des revêtements, pour chaque fraction, les teneurs en Al₂O₃ y étant notamment plus faibles de 3 à 4 %. Il semble donc que l'aluminisation n'aurait pas affecté la masse de l'horizon, ou tout au moins de manière moins importante que les revêtements. Ceci confirme certaines observations que nous avons présentées au chapitre précédent.

En ce qui concerne le fer, les différences sont très importantes, mettant en évidence la déferrisation préférentielle des revêtements argileux par rapport à la masse de l'horizon.

ANALYSE DU PROFIL LA FERRE 6.

Le tableau ci-dessous donne les résultats des analyses concernant les échantillons provenant de trois horizons caractéristiques et de deux prélèvements particuliers.

- PROFIL LA FERRE 6 -

ELEMENTS	A ₂	Degrad.	B ₂ t	B ₃ gx/Cgx	Revêt.
SiO ₂	58.79	58.05	54.62	56.52	58.87
Al ₂ O ₃	23.50	24.35	25.22	25.62	27.07
Fe ₂ O ₃	10.69	10.78	13.65	11.90	7.43
TiO ₂	1.16	1.00	0.90	0.93	1.01
CeO	0.16	0.27	0.21	0.21	0.10
MgO	2.34	2.29	2.39	2.03	2.46
K ₂ O	3.06	2.95	2.80	2.62	2.89
Na ₂ O	0.32	0.29	0.22	0.18	0.17
Ki	4.25	4.05	3.68	3.75	3.70

L'analogie entre les résultats de l'horizon A₂ et de la dégradation apparaît immédiatement pour tous les éléments constitutifs.

Ce sol dégradé à tendance podzolique montre des teneurs importantes en SiO₂ en surface, avec un Ki élevé, supérieur à 4 ; l'accumulation relative de quartz résiduel en est, au moins partiellement, la cause.

La variation des teneurs en Fe₂O₃ est caractéristique, avec un maximum en B₂t dû à une accumulation, une légère déferrisation de l'A₂ et de la dégradation et une teneur minimum dans les revêtements d'illuviation secondaire.

Ces quelques résultats d'analyses chimiques globales montrent donc l'importance de la dynamique du fer et de l'aluminium dans les sols que nous étudions.

Les phénomènes de dégradation s'y reflètent par des variations peut-être relativement peu importantes mais suffisamment sensibles pour confirmer les autres observations et interprétations effectuées par ailleurs.

4.45. QUELQUES DONNEES COMPLEMENTAIRES

Pour tenter d'affirmer quelque peu notre analyse des processus nous avons enfin appliqué certaines techniques particulières sur quelques échantillons sélectionnés.

La microsonde électronique de Castaing nous a tout d'abord fourni un certain nombre de données sur la répartition à très grande échelle de quelques éléments importants, particulièrement dans les deux grands types de revêtements argileux.

L'utilisation du "Stéréoscan", microscope électronique à balayage, nous a ensuite permis d'avoir une vue plus directe, à fort grossissement, de l'organisation des constituants.

Nous tenons à remercier ici Madame C. Jeanson et Monsieur G. Stoops pour l'aide qu'ils nous ont apportée dans l'obtention et l'interprétation de ces derniers résultats.

4.45.1. UTILISATION DE LA MICROSONDE DE "CASTAING".

La microsonde de "Castaing" a récemment introduit dans les sciences de la terre de nouvelles possibilités d'investigation (C. Pedro - 1970).

Cette technique permet notamment d'obtenir à l'échelle microscopique des données concernant l'exacte répartition d'un certain nombre d'éléments, déterminations d'une grande importance pour l'étude détaillée de la genèse des sols.

Les résultats peuvent être présentés de différentes manières : "images de répartition" pour des plages de quelques milliers de microns carrés, traversées donnant la variation de teneur de l'élément considéré, dosages ponctuels pour un élément déterminé.

Certaines restrictions apparaissent cependant, comme les variations d'amplitudes qui rendent certaines comparaisons difficiles, ou des problèmes délicats de repérage.

A titre d'essai, et grâce à l'obligeance de Madame C. Jeanson du C. N. R. S., nous avons utilisé cette technique pour la caractérisation de quelques échantillons sélectionnés.

Deux stades d'évolution bien différenciés ont été choisis : sol brun lessivé (HIRSON) et sol lessivé glossique hydromorphe (MONTMIRAIL). Des échantillons ont été prélevés au niveau de la base des horizons d'accumulation d'argile de ces deux types de sol, dans les revêtements couvrant les faces de structure, dans une zone située tout au contact de la surface des agrégats, ainsi que dans la masse de ces derniers.

Nous avons donc, pour le sol brun lessivé :

- revêtements argileux,
- zone de contact en bordure d'agrégat,
- matrice,

pour le sol lessivé glossique :

- revêtements argilo-limoneux,
- frange rouille très oxydée,
- matrice.

Un schéma indique la localisation précise de ces prélèvements (fig. 91).

Les conditions matérielles ne nous ont cependant permis qu'une utilisation partielle de la technique, à savoir :

- HIRSON : images de répartition pour Si - Al - Fe - Mn.
traversées pour Si - Al - Fe - Mn.
- MONTMIRAIL : images de répartition pour Si - Al - Fe - Mn.
traversées pour Fe - Mn.

Les plages étudiées ont été sélectionnées grâce à l'étude de plaques minces au microscope polarisant, de manière à pouvoir établir une relation précise entre les résultats de la microsonde et les données de la micro-morphologie.

Nous envisagerons successivement les données fournies par les images de répartition et les traversées.

Images de répartition.

Les photographies correspondant à la répartition de chaque élément sont présentées sur les planches suivantes, les plages étudiées constituant des carrés de 200 ou 300 microns de côté.

- HIRSON -

Revêtements (Planche 4). La silice et l'aluminium sont visiblement associés étroitement, avec abondance de fer et présence de manganèse. Il s'agit, comme nous l'avons vu dans les pages qui précèdent, de matériaux riches en argile fine, c'est-à-dire relativement pauvres en quartz fin ; ils ne sont pas altérés et très ferriques. Nous sommes en présence des ferriargilanes très typiques décrits en micromorphologie.

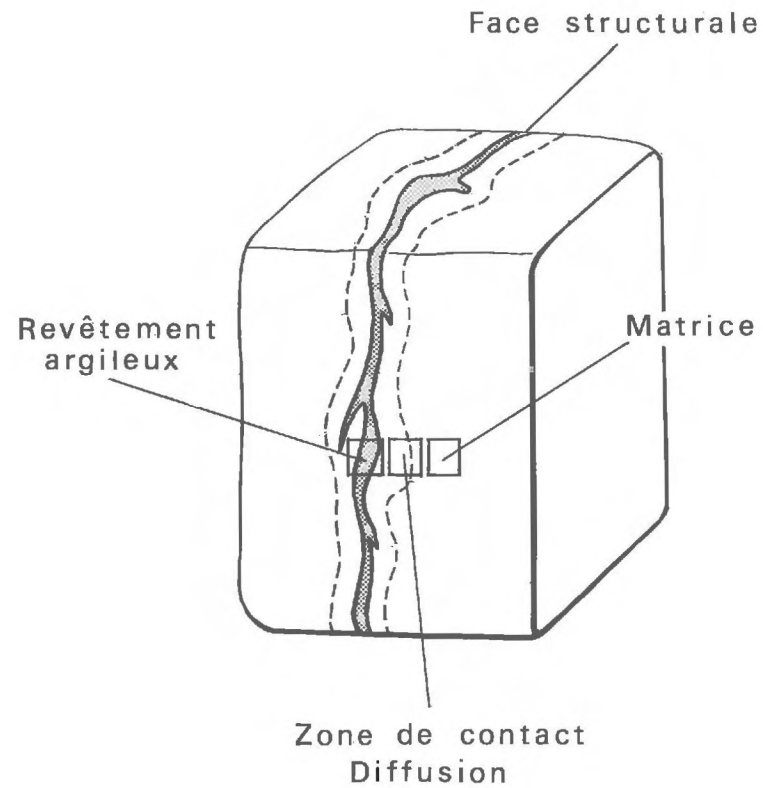
Matrice (Planche 5). La répartition de Si et Al se présente ici de manière relativement différente, à savoir que la silice présente des dominances très nettes qui correspondent naturellement au squelette essentiellement limoneux constitué surtout par du quartz. La présence simultanée de Si, Al et Fe représente le plasma argilo-ferrique assez homogène. Il faut cependant noter une distribution plus irrégulière du fer. On peut également distinguer localement des accumulations simultanées de Fe et Mn qui représentent les ségrégations d'oxydes bien visibles à l'examen des lames minces.

Zone de contact (Planche 6). Tout comme dans l'échantillon provenant de la matrice, la distribution de Si apparaît assez différente de celle de Al. On observe en effet beaucoup de Si indépendant des autres éléments déterminés, d'où présence de beaucoup de quartz. L'association de Si, Al et un peu de Fe marque la distribution du plasma argileux.

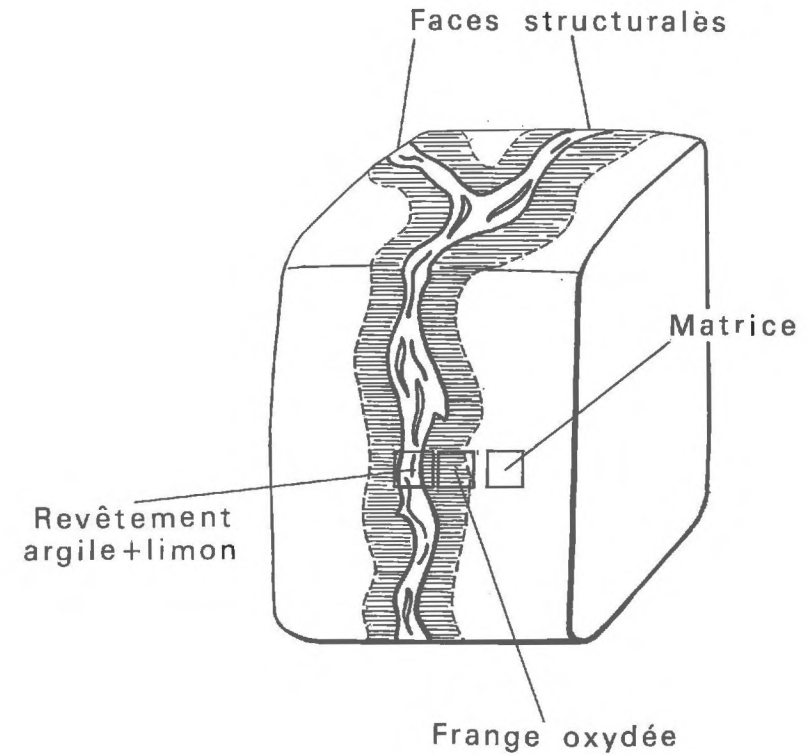
En ce qui concerne le manganèse, l'image en présente une densité qui apparaît comme plus importante que pour l'échantillon précédent. Peut-être pourrait-on en déduire une certaine accumulation en bordure des agrégats.

MICROSONDE - LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS -

SOL BRUN LESSIVÉ



SOL LESSIVÉ GLOSSIQUE

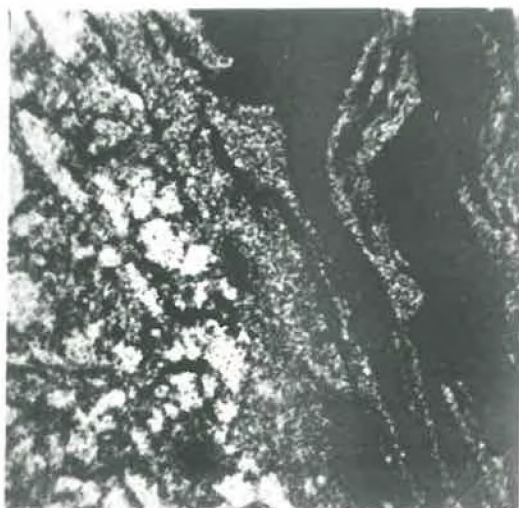


2 cm.

