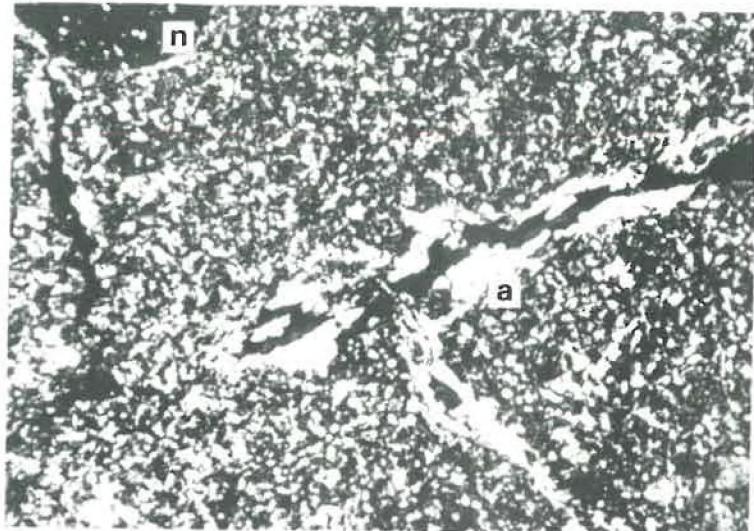
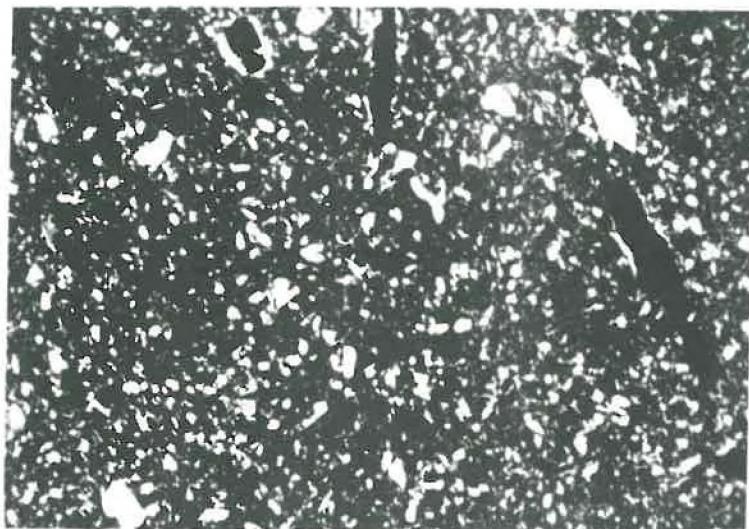


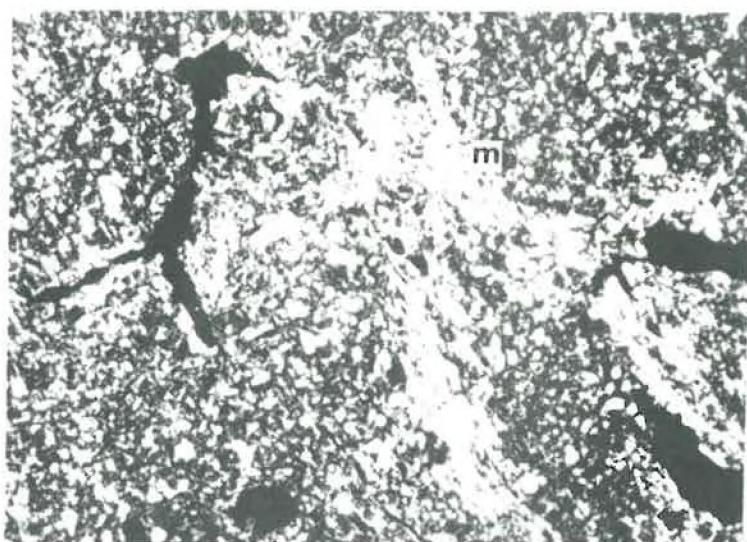
NIVEAUX →		CYCLE RECENT	CYCLE RECENT	CYCLE ANCIEN	CYCLE ANCIEN
UNITES DE DESCRIPTION	↓	PARTIE SUPERIEURE.	PARTIE INFERIEURE.	PARTIE SUPERIEURE.	PARTIE INFERIEURE.
<u>S. Matrix</u>					
Squelette		Quartz - Feldspaths - Zircon - Hornblende - Glaucophane altérée. Assez homogène - Quelques grains grossiers.	Quartz - Feldspaths - Minéraux lourds. Traces de glaucophane. Assez homogène.	Quartz - Quelques feldspaths - Minéraux lourds. Assez homogène avec quelques dominances localement	Quartz essentiellement - Minéraux lourds. Assez homogène.
Plasma		Argileux à argilo-ferrique - Assez hétérogène.	Argilo-ferrique - Hétérogène, plus dense en bordure d'agrégats.	Argilo-ferrique essentiellement - Très hétérogène.	Argilo-ferrique - Très hétérogène - Très nombreuses ségrégations ferriques rouges à très rouges.
Séparations plasmiques		Sur squelette, près des parois des vides, quelques unes dans la masse.	Sur squelette, en bandes plus ou moins orientées dans la masse.	Sur squelette et en bandes orientées dans la masse, près des parois des vides.	Sur squelette et en bandes orientées groupées dans la masse, près des parois des vides.
Assemblages plasmiques		vo-ma-Squelettepique.	in-ma-Squelettepique.	(vo)-ma-Squelettepique.	vo-bima-ma-Squelettepique.
Structure de base		SK > Pl.	SK > Pl.	SK > Pl.	SK ≈ Pl ; localement SK < Pl.
Assemblage élémentaire		Porphyrique.	Porphyrique.	Porphyrique.	Porphyrique.
Vides		Cavités métas, régulières et irrégulières, "ramillées" - Chenaux métas, simples et anastomosés.	Cavités métas, régulières et irrégulières - Quelques cavités ortho - Chenaux métas, simples.	Cavités métas, irrégulières - Chenaux métas, anastomosés et dendroïdes - Quelques "joints planes".	Cavités métas, irrégulières - Chenaux métas anastomosés ou simples - "joints planes" et "Skew planes".
Caractéristiques pédologiques					
Orthic. Séparations (v. plasma)					
Concentrations Cutanes		Ferriargilanes simples, modérément épais, fortement orientés, sur parois des vides. Quelques argilanes plus récents recouvrant localement les ferriargilanes. Calcitanes : "Normal void calcitans" dans pores, "ped" et "diffusion calcitans"	Ferriargilanes simples, modérément épais : "Normal void" et "ped cutans". Ferriargilanes composés, comportant du "silt". Quelques sesquianes et manganes. Quelques argilanes jaune clair.	Ferriargilanes très ferrugineux, certains pratiquement rubéfiés, assez fortement orientés : "Normal void" et "ped cutans". Quelques argilanes jaune très clair.	Ferriargilanes très rouges, modérément orientés - "Normal void" - "Channel" et "ped cutans". "Channel" sesquianes et manganes présents. Quelques ferriargilanes plus jaunes.
Glaebules		Petits nodules ferriques très distincts, sphériques, à limites très nettes. Nodules plus importants à limites progressives.	Nodules ferriques à limites nettes. Quelques cristallites. Quelques isotubules.	Nodules et concrétions ferro-manganiques à limites progressives à nettes. Isotubules assez nombreux.	Nodules et concrétions ferriques très nombreux, de teinte brune à rouge intense, à birefringence modérée. Localement importance très grande de ces ségrégations. Présence d'isotubules.
Hérités - Pedorelicts		Fragments de ferriargilanes très orientés repris dans la masse.	Ferriargilanes fragmentés et redistribués.	Nombreux fragments de concentrations plas- miques redistribués et englobés dans la ma- trice : ferriargilanes et glaebules ferriques Petits nodules relicts à limites très nettes. Blocs de S. Matrix indépendants, redis- tribués dans la masse.	Nombreux fragments de ferriargilanes rouges répartis dans la masse.



Cycle récent - Supérieur - II B₂ tb -
Ferri-argilanes simples (a), forte-
ment orientés - Nodule ferrique à li-
mites très nettes (n) - L. P. x 70.

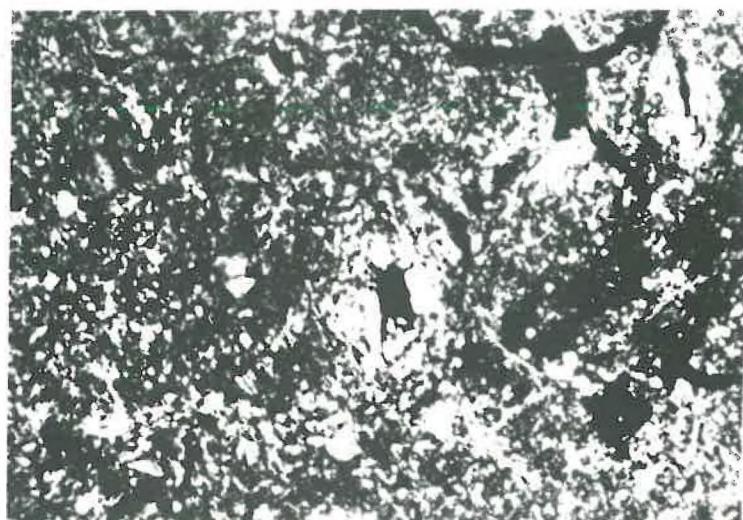


Cycle récent - Inférieur - II B₃ b -
Nombreux fragments de ferri-argi-
lanes redistribués - Quelques argila-
nes jaune clair dans les vides -
L. P. x 70.

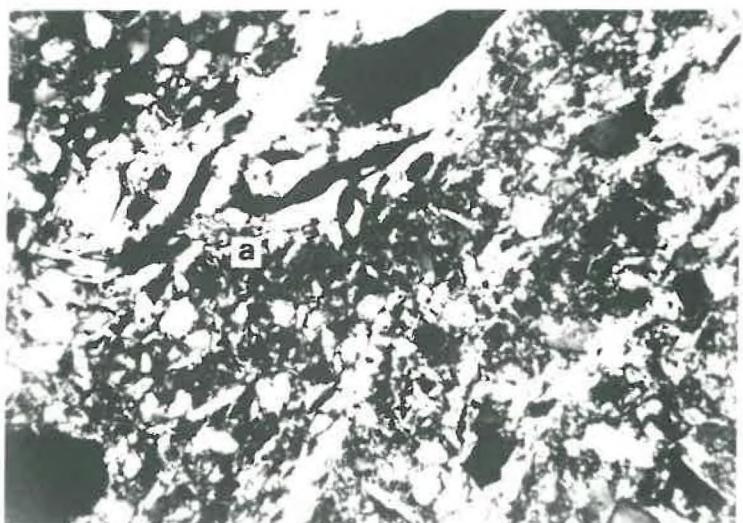


Cycle récent - Inférieur II B₃ b - Noter
les nombreuses séparations plasmiques,
dont certaines du type masepique (m)-
L. P. x 70.

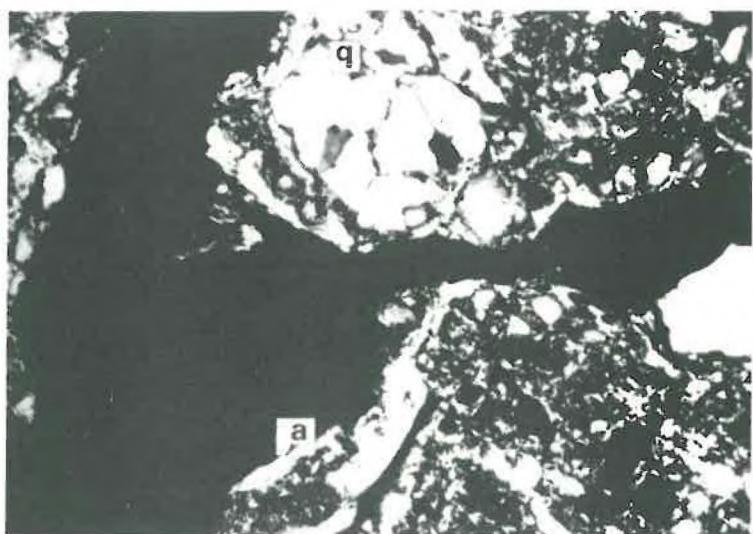
PLANCHE 2



Cycle récent - Inférieur - Horizon III B₃ b -
Nombreuses ségrégations ferriques - Sépara-
tions et concentrations plasmiques complexes-
L. P. x 70.

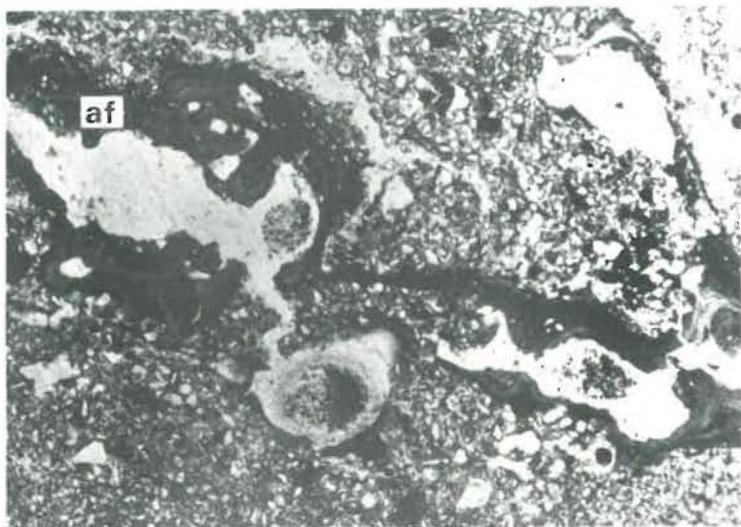


Cycle ancien - Supérieur - Horizon II B₂ tb -
Fragmentation des ferri-argillanes (a) - Assem-
blage plasmique du type squelsepique et mase-
pique - Assemblage élémentaire du type porphy-
rique - L. P. x 80.

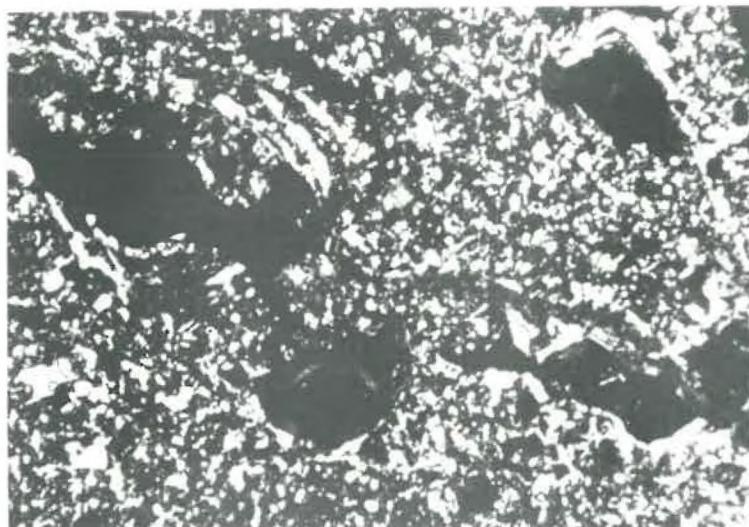


Cycle ancien - Supérieur - Horizon III B₃ b -
Gros grain de quartz fragmenté (q) - ferri -
argillanes discontinus (a) - L. P. x 70.

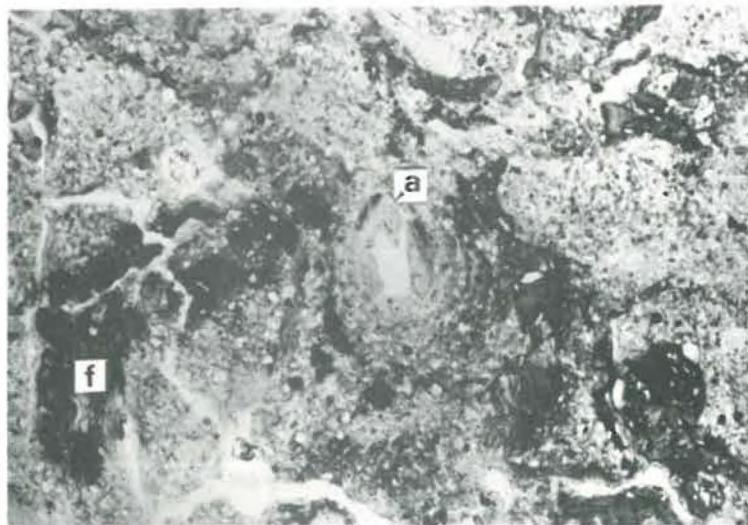
PLANCHE 3



Cycle ancien - Supérieur - III B₂₂ tb -
Cutanes composés avec forte individua-
lisation des oxydes de fer (af) - Rubé-
faction partielle - L. N. x 70.



Id. - L. P. x 70.



Cycle ancien - Inférieur - IV B₂₂ tb -
Nombreuses concentrations plasmiques
très rubéfiées (f) - Quelques ferri-
argillanes plus clairs (a) - L. N. x 70.

De petits blocs de dimensions voisines de 500 à 1 000 microns ont été observés dans le niveau supérieur du cycle ancien. Il pourrait s'agir de fragments de sols gelés transportés par solifluxion.

Il est vraisemblable que l'action du gel et des conditions périglaciaires sont parmi les agents les plus importants des remaniements internes observés dans ces différents paléosols.

Les photographies des planches 1, 2 et 3 illustrent ce que nous venons d'exposer.

3.41.3. CARACTÉRISATION ANALYTIQUE

Quelques données analytiques sont fournies dans le tableau ci-après ; elles correspondent aux horizons décrits plus haut. Sur la base de ces résultats, quelques commentaires peuvent être faits.

En ce qui concerne la granalométrie, la différence de teneur en argile entre les cycles récent et ancien est manifeste : 30 % dans le premier, souvent voisine de 40 % dans le second. D'autre part, le premier et le dernier niveaux sont légèrement plus riches en sables ; pour l'un comme pour l'autre, la proximité de formations secondaires sablonneuses semble en être la cause.

Les valeurs du pH et de la saturation peuvent difficilement être interprétées étant donné l'influence prépondérante des couvertures plus récentes et fréquemment calcaires ou calciques surmontant les paléosols. Notons cependant les pH particulièrement élevés du niveau le plus récent, calcaire, ainsi qu'une diminution relative dans le cycle ancien.

La capacité d'échange de l'argile présente les valeurs moyennes les plus importantes dans le loess le plus récent ; pour les autres elles varient entre 40 et 55 meq.

En ce qui concerne les bases échangeables, les teneurs assez importantes en calcium correspondent vraisemblablement au même processus que celui ayant influencé le pH. Nous enregistrons des teneurs en potassium assez élevées à la partie supérieure du cycle ancien, ainsi que des taux de magnésium notables à la base du cycle récent et dans le paléosol de Haute-Brie, ce qui pourrait correspondre à un degré d'évolution assez poussé.

Les analyses de fer libre montrent des teneurs assez importantes pour l'ensemble des niveaux étudiés, excepté pour le plus récent où elles sont moindres. Le rapport fer libre / fer soluble HCl présente une variation assez analogue, inférieur à 0,50 dans le limon récent, proche ou supérieur à cette valeur dans les autres niveaux, hormis le sol le plus vieux où la teneur importante en fer HCl semble en être responsable. Nous verrons plus loin quelles sont les interprétations possibles de ces données.

Afin de tenter de mettre en évidence une variation du degré d'altération des différents paléosols sur loess observés nous avons effectué une analyse chimique des fractions limoneuses de quelques échantillons représentatifs, avec dosage de K_2O , Na_2O et CaO (exprimés en % de l'échantillon) ; nous en présenterons les résultats dans le tableau suivant.

	2-10 μ			10-20 μ			20-50 μ		
	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cycle récent Sup.	2.79	0.89	0.83	2.09	1.55	0.51	1.53	1.20	0.73
Cycle récent Inf.	2.83	0.61	0.18	2.30	0.92	0.35	1.52	0.72	0.38
Cycle ancien.	0.98	0.17	0.15	0.88	0.30	0.18	0.38	0.20	0.10

L'examen de ces données permet de constater tout d'abord que d'une manière générale le potassium est le mieux représenté dans la fraction 2-10 μ .

Si l'on interprète la variation des teneurs en K, Na et Ca comme un indice de la réserve en minéraux altérables des différentes formations, on constate d'une manière générale une diminution nette de cette réserve en fonction de l'ancienneté, particulièrement marquée entre le cycle récent et le cycle ancien. La rupture importante observée pour K₂O entre les deux cycles est vraisemblablement due à la résistance particulière des feldspaths potassiques à l'altération.

Les valeurs proches ou inverses de K₂O entre les parties supérieure et inférieure du cycle récent pourraient s'expliquer par une concentration relative des feldspaths potassiques résistants, du fait de la disparition de certains plagioclases. Ces notions seront traitées de manière plus approfondie dans le chapitre suivant.

3.41.4. MINÉRALOGIE

Des analyses minéralogiques ont été effectuées sur les fractions inférieures à 2 microns des quatre niveaux de paléosols considérés : analyse aux rayons X par diffractométrie et analyse thermique différentielle. Pour rendre plus aisément interprétables les diffractogrammes il s'est avéré indispensable d'effectuer préalablement sur les échantillons un traitement au citrate de sodium (Méthode T. Tamura - 1957).

Nous présentons ci-après les diffractogrammes obtenus sur échantillons ainsi traités, d'abord rendus Mg, ensuite Mg-glycérolés, enfin rendus K (fig. 45).

La comparaison entre les quatre paléosols appelle les commentaires suivants.

La réflexion à 7,2 \AA apparaît de plus en plus nettement lorsque l'on passe du less le plus récent au plus ancien. Celle à 10 \AA varie peu, bien que moins bien exprimée dans le paléosol le plus vieux. La réflexion à 14 \AA reste toujours bien marquée pour les échantillons Mg, mais présente un étalancement progressivement plus important en fonction de l'ancienneté.

Le traitement au glycerol met en évidence, dans les sols du cycle récent, un gonflement avec déplacement vers les distances basales plus grandes : 17 \AA , mais également le maintien d'une autre fraction à 14 \AA . Dans les paléosols du cycle ancien, ce traitement semble provoquer un gonflement de la totalité des minéraux de 14 \AA , particulièrement pour le plus vieux sol pour lequel un maximum assez net apparaît à 17 \AA .

	Granulométrie (μ)					Ca CO_3	pH H_2O	C.E.C. 0-2 μ	Bases échangeables (mEq.)			Fe_2O_3		
	0-2	2-10	10-20	20-50	>50				Ca	Mg	K	Na	Lib.	HCl

CYCLE RECENT - SUPERIEUR

II (B) ₂ tb	29.6	9.9	14.0	34.4	10.9	6.4	8.0	60	31.8	1.85	0.20	0.10	1.74	3.78	46
II B ₃ b	29.9	9.1	12.5	34.0	13.5	1.2	8.0	56	27.8	1.50	0.20	0.11	1.94	4.04	48
II B/C	28.2	9.2	14.9	36.2	8.1	0.9	7.9	50	23.6	1.26	0.24	0.09	1.73	3.53	49

CYCLE RECENT - INFERIEUR

II B ₂ tb	31.3	9.5	16.8	38.5	3.9		7.0	44	14.8	1.6	0.26	0.05	2.43	4.87	50
II B ₃	29.6	10.0	16.5	40.1	3.6		7.0	40	13.4	2.5	0.26	0.05	2.10	3.90	54
II C ₁	28.0	10.8	16.5	41.2	3.5		6.8	47	13.2	2.9	0.30	0.04	2.16	3.90	55

CYCLE ANCIEN - SUPERIEUR

Thiérache

III B ₂ tb	39.1	8.1	12.2	31.8	8.8		7.3	46	18.7	1.1	0.40	0.11	2.26	4.78	47
III B ₃	35.1	3.2	11.4	36.3	9.1		7.2	51	18.7	1.3	0.41	0.11	2.19	4.29	51
III B/C	35.0	8.2	12.2	34.3	10.3		7.1	53	19.0	1.5	0.43	0.11	1.86	3.72	50

Haute-Brie

III B ₂₁ tb	42.6	10.0	14.2	29.8	3.4		6.4	41	16.2	3.2	0.31	0.05	3.00	4.70	71
III B ₂₂ tb	39.3	8.4	16.7	33.6	2.0		6.7	40	16.5	3.6	0.35	0.06	2.80	4.66	60
III B ₃	30.0	10.8	15.8	42.7	1.7		6.5	56	15.5	3.0	0.30	0.05	2.02	3.46	58

CYCLE ANCIEN - INFERIEUR

IV B ₂₁ tb	42.8	10.1	10.1	25.5	11.5		6.5	47	24.8	1.9	0.25	0.55	2.50	5.18	48
IV B ₂₂ tb	51.2	7.5	5.7	20.1	14.5		6.5	40	25.6	2.0	0.23	0.54	2.53	5.40	47
IV B ₂₃ t	45.3	6.8	8.4	24.9	14.6		5.5	44	20.8	2.3	0.25	0.54	2.32	4.78	48

- PALEOSOLS -

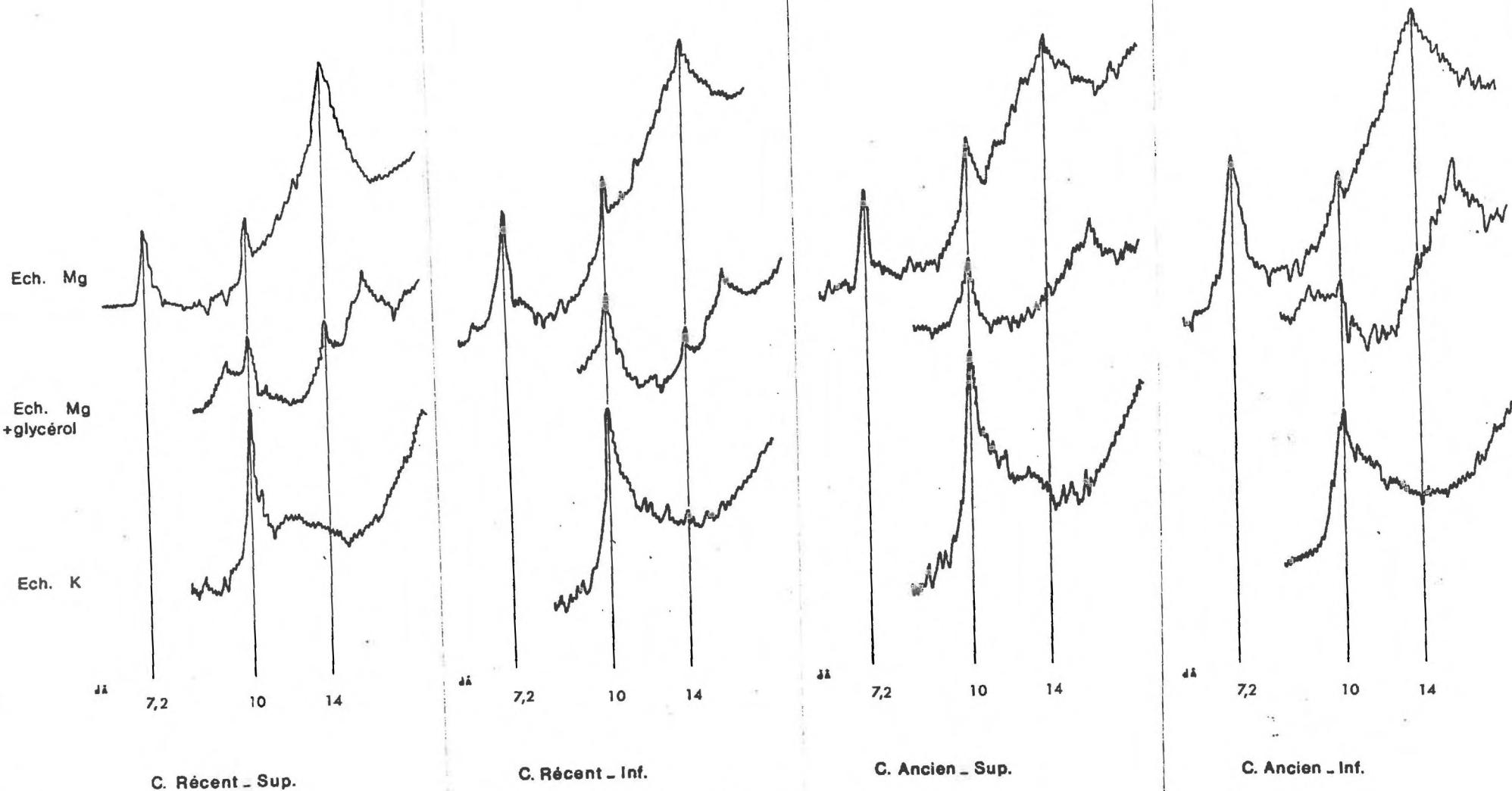


Fig. 45

D'autre part, le traitement K permet d'observer une fermeture des minéraux argileux de moins en moins nette vers 10 Å, en fonction de l'ancienneté.

La présence de koolinita paraît donc générale, et un peu plus importante semble-t-il dans le sol le plus vieux. L'illito est représentée dans les différents paléosols, mais se différencie moins bien à la partie inférieure du cycle ancien. Un minéral de type vermiculite apparaît nettement dans les paléosols du cycle récent, tandis que la teneur en une argile du type montmorillonite est de plus en plus importante lorsque l'on passe du paléosol le plus récent au plus ancien, où elle semble être franchement dominante.

L'examen de ces analyses minéralogiques, confronté avec l'ensemble des autres données permet de penser que l'évolution du loess au cours du Quaternaire n'a pas amené de modification fondamentale dans la constitution minéralogique des argiles, mais une certaine transformation progressive mais nette des édifices 2/1 : vermiculisation et formation de minéraux gonflants. Nous reviendrons sur ces notions en cours d'étude.

3.42. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nos travaux d'inventaire détaillé dans le nord de la France nous ont permis d'observer un nombre important de sols et paléosols développés sur loess. Il nous a été possible d'en établir une chronologie relative et de sélectionner les plus typiques et représentatifs d'entre eux.

La grande majorité des paléosols sur loess observés constituent des horizons Bt illuviaux ou argilliques, ou des horizons d'altération du type "lehm". Une caractéristique générale est donc la part très importante prise par les processus d'illuviation dans la formation de ces différents sols dont la partie supérieure a pratiquement toujours été éliminée par l'action des différents facteurs de l'érosion.

De l'ensemble des données que nous avons exposé, un certain nombre d'hypothèses peuvent être introduites.

Le degré d'altération des paléosols du cycle récent paraît relativement peu important : une quantité notable de minéraux altérables sont encore présents dans les fractions limoneuses, tandis que la teneur en argile ne dépasse guère 30 %. L'évolution minéralogique est marquée essentiellement par le développement d'un processus de vermiculisation bien exprimé dans les deux paléosols décrits.

Le niveau supérieur présente des traces nettes d'illuviation, sans phénomènes d'hydromorphie marqués, il correspond à un Bt de sol brun lessivé.

Le niveau inférieur présente, quant à lui, certaines caractéristiques évolutives qui font penser à une dégradation naissante : plages dépourvues de plasma, revêtements complexes, traces d'hydromorphie parfois assez accentuées ; il pourrait correspondre à un horizon d'accumulation en voie de dégradation lors de son enfouissement par les dépôts postérieurs. D'autres auteurs, Bordes (1954) et Nanil (1960) ont également considéré ces dépôts comme fortement altérés, et susceptibles de présenter une évolution pédologique très marquée lorsque maintenus ou ramenés en surface par les agents de l'érosion.

En ce qui concerne le cycle ancien, des caractères évidents d'une altération beaucoup plus poussée sont présents : grande quantité d'argile, hétérogénéité importante du plasma, nombreuses ségrégations et concentrations plasmiques, hydromorphe souvent marquée, peu d'altérables dans les fractions limoneuses, teneur importante en édifices 2/1 gonflants.

Le niveau supérieur présente peu de rubéfaction dans la masse, les revêtements argileux apparaissant par contre comme très riches en fer.

Le niveau le plus ancien est caractérisé par de nombreuses concentrations plasmiques brun rouge à rouge, et par une accentuation générale des caractères d'évolution. Les données analytiques de ce sol fossile sont par ailleurs très proches de celles mentionnées par Manil (1955) pour un paléosol anté-riession.

Les périodes glaciaires ont d'autre part laissé fréquemment de nombreuses empreintes dans ces différents sols : fragmentations, redistributions, cryoturbations, solifluxions...

Une datation des niveaux considérés peut être tentée à partir des données fournies par d'autres disciplines que la pédologie. Les paléosols du cycle récent appartiendraient au Würm II et Würm I, ceux du cycle ancien à l'interglaciaire Riss-Würm et probablement au Mindel.

L'évolution des formations loessiques au cours du Quaternaire dans la région que nous avons étudiée paraît donc pouvoir être caractérisée par une altération assez importante lors du cycle ancien, due à la fois à l'influence de climats plus agressifs que celui régnant actuellement, et à une très longue période de pédogenèse, associée au processus d'illuviation, et par une altération beaucoup plus modérée, toujours associée au lessivage, lors du cycle récent.

*

*

*

3.5. REGOGENESE

Nous tenterons dans ce chapitre une mise en évidence et une caractérisation des premiers processus effectuant les loess après leur dépôt.

Depuis très longtemps les termes de "lohm" et de "lohmification" sont utilisés pour désigner d'une part le produit d'altération argileux de limons loessiques décarbonatés, d'autre part les niveaux dits de "terre à briques" qui représentent les horizons Bt de sols bruns lessivés ou sols lessivés (J. P. Lauridou - 1970).

Nos observations nous incitent à penser qu'il y a lieu de disso-
cier ces deux aspects et d'individualiser une première phase d'altération
indépendamment du processus d'illuviation.

Il s'agit donc d'essayer de caractériser les phénomènes d'alté-
ration in situ menant une augmentation du taux d'argile granulométrique, sans
que des déplacements colloïdaux importants n'interviennent, et de définir
à quoi correspond la formation du limon argileux souvent considéré comme
horizon C ou matériau original de nombreux profils.

Deux hypothèses principales sont possibles et ont été introdui-
tes par divers auteurs (Dražnikov - Dudał - Zottl et al. - Scheffer et al.) :
"argilification" par fractionnement de certains composants du loess, ou trans-
formations et néoformations de minéraux argileux.

Nos matériaux nous ont permis d'effectuer quelques recherches
sur cet aspect de l'évolution des matériaux loessiques.

Il faut cependant remarquer qu'il ne peut s'agir ici que d'un
simple essai destiné à poser un problème qui nous semble important, et à
ouvrir éventuellement la voie à une recherche plus approfondie. Il ne nous
étais cependant pas possible de négliger dans le présent travail un aspect
indispensable à de nombreuses interprétations.

Il serait naturellement plus intéressant d'avoir la possibilité
d'étudier ce problème dans une zone où le développement est partout, "zona-
lement" et "normalement", limité à cette première phase d'évolution.

3.51. MÉTHODES UTILISÉES

Nous avons travaillé sur des loess appartenant à la couverture la
plus récente, parce que ces formations sont les seules dans la région à prô-
senter un degré d'évolution relativement peu important, ce qui a permis de
sélectionner les niveaux les plus intéressants.

Le choix s'est porté sur trois localisations en bordure de la
Picardie, où des coupes profondes sur limon originellement homogène offrent
un développement de sol brun ou sol brun faiblement lessivé.

Les prélèvements ont été effectués dans la partie inférieure du
profil, sous le "solum" proprement dit, en dehors de la zone de pédogénèse
intense actuelle. Ce dernier aspect a été confirmé par un examen micromor-
phologique approfondi.

Nous présenterons tout d'abord la caractérisation des trois
successions d'horizons retenues sur le plan macromorphologique et micromor-
phologique, ensuite les analyses classiques sous forme d'un tableau analytique.

Ce tableau présentera les données suivantes :

- Granulométrie -

- Fractionnement granulométrique détaillé.
- Teneurs en argile fine et argile grossière.

- Pourcentages relatifs des argiles rapportés à 100 % d'argile totale.
- Pourcentages relatifs des fractions supérieures à 2 microns.

- Analyses chimiques -

- C. E. C. rapportée à la terre fine totale.
- C. E. C. rapportée à l'argile.
- Basos échangeables.
- Fer libre *deb.*

Ensuite, les différentes fractions granulométriques ont été soumises à des analyses plus complètes, à savoir :

Analyses chimiques totales.

- Analyse chimique globale sur les fractions fines, avec dosage de Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na.
- Analyse chimique sur les fractions limoneuses 2-10, 10-20 et 20-50 microns, avec dosage de Ca, K et Na.
- Analyse chimique globale pour la séquence d'Aubigny.

Analyses minéralogiques.

- Analyses aux rayons X sur les fractions fines et les fractions limoneuses.

3.52. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

3.52.1. MORPHOLOGIE

Nous présentons ci-dessous une description simplifiée valable pour nos trois séquences d'altération, les horizons profonds présentant cependant des teneurs variables en calcaire.

B₃ Limon argileux, brun jaune : 10 YR 5/4-5/6 - Structure prismatique moyenne modérément bien développée, devenant plus grossière à la base de l'horizon - Présence de revêtements argileux fins et discontinus sur les principales faces verticales de structure - Ferme.

B/C Limon argileux, brun jaune : 10 YR 5/4 - Structure à tendance prismatique grossière, correspondant à des faces verticales de dissociation dans une masse à structure continue - Quelques rares revêtements argileux fins et discontinus peuvent être présents sur ces faces structurales - Friable à ferme.

C₁ Limon moyen à limon argileux, brun jaune à beige foncé : 10 YR 5/4 à 10 YR 6/4 - Structure continue - Friable.

C₂ Limon moyen, beige foncé à brun jaune : 10 YR 6/4 à 10 YR 5/4 - Structure continue - Très faible réaction à HCl localement - Friable à meuble.

C₂(ca) Limon moyen, beige foncé : 10 YR 6/4 - Structure continue - Réaction importante à HCl - Présence visible de calcaire détritique et de calcaire secondaire sous forme de "mycelium" et de nodules plus ou moins indurés - Friable à meuble.

3.52.2. MICROMORPHOLOGIE

Un contrôle micromorphologique a été réalisé dans les différents niveaux qui nous occupent, pour permettre les interprétations que nous serons amenés à faire ultérieurement. Les caractéristiques microscopiques des premiers stades d'évolution des matériaux loessiques seront exposées de manière détaillée dans un prochain chapitre, nous reprendrons simplement ici les éléments essentiels qui nous intéressent.

Peu de modifications apparaissent dans le *squelette*, le calcaire détritique étant cependant bien représenté dans le loess calcaire original. Le *plasma*, argileux et homogène dans les horizons C, perd un peu de son homogénéité dans les niveaux altérés, et s'oriente plus nettement, tandis que des *séparations plasmiques* bien individualisées apparaissent autour des grains du squelette ainsi que de manière indépendante dans la matrice. L'*assemblage élémentaire*, peu définissable dans les niveaux non altérés, devient progressivement du type intertextique.

Les *vidés* d'entassement simple observables dans le loess font progressivement place à des cavités et chenaux à parois adoucies et localement tapissées d'enduits plasmiques très fins.

Les "traits pédologiques" sont relativement peu représentés. Des concentrations de calcaire dans les horizons profonds constituent des "calcitanes" de diffusion qui s'organisent à partir des *vidés*; des nodules et concrétions plus denses sont localement assez abondantes.

D'autre part, dans les niveaux altérés apparaissent, en plus des séparations déjà citées, de légères concentrations plasmiques vraisemblablement issues de déplacements très locaux au sein du matériau, et se localisant dans les pores et les *vidés*. Au demeurant, les revêtements argileux très minces mentionnés sur les faces verticales de structure dans la description morphologique, correspondent à des argillanes jaunes, fins et assez fortement orientés.

Il semble donc confirmé par cette analyse que l'augmentation de la teneur en argile entre niveaux originels et niveaux altérés ne puisse être expliquée par des entraînements colloïdaux importants par *descensum*, dont nous n'avons pas trouvé de trace tangible, et que des processus d'évolution en place de certains constituants du loess interviennent très certainement.

3.52.3. CARACTERISATION ANALYTIQUE

Le tableau suivant regroupe donc les analyses classiques qui vont nous permettre un certain nombre d'observations.

Granulométrie.

On observe tout d'abord une augmentation de la teneur en argile totale 0-2 µ de 10 % environ en passant du loess le moins altéré au "lehm".

Le fractionnement de l'argile permet immédiatement de mettre en évidence la libération d'une certaine quantité d'argile fine lors de la décarbonatation, les proportions restant ensuite relativement constantes dans les niveaux plus altérés. *Duchaufour* (1968) avait déjà signalé la possibilité d'une telle libération par dissolution des carbonates.

En ce qui concerne la répartition des fractions limoneuses, on remarque tout d'abord un rapport limon grossier / limon fin élevé, compris entre 2,5 et 3,5, très caractéristique des limons récents. Une homogénéité très satisfaisante existe pour les matériaux des trois séquences.

On peut cependant constater une diminution relative assez nette de la fraction 10-20 μ en fonction de l'altération, c'est-à-dire entre les niveaux de loess et de "lehm". Ceci confirmerait partiellement les résultats expérimentaux de Zottl et Kissmaul (1969).

Analyses chimiques classiques.

En ce qui concerne tout d'abord le pH nous constatons un ensemble de valeurs élevées, supérieures à 7,5, et plus élevées que 8,0 dans les niveaux calcarifères.

La capacité d'échange cationique rapportée à l'argile est voisine de 50 meq. pour les niveaux peu ou peu calcaires, de 40 meq. dans les deux échantillons les plus carbonatés.

Les bases échangeables présentent des teneurs assez variables, nous pouvons cependant noter plusieurs tendances générales :

- Ca : valeurs très élevées, dues en partie au protocole analytique et présentant une augmentation de bas en haut des profils, hormis naturellement pour les trois niveaux calcaires.
- Mg : une différence nette se marque pour la séquence d'Essigny où les valeurs sont sensiblement plus élevées que dans les deux autres cas.
- K : comme pour Ca, on constate une augmentation de bas en haut de la séquence.
- Na : valeurs à peu près constantes, excepté pour le loess du Hamel où elles sont particulièrement basses.

On remarque donc une variation peu importante dans la fixation de Mg et Na sur le complexe en fonction de l'altération, l'absorption de ces éléments étant limitée. En ce qui concerne Ca et K, il apparaît que ces éléments suivent l'augmentation de la capacité d'échange totale de la terre fine en fonction de l'altération.

Le fer libre présente des valeurs relativement faibles dans le loess calcaire, tandis qu'une augmentation sensible se marque de bas en haut dans les niveaux étudiés.

Nous avons effectué les rapports en fonction des taux d'argile respectifs, ce qui nous donne les valeurs suivantes :

<u>ESSIGNY</u>	<u>AUDIGNY</u>	<u>LE HAMEL</u>
6.0	7.5	6.8
8.9	9.5	6.9
8.7	8.4	8.5
10.1	9.0	9.5

On constate donc une quantité de fer libre plus importante dans les niveaux altérés, mais relativement moins lié à l'argile.

Analyses chimiques globales.

Fractions fines 0-2 μ .

Nous présentons ci-après les analyses chimiques totales des fractions argileuses de nos trois séquences (produits calcinés).

— ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE —

— ANALYSE CHIMIQUE —

Localisation	Hori-zons	Arg.	Limons fins		L. G.	Sables fins		S.G.	CaCO ₃	Fractