

ILLUVIATION PRIMAIRE ET SECONDAIRE DANS LES SOLS LESSIVES SUR MATERIAUX LIMONEUX.

MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE ELEMENTAIRE

M. Jamagne¹ et C. Jeanson²

I. INTRODUCTION.

Les caractères principaux des profils de sols évolués sur matériaux limoneux montrent l'importance prise par les processus de lessivage à différents stades de leur évolution. A la suite de l'interprétation d'un grand nombre d'observations et de résultats analytiques, il est possible de distinguer une illuviation dite "primaire" caractérisant les horizons Bt des sols bruns lessivés et des sols lessivés, et une illuviation dite "secondaire", liée aux phénomènes de dégradation des horizons Bt d'accumulation des sols lessivés glossiques à hydromorphie temporaire (DE CONINCK et al. - 1968, JAMAGNE - 1969, BEGON et JAMAGNE - 1971, JAMAGNE - 1973, DUCLOUX 1975).

Les conditions de déplacement des produits colloïdaux sont relativement complexes.

L'illuviation "primaire" ou lessivage classique des sols sous climat tempéré humide, s'opère dans des conditions de milieu précisées à maintes reprises : formation de complexes organo-minéraux, désaturation partielle du complexe absorbant, alternance des conditions hydriques du sol.

¹ Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France, I. N. R. A. - 78000 VERSAILLES.

² Laboratoire d'Ecologie Générale - Muséum National d'Histoire Naturelle, 91800 BRUNOY, FRANCE

ILLUVIATION, MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE

L'illuviation "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 définir de manière plus précise les divers aspects du processus d'illuviation dans ces sols, nous avons tenté de caractériser différents types de revêtements liés à des stades d'évolution déterminés.

Les revêtements correspondant aux deux types d'illuviation définis ci-dessus sont observés et prélevés sur le terrain, dans les horizons Bt de sols lessivés développés sur limons loessiques dans le Nord de la France, puis examinés et soumis à l'analyse physico-chimique et minéralogique.

Afin de permettre des comparaisons, dans les mêmes horizons, sont également étudiés des échantillons provenant soit de zones de concentration préférentielle au contact des revêtements, soit de la matrice des agrégats.

A l'échelle microscopique, les traces laissées par l'illuviation sur les quelques échantillons sélectionnés sont analysées au microscope à balayage, au microscope polarisant et à la microsonde.

II. QUELQUES DONNEES ANALYTIQUES.

Le tableau I regroupe quelques moyennes obtenues à partir de données d'un travail antérieur (M. JAMAGNE 1973).

- TABLEAU I -

	Granulométrie (microns)				Fer libre DEB (Fe ₂ O ₃ %)
	0-2	2-10	10-20	20-50 > 50	
Sol brun lessivé					
Illuviation "primaire"					
- Revêtements	58.2	6.9	7.1	25.7	2.61
- Matrice	28.2	11.4	16.0	40.7	2.62
Sol lessivé glaucique					
Illuviation "secondaire"					
- Revêtements	32.3	11.6	14.7	38.3	0.38
- Matrice	26.9	12.8	15.7	40.9	2.41
- Fraige oxydée	24.1	12.9	17.0	40.4	3.87

ILLUVIATION, MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE

L'analyse granulométrique montre donc une forte teneur en argile dans les revêtements d'illuviation primaire: partiquement 60 %, alors que dans les revêtements d'illuviation secondaire elle n'est que très légèrement supérieure à 30 % ; Les matrices présentent une distribution granulométrique très semblable dans les deux cas. La teneur en argile de la frange oxydée des sols glossiques apparaît légèrement inférieure à celle de la matrice de l'agrégat.

L'analyse du fer libre fournit aussi de précieuses indications, elle prouve notamment la déferrisation très marquée des revêtements "secondaires" accumulés en milieu temporairement réducteur, et des concentrations ferriques importantes en bordure d'agrégats dans la frange oxydée des sols glossiques.

Du point de vue minéralogique, les déterminations aux rayons X et les analyses chimiques totales montrent, pour l'ensemble des revêtements argileux, la dominance nette dans l'argile fine ($< 0,2 \mu$) de minéraux plus ou moins gonflants et probablement intergrades, tandis que l'illite, la kaolinite et le quartz sont généralement bien représentés dans l'argile grossière ($0,2 - 2 \mu$).

Les revêtements des sols glossiques, dégradés, présentent en plus, dans la fraction grossière, des traces plus ou moins bien exprimées de vermiculite alumineuse. (JAMAGNE, 1973 - DE CONINCK et JAMAGNE, 1974).

Nous verrons plus loin comment ces quelques données peuvent intervenir dans les interprétations générales.

III. MICROMORPHOLOGIE AU MICROSCOPE ELECTRONIQUE A BALAYAGE.

Des échantillons d'un cm^3 environ, séchés à l'air, métallisés par une couche d'or de quelques centaines d'Angström, sont examinés à des grossissements variant

de 200 à 8 500. La planche I montre des photographies à différents grossissements (figures 1 à 6).

A. Sol brun lessivé.

En coupe transversale, le revêtement argilo-ferrique ("ferriargilane" de Brewer - 1964) des sols bruns lessivés est très nettement visible autour d'un pore (figures 1 et 2). Son aspect finement feuilleté et homogène contraste avec l'aspect grumeleux hétérogène de la zone contigüe. La stratification de cette concentration plasmique montre une certaine dissymétrie par rapport au vide tubulaire. Son épaisseur varie, en effet, de 10 à 80 μ . Vu en surface, à fort grossissement, le revêtement paraît formé d'un empilement de minces plaquettes irrégulières qui correspondent aux concentrations plasmiques (figure 3).

B. Sol lessivé glossique.

La dégradation de ces sols est visible au microscope à balayage : des plages formées de langues écailleuses de taille variables et plus ou moins jointives, représentent les particules argileuses différemment altérées et disloquées dans leur empilement (figure 4).

Dans certaines fentes de la structure prismatique de la base du Btg de sols fortement évolués on peut observer des accumulations importantes d'argiles plus ou moins déferrisées. En coupe transversale (figures 5 et 6), ce type de revêtement présente également un aspect lamellaire. Les lamelles ont ici un aspect plus irrégulier, plus granuleux (figure 6 - 1), que celles des revêtements correspondants dans les sols bruns lessivés. Il pourrait s'agir de l'effet d'une dégradation ayant laissé des traces dans le domaine plasmique lamellaire.

IV. MICROMORPHOLOGIE AU MICROSCOPE POLARISANT.

Les caractères micromorphologiques importants observés au microscope polarisant sont décrits et présentés sous forme d'un tableau synthétique (tableau II) de manière à faciliter les comparaisons. La planche I, figures 7 à 10, montre quelques clichés caractéristiques.

Compte tenu de l'objet de la présente note, ces caractères concernent essentiellement les horizons d'accumulation d'argile du type Bt:

- horizons B_{2t} des sols bruns lessivés et lessivés en ce qui concerne l'illuviation dite "primaire",
- horizons B_{21tg} , B_{22tg} et B_{3gx} des sols lessivés glossiques pour la mise en évidence de l'illuviation dite "secondaire".

La terminologie utilisée est celle de Brewer (1964).

A. Sol brun lessivé - Illuviation "Primaire".

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

Le plasma, argilo-ferrique, est bien orienté, et de couleur jaune à jaune rougeâtre; sa distribution peut être relativement hétérogène. Les séparations plasmiques sont de manière dominante du type "squelsepique", avec quelques ségrégations du type "insepique" dans la masse; toutes sont assez fortement orientées. L'assemblage plasmi-
que y est donc du type in-squelsepique de manière dominante.

L'assemblage élémentaire, d'aspect assez dense, présente

soit des faciès du type "aggloméré", soit du type "porphyrique"; la porosité y apparaît comme relativement peu importante.

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, cet horizon est caractérisé par un développement important de revêtements argileux de couleur rouge jaune, qui constituent des ferriargilanes, typiques de l'illuviation primaire.

Ces concentrations plasmiques sont généralement fortement orientées, et présentent une trame nettement striée. Pratiquement toutes les surfaces structurales en sont affectées. Elles sont régulièrement réparties au niveau du B_{2t}, et sont plus localisées mais plus épaisses (jusqu'à 500 microns) dans le B₃. Sur les figures 7 et 8 on distingue nettement leur stratification marquée (figure 7 - a) ainsi qu'une individualisation associée d'oxyde de fer (figure 7 - f). En lumière analysée (figure 8) on constate la forte orientation de ce type de cutane.

Sur l'ensemble du solum apparaissent de plus des cutanes argileux de diffusion, en connection avec les ferriargilanes typiques. Certaines concentrations présentent, interstratifiées dans les apports argileux successifs, une certaine quantité de grains de limon fin vraisemblablement mobilisés par voie mécanique.

Des fragments de revêtements englobés dans le fond matriciel peuvent localement se distinguer, ils sont vraisemblablement dus à l'activité biologique.

Des glæbules, nodules ferriques, apparaissent à la partie inférieure de l'horizon Bt où ils représentent une tendance à un engorgement temporaire. Les limites de ces nodules sont souvent diffuses et irrégulières. Quelques isotubules peuvent s'observer, et résultent d'une distribution particulière des éléments de la matrice dans des vides.

ILLUVIATION, MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE

F. V. F. F. V. 17

Stades d'évolution Butir de description	Sol bien lessivé Illuvation "primaire"	Sol lessivé plus que Illuvation "secondaire"
S. Matrix Squelette	Essont fellovent quartzes, dominé par la fraction F-50 µ, avec grains de sable grossier. Assez homogène.	Assez homogène, plus hétérogène en bordure d'apicéat à l'haou fin redistribué.
Plana Séparation plus que	Homogène à assez hétérogène - Argilo-ferrique. Bien orienté.	Très hétérogène - Argilo-ferrique à nombreux dépôts d'oxydes de fer. Bivérification moins nette. Imprégnations ferriques.
Asses plus que Structure de base	Nombreuses sur squelette et en taches dans la masse. Assez fortement orientées. In-squelette.	Sur squelette, en bandes et isolées dans la masse, subcutanées par endroits. In-squelette, squelette localement. SK > P1 >> V
Assemblage élémentaire	SK > P1 > V Assez dense, du type aggloméré à porphyrique.	Dense à dominance porphyrique.

Vides	Cavités et chenaux essentiellement. Macroporosité importante.	Cavités, chenaux et chambres en B _{2g} , fentes jointives en B _{3g} . Faible porosité en B _{2g} .
Trails pédologiques Concentrations Cutanes	Ferri-argilanes jaunes et rouge Jaune, "primaires", fortement orientés et à forte striation - Cutanes de diffusion - Cutanes fragmentés.	Argilanes jaune clair, "secondaires", simple ou composés, modérément orientés, fluidaux, en B _{2t} et B _{3gx} . Ferri-argilanes simples ou composés, faiblement biréfringents en B _{2t} . Cutanes de diffusion. Squelctanes - Sesquanes - Manganés.
Glébules	Nodules ferriques au niveau du B _{2t} /B ₃ . Quelques isotubules.	Nodules et ségrégations nombreuses, avec concrétions. Striobulbes assez nombreux. Localement quelques papules.
Hérités - Pédologiques		Fragments de concentrations redistribués.

B. Sol lessivé glossique à hydromorphie - Illuviation "Seconde" condaire.

Le Squelette présente dans certaines zones, en bordure d'agrégats, une hétérogénéité assez marquée, les fractions les plus fines y étant relativement plus représentées. On observe, dans les langues de dégradation, des plages dans lesquelles le plasma argileux a disparu pratiquement en totalité.

Le plasma est très hétérogène et marqué par des formes variées de ségrégations ferriques, sa biréfringence est, d'une manière générale, moins nette qu'au stade précédent. Les dépôts d'oxydes de fer prennent une importance considérable dans la zone d'altération de l'horizon B_t, où ils imprègnent localement l'ensemble du fond matriciel.

Par endroits, le plasma paraît considérablement déferrisé sous l'influence des conditions réductrices du milieu, il peut avoir pratiquement disparu dans des plages de dégradation.

Les séparations plasmiques sur squelette sont présentes d'une manière très générale, d'autres allongées en bandes ou partiellement incurvées, du type "masepique" apparaissent dans le fond matriciel dès la partie moyenne de l'horizon B_{2t} et jusqu'au B_{3gx}.

Les assemblages plasmiques sont donc du type "intra-squelsepique" avec "vosepique" associé. Le caractère "masepique" paraît nettement développé au niveau de l'horizon B_{3gx}, du type fragipan, ce qui correspondrait à un maximum de contraintes mécaniques et de compaction. Très localement les types "squel-bimasepique" peuvent être dominants.

L'assemblage élémentaire est du type "porphyrique" dominant ; la distribution relative du squelette et du plasma est localement très hétérogène.

Les vides sont très variés. De nombreux chenaux sont présents, à parois émoussées, avec quelques chambres irrégulièrement réparties. Au niveau du B_3gx on note la présence de fentes jointives, localement déviées, qui correspondent vraisemblablement aux faces structurales importantes de la structure prismatique à sous structure lamellaire de cet horizon compact.

Les traits pédologiques sont très nombreux dans ces horizons, les revêtements argileux y prenant une grande importance. Certains d'entre eux, très épais, colmatent les vides dans lesquels ils se sont formés, particulièrement au niveau de la transition B_2t/B_3 .

Les cutanes y sont complexes et présentent des aspects très différents.

Les plus caractéristiques sont localisés à la partie inférieure de l'horizon B_2tg et au niveau du B_3gx . Il s'agit d'argilanes jaune clair, parfois presque blancs, qui correspondent aux revêtements argileux grisâtres observés sur le terrain, et souvent assez épais. Ces concentrations plasmiques sont dues à l'illuviation secondaire, c'est-à-dire formées par des argiles déferrisées provenant d'une altération du B_2t en milieu temporairement hydromorphe. Mises en suspension dans un milieu réducteur, elles ont perdu une grande partie de leurs oxydes de fer avant de migrer. Ces argilanes sont modérément orientées, d'aspect fluidal, présentant des extinctions par plages, et le plus souvent sans aucune striation nette. Certaines sont pures et concentrées (figure 9 - a₁), d'autres sont formées d'une alternance irrégulière de couches les unes argileuses, les autres constituées essentiellement de grains de limon fin : argilanes et squeletanes composés (figure 9 - a₂). La figure 10 montre l'orientation "en taches" typique de ces concentrations.

Dans la partie supérieure du Bt sont présents des fer-

ri-argilanes soit simples, modérément orientés, avec individualisation d'oxydes de fer: leur biréfringence est plus faible qu'au stade précédent, soit avec interstratification de fines bandes sombres vraisemblablement constituées par des formes d'individualisation du fer ou du manganèse.

En relation avec ces cutanes de vides, s'observent également un certain nombre de cutanes argileux de diffusion. Des fragments de ferri-argilanes s'observent localement, réenglobés dans le fond matriciel vraisemblablement par l'action de contraintes mécaniques. D'autre part, dans certains sols sur matériaux anciens, l'action du gel a provoqué la redistribution dans la masse de nombreux fragments de concentrations plasmiques.

Dans les horizons B, les ségrégations ferriques présentent des formes et des intensités variables, certaines imprègnent le fond matriciel, d'autres forment des "sesquanes" sur les parois des vides. On observe des ferri-argilanes et manganés assez nombreux dans les vides interagrégats.

Les glæbules sont largement représentés par des nodules et des concrétions ferriques. Des striotubules sont présents au contact entre les horizons B₂tg et B₃gx, leur contenu d'argile et de limon fin correspondrait à une phase de remplissage analogue aux processus de formations des cutanes composés que nous avons mentionnés.

V. MICROANALYSE ELEMENTAIRE A LA MICROSONDE

La microsonde de Castaing (1951, 1966) a introduit dans les sciences de la terre de nouvelles possibilités d'investigation (JEANSON 1966, 1969, 1972).

Cet appareil permet les analyses qualitatives et quantitatives des éléments chimiques de numéro atomique supérieur à 11 (Sodium). Ces analyses sont faites soit sur des

lames minces, soit sur des sections polies. Elles ont l'avantage de pouvoir être localisées avec une grande précision, compte tenu de la micromorphologie de l'échantillon, et de n'en pas détruire la structure. Les résultats analytiques se présentent, soit sous forme de cartes de répartition de 200 à 300 μ de côté appelées aussi images X (planche II), soit sous forme de diagrammes pour l'analyse qualitative et les analyses semi-quantitatives en série (planche III). Les dosages ponctuels quantitatifs exprimés en pourcentage ne sont pas utilisés dans cette étude.

Pour chacun des deux sols types étudiés : sol brun lessivé pour l'illuviation primaire, et sol lessivé glossique hydromorphe pour l'illuviation secondaire, trois zones ont été analysées au niveau de la base des horizons d'accumulation d'argile.

Ces zones sont : - pour l'horizon $B_{22}t$ d'un sol brun lessivé du nord du Bassin de Paris : revêtement argileux "primaire", zone de contact en bordure d'agrégat et matrice de l'agrégat; - pour l'horizon $B_{22}tg$ d'un sol lessivé glossique du centre du Bassin de Paris : revêtement argileux "secondaire", frange rouille, oxydée, en bordure d'agrégat et matrice de l'agrégat.

La localisation précise de ces analyses est schématisée sur la figure suivante (figure 11).

LOCALISATION DES ANALYSES A LA MICROSONDE.

Les plages étudiées ont été sélectionnées sur plaques minces au microscope polarisant, de manière à pouvoir établir une relation précise entre les résultats de la microsonde et les données de la micromorphologie.

A. Cartes de répartition des principaux éléments.

La planche II regroupe les cartes de répartition de

3 à 4 des principaux éléments des 6 plages analysées. Elles ont chacune 250 u de côté et les teneurs figurées sont proportionnelles à la densité des points blancs. Sous l'influence du bombardement électronique de la sonde, chaque élément émet un rayonnement x caractéristique de son numéro et de sa concentration en chaque point. D'où le nom d'images x données aussi à ces cartes.

a) - Sol brun lessivé - Illuviation "Primaire".

Revêtement. Le silicium et l'aluminium sont visiblement associés étroitement avec du fer en abondance et un peu de manganèse. Il s'agit de matériaux riches en argile fine, c'est-à-dire relativement pauvres en quartz fin (JAMAGNE 1973). Ces matériaux ne sont pas altérés et nettement ferriques. Nous sommes en présence des ferri-argilanes très typiques décrits sur les lames minces (figures 7 et 8).

Matrice. La répartition de Si et Al se présente ici de manière différente. La silice domine dans des minéraux anguleux qui sont les quartz du squelette limoneux. La présence simultanée de Si, Al et Fe représente le plasma argilo-ferrique assez homogène. Des accumulations simultanées de Fe et Mn représentent les ségrégations d'oxydes bien visibles à l'examen des lames minces.

Zone de contact. Tout comme dans la matrice, la distribution de Si apparaît très différente de celle de Al. On observe en effet beaucoup de Si indépendant des autres éléments déterminés, d'où, ici aussi, présence de beaucoup de quartz. L'association de Si, Al et un peu de Fe marque la distribution du plasma argileux. L'image du manganèse montre une densité plus importante que pour la matrice. Peut-être pourrait-on émettre l'hypothèse d'une certaine accumulation de cet élément en bordure des agrégats.

b) - Sol lessivé glossique - Illuviation "Secondaire".

Revêtement argilo-limoneux. Le silicium, l'aluminium et le fer présentent des répartitions assez analogues mais des intensités différentes. L'image du Mn, particulièrement peu représenté, n'a pas été reproduite.

Notons la très forte intensité de Al, d'une part par rapport à Si, sur la plage étudiée, d'autre part par rapport aux images des revêtements primaires du sol brun lessivé. Cette donnée pourrait constituer une confirmation de la dominance de minéraux argileux altérés, aluminieux, mise en évidence par ailleurs. (JAMAGNE, 1973).

Matrice. 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 silicium, peut-être s'agit-il là d'argiles enrichies en fer.

Frange oxydée. Tout comme pour la zone de contact de l'échantillon du sol brun lessivé, 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 silicium, 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 glaebules observées sur les lames minces au microscope polarisant.

B. Analyses semi-quantitatives.

La planche III présente les diagrammes obtenus lors

ILLUVIATION, MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE

des analyses faites en continu sur une ligne transversale horizontale des images x de la planche II.

a) - Sol brun lessivé - " Illuviation primaire "

Revêtement. Les teneurs en Si Al et Fe augmentent aux mêmes endroits, ce qui confirme avec plus de précision la présence de concentrations argilo-ferriques mises en évidence sur les images x.

Un vide bien caractérisé peut être localisé au milieu du diagramme et aucune trace de quartz n'est visible.

Matrice. 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 squelette 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 quartz.

Zone de contact. 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 signalée. 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.

b) - Sol lessivé glossique - Illuviation "Secondaire".

Enregistrement Fe et Mn. Cette planche permet de comparer la distribution de ces deux éléments dans un milieu hydromorphe, soumis aux processus d'oxydo-réduction. Les trois diagrammes 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 montrent des valeurs relatives encore notables. On remarquera la diminution des valeurs en Mn en passant de la frange à la matrice et aux revêtements argilo-limoneux. Ces derniers sont, d'après les analyses chimiques, très pauvres en fer libre (tableau I); or les données de l'enregistrement indiquent des teneurs en fer total assez importantes de sorte que nous pouvons en déduire que les composants sont toujours relativement riches en fer de constitution. Peut-être les états du fer dit "libre" correspondraient-ils aux plus grands pics des enregistrements ?

VI. SYNTHESE - CONCLUSIONS.

Un ensemble de techniques microscopiques appliqué à deux types de sols développés sur matériaux limoneux : un sol brun lessivé et un sol lessivé glossique hydromorphe, a permis d'étayer et de confirmer un certain nombre d'hypothèses émises sur la nature des processus et des mécanismes de l'illuviation "primaire" et de l'illuviation "secondaire", cette dernière en liaison avec la dégradation des horizons Bt en conditions temporairement réductrices.

- Les produits de illuviation primaire présentent les caractères suivants :

ILLUVIATION, MICROMORPHOLOGIE ET MICROANALYSE

- . Teneur en argile importante, pratiquement deux fois celle de la matrice des agrégats correspondants.
 - . Teneur en fer libre importante, semblable à celle de la matrice.
 - . Concentrations plasmiques du type "ferri-argilanes" de couleur rouge-jaune, fortement orientées, à trame striée, avec une faible quantité d'éléments limoneux incorporés.
 - . Caractères associés : ségrégations d'oxydes répartis dans la masse des agrégats, concentration relative de manganèse en bordure des faces structurales.
- Les produits de l'illuviation secondaire, en milieu temporairement réducteur, présentent les caractères suivants :
- . Teneur en argile légèrement supérieure à la matrice, car incorporation relativement importante d'éléments de la taille des limons.
 - . Faible teneur en fer libre, nettement inférieure à celle de la matrice, et due à une déferrisation prononcée.
 - . Concentrations plasmiques du type "argilanes" de couleur jaune clair à blanchâtre, à aspect fluïdal, modérément à peu orientées, à trame peu à non striée, associées localement à des ségrégations en bandes d'oxydes.
 - . Importance de l'aluminium en liaison probable avec l'évolution minéralogique.
 - . Caractères associés : concentrations d'oxydes de fer et manganèse en bordure des agrégats avec teneur importante en fer libre, nettement supérieure à celle de la matrice.

Les techniques de la microsonde électronique appliquées à l'étude des traces laissées par un phénomène de pédogenèse ont apporté un complément d'information nota

ble à l'observation du sol en place et aux analyses physico-chimiques et micromorphologiques sur lames minces.

Cette démarche représente un pas de plus dans l'analyse fine de la dynamique des sols. L'emploi de la microsonde a permis de confirmer certains résultats obtenus par d'autres déterminations et constitue, en particulier, un remarquable moyen d'investigation complémentaire des examens micromorphologiques. Elle fournit notamment une idée de la répartition du fer à l'échelon microscopique, lié ou non aux argiles.

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

La généralisation de l'emploi des techniques de la micromorphologie, jointe à celles de la microscopie électronique pourrait dès à présent permettre d'envisager une véritable micropédologie.

Remerciements.

Nous remercions vivement Monsieur le Docteur G. STOOFS du Laboratoire de Géologie de l'Université de Gand pour des photographies au microscope à balayage (Stéréoscan), Monsieur A. R. VERBEKE du Laboratoire de Paléontologie du Muséum pour la fabrication des lames minces, ainsi que Madame MELON du Bureau de Recherches Géologiques et Minières pour les analyses à la microsonde.

LEGENDE DES FIGURES

PLANCHE I.

- Revêtements au microscope électronique à balayage et au microscope polarisant Figures 1 à 10.

PLANCHE II.

- Analyses à la microsonde - Cartes de répartition des principaux éléments dans les zones analysées du sol brun lessivé et du sol lessivé glossique.

PLANCHE III.

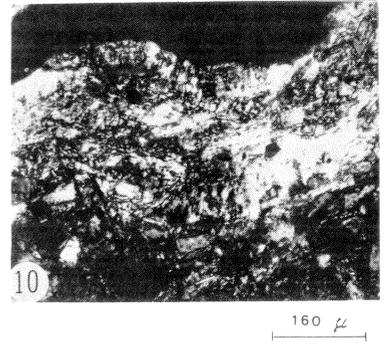
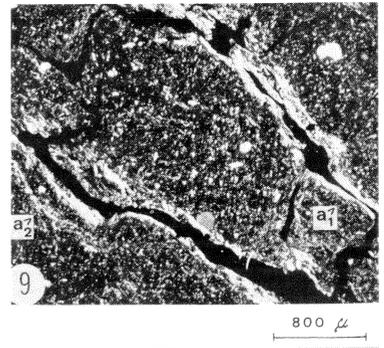
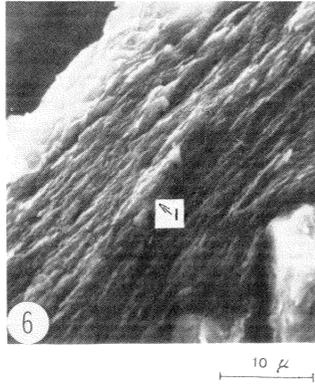
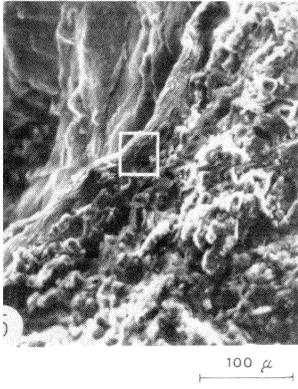
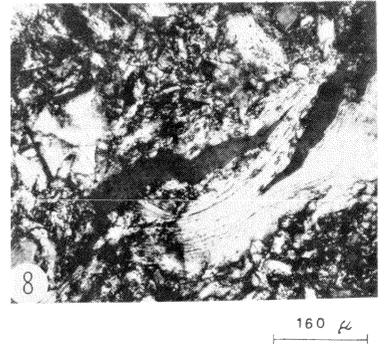
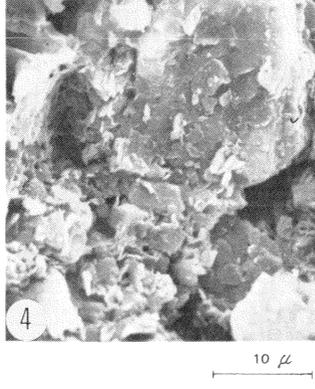
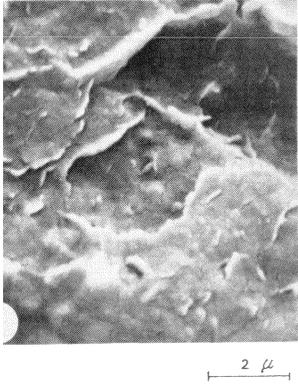
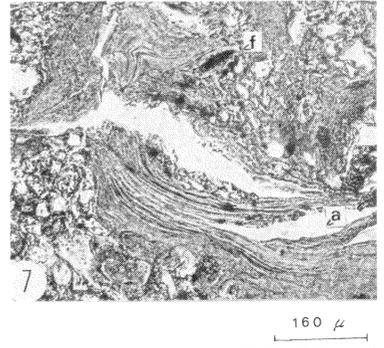
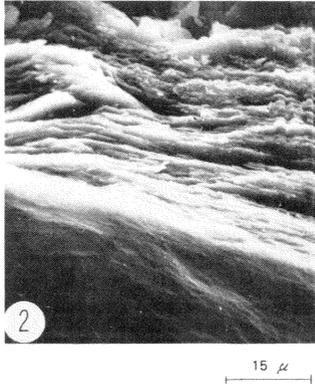
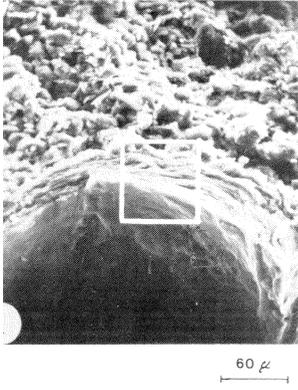
- Analyses à la microsonde - Diagrammes des analyses semi-quantitatives effectuées sur des traversées des images x, au niveau des flèches indiquées sur la planche II.

RESUME

Les revêtements argileux, dûs au phénomène d'illuviation et localisés au niveau des zones de contact entre les agrégats des horizons Bt, sont comparés dans un sol brun lessivé et un sol lessivé glossique hydromorphe, tous deux formés sur matériaux limoneux.

Les méthodes classiques : observation des profils, analyses physicochimiques et minéralogiques, description micromorphologique au microscope polarisant, sont complétées par l'analyse micromorphologique au microscope à balayage et l'analyse élémentaire à la microsonde électronique de Castaing.

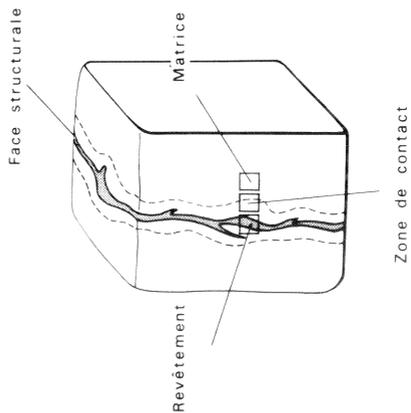
PLANCHE I



LOCALISATION DES ANALYSES A LA MICROSONDRE

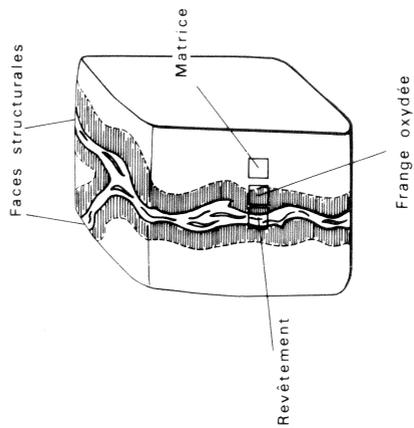
ILLUMINATION "PRIMAIRE"

SOL BRUN LESSIVÉ



ILLUMINATION "SECONDAIRE"

SOL LESSIVÉ GLOSSIQUE



2 cm.

Fig. 11

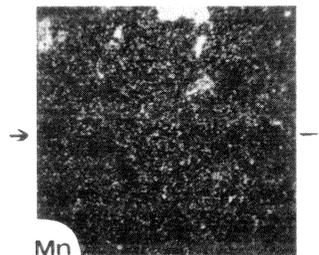
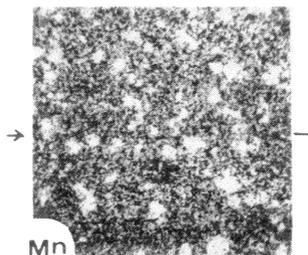
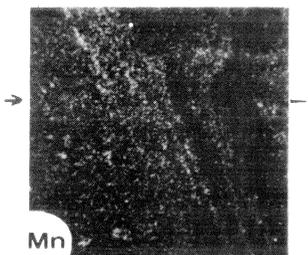
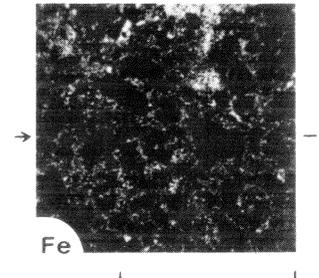
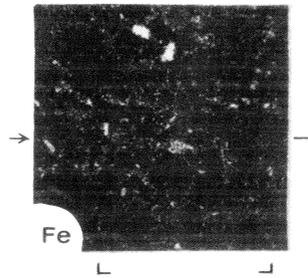
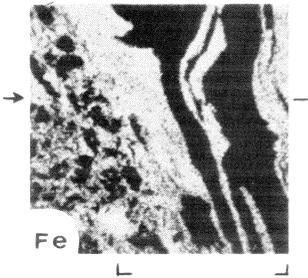
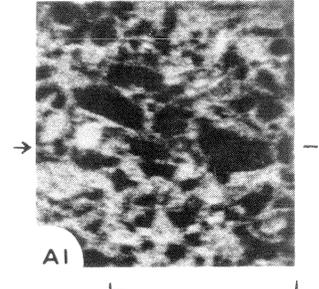
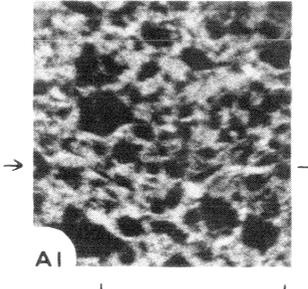
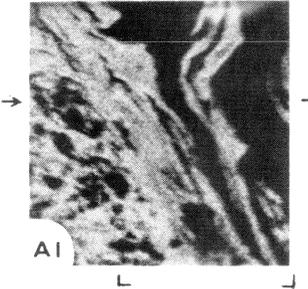
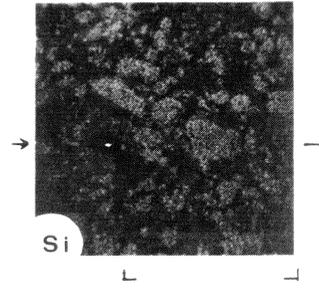
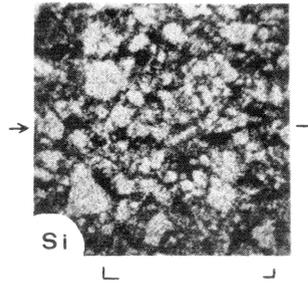
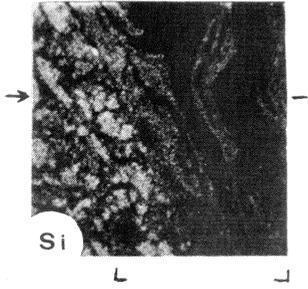
PLANCHE II

SOL BRUN LESSIVE
ILLUVIATION "PRIMAIRE"

REVÊTEMENT

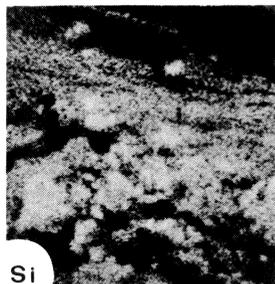
CONTACT

MATRICE

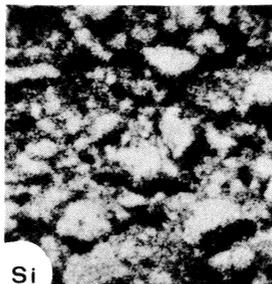


SOL LESSIVE GLOSSIQUE ILLUVIATION "SECONDAIRE"

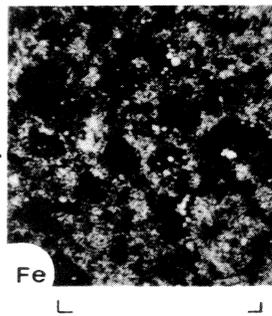
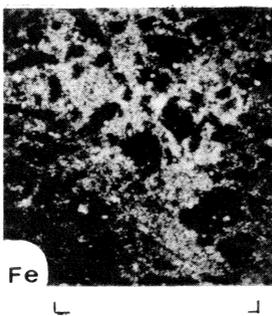
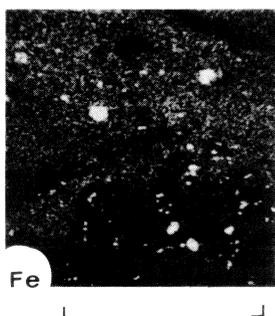
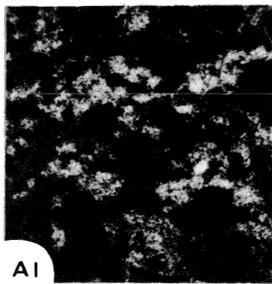
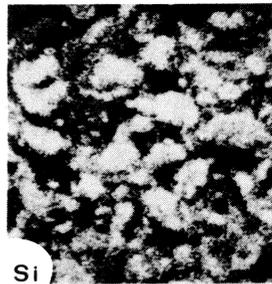
REVÊTEMENT



FRANGE OXYDEE

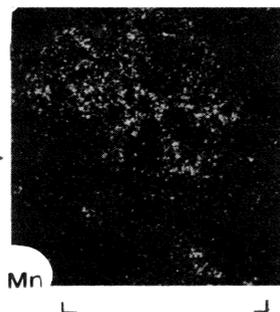


MATRICE

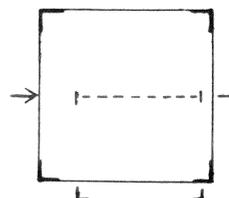


ECHELLE

100 μ

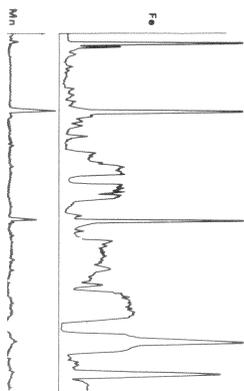


TRAVERSÉES

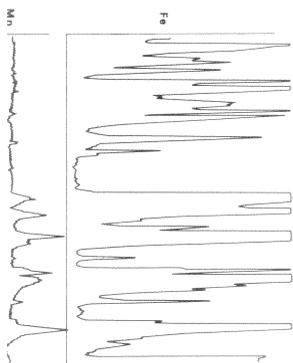


SOL LESSIVE GLOSSIQUE
ILLUVIATION "SECONDAIRE"

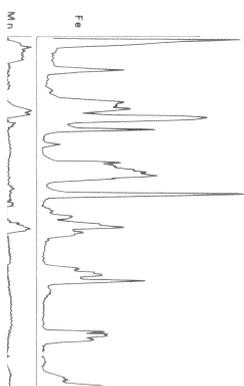
SOL BRUN LESSIVE
ILLUVIATION "PRIMAIRE"



REVETEMENT

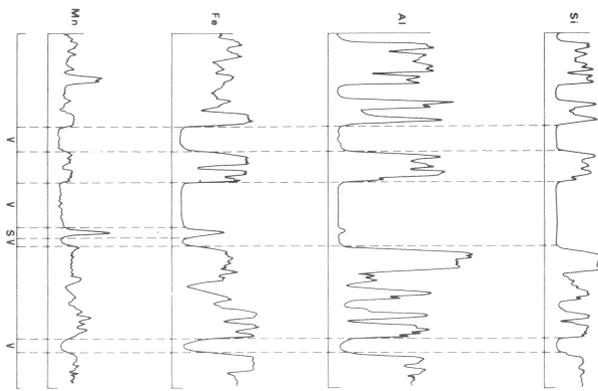


FRANGE OXYDEE

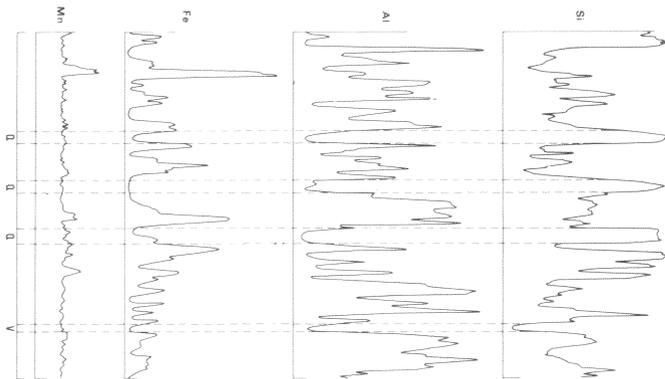


MATRICE

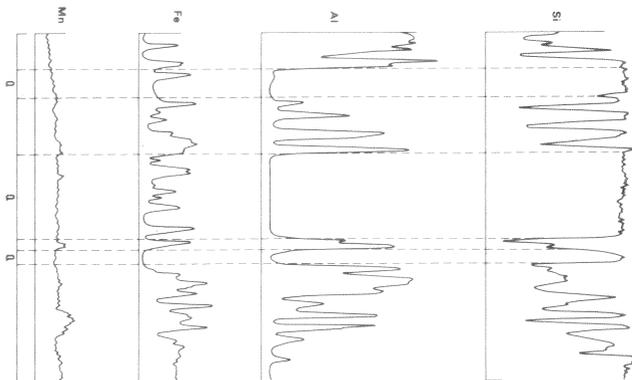
20 μ



REVETEMENT



CONTACT



MATRICE

Deux types d'illuviation sont décrits : une illuviation dite "primaire" dans le sol brun lessivé, caractérisée par des concentrations plasmiques argilo-ferriques et une illuviation dite "secondaire" dans le sol lessivé glossique dégradé à concentrations plasmiques déferrisées de constitution différente.

- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -

- BEGON J. C. et J'AMAGNE M. 1971. Sur la genèse de sols limoneux hydromorphes en France . C. R. du Congrès de la S. I. S. S. Stuttgart. 307-318.
- BREWER, R. 1964. Fabric and Mineral analysis of soils. John Wiley, London, 470.
- CASTAING, R. 1. 951. - Application des sondes électroniques à une méthode d'analyse ponctuelle chimique et cristallographique . Thèse Paris.
- CASTAING, R, DESCHAMPS, P et PHILIBERT, I. 1966. Optique des rayons X et microanalyse. Hermann, Paris, 708 p.
- C. P. C. S. - 1963-1967. - Classification des sols. I. N. R. A. Versailles.
- DE CONINCK, F., HERBILLON, A. J., TAVERNIER, R. FRIPIAT, J. J. 1968. - Weathering of clay minerals and formation of amorphous material during the degradation of a Bt horizon and podzolisation in Belgium. Int. Congr. Soil Sci. 9. 1968. Adelaide, 353-365.
- DE CONINCK, F. et JAMAGNE, M. 1974. Evolution of the fine fraction in a chronosequence on loess materials in Northern France. - Trans. 10th Int. Congr. Soil. Sci. Moscou, 83-89.

- DUCLoux, J. 1975. Essai de caractérisation semi-quantitative des revêtements argileux des sols lessivés glossiques du bocage vendéen méridional à l'aide du microscope électronique à balayage - Science du sol n° 1, 23-36.
- JAMAGNE, M. 1969. - Some micromorphological aspects of soils developed in loess deposits of Northern France. - C.R. 3ème Col. Int. Micromorphologie du sol, Wrocław, Publ. 1972, pp. 559-582.
- JAMAGNE, M. 1972. - Caractères micromorphologiques des sols développés sur formations limoneuses. Bull. Assoc. Fr. Etude du Sol, n° 1-2, pp. 9-32.
- JAMAGNE, M. 1973. Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du Nord de la France. Thèse Doctorat, Fac. Sc. Agr. de Gembloux, 445 p.
- JEANSON, C. 1964. - Micromorphologie et Pédozoologie expérimentale : étude sur plaques minces de grandes dimensions de la structure créée par les lombrics. In Jongerius, Soil Micromorphology, Elsevier Amsterdam, 47-55.
- JEANSON, C. 1966. - Essai de Pédozoologie expérimentale : Morphologie d'un sol artificiel structuré par les Lombricidés. - Thèse Doctorat d'Etat - Mem. Mus. Hist. nat. A, XLXVI 3, 211-357. Editions Muséum, 38 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5e.
- JEANSON, C. 1969. - Répartition du fer dans un sol artificiel. Etude à la microsonde électronique. C.R. 3e Col. Int. Micromorphologie du Sol, Wrocław, - Zeszyty problemwe postepow naok rolniczyck 1972, 123-156. Wrocław, Pologne.

- JEANSON, C. 1972. - Le sol au microscope. Science, Progrès et Découverte, 3444, 28-33. Le sol à la microsonde électronique, Sc. Prog. Dec. 3445, 20-21.
- PEDRO, G. 1968 Note sur le microanalyseur à sonde électronique de Castaing - Texte ronéo. I. N. R. A. - 18 p.
- STOOPS, G. 1970. - Application du microscope électronique à la micromorphologie des sols - Symposium de micromorphologie des sols. - Texte ronéo. Grignon, 4 p.