Fig. 91

HIRSON

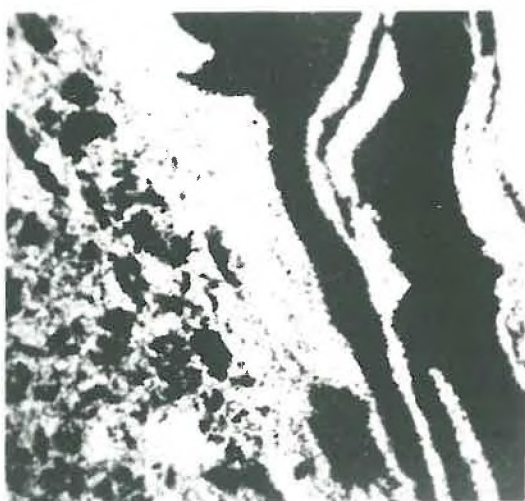
Revetements



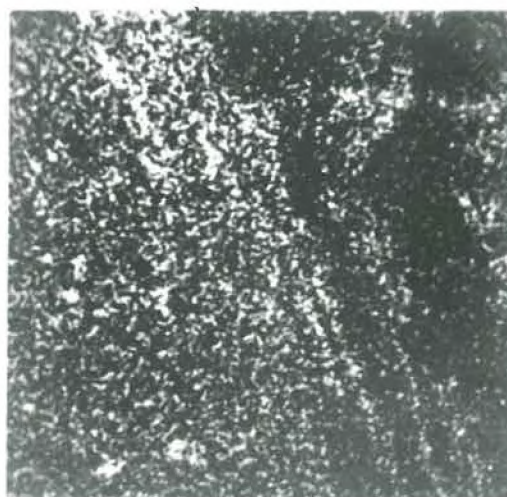
Si



Al



Fe

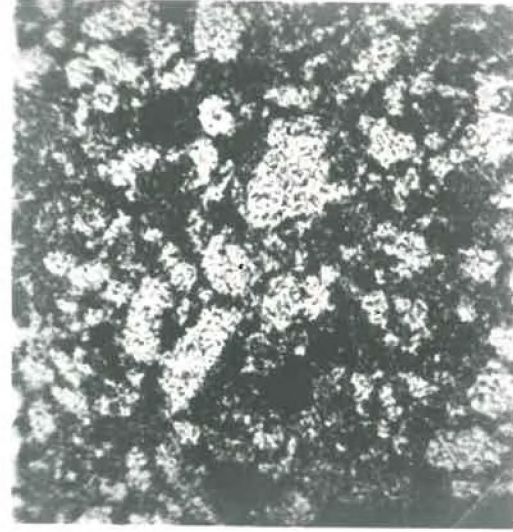


Mn

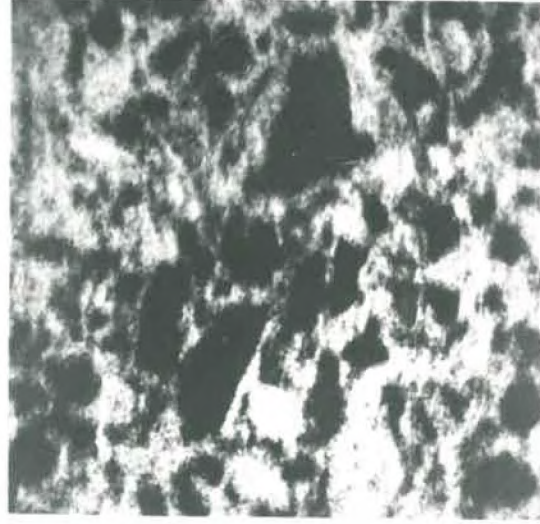
100 μ

HIRSON

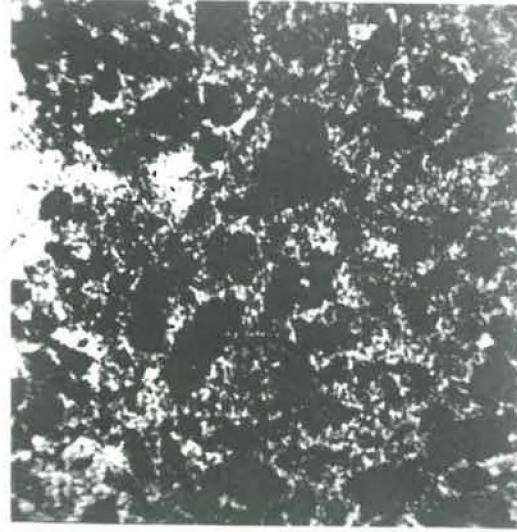
Matrice



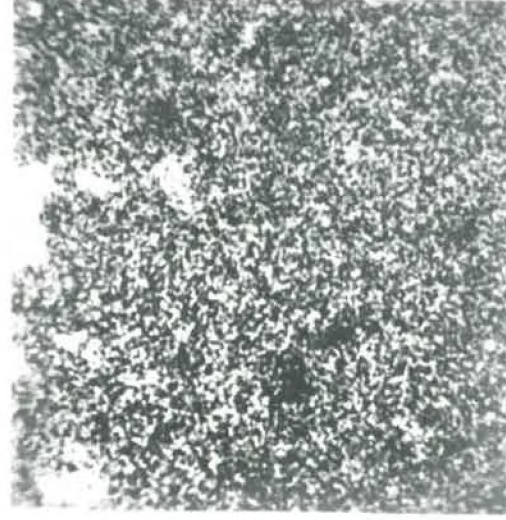
Si



Al



Fe

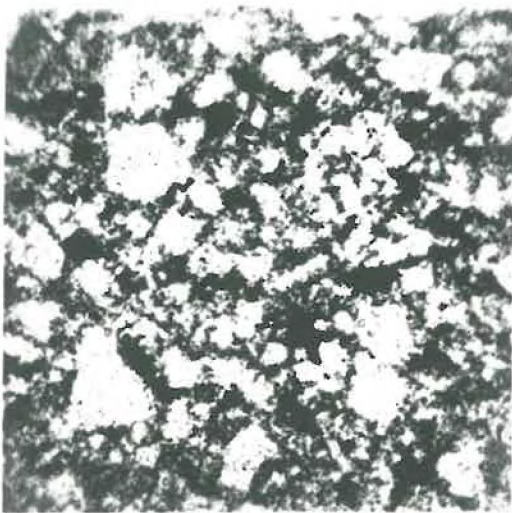


Mn

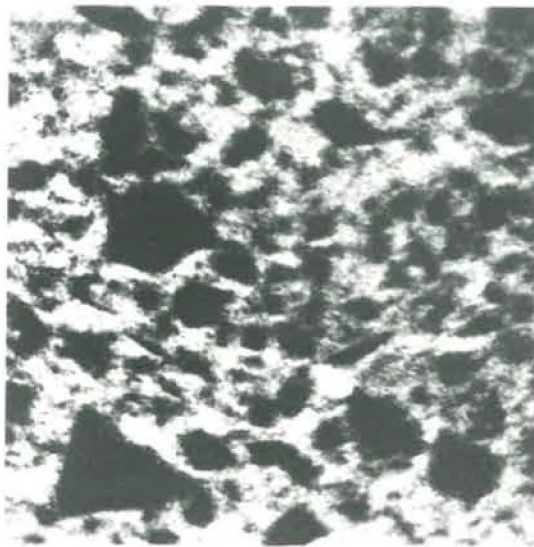
100 μ

HIRSON

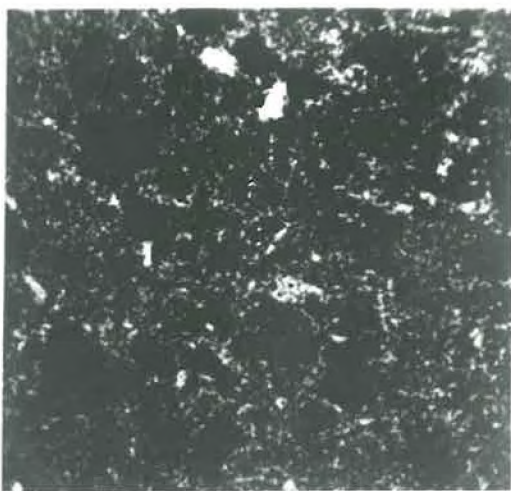
Contact



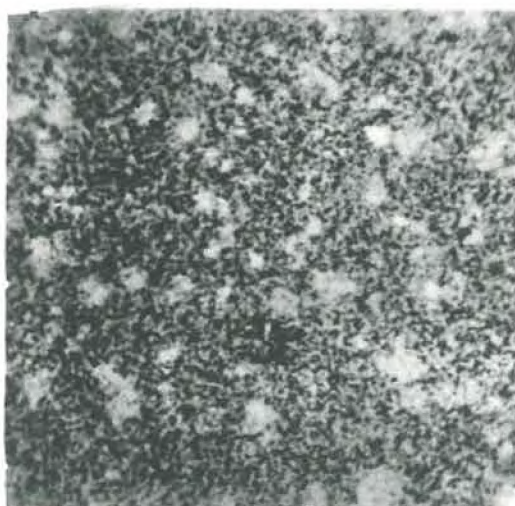
Si



Al



Fe

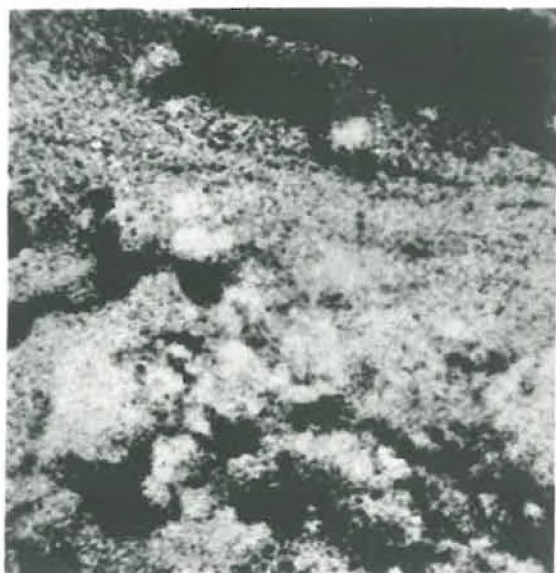


Mn

100 μ

MONTMIRAIL

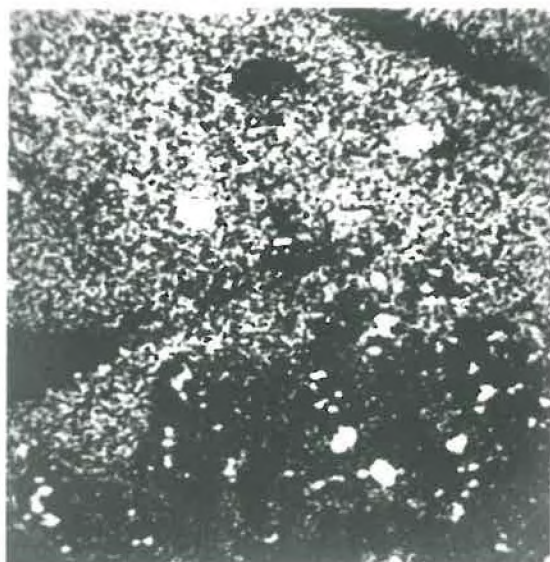
Revetements



Si



Al

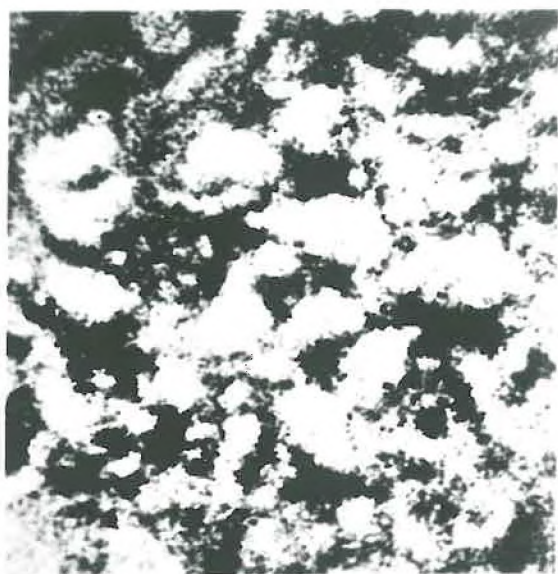


Fe

100 μ

MONTMIRAIL

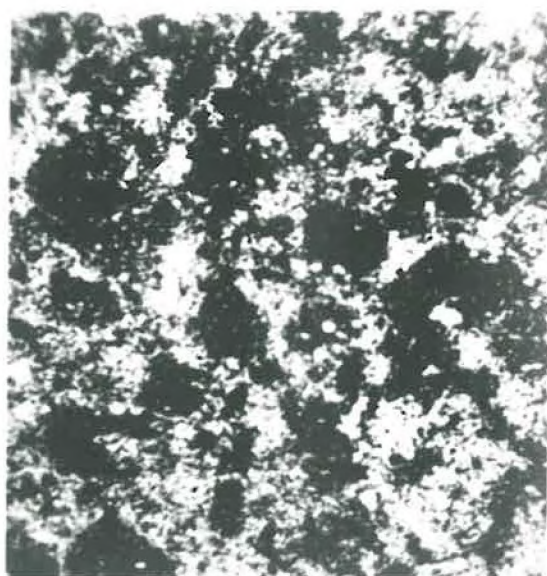
Matrice



Si



Al

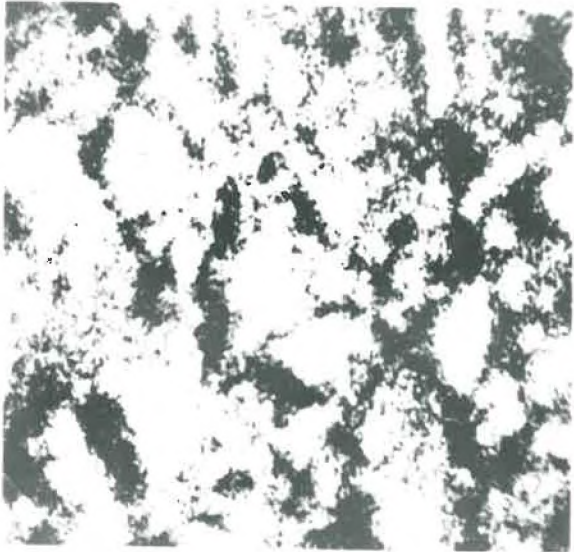


Fe

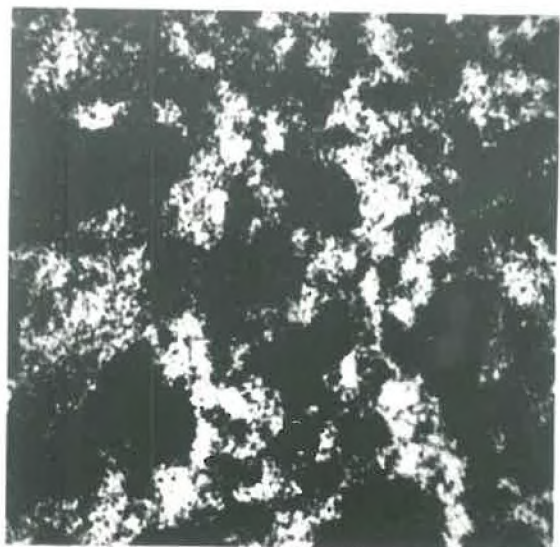
100 μ

MONTMIRAIL

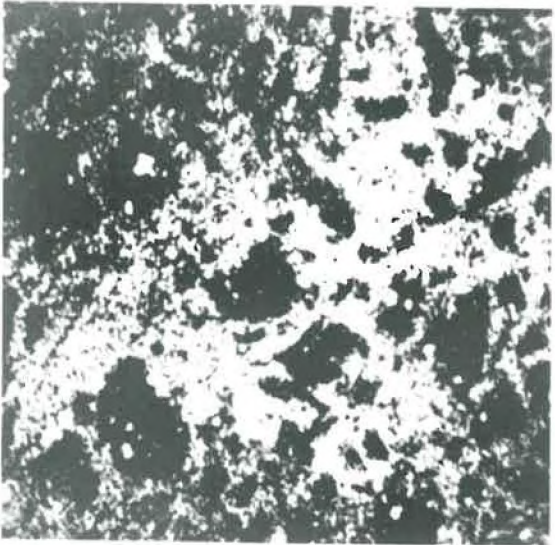
Frangé



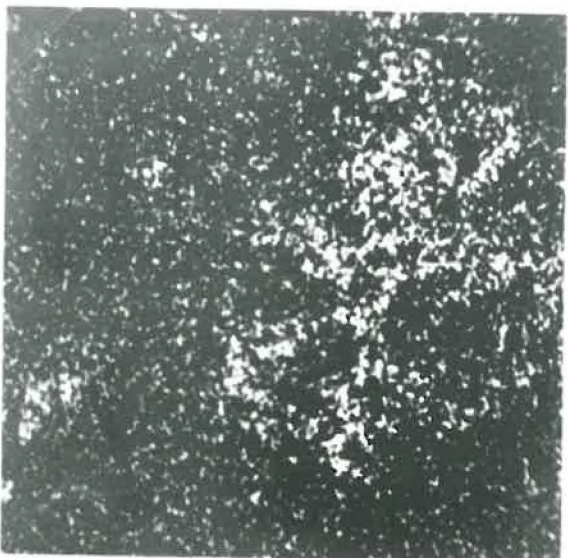
Si



Al



Fe



Mn

100 μ

- MONTMIRAIL -

Revêtements argilo-limoneux (Planche 7). La silice, l'aluminium et le fer présentent des répartitions assez analogues mais des intensités différentes. Nous n'avons pas présenté d'image pour Mn, particulièrement peu représenté.

Il faut noter l'intensité très forte de Al, d'une part par rapport à Si pour l'échantillon que nous étudions, d'autre part par rapport aux images des revêtements de Hirson. Cette donnée pourrait constituer une confirmation de la dominance de minéraux argileux altérés, alumineux.

Matrice (Planche 8). La distribution du squelette quartzeux apparaît très nettement par la comparaison des images Al et Si. De ce même examen peut se déduire la répartition du plasma argileux modérément ferrique. Certaines zones apparaissent avec une dominance de fer, en association avec l'aluminium et relativement peu de silice, peut-être s'agit-il là d'argiles enrichies en fer.

Frange oxydée (Planche 9). Tout comme pour la zone de contact de l'échantillon d'Hirson, nous notons une quantité importante de plages où la dominance de Si est marquée, localisant le squelette quartzeux ; les répartitions de Al et de Si sont donc assez différentes. La présence simultanée de silice, aluminium et fer représente naturellement le plasma argilo-ferrique. On distingue enfin, assez nettement, des accumulations d'oxydes de fer et manganèse, par la comparaison des images Fe et Mn. Ces zones correspondent très certainement aux glaucules observées sur les lames minces au microscope polarisant.

L'analyse que nous venons de faire de ces photographies va maintenant pouvoir être quelque peu précisée par celle des traversées effectuées sur une partie des plages étudiées.

Traversées.

Ces traversées, en détermination continue, ont donc été faites dans des zones représentatives des plages correspondant aux images que nous venons d'examiner. Nous avons reporté sur les figures 92 - 93 et 94 les enregistrements de Si, Al, Fe et Mn effectués sur les trois échantillons provenant du sol brun lessivé de Hirson. La figure 95 nous montre les enregistrements de Fe et Mn pour les trois échantillons du sol lessivé glossique de Montmirail.

A la partie inférieure des trois premières planches nous avons indiqué sur un axe la localisation de zones caractéristiques : V = vides, Q = quartz, S : concentrations d'oxydes.

- HIRSON - Revêtements (fig. 92).

L'examen de cette planche nous montre la bonne concordance entre les augmentations de teneurs en Si, Al et Fe, confirmant la présence pratiquement exclusive de concentrations argilo-ferriques.

Un vide bien caractérisé a été localisé, tandis qu'aucune trace de quartz n'est visible.

- HIRSON - Matrice (fig. 93).

La traversée met en évidence quelques grains de quartz, dont un très important : présence d'une teneur importante en Si avec absence de Al. De part et d'autre de ces grains de quartz on peut observer une concentration simultanée de Al, Si et Fe qui pourrait correspondre aux séparations plasmiques du type squelépique associées aux éléments du squelette. On constate également la présence de fer associé aux dominances de Si, sans association évidente de Al ; ce phénomène pourrait représenter l'existence d'oxydes libres à la surface des éléments quartzeux.

- HIRSON - Zone de contact (fig. 94).

Les observations effectuées sur les photographies sont confirmées : augmentations des teneurs en Si assez bien différenciées et comportement associé de Si, Al et Fe dans les zones plasmiques.

L'examen des enregistrements présentés sur ces trois figures nous montre donc une certaine augmentation de la teneur en Mn aux abords de la limite d'agrégat, comme les photographies nous l'avaient déjà signalé.

D'autre part, le manganèse peut présenter localement un comportement étroitement associé à celui du fer, ce qui correspondrait alors aux concentrations d'oxydes Fe - Mn, les "sesquanes" décrits en micromorphologie.

- MONTMIRAIL - Enregistrements Fe et Mn (fig. 95).

Cette planche nous permet de comparer la distribution de ces deux éléments dans un milieu hydromorphe, soumis aux processus d'oxydo-réduction.

Les trois échantillons nous indiquent très nettement une dynamique importante du fer et du manganèse, avec des concentrations très bien marquées.

La frange oxydée présente des augmentations de teneur en fer très importantes, tandis que les deux autres échantillons nous montrent cependant des valeurs relatives encore notables.

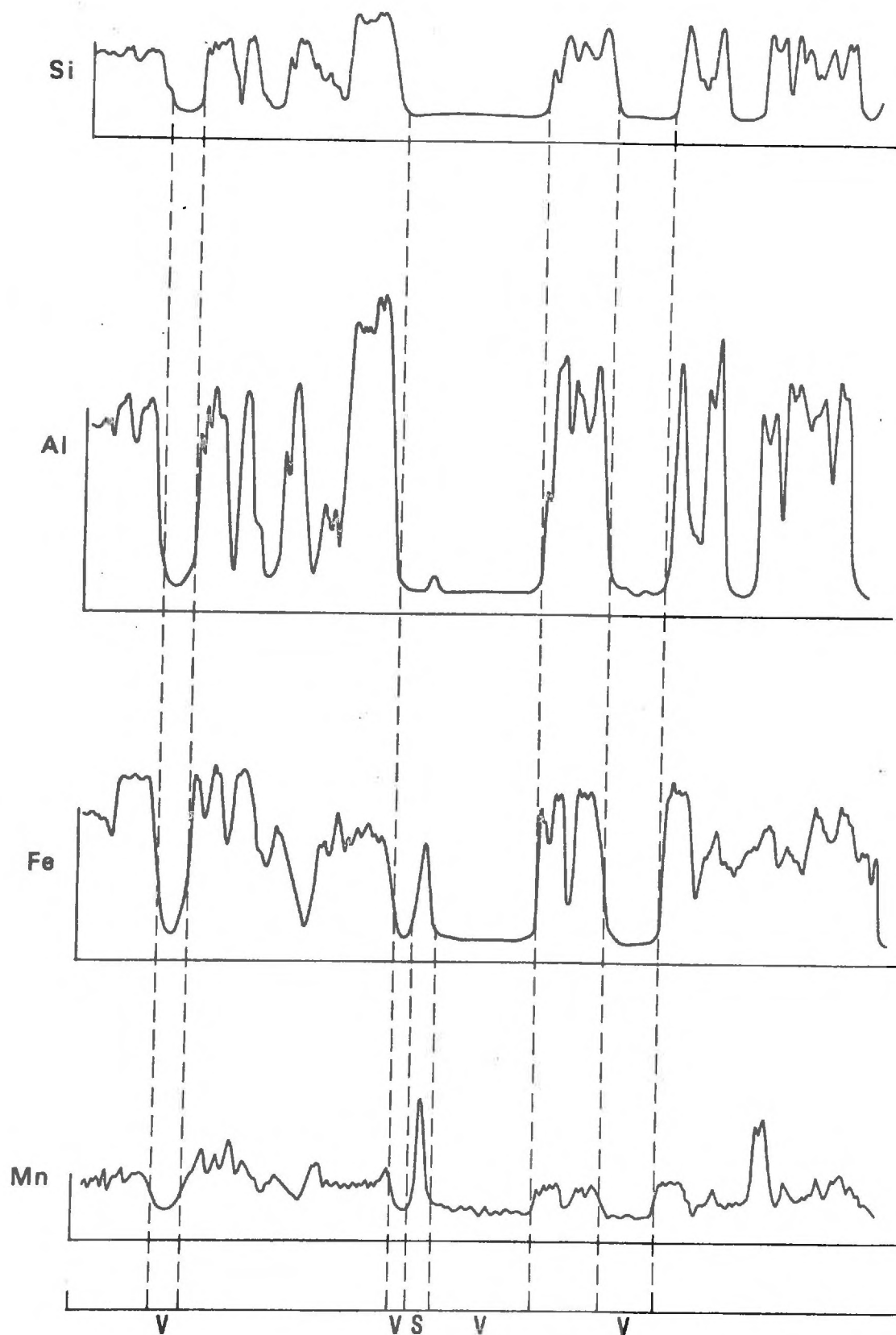
On remarquera la diminution des valeurs en Mn en passant de la frange par la matrice jusqu'aux revêtements argilo-limoneux. Nous avons vu que ces derniers étaient très pauvres en fer libre ; les données de l'enregistrement nous indiquant des teneurs en fer total assez importantes, nous pouvons en déduire que les éléments sont toujours relativement riches en fer de constitution. Peut-être les états du fer dits libre correspondraient-ils aux plus grands pics des enregistrements.

Conclusions.

L'utilisation que nous avons faite de la microsonde de Castaing dans cette étude ne constitue naturellement qu'un simple essai.

Elle représente cependant un pas de plus dans l'analyse fine de la dynamique des sols. L'emploi de cette technique nous a permis de confirmer certains résultats obtenus par d'autres déterminations et constitue notamment un remarquable complément aux examens micromorphologiques. La microsonde nous donne également une idée de la répartition du fer à l'échelon microscopique, lié ou non aux argiles.

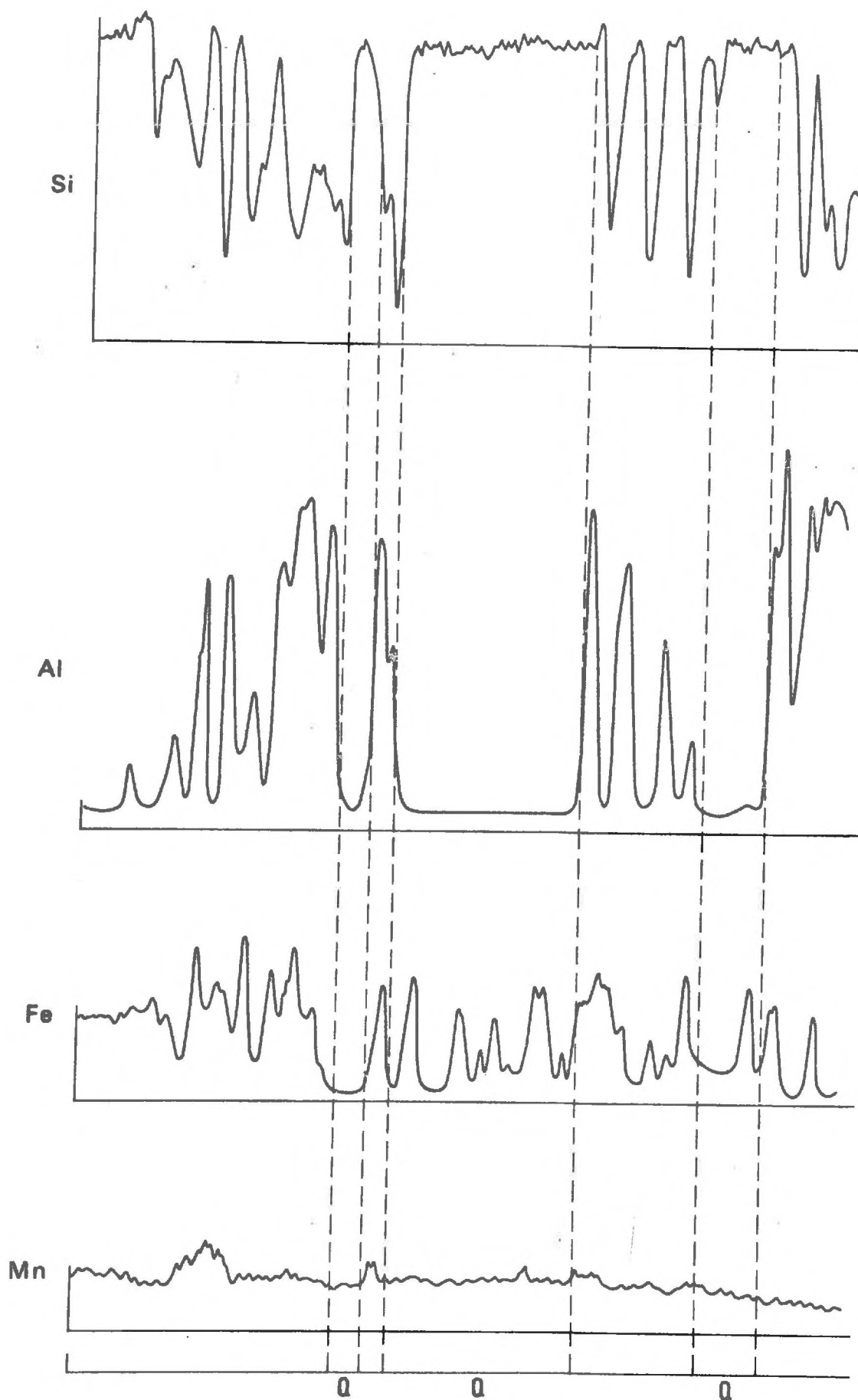
HIRSON



REVÊTEMENTS ARGILEUX

Fig. 92

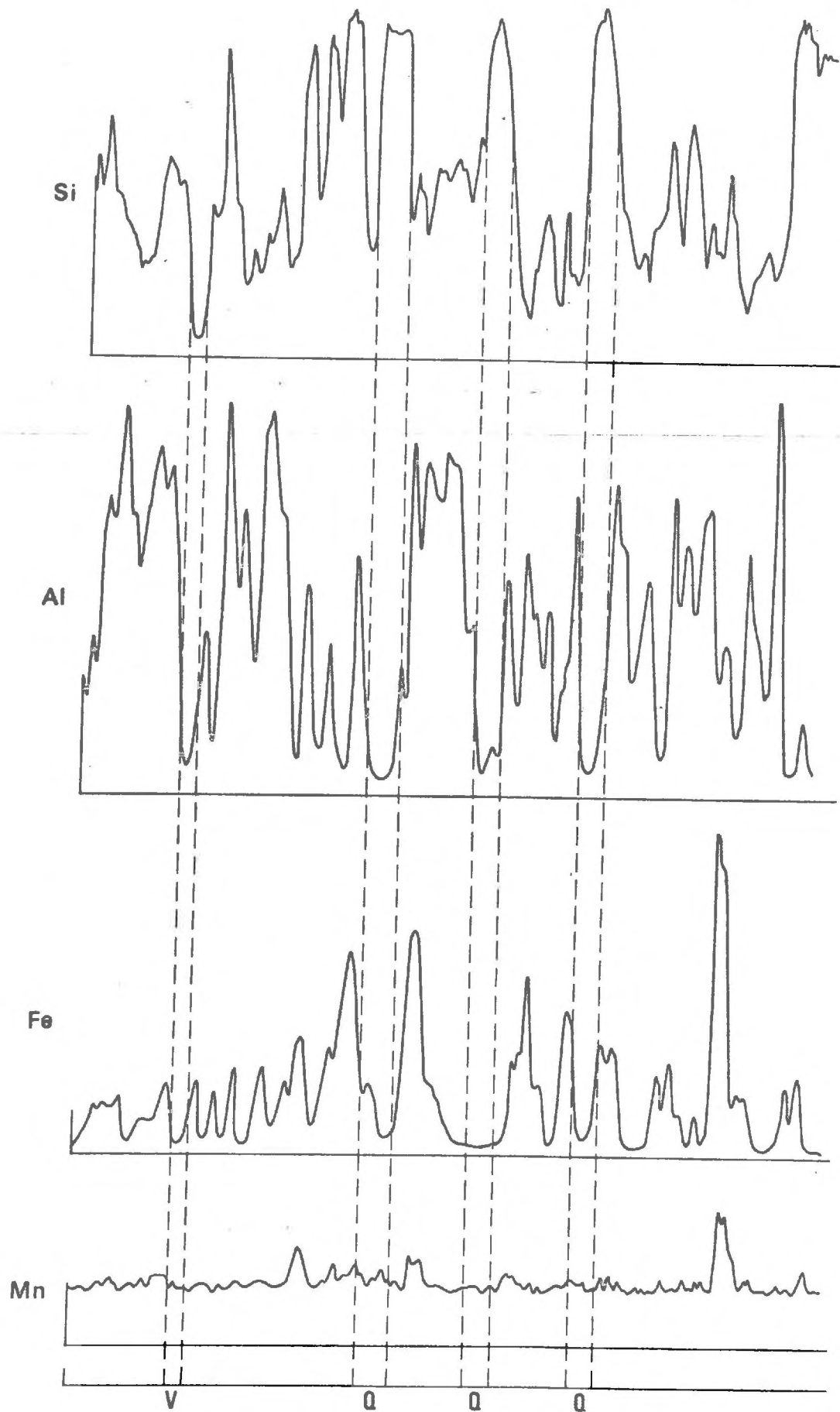
HIRSON



MATRICE

Fig. 93

HIRSON



ZONE DE CONTACT

20 μ

Fig. 94

MONTMIRAIL

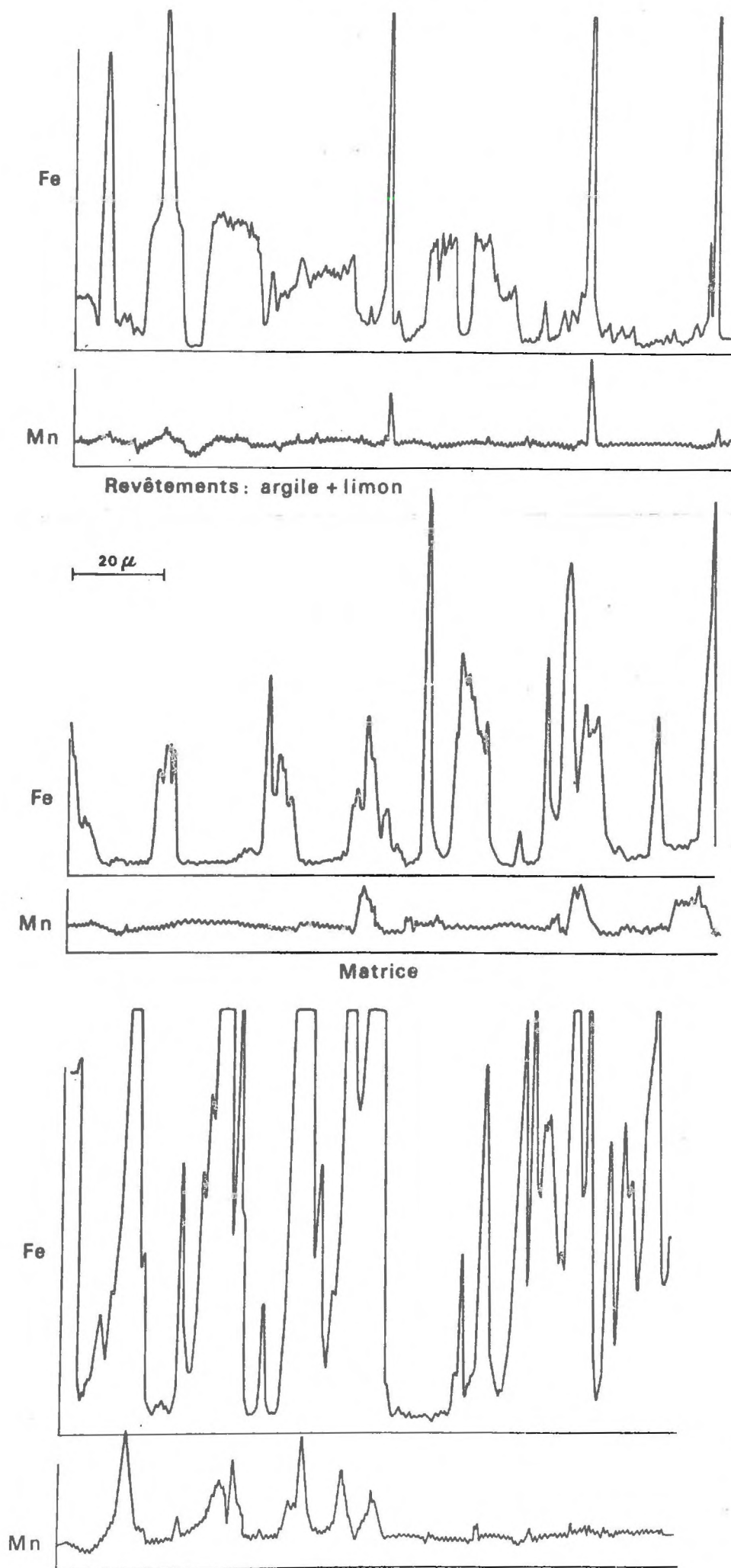


Fig. 95

Complétée par des dosages ponctuels permettant le raccord avec les autres résultats d'analyse, son utilisation pourra nous amener dans l'avenir, à un niveau d'investigation de plus en plus fin.

L'emploi des techniques de la micromorphologie et de la microscopie électronique nous ouvre les portes d'une véritable micropédologie.

4.45.2. EXAMENS AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE - "STEREOSCAN".

Un certain nombre d'échantillons bien précis ont été photographiés à divers grossissements grâce au "Scanning electron microscope".

L'appareil utilisé est un Stéréoscan de la firme Cambridge Ltd, mis à la disposition du laboratoire de géologie de l'Université de Gand. Les clichés obtenus et que nous avons pu commenter l'ont été grâce à l'obligeance de notre ami G. Stoops, spécialiste de la minéralogie et de la microscopie des sols, et aux travaux de qui nous faisons référence.

Nous les présentons en annexe, en dix planches (Planches 10 à 19) qui représentent les aspects les plus caractéristiques des échantillons étudiés.

On peut y observer, à des grossissements différents, parfois successifs, et variant de 120 X à 10 000 X, des traits pédologiques que nous avons l'habitude de décrire essentiellement à partir de lames minces examinées au microscope polarisant.

Citons l'organisation des différentes concentrations plasmiques, les divers types d'assemblages des constituants, les faciès de dégradation des sols glossiques...

Ces données ont complété très utilement les nombreuses observations effectuées grâce aux méthodes plus classiques.

Cette technique électronique est donc intéressante en tant que niveau d'observation intermédiaire, en transition entre la morphologie et l'étude des lames minces.

4.46. DONNEES SUR LA REPARTITION ET LA LOCALISATION DANS LE PROFIL.

Les variations enregistrées entre les teneurs en argile totale des horizons appauvris et enrichis des différents stades d'évolution des sols, ainsi que celles qui se présentent dans la constitution des différents revêtements nous ont tout naturellement amené à envisager le problème sur l'ensemble du solum.

Anticipant quelque peu sur ce que nous exposerons en cinquième partie, nous allons présenter ici quelques idées sur la répartition dans le profil des produits de déplacement, et que nous développerons plus loin.

Nous savons que dès les premiers stades du lessivage, l'argile déplacée se répartit dans les pores et cavités, ainsi qu'en enrobements à la surface des agrégats structuraux. L'horizon d'accumulation s'épaissit progressivement, et un approfondissement marqué semble caractériser les sols très évolués où l'illuviation dite secondaire pourrait en être la cause essentielle.

Le fractionnement de l'argile ayant été effectué sur un nombre important de profils, nous présentons dans le tableau ci-dessous les différents rapports *argile fine / argile grossière* enregistrés, pour trois profils caractéristiques de stades d'évolution avancés, dans les horizons A₂, B_{2t} et B₃ ainsi que dans les revêtements et dans une langue appauvrie du sol dégradé.

Une réserve est à formuler immédiatement pour l'interprétation de ces données. Les valeurs sont en effet à étudier essentiellement par profil, étant donné l'influence de la répartition des fractions argileuses dans le matériau originel. Nous avons naturellement choisi trois exemples où les différences initiales étaient négligeables.

Rapport 0-0,2 μ / 0,2-2 μ .

	<u>Sol lessivé</u>	<u>Transition</u>	<u>Sol dégradé</u>
A ₂	1.20	0.64	0.57
Dégradation	-	-	0.39
B _{2t}	1.37	1.39	1.76
Revêtements	2.56	1.45	0.91
B ₃	1.06	1.13	1.94

Nous constatons tout d'abord une diminution très nette de ce rapport dans l'horizon A₂, entre les trois stades, correspondant à une élimination préférentielle de l'argile fine. Ce caractère est encore plus évident lorsqu'on regarde le rapport enregistré dans la langue de dégradation. Corrélativement, l'augmentation de ce rapport dans les horizons B est évidente.

Nous notons cependant que pour les deux premiers stades le rapport présente un maximum dans l'horizon B_t pour diminuer à nouveau dans le B₃.

Dans le stade le plus avancé, le rapport est maximum au niveau de cet horizon B₃, ce qui signifie une accumulation maximale d'argile fine.

Si nous regardons maintenant les données fournies par l'analyse des revêtements caractéristiques, on constate que l'on passe d'un rapport très élevé dans l'illuviation primaire à une valeur beaucoup plus basse pour l'illuviation secondaire, ce qui recoupe les observations du premier tableau que nous avons présenté, au chapitre 4.42.

Si l'on compare, pour le sol caractérisé par cette illuviation dite secondaire, la valeur du rapport enregistré dans les revêtements et celui de l'ensemble de l'horizon B₃, on peut en déduire raisonnablement que la majorité de l'argile fine éliminée par dégradation de l'horizon A₂ et de la partie supérieure du B_{2t} se répartit préférentiellement dans l'ensemble de la masse de l'horizon, c'est-à-dire dans toute la porosité accessible.

Ceci pourrait donc correspondre à une sorte d'imprégnation de la masse, avec remplissage des vides par des concentrations plasmiqes très fines.

Ces concentrations, vraisemblablement moins déferrisées que les revêtements des faces structurales, présenteraient une orientation peu importante (cf. *Bourne* et al. - 1968). L'examen au fort grossissement d'un certain nombre de lames nous avait déjà mis sur cette voie. Il semble que les résultats que nous venons de présenter confirment les observations micromorphologiques effectuées.

Au demeurant, un processus de ce type pourrait expliquer, au moins partiellement, la compacité très grande de ce niveau du type "fragipan". Cette hypothèse a déjà été avancée par *Vanderford* et *Shaffer* (1966).

4.47. DISCUSSION - CONCLUSIONS

Ce que nous avons exposé dans les pages précédentes nous amène donc à confirmer l'intervention de deux processus d'illuviation assez sensiblement différents ayant affecté successivement les matériaux limoneux, et dissociant des stades d'évolution bien différenciés : sols bruns lessivés et lessivés où l'illuviation s'effectue en milieu aéré, eutrophe à modérément oligotrophe, et sols lessivés dégradés, glossiques, parfois à tendance "plenosolique" où un autre type de déplacement des fractions fines s'opère en milieu hydromorphe et désaturé (*Manil* - 1962, *Duchaufour* - 1968, *De Coninck* 1968, *De Coninck* et al. - 1968).

L'analyse granulométrique détaillée nous a tout d'abord indiqué d'une part la teneur en argile plus importante dans les revêtements du premier type, jusqu'à plus de 60 %, alors que dans le second elle n'est que très légèrement supérieure à 30 %, ceci étant dû à une interstratification importante de fractions limoneuses, comme nous avons pu l'observer en micromorphologie ; d'autre part la variation très nette des pourcentages relatifs d'argile fine et d'argile grossière : beaucoup plus d'argile fine dans le premier type d'illuviation.

Ces données confirment et précisent certains résultats obtenus antérieurement par *Crossman* (1959) et *Buol* et *Hole* (1958-1961).

L'analyse du fer libre nous a ensuite prouvé la déferrisation très marquée des revêtements accumulés en milieu réducteur.

Sur le plan minéralogique nous avons pu constater pour l'ensemble des revêtements argileux la dominance nette dans l'argile fine de minéraux plus ou moins gonflants et probablement intergrades, tandis que de l'illite, de la kaolinite et du quartz sont généralement bien représentés dans l'argile grossière.

Les revêtements des sols dégradés présentent en plus, dans la fraction grossière, des traces plus ou moins exprimées de vermiculite alumineuse.

Ce dernier type de minéral se retrouve naturellement de façon très nette dans l'argile grossière des échantillons de dégradation, où une véritable chlorite secondaire a localement pu être décelée.

Les données que nous avons recueillies complètent celles des auteurs que nous venons de citer ci-dessus, ainsi que celle de *Arnold* (1963) et *Bullock* (1968). Par ailleurs, les analyses minéralogiques sont confirmées par les résultats de quelques déterminations de surfaces spécifiques.

Les analyses chimiques globales effectuées ont permis de préciser un certain nombre de données : - les fractions d'argile grossière contiennent plus de silice que les fractions fines, du fait de la plus grande quantité de quartz - on observe des teneurs en aluminium plus élevées dans les revêtements des sols dégradés que dans les autres, ce qui peut être lié à la présence des intergrades alumineux - le fer est par contre moins représenté dans les revêtements hydromorphes, et ce de manière telle que cette diminution pourrait signifier une véritable altération des minéraux argileux.

La comparaison entre revêtements et matrice semble confirmer l'absence d'"aluminisation" dans la masse.

D'autre part, l'analyse des différents échantillons d'un profil caractéristique a mis en évidence l'importance de la dynamique du fer et de l'aluminium dans les processus de dégradation.

Enfin, quelques éléments nous ont permis de faire une hypothèse en ce qui concerne la répartition des produits d'illuviation dans le profil : plus localisée dans les revêtements pour l'illuviation primaire, plus diffuse dans la masse et très profonde en ce qui concerne l'illuviation secondaire, ceci essentiellement pour l'argile fine.

En conclusion, nos observations et interprétations peuvent se résumer comme suit :

- En milieu suffisamment aéré, les déplacements colloïdaux affectent le complexe argile-fer non dissocié ; les revêtements sont très riches en argile et particulièrement en argile fine ; des minéraux interstratifiés partiellement gonflants caractérisent la fraction fine tandis que la fraction grossière est beaucoup plus riche en illite, kaolinite et quartz ; les produits d'illuviation sont essentiellement localisés sous forme de revêtements sur les faces des agrégats, ainsi que dans les pores.

- En milieu désaturé et temporairement réducteur, on observe une dissociation du fer et de l'argile, cette dernière migrant alors séparément et s'accumulant sous forme de revêtements ainsi que de manière plus diffuse dans la masse du matériau, sous forme fine ; les minéraux paraissent avoir subi une altération modérée avec départ de fer, des minéraux gonflants caractérisent ici également les argiles fines, tandis que des teneurs plus élevées en kaolinite, illite et quartz se présentent dans la fraction grossière, avec des intergrades alumineux du type vermiculite. Ces derniers pourraient également être présents dans l'argile fine, comme les teneurs en aluminium relevées dans l'analyse globale le laisserait supposer, bien que rien n'ait pu être décelé aux rayons X. La teneur en argile des revêtements est relativement peu importante, tandis que fractions fine et grossière y apparaissent en quantités pratiquement égales.

Au demeurant, nous avons pu observer de nombreux stades de transition où les deux processus dont nous venons d'évoquer les effets interviennent simultanément.

L'utilisation du microscope électronique à balayage nous a permis d'observer la morphologie détaillée de revêtements caractéristiques et de plages dégradées, tandis que celle de la microsonde nous faisait entrevoir le grand intérêt de cette technique pour une étude approfondie de la distribution des principaux éléments constitutifs du sol

Les résultats que nous venons de commenter complètent très utilement les données fournies par l'étude des profils types. La vue d'ensemble que nous en retirons va nous permettre d'élaborer une synthèse sur l'évolution des sols limoneux étudiés.

x

x

x

4.5. CONCLUSIONS

La partie du travail que nous venons de traiter nous a apporté un nombre important d'éléments d'interprétation sur la genèse des sols sur matériaux loessiques.

Beaucoup de paramètres d'évolution des sols ont été étudiés ; tous ont leur utilité et l'analyse de leur comportement a permis de préciser certaines phases essentielles de cette évolution.

L'étude des profils types, exposée dans le chapitre 4.3., nous a amené à concevoir l'intervention de plusieurs processus importants dans le développement des sols actuellement observés, et nous a montré certains aspects fondamentaux, aux plans morphologique et analytique.

Le chapitre 4.4. traitant des échantillons particuliers, nous a permis de mieux définir encore deux mécanismes d'illuviation sensiblement différents quant aux conditions de leur intervention et la nature des produits de déplacement.

Indépendamment des mécanismes d'altération primaire des loess ou limons loessiques, les principaux processus d'évolution pédogénétiques qui sont intervenus ou interviennent dans la formation de ces sols sont la *désaturation*, le *lessivage* en milieu mésotrophe ou oligotrophe, une certaine *altération* ou *transformation* des constituants minéraux, l'*hydromorphie*, ainsi que, liée à ces deux derniers mécanismes, une *illuviation* dite *secondaire* en milieu réducteur.

Une constatation est à faire ; une différence apparaît, pour les sols évoluant actuellement en milieu désaturé, entre ceux pour lesquels une acidification progressive s'est réalisée et ceux pour lesquels l'acidité était pratiquement initiale ; nous reviendrons sur cette notion.

En conclusion de la deuxième partie de notre travail : présentation pédologique du domaine d'étude, nous avons déjà esquissé le schéma d'une séquence évolutive entrevue sur la base de ce premier inventaire.

Les données que nous venons d'obtenir vont nous permettre d'en préciser bien des points, et d'introduire une interprétation sur la succession des processus dans le cadre d'une séquence évolutive idéale.

Nous effectuerons donc dans la cinquième et dernière partie la synthèse de nos observations, et introduirons les hypothèses qui nous paraissent les plus logiques compte tenu de nos propres résultats.

- CINQUIEME PARTIE -

INTERPRETATION PEDOGENETIQUE DE LA SEQUENCE OBSERVEE SUR

LIMONS LOESSIQUES DANS LE NORD DE LA FRANCE.

INTRODUCTION

Nous abordons dans cette dernière partie la synthèse de notre travail.

Dès la présentation du domaine d'étude dans lequel nous avons travaillé, nous avons esquissé une suite évolutive théorique qui paraissait se dessiner aux travers des différents types d'évolution observés.

Après avoir suffisamment caractérisé les matériaux loessiques auxquels nous avons affaire, nous avons analysé en détail les principaux types de sols et les particularités propres à chacun d'entre eux. Ces études ont été réalisées sur la base de l'évolution d'une série de paramètres qui se sont avérés très bien adaptés.

Ceci nous a amené à définir d'une part des stades d'évolution plus ou moins avancés, d'autre part des processus ; la séquence introduite à priori à l'issue de notre premier inventaire peut maintenant, à l'appui de nos nombreux résultats, être décrite et définie avec suffisamment de rigueur.

Nous allons donc inclure les données et observations recueillies dans une série évolutive idéale, et montrer l'enchaînement des processus qui interviennent dans son élaboration.

Cette démarche nous mènera à une présentation dynamique des phénomènes et à la mise en évidence d'une corrélation entre types de sols et action des processus pédogénétiques.

Des stades d'évolution différents ont été observés sur le terrain, décrits et caractérisés.

L'ensemble des profils que nous avons ainsi examiné, complété par des observations effectuées dans d'autres régions et par des données antérieures, permet, comme nous l'avons esquissé plus haut, d'établir une séquence théorique d'évolution, compte-tenu des variations décelées dans les caractères morphologiques, micromorphologiques et analytiques.

Les principales phases évolutives correspondraient, comme nous l'avons vu, à une altération primaire, aux mécanismes de lessivage : éluviation/illuviation, enfin à une altération secondaire associée à l'hydromorphie.

Nous allons tenter, dans cette cinquième et dernière partie, de définir cette séquence idéale sous ses différents aspects.

Au plan morphologique tout d'abord, des profils types, bien représentatifs de chaque étape, seront décrits, tandis que leur répartition générale et leur position géomorphologique préférentielle seront précisées.

Les variations essentielles des caractères micromorphologiques que nous avons détaillées en cours d'étude feront l'objet d'une présentation globale.

Un certain nombre de données analytiques sont généralement utilisées comme critères pour déterminer le degré d'évolution atteint par tel ou tel sol ; nous les avons toutes évoquées à de nombreuses reprises au cours des parties précédentes.

Nous allons maintenant envisager la variation de ces critères en fonction d'une évolution théorique progressive, de manière à définir le mieux possible la valeur de chacun d'entre eux comme diagnostic du degré d'évolution. Quelques moyennes seront présentées dans des tableaux synthétiques, mettant en évidence les principales tendances, tandis que des profils représentatifs serviront à préciser des points de détail.

Pour présenter cet ensemble d'éléments sous forme dynamique, deux aspects fondamentaux nous sont apparus.

Le premier est représenté par *l'histoire de l'évolution structurale et de la différenciation des profils* comprenant une présentation morphologique et micromorphologique, ainsi qu'une démonstration mettant en jeu la granulométrie, la matière organique, les caractères physiques.

Le second est constitué par *l'histoire de l'évolution géochimique et minéralogique*, faisant appel aux données se rapportant au complexe absorbant, au comportement du fer et de l'aluminium, à l'évolution des minéraux argileux.

Nous aborderons donc successivement ces deux aspects complémentaires, ce qui nous permettra d'introduire des hypothèses concernant l'intervention des différents processus pédogénétiques dans l'évolution des matériaux loessiques, ce que nous traiterons en fin de partie.

x

x

x

5.1. EVOLUTION STRUCTURALE ET DIFFERENCIATION DES PROFILS

De manière à cadrer avec suffisamment de précision les différentes étapes de la série évolutive que nous allons traiter, nous effectuerons donc tout d'abord une présentation qualitative constituée par l'évolution morphologique générale (5.11.), immédiatement complétée par une synthèse micromorphologique (5.12.).

La différenciation des profils successifs caractérisant la séquence sera étudiée au travers de l'évolution de la granulométrie (5.13.), de la matière organique (5.14.), et des caractéristiques physiques et hydrodynamiques (5.15.).

Ceci nous amènera à définir un certain nombre de conditions de la différenciation texturale des profils par le lessivage, ainsi que la variation des conditions d'aération en fonction de l'évolution des caractères physiques.

5.11. EVOLUTION DES CARACTERES MORPHOLOGIQUES

Nous ne reprendrons ci-dessous que les caractéristiques morphologiques essentielles des différents types de sols représentant les principaux stades d'évolution, de manière à en déduire les variations les plus évidentes.

Les horizons holorganiques ne seront pas décrits systématiquement, étant en liaison trop étroite avec la nature de la couverture végétale actuelle.

Nous décrirons successivement les types de sols suivants : *Sol brun calcaire* ou *calcique* - *Sol brun* - *Sol brun faiblement lessivé* - *Sol brun lessivé* - *Sol lessivé* - *Sol lessivé glossique à hydromorphie* - *Sol lessivé "planosolique"*.

5.11.1. SOL BRUN CALCAIRE - SOL BRUN CALCIQUE.

- Caractéristiques du profil.

Ce type de sol constitue donc le premier stade d'évolution sur loess calcaire, lié à la décarbonatation progressive du matériau originel.

Une infiltration humifère plus ou moins importante est en relation avec le type de végétation colonisant les surfaces correspondantes, l'activité biologique étant d'autre part généralement intense.

Cet horizon A₁ présente une structure grumaleuse assez bien développée et passe par l'intermédiaire d'un horizon de transition A₃ au loess calcaire ou horizon C dont la structure est le plus souvent continue.

L'intensité plus ou moins grande de la décarbonatation se marque par l'apparition de "mycelium" et concentrations de CaCO_3 dans les pores et sur les faces des agrégats structuraux.

Dans les plus décarbonatés d'entre eux, une structure plus fortement développée peut s'observer sous l'horizon A_1 , c'est la première tendance à la formation d'un horizon (B) de structure caractérisant le stade d'évolution suivant.

Dans ces matériaux, on peut fréquemment observer la présence d'un horizon appelé C(ca) où la répartition du calcaire secondaire est très particulière et se distingue très bien du calcaire faisant partie de la matrice originelle. De petites concrétions analogues aux très connues "poupées du loess" y sont fréquentes.

La teneur en argile est généralement pratiquement constante sur l'ensemble du sol, une décarbonatation marquée des couches supérieures est cependant liée à une légère augmentation du taux d'argile.

La couleur du loess calcaire est généralement beige foncé à brun clair (10 YR 6/3-6/4 à 10 YR 5/3), celle du limon décarbonaté brun clair à brun jaune (10 YR 5/3 à 10 YR 5/4)(x).

- Répartition - Position géomorphologique.

Ces sols se trouvent normalement répartis dans la majorité des zones d'extension des loess du cycle récent, essentiellement en Picardie.

Leur position topographique est particulière, ils caractérisent des secteurs d'affleurement de l'"ergeron calcaire", sur pentes assez fortes constamment rajeunies par l'érosion.

5.11.2. SOL BRUN.

- Caractéristiques du profil.

Nous avons vu que le processus de décarbonatation amenait ensuite les premières phases de "lehmification".

Ce phénomène suppose une argillification avec augmentation de la teneur en argile par rapport au matériau original, sans que des phénomènes importants d'illuviation interviennent. Les déplacements colloïdaux, certes présents, sont de très faible amplitude et ne peuvent justifier de cette différenciation. D'autre part, la teneur en argile du "sequum" est pratiquement constante.

La caractéristique morphologique principale est constituée par la présence d'un horizon (B). Cet horizon se distingue par une structure différente de celle des horizons sus et sous-jacents, polyédrique, ainsi que très fréquemment par une couleur brun franc vraisemblablement due à la libération d'une certaine quantité d'oxydes de fer.

(*) Les couleurs mentionnées représentent les teintes les plus couramment observées, et ne constituent donc qu'une simple référence ; elles sont déterminées sur un matériau à l'état frais.

Le profil présente donc la succession d'horizons suivants :

- A₁ Infiltration humifère plus ou moins prononcée - Structure généralement grumeleuse - Limite inférieure très progressive.
- A₃ Horizon de transition à structure grumeleuse à polyédrique subangulaire.
- (B) Horizon B à structure polyédrique subangulaire fortement développée.
- C Matériau originel à structure granulaire à continue.

Dans les sols où l'évolution n'est pas encore avancée, on peut observer, tout comme dans le cas précédent, la présence d'un horizon de redistribution et d'accumulation de calcaire secondaire.

La couleur dominante de la majorité des sols bruns développés sur limon récent est brun jaune (10 YR 5/4-5/6).

- Répartition - Position géomorphologique.

Ces sols sont répartis dans de nombreuses régions naturelles limoneuses.

Ils sont localisés sur pentes assez fortes à modérées, là où le relief permet à une quantité d'eau importante de s'éliminer par écoulement externe ; eux aussi sont assez régulièrement rajeunis par érosion.

5.11.3. SOL BRUN FAIBLEMENT LESSIVE.

- Caractéristiques du profil.

Le lessivage provoque le déplacement dans le profil de particules colloïdales qui migrent et s'accumulent tout d'abord dans les pores fins, sans déplacements d'amplitude importante, ensuite en profondeur dans les pores plus grossiers et sur les faces des agrégats structuraux (Cline, 1949 - Dudal, 1953 - Laruelle, 1958 - Jamagne, 1966).

Une différenciation de ce que l'on appelle un horizon Bt, d'accumulation d'argile, ou horizon argillique, intervient.

Au stade où nous nous trouvons, cette différenciation est encore très peu importante, mais cependant présente.

Il est certain que des phénomènes d'altération sont toujours en cours au sein du matériau, et sont vraisemblablement également responsables en partie de l'augmentation de la teneur en argile observée au niveau de l'horizon B.

Lorsque l'on a la possibilité d'observer une chaîne de sol où on passe du stade du sol brun à celui du sol brun faiblement lessivé, on constate que l'illuviation se surimpose progressivement à l'horizon (B), et finit par l'englober presque entièrement. En effet, il est évident que les dépôts argileux se répartissent préférentiellement sur les faces des agrégats préalablement formés par la différenciation de l'horizon structural.

Le profil présente la succession suivante d'horizons :

- A₁ Horizon humifère d'épaisseur moyenne - Structure à dominance grumeleuse - Limite inférieure plus distincte que dans le cas précédent.

- A_2 Horizon d'appauvrissement en argile et en fer, brun clair à brun jaune (10 YR 5/3 à 5/4), assez peu distinct - Cet horizon se différencie fréquemment dans la partie inférieure de l'infiltration humifère - Structure le plus souvent du type granulaire.
- A_3 Horizon de transition - Structure granulaire à polyédrique subangulaire.
- B_{2t} Niveau d'accumulation d'argile, assez peu différencié, brun jaune (10 YR 5/4 à 5/6) - Structure polyédrique subangulaire à angulaire - Revêtements argileux très fins et discontinus, brun foncé à brun jaune foncé (10 YR 4/3 à 4/4), tapissant les parois des pores et une partie des faces des agrégats de structure - La partie inférieure de l'horizon présente une tendance à la structure prismatique.
- C Matériau originel constitué de loess partiellement altéré, brun jaune (10 YR 5/4), à structure granulaire ou polyédrique subangulaire, à tendance continue dans le bas de l'horizon.

- Répartition - Position géomorphologique.

Ce développement caractérise tout d'abord des matériaux d'apport assez récent, issus de redistributions sur des surfaces morphologiques, comme certains limons de couverture post-würm ou certains "limons de lavage" ; ils sont notamment assez largement représentés en Picardie et dans le Marlois.

D'autre part, dans la zone d'extension de sols bruns lessivés, ils se présentent sur pentes moyennes et aux abords des ruptures de pentes en bordure de plateau où ils représentent des sols moins développés que le profil normal.

5.11.4. SOL BRUN LESSIVÉ.

- Caractéristiques du profil.

Les phénomènes d'illuviation sont ici particulièrement nets. Une différenciation très marquée des horizons génétiques se manifeste.

L'horizon "diagnostique" Bt d'accumulation maximum d'argile se distingue très bien, il est surmonté de l'horizon A_2 ou horizon lessivé.

Un profil type correspond à la description suivante :

- A_1 Horizon d'infiltration humifère - Structure grumeleuse à granulaire - Limite inférieure graduelle à distincte.
- A_2 Horizon lessivé, appauvri en argile et en fer, de teinte claire (10 YR 5/3) - Structure granulaire faiblement développée.
- A_3 ou B_1 Horizons de transition présentant soit une dominance de caractères du A_2 , soit du Bt - Structure généralement granulaire à polyédrique subangulaire - Limite assez distincte.
- B_{2t} Horizon d'accumulation d'argile, de couleur brun jaune (10 YR 5/4 - 5/6) - Structure polyédrique angulaire reprise à la base de l'horizon dans une structure prismatique plus grossière - Une évolution de la taille des éléments structuraux polyédriques s'observe généralement dans cet horizon, la partie supérieure présentant des agrégats plus fins que la partie inférieure.
L'argile déplacée par illuviation tapisse la majorité des pores et recouvre les faces des agrégats structuraux d'une manière presque continue, les faces de dissociation d'orientation verticale étant cependant privilégiées. La couleur de ces revêtements est généralement brun jaune foncé à brun foncé (10 YR 4/4 à 7, 5 YR 4/4) - Limite généralement graduelle.

B₃

Horizon de transition avec le matériau originel - Situé en limite de l'influence "biodynamique" du sol, les caractéristiques sont liées à celles des horizons Bt et C. Structure prismatique assez grossière dont les faces de dissociation verticales prolongent celles ébauchées dans l'horizon Bt - De ce fait, des revêtements argileux, parfois assez épais dans les sols bruns lessivés les plus évolués, tapissent d'une manière plus ou moins continue des faces verticales.

Dans la séquence d'évolution progressive cet horizon va prendre une importance de plus en plus grande pour les caractéristiques hydriques du profil. Il constitue en effet, du fait de la différence marquée de structure, une barrière à la possibilité de percolation des eaux de drainage, ainsi qu'à la colonisation racinaire - Les faces de la structure prismatique de l'horizon B₃ des sols bruns lessivés représentent vraisemblablement le premier stade vers la constitution du réseau en plan polygonal très typique des sols plus évolués sur matériaux limoneux.

C

Matériau originel constitué par un limon argileux à structure continue mais où quelques faces verticales sans organisation régulière se présentent dans la masse.

Il est vraisemblable qu'à ce stade interviennent encore certains processus d'altération au sein du matériau (Rode, 1965). Dans les coupes de loess suffisamment épais et homogène, on peut retrouver en profondeur un loess de moins en moins argileux mais cependant décarbonaté, ainsi que des niveaux d'accumulation de carbonates de calcium sous forme de "poupées" ou de "mycelium".

Le loess calcaire constituant le sédiment rigoureusement originel peut éventuellement s'observer également en profondeur.

Une donnée concernant plus particulièrement la physique du sol prend ici toute son importance ; il s'agit de la variation de la compacité qui augmente sensiblement en profondeur pour atteindre un maximum au niveau de l'horizon B₃.

- Répartition - Position géomorphologique.

Ce type de sol présente une répartition très générale dans toute l'Europe de l'ouest et est notamment caractéristique des limons récents du Bassin de Paris et de Belgique.

Ils sont répartis au sein de toutes ces zones dans des paysages ayant subi sans entrave l'action des facteurs de la pédogenèse.

5.11.5. SOL LESSIVE.

- Caractéristiques du profil.

L'importance des phénomènes d'illuviation s'accroît ici sensiblement. Les horizons caractéristiques sont plus importants que dans le stade d'évolution précédent, et morphologiquement encore plus marqués.

Le profil type est le suivant :

A₁

Horizon humifère d'assez faible épaisseur - Structure grumeleuse à granulaire - Limite distincte.

A₂ Horizon lessivé, appauvri en argile et en fer, d'épaisseur assez importante, de couleur claire (10 YR 5/3 à 6/3) - Structure granulaire à tendance lamellaire localement - Limite inférieure graduelle.

B₁ Horizon de transition généralement peu important - Structure polyédrique subangulaire - Présence de revêtements argileux fins et discontinus - Limite graduelle.

B_{2t} Horizon d'accumulation d'argile et de fer, brun jaune (10 YR 5/4 - 5/6), d'épaisseur importante - Structure polyédrique angulaire, reprise à la base de l'horizon dans une structure à éléments plus grossiers dissociant des prismes anguleux et irréguliers. Les revêtements argileux, brun foncé (10 YR 4/3 - 4/4), couvrant les agrégats structuraux, sont épais et continus sur pratiquement la totalité des faces - Limite graduelle.

A la partie supérieure de l'horizon apparaissent d'autre part de petites plages de limon fin sur les parois des agrégats, ce qui traduit une dégradation naissante ("podzol flours" des auteurs anglo-saxons - *Clune*, 1949). A ces zones sont fréquemment associées des taches ocres d'individualisation du fer.

Il semble donc que l'on soit là en présence de matériau fin résiduel, une partie de l'argile des revêtements ayant subi une altération ou trouvé très localement des conditions permettant une remobilisation.

Une généralisation de ce phénomène dans la partie supérieure du Bt, ou encore la présence de ces plages sur l'ensemble de cet horizon, amène le sol au stade de sol lessivé légèrement dégradé, ce qui constitue une transition, un "intergrade" vers le degré d'évolution suivant.

B₃ Horizon de transition vers le matériau originel - Structure prismatique grossière prolongeant celle de la partie inférieure du Bt - Les faces verticales de structure sont généralement tapissées de revêtements argileux assez épais et continus, particulièrement dans les types de sol où un début de dégradation est nettement décelable.

Le réseau structural ébauché dans le stade précédent se différencie donc plus nettement - On observe une compacité plus grande de la matrice constitutive des prismes, ce qui conduit à une percolation préférentielle de l'eau entre les faces de structure, où d'autre part la colonisation radicellaire se concentre.

La limitation à une infiltration régulière des eaux de drainage au niveau du contact B_{2t}/B₃ conduit à un engorgement temporaire plus ou moins important qui se traduit dans la morphologie par l'apparition de taches d'oxydo-réduction de teinte rouille à la base du B_{2t}.

Dans les cas les plus défavorables les conduits racinaires présentent des traces de marmorisation, panachage d'orientation verticale entourant les pertuis.

C Le matériau originel, brun jaune (10 YR 5/6 - 5/8), se présente de manière pratiquement analogue à l'horizon C du stade précédent - La compacité est assez importante.

On observe, à ce stade, une compacité de l'horizon B₃ plus marquée encore que dans le type de sol précédent.

Ces caractéristiques morphologiques, essentiellement celles des horizons A₂ et B_{2t}, nous ont aidé à placer la distinction entre sols bruns lessivés et sols lessivés. Nous reviendrons sur cette conception aux chapitres suivants.

- Répartition - Conditions d'apparition.

Ce type de sol est assez fréquent sur limon du cycle récent lorsqu'une végétation forestière ancienne assez dégradée et acidifiante l'a colonisé.

D'autre part, dans les zones d'extension des limons plus anciens, on peut l'observer aux abords des ruptures de pentes et sur pentes modérées, où le développement de profil est légèrement moins accentué que celui des sols dégradés et très humides qui caractérisent les plateaux, du fait de l'élimination par écoulement superficiel d'une partie des eaux de précipitations.

5.11.6. SOL LESSIVE GLOSSIQUE A HYDROMORPHIE.

- Caractéristiques du profil.

Ce degré de développement constitue pratiquement le dernier stade d'évolution que nous avons pu observer sur nos matériaux limoneux.

On y constate une véritable "dissolution" de la partie supérieure de l'horizon Bt et la formation de poches et de langues de dégradation s'insinuant profondément dans l'horizon d'accumulation et provoquant progressivement un épaissement de l'horizon A₂. Il s'agit du "tonguing" des auteurs anglo-saxons.

Le lessivage très important des couches superficielles, lié à la dégradation, va fréquemment de pair avec l'apparition en profondeur d'un niveau de compacité marqué. Cet horizon, du type "fragipan", se surimpose au développement du sol au niveau de l'horizon B₃, et remonte localement dans la partie inférieure du B₂t (Hébert et Jamagne, 1964).

L' L'imperméabilité importante de ce niveau, ainsi qu'un certain colmatage de la base de l'horizon Bt par les produits illuviés, provoque dans ce type de sol l'apparition de conditions d'hydromorphie importantes liées à l'existence d'une nappe d'eau à caractère temporaire.

Les horizons génétiques présentent donc des caractéristiques morphologiques très accentuées.

Sous végétation naturelle dégradée, acidifiante, à humus du type "moder" ou "mor", peuvent apparaître dès lors des phénomènes de podzolisation matérialisés par un micropodzol développé dans la partie supérieure de l'horizon A₂ du sol dégradé (Dudal, 1953 - Galoux, 1953 - Louis, 1954 - Jamagne, 1964).

Un profil type du sol lessivé dégradé, glossique, présente la succession d'horizons génétiques suivants :

- | | |
|-----------------|---|
| A ₁ | Horizon d'infiltration humifère d'épaisseur faible et à limite distincte - Structure granulaire généralement peu définie. |
| A _{2g} | Horizon fortement lessivé en argile et en fer, de couleur très claire (10 YR 6/3 à 7/3) - Structure granulaire à lamellaire - Petites taches de concrétions plus ou moins indurées de fer et de manganèse - Cet horizon pénètre en langues dans le B sous-jacent - Localement, on observe à la partie inférieure des fragments résiduels du B englobés dans le matériau fortement appauvri - Limite inférieure très irrégulière. |
| A & Bg | Horizon de transition caractéristique de l'altération du Bt - Ce niveau comporte à la fois des masses de matériau présentant les caractéristiques du B, et des poches de forme allongée verticalement correspondant aux langues de dégradation du A ₂ .
La structure des zones résiduelles du B est polyédrique subangulaire et présente des revêtements argileux fins en voie d'altération, celle des zones dégradées est pratiquement particulaire - Nombreuses taches ferro-manganiques partiellement indurées, taches rouilles indiquant les phénomènes d'oxydo-réduction nombreuses également - Limite graduelle et irrégulière. |

B₂tg

Horizon d'accumulation d'argile en voie de dégradation, à matrice brun jaune (10 YR 5/6 - 5/8) - Structure polyédrique angulaire reprise progressivement vers la base dans une structure plus grossière du type prismatique - Les revêtements argileux, généralement brun foncé (7,5 YR 4/4 - 5/4), sont d'épaisseur moyenne et assez continue.

De très nombreuses plages de dégradation séparent localement les prismes et sont en continuité avec les infiltrations en provenance du A₂.

Les indurations ferro-manganiques sont nombreuses, ainsi que les taches d'oxydo-réduction - Au niveau de la base de cet horizon, apparaissent le long des faces verticales de structure, prolongeant les poches de dégradation de plus en plus étroites, des revêtements argilo-limoneux assez épais et de couleur grise (5 Y 6/1) qui remplacent donc progressivement en profondeur le limon fin issu de la dégradation - Ces enduits seraient issus d'une illuviation secondaire suite à la dégradation de la partie supérieure du sol. L'oxydo-réduction se traduit dès ce niveau par un panachage d'orientation verticale - Limite graduelle.

B₃gx

Horizon de transition caractéristique - Structure prismatique grossière présentant fréquemment une sous-structure lamellaire - Les faces verticales de structure sont tapissées de revêtements argilo-limoneux très épais de couleur gris pâle (5 Y 7/2), et présentent vers l'intérieur de la matrice une frange caractéristique de concentration de fer (7,5 YR 5/6 - 5/8).

Aux abords de la matrice des agrégats, ces enduits argileux paraissent interstratifiés de limon très fin.

En plan horizontal, le tracé structural se présente sous forme d'un réseau polygonal parfois irrégulier mais très net.

Les phénomènes de compacité de ce niveau, entamés dans les stades d'évolution précédents, prennent ici toute leur ampleur. Cet horizon, du type "fragipan" constitue un obstacle important à toute pénétration, et une nappe aquifère à caractère temporaire est maintenue sur ce niveau pendant une partie importante de l'année. Le panachage vertical est particulièrement net, et renforcé sous végétation forestière par la marmorisation des conduits racinaires.

Cg

Le matériau originel est structuré de manière très grossière, des prismes très importants se dissociant dans une masse assez continue.

Une tendance lamellaire peut quelquefois cependant s'y observer. Le panachage de l'horizon sus-jacent s'y atténue fortement jusqu'à disparaître pratiquement dans certains cas.

- Répartition - Conditions d'apparition.

La répartition de ce type de sol est liée à des conditions particulières lorsqu'on l'observe dans des loess récents du Pléistocène supérieur. L'apparition en est essentiellement due à une dégradation ancienne et importante de la végétation naturelle, vraisemblablement par modification anthropique du tapis végétal. Une exploitation forestière abusive de certaines zones, éventuellement associée à une introduction massive d'espèces productrices matière organique à décomposition lente en est fréquemment la cause.

La dégradation de la Chênaie Atlantique, suivie notamment par une monoculture séculaire de hêtre en est par exemple très caractéristique. (Duchaufour, 1948 - Dudal, 1953 - Galoux, 1953 - Louis, 1954).

Lorsque ce type de végétation est toujours en place, les phénomènes de micropodzolisation y sont généralement particulièrement nets.

SCHÉMA MORPHOLOGIQUE

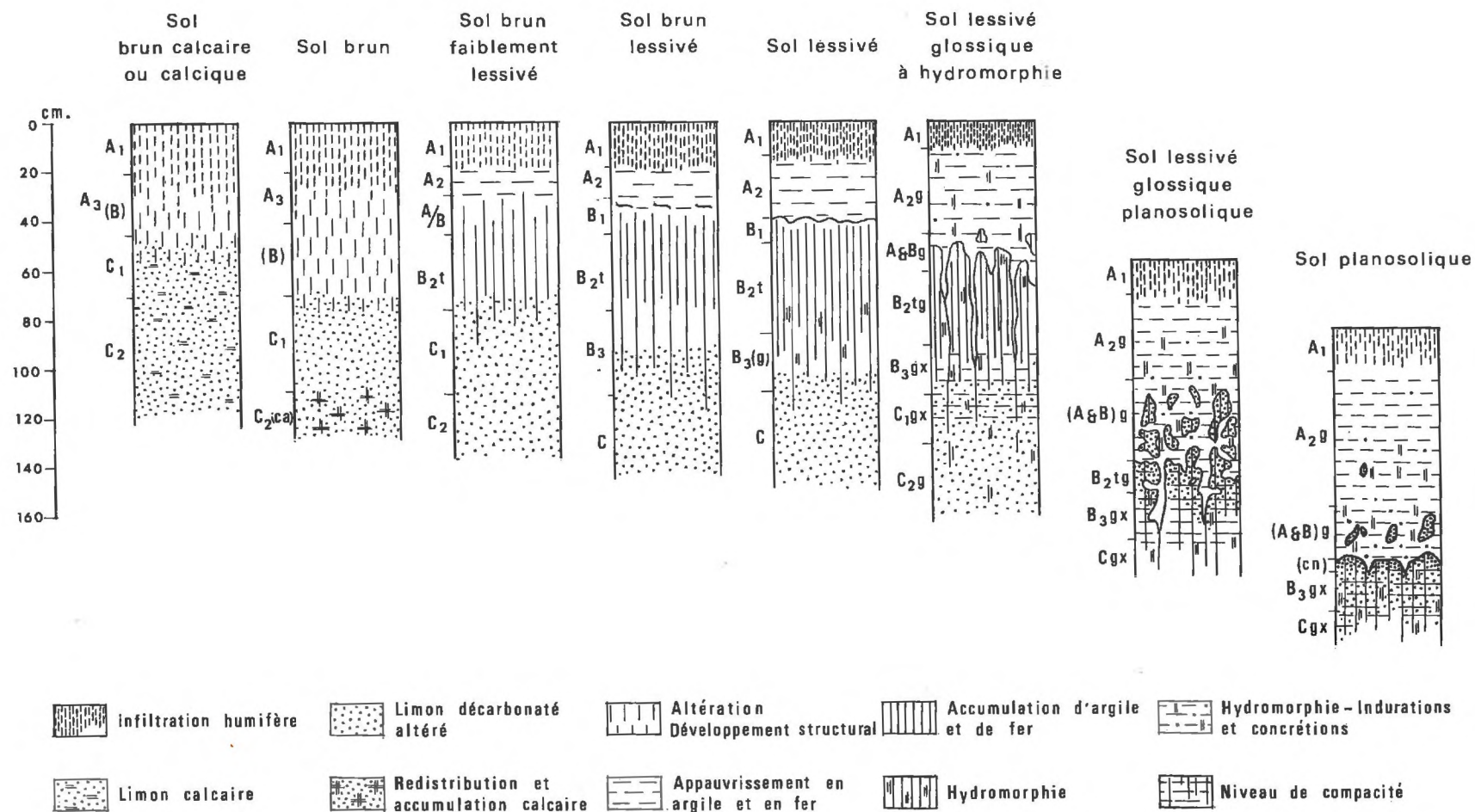


Fig. 96

Comme nous l'avons vu, ce développement de sol est d'autre part caractéristique de limons plus anciens appartenant vraisemblablement à la base de la couverture du cycle "récent", ou même à celle du cycle ancien. Ces matériaux sont alors généralement répartis sur de vastes surfaces à relief sub-horizontale où les possibilités de rajeunissement par érosion ont toujours été limitées. Ils ont donc subi depuis très longtemps l'influence des facteurs pédogénétiques, et constituant de très vieux sols.

Il est évident que l'intensité des phénomènes caractérisant ce stade très avancé d'évolution est beaucoup plus grande sur les matériaux anciens où les processus affectent une épaisseur nettement plus importante du solum.

5.11.7. SOL LESSIVE "PLANOSOLIQUE".

- Caractéristiques du profil.

L'intensification simultanée des conditions réductrices et des phénomènes d'illuviation amène localement l'apparition de types de sols à morphologie proche de celle des plansols.

On y observe une disparition, progressive semble-t-il, des reliques du Bt situées dans le A₂, tandis qu'une discontinuité texturale beaucoup plus marquée entre l'horizon A₂g et l'horizon B₂tg apparaît, le niveau de dégradation A & B étant toujours présent, mais d'épaisseur très réduite. Un certain blanchiment de l'horizon appauvri peut se présenter au contact de l'horizon Bt, particulièrement compact. Les caractères de "fragipan" remontent très haut dans cet horizon d'accumulation très dense.

Dans les cas où l'évolution par hydromorphie est très marquée, on peut observer la présence d'un niveau assez important de concrétionnement d'oxydes de fer à la partie supérieure des niveaux les plus compacts.

- Répartition - Conditions d'apparition.

Ces sols, très localisés dans le paysage de la Haute-Brie et du Tardenois, se cantonnent dans des situations topographiques de légère dépression, où les phénomènes d'engorgement sont particulièrement fréquents et importants.

On peut également les observer là où une couverture limoneuse peu épaisse repose sur un substrat imperméable provoquant des conditions d'hydromorphie particulières.

5.11.8. CONCLUSIONS.

De l'ensemble des observations morphologiques que nous avons pu effectuer, un certain nombre de points apparaissent comme particulièrement importants à envisager, des stades initiaux aux stades les plus évolués.

- Sous végétation naturelle, la nature de l'humification est variable, le mull eutrophe ou mésotrophe des sols bruns ou bruns lessivés fait progressivement place à des humus du type mull acide, dysmoder et moder typique dans les sols les plus dégradés.

- En ce qui concerne les activités biologiques, une remontée du solum biodynamique s'observe nettement dans la séquence : diminution de l'épaisseur des horizons hémorganiques, diminution des activités fauniques et de la profondeur d'enracinement.

- Les modifications de la qualité de la structure des horizons caractéristiques sont importantes.

- Horizon A₂ - De granulaire dans les stades d'éluviation simple, elle tend à devenir plus massive, et à tendance lamellaire dans les stades dégradés.
- Horizon B_{2t} - La structure polyédrique bien développée des premiers stades perd de sa qualité, puis se dégrade progressivement.
- Horizon B₃ - Une sous-structure lamellaire, développée dans les agrégats de la structure prismatique grossière, caractérise les stades les plus avancés, avec différenciation d'un horizon du type "fragipan".
Cet horizon de transition prend de plus en plus d'importance dans la dynamique et l'économie en eau du sol par l'apparition d'une compacité très grande.

- Le phénomène de dégradation de l'horizon Bt débute par l'apparition de petites mouchetures ou plages préférentiellement éluviées sur les agrégats de la partie supérieure de l'horizon argillique des sols lessivés. Une extension de ce processus aboutit finalement à de véritables langues de dégradation.

- La limite entre les horizons éluviés et illuviés, progressive dans les premiers stades, devient ondulée puis franchement irrégulière dans le cas du "tonguing". Elle redevient plus régulière dans les sols très hydromorphes.

- Les revêtements, exclusivement argileux ou argilo-humifères dans les sols bruns lessivés et les sols lessivés deviennent argilo-limoneux au niveau des horizons Bt des sols glossiques ou à tendance planosolique.

- Une compacité de plus en plus marquée s'observe au niveau des horizons B₃ ou B/C.

- Des engorgements temporaires, apparemment dus à une variation de structure à la partie inférieure de l'horizon Bt, provoquent, dès le stade du sol lessivé, l'apparition de taches d'oxydo-réduction, typiques de l'hydromorphie. Ce phénomène prend de plus en plus d'ampleur et se manifeste de manière spectaculaire dans les sols dégradés où une nappe aquifère à caractère alternatif influence la partie supérieure du solum.

Nous allons voir, dans les chapitres suivants, les relations qui existent entre ces données fournies par l'observation de terrain et les résultats des déterminations de laboratoire.

5.12. EVOLUTION DES CARACTERES MICROMORPHOLOGIQUES

Nous allons tenter dans ce chapitre de mettre en évidence les variations les plus importantes décelées pour les caractéristiques micromorphologiques des sols sur limons loessiques.

Plusieurs synthèses de ce type ont été réalisées ou abordées antérieurement par certains auteurs, nous pouvons citer les travaux de *Kubiéna, Altemüller, Laruelle, Brewer et Sleeman, Bocquier*.

Certaines phases de la séquence qui nous occupe s'individualisent remarquablement sur le plan micromorphologique. Les stades décrits seront de ce fait quelque peu différents de ceux exposés dans le chapitre précédent, notamment pour la phase de l'illuviation, plus simplifiée, et celle de la dégradation, plus détaillée.

Les étapes suivantes seront décrites : *Matériau originel - Stade initial - Sol brun - Sol brun lessivé - Sol lessivé - Sol lessivé en voie de dégradation - Sol lessivé glossique à hydromorphie - Sol lessivé "planosolique"*.

Un tableau synthétique regroupera l'ensemble des observations effectuées, les planches 20 à 27 illustreront quelques uns des aspects les plus caractéristiques, et un paragraphe permettra d'introduire une discussion et une conclusion sur les données fournies par l'étude micromorphologique.

5.12.1. MATÉRIAU ORIGINEL - STADE INITIAL.

Les dépôts loessiques qui peuvent être considérés comme matériaux originels s'observent soit en surface où ils affleurent dans des positions morphologiques soumises à une érosion importante, soit en profondeur sous des sols plus ou moins fortement évolués.

Le squelette des limons loessiques du nord de la France est de composition assez homogène. Essentiellement quartzeux, il comporte cependant dans les fractions limoneuses une certaine quantité de minéraux altérables : plagioclases, feldspaths potassiques, minéraux micacés, glauconie.... Il est dominé par la fraction 20-50 microns, mais on y observe cependant une teneur variable en grains de sable grossier.

Les loess calcaires sont caractérisés par la présence de très petits fragments de calcaire détritiques, lithoreliques, et de calcite régulièrement disséminés dans le fond matriciel.

Le plasma, d'aspect essentiellement argileux, est homogène et régulièrement distribué, quelques séparations plasmiques s'observent aux fortes grossissements, certaines sont indépendantes, d'autres du type squelastique, l'orientation en est modérée.

L'assemblage élémentaire (ou distribution relative), fréquemment difficile à définir, se rapproche le plus souvent du type intertextique.

De très nombreux petits vides d'entassement sont répartis régulièrement dans le matériau, et sont en relation avec une très forte microporosité. La macroporosité semble par contre relativement faible, on peut observer quelques orthocavités et vésicules.

A ce stade, aucune caractéristique pédologique particulière n'est décelable.

Dès que le loess calcaire subit une influence pédogénétique, une mobilisation et une redistribution des carbonates intervient, avec concentrations localisées.

Les sols développés sont du type sol brun calcaire ou calcique : $A_1 - A_3/(B) - C$.

Les loess calcaires observés renferment presque toujours une proportion notable de CaCO_3 de néoformation qui constitue dès lors des néocalcitanes, et qui peuvent correspondre au "mycelium" calcaire fréquemment observé en profondeur.

Ces calcitanes de diffusion s'organisent à partir de vides : pores ou pertuis radicellaires. Ils représentent la forme la plus commune de ce calcaire de néogenèse. On peut également les observer sous la forme de concentrations beaucoup plus denses, de véritables nodules ou concrétions appelées "poupées" du loess.

Des séparations plasmiques bien visibles aux grossissements normaux apparaissent à ce stade ; localisées en bordure du squelette, elles appartiennent au type squelettique, certaines se différencient dans la masse.

L'assemblage élémentaire peut être considéré comme étant du type intertextique d'une manière assez générale.

Aucune autre répartition préférentielle du plasma sous forme de concentrations ne peut encore être mise en évidence.

5.12.2. SOL BRUN.

Ce stade est celui de l'altération et de la structuration du matériau, avec différenciation d'un horizon (B) correspondant à l'horizon diagnostique "cambique" de la classification américaine, à structure polyédrique bien développée.

Le profil est donc du type : $A_1 - A_3 - (B) - C$.

Le squelette ne présente aucune variation particulière par rapport au stade précédent, hormis l'élimination du calcaire détritique par dissolution des lithoreliques. Remarquons la présence assez fréquente de grains de glauconie à des degrés variables d'altération.

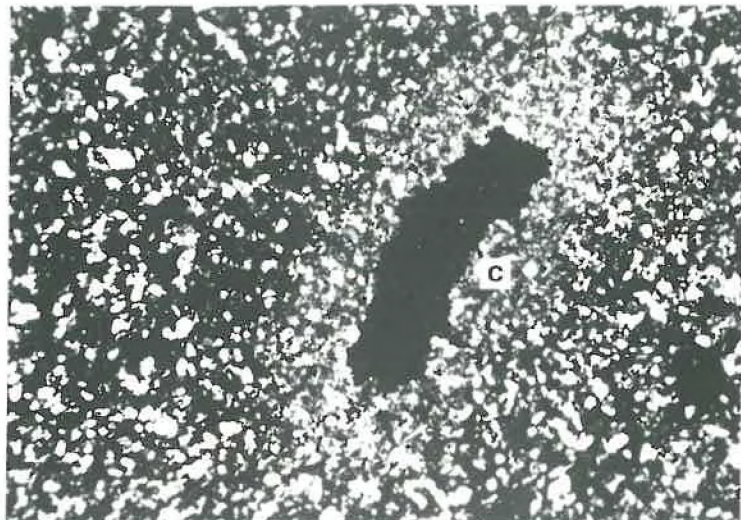
Le plasma présente une moins grande homogénéité et s'oriente, au cours de cette phase, de plus en plus nettement. Toujours de constitution essentiellement argileuse, il se répartit préférentiellement sous forme de séparations très bien discernables. Des séparations plasmiques bien individualisées se présentent donc autour des grains du squelette ainsi que sous forme d'îlots isolés dans le fond matriciel. Le degré d'orientation de ces séparations est généralement modéré, mais plus accentué que dans le matériau de départ. L'assemblage plasmique dominant peut être qualifié de squelettique.

Ces modifications progressives du plasma, liées semble-t-il à la décarbonatation, pourraient représenter un des aspects principaux de l'"argilification" par altération et microdivision des minéraux primaires.

L'assemblage élémentaire, ou distribution relative dans la structure de base, est essentiellement à dominance du type intertextique.

Les vides sont ici représentés principalement par des cavités à parois émoussées, du type mûta, et de nombreux chenaux. Du fait de l'agrégation bien différenciée du matériau, la macroporosité paraît sensiblement plus importante que dans le cas précédent.

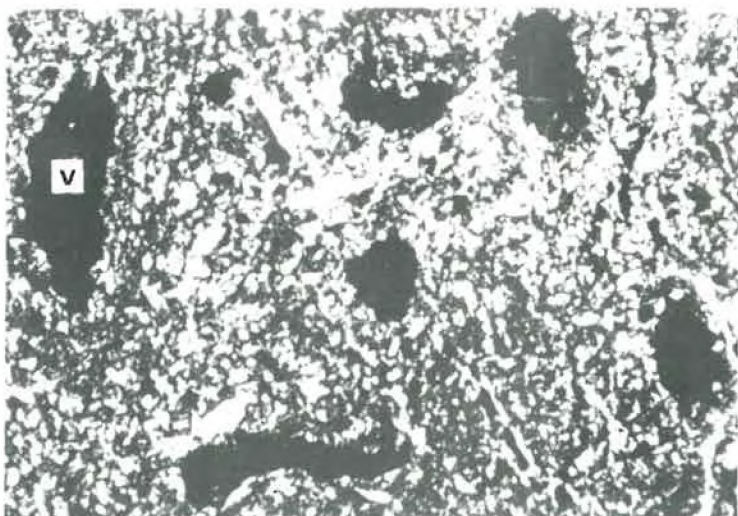
Comme traits pédologiques, on peut observer qu'une partie de la fraction argileuse migre localement et se dépose sous forme de concentrations sur les parois des vides. Les premiers vides à être affectés par ce processus de dépôt sont généralement ceux de diamètre moyen (50 à 200 microns). Ces quelques argilanes sont assez fortement orientés.



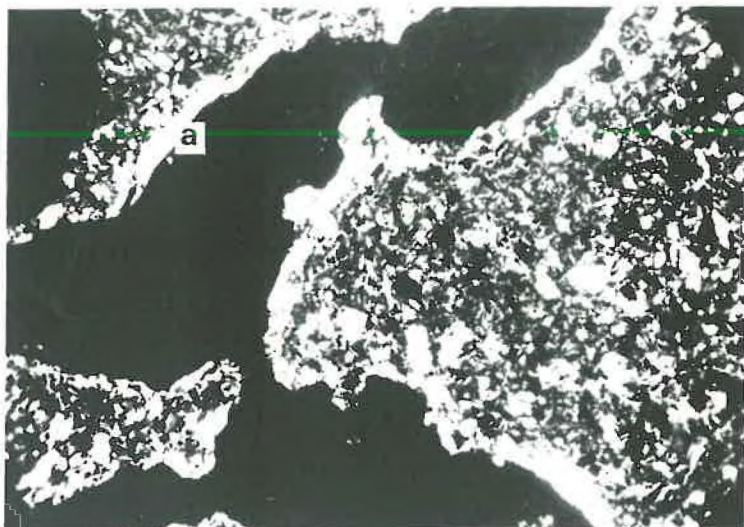
Loess calcaire de Picardie - Squelette homogène dominé par la fraction 20 - 50 microns. Le calcaire détritique est peu visible, les calcitanes forment des auréoles autour des vides (c) - L. P. x 70.



Id. - L. N. x 70.



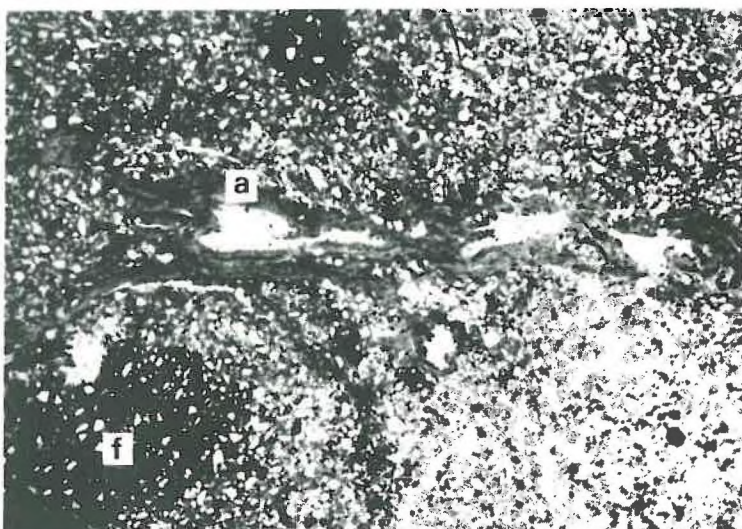
Horizon (B) - Sol brun - Soissonnais - De nombreux vides (v) sont représentatifs de la porosité importante - L. P. x 70.



Horizon B₂₂t - Sol brun lessivé - Picardie -
Agrégats et vides sont recouverts de ferri-
argilanes jaunes, minces (a) - L. P. x 70.



Horizon B₂₂t - Sol lessivé - Ardennes -
Ferri-argilanes très épais d'illuviation
primaire, à organisation plasmique très
nette - L. N. x 80.



Horizon B₂₂t - Sol lessivé - Thiérache -
Au milieu de la photographie : ferri -
argilanes avec décomplexation des oxy-
des de fer (a) - Glebules à limites dif-
fuses ou nettes (f) - L. N. x 70.

Cependant, les faces des agrégats structuraux ne paraissent pas subir d'enrochement important à ce degré d'évolution, où les déplacements colloïdaux au sein de la matrice paraissent toujours être d'amplitude réduite, et vraisemblablement liés à des conditions très localement favorables.

Il est donc vraisemblable qu'à ce stade, ainsi que probablement déjà à la fin du précédent, interviennent des processus d'altération et d'argillification provoquant l'apparition d'une certaine quantité d'argile enrichissant le plasma original (Rode, 1965).

5.12.3. SOL BRUN LESSIVE.

Les phénomènes d'illuviation sont ici particulièrement évidents, avec différenciation marquée d'un horizon B_{2t}, "argillique".

Le profil est du type : A₁ - A₂ - B₁ - B_{2t} - B₃ - C.

Cette illuviation se marque de manière très nette par la présence de nombreux revêtements argileux dans la presque totalité des méso et macropores, ainsi que sur les faces des agrégats structuraux (Cléz, 1949 - Dudal, 1953).

Le squelette présente une répartition toujours assez homogène.

Le plasma est de nature essentiellement argileuse à argilo-ferrique, sa distribution devient moins homogène, "sans relation" pour la masse, elle est subcutanique ou cutanique pour les séparations. Les séparations plasmiques entourant les grains du squelette sont très généralisées dans l'ensemble du fond matriciel, tandis que quelques ségrégations plasmiques plus ferriques s'observent sans relation évidente avec d'autres constituants. L'assemblage plasmique est du type in-squelettepique, dans l'horizon B_t, squelette-insepique dans la A₂.

Le squelette est toujours très largement dominant par rapport au plasma dans toutes les parties de la matrice, l'assemblage élémentaire étant essentiellement intertextique. A la partie supérieure du B, on observe cependant localement une distribution relative du type aggloméré, et au sein du B, en relation avec les quelques séparations du type insepique, un assemblage à tendance porphyrique.

Les vides sont constitués par de nombreuses cavités irrégulières à parois émoussées, quelques unes étant du type "mammillated". On observe au niveau du B_{2t} des chenaux simples ou "dendroïdes" à parois émoussées, qui paraissent être en relation avec la structure macromorphologique polyédrique typique. Notons dans l'horizon C un grand nombre de cavités régulières. A ce stade, la macroporosité est devenue importante tandis que la microporosité semble avoir sensiblement diminuée.

Les traits pédologiques sont représentés par les séparations, ainsi que par des concentrations plasmiques importantes.

Des argilanes et ferriargilanes, de couleur jaune à jaune rougeâtre, et assez fortement orientés, apparaissent dans les cavités, dans les chenaux, ainsi qu'en bordure des agrégats structuraux. Une fragmentation de ces concentrations, d'origine vraisemblablement mécanique ou biologique est intervenue localement.

Très nombreux au niveau du B_{2t}, ces cutanes ne recouvrent plus qu'environ 30 % des surfaces des vides dans l'horizon B₃; dans le C quelques traces seulement peuvent être observées.

Quelques petits isotubules, vraisemblablement dus à un remplissage assez récent de vides, ne sont pas rares à la partie inférieure du B_{2t}.

Ce degré de développement, très fréquent sur les matériaux d'apport récent, est notamment le plus accentué que l'on puisse observer sur les colluvions limoneuses anciennes.

5.12.4. SOL LESSIVE.

L'importance des phénomènes d'illuviation s'accroît ici sensiblement et est liée à une désaturation marquée du complexe absorbant des horizons supérieurs. D'autre part, certaines traces d'hydromorphie apparaissent dans le solum à la partie inférieure de l'horizon Bt.

Les horizons constitutifs sont les suivants : A₁ - A₂ - B₁ - B_{2t} - B_{3(s)} - C.

Le squelette, toujours assez homogène, présente cependant localement une distribution particulière. En effet, l'intensité du lessivage peut avoir amené l'accumulation de fractions limoneuses fines dans certains pertuis fauniques, ainsi que dans certains vides de dimensions suffisantes, où on les trouve englobés dans des pertuis d'illuviation argileux.

À ce stade, le plasma, argilo-ferrugineux, est bien orienté, et de couleur jaune à jaune rougeâtre. Sa distribution est ici relativement hétérogène. Les séparations plasmiques sont un peu plus nombreuses et un peu plus développées qu'au stade du sol brun lessivé. Elles sont toujours de manière dominante du type squelsépique, avec quelques ségrégations du type insepique dans la masse ; toutes sont relativement fortement orientées. L'assemblage plasmique y est donc du type in-squelsépique de manière dominante.

L'assemblage élémentaire présente soit des faciès du type aggloméré, soit du type porphyrique ; il faut noter l'aspect dense de cet assemblage au niveau de l'horizon Bt, la porosité y apparaissant comme relativement peu importante. Cet état va de pair avec une augmentation de la densité apparente.

Les vides sont constitués par de nombreuses cavités régulières et irrégulières, localement anastomosées, ainsi que par des chenaux simples à parois adoucies.

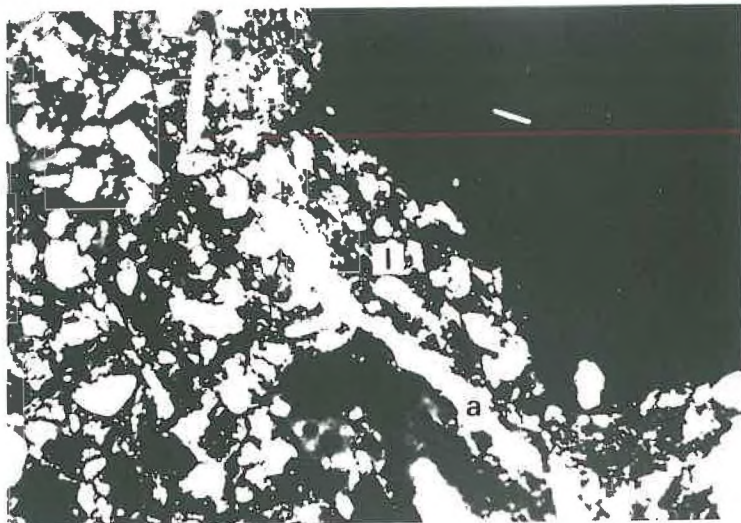
En ce qui concerne les traits pédologiques, ces sols plus évolués sont caractérisés par un développement important de revêtements argileux de couleur rouge jaune, qui constituent des ferriargilanes.

Ces concentrations plasmiques sont plus épaisses que les revêtements des sols bruns lessivés typiques ; assez fortement orientés, ils présentent une trame nettement striée. Pratiquement toutes les surfaces en sont affectées dans l'horizon argillique Bt.

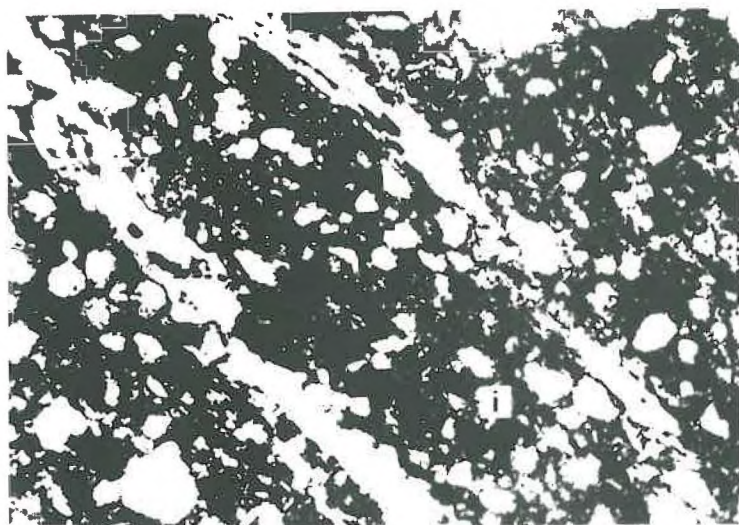
Sur l'ensemble du solum apparaissent de plus des cutanes argileux de diffusion, en connexion avec les argilanes typiques.

Certains argilanes présentent, interstratifiées dans les apports argileux successifs, une certaine quantité de grains de limon fin, vraisemblablement mobilisés par voie mécanique.

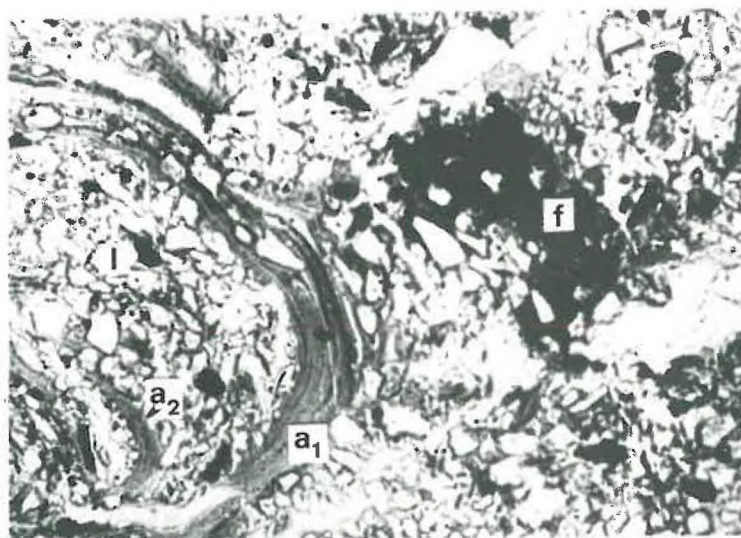
On peut observer localement des fragments de revêtements englobés dans le fond matriciel, et qui pourraient être interprétés essentiellement comme une conséquence de l'activité biologique.



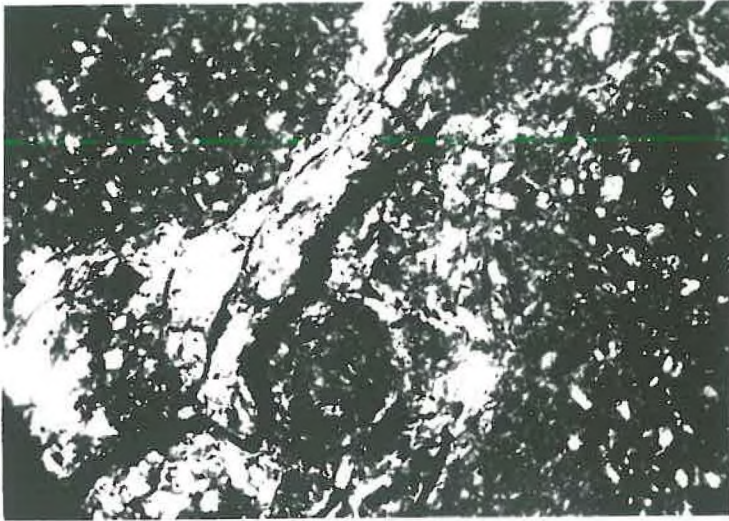
Horizon B₃ - Sol lessivé - Ardennes -
Concentration de limon (l) recou-
vrant un ferri-argilane de vide (a) -
L. P. x 100.



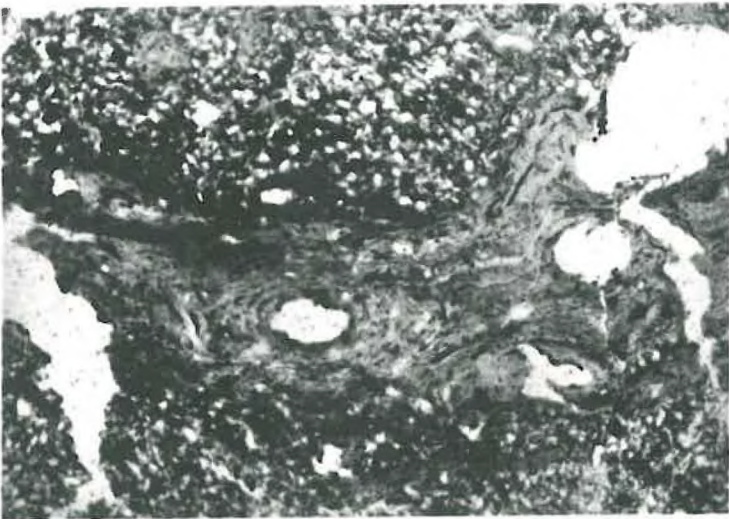
Même horizon - Formation d'un isotubule
(i) par colmatage d'un chenal -
L. P. x 100.



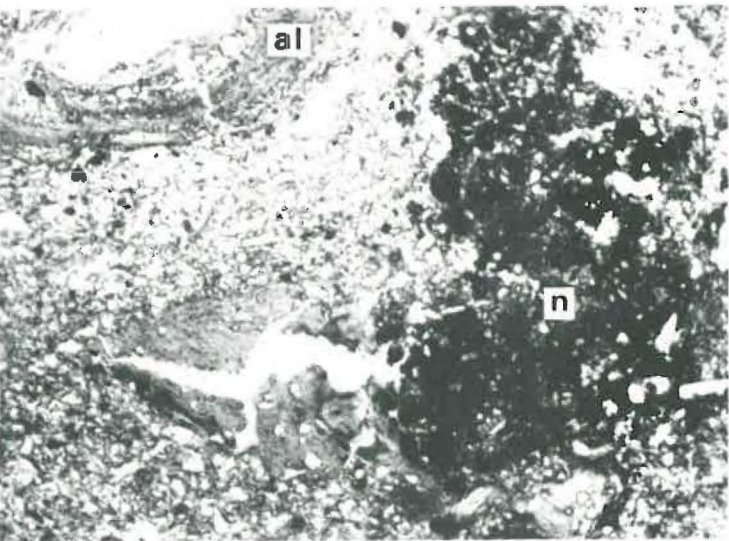
Horizon B_{21p} - Sol lessivé à pseudogley -
Orzois - Cycles successifs de concen-
trations argilo-ferriques (a₁ - a₂) avec
accumulation d'éléments de squelette (l) -
Nodule ferrique bien individualisé (f) -
L. N. x 80.



Horizon B₂₂tg - Sol lessivé en voie de
dégradation - Haute-Brie - Ferri - ar-
gilane complexe épais colmatant entiè-
rement un chenal - L. P. x 120.



Horizon B₂₂tg - Sol lessivé glossique
hydromorphe - Ardennes - Ferri - ar-
gilane très épais à organisation plas-
mique très nette - L. N. x 70.



Horizon B₃g - Sol lessivé glossique
hydromorphe - Haute-Brie. Concen-
trations plasmiques complexes, avec
limon fin (al) - Cutanes d'illuviation
secondaire - Nodule ferrique bien dif-
férencié (n) - L. N. x 70.

Des glæebules, nodules ferriques, s'observent à la partie inférieure de l'horizon Bt où ils représentent une tendance à un engorgement temporaire et correspondent aux taches d'oxydo-réduction observées à ce niveau dans le profil en place. Les limites de ces nodules sont souvent diffuses et irrégulières. Quelques isotubules, issus d'une distribution particulière des éléments de la matrice dans des vides se présentent localement.

Dans ce type de sol, il n'est pas rare de déceler des revêtements jaune or, typiques d'une pédogenèse assez récente, fossilisant des revêtements plus anciens et plus ferriques (Jamagne et Fédoroff, 1967).

En relation avec les données morphologiques et géomorphologiques, un certain nombre d'arguments nous font penser que les ferriargilanes jaune rougeâtre se seraient formés sous un climat plus chaud et plus humide que l'actuel, et correspondant à celui de la période atlantique.

5.12.5. SOL LESSIVE EN VOIE DE DEGRADATION, A PSEUDOGLEY.

Tout en ne constituant pas un stade de développement bien défini sur le plan taxonomique, ce type de sol présente un intérêt certain dans l'étude de l'évolution des formations limoneuses.

Des taches délavées, riches en limon fin, apparaissent sur les agrégats de la partie supérieure du Bt, et correspondent à un début de dégradation qui se généralisera dans le stade suivant (Cléine, 1949).

D'autre part, les caractères d'hydromorphie, de pseudogley, commencent à se manifester de manière importante.

Le profil est du type : $A_1 - A_2 - B_1 - B_{2t}(g) - B_{3g} - C$.

Le squelette, homogène dans son ensemble, présente ici également une distribution un peu particulière de certaines fractions fines qui sont entraînées en profondeur sous l'influence d'actions biologiques et mécaniques.

Les taches blanchies de dégradation caractérisant ce stade d'évolution correspondent à des plages à limites progressives qui ont perdu la majorité de leur plasma argileux, une grande partie des grains du squelette y est de ce fait libérée de son enrobage plasmique. Il s'agit en quelque sorte de plages de "micro-érosion".

Le plasma, d'aspect argilo-ferrique au niveau de l'horizon Bt, est assez hétérogène, et assez irrégulièrement distribué. On observe en effet la formation de dépôts foncés d'oxydes de fer, vraisemblablement associés à du manganèse, à limites irrégulières et diffuses, qui imprègnent le fond matriciel.

Les séparations plasmiques se répartissent toujours autour des grains du squelette et en îlots de moindre importance, mais aussi, à la partie inférieure du Bt et dans le B₃, en bandes plus ou moins parallèles organisées dans le fond matriciel. L'assemblage plasmique au niveau des horizons B pourrait donc être qualifié de ma-in-squelettepique.

L'apparition du caractère masopique traduirait une augmentation des contraintes physiques, en relation avec des phénomènes de tassement et de compaction.

D'une manière générale les horizons Bt de ces sols paraissent un peu plus tassés que ceux du stade précédent, avec augmentation relative du plasma par rapport au squelette. La distribution relative des constituants est donc assez variable suivant les plages d'observation. L'assemblage élémentaire peut y être qualifié de porphyrique dans le Bt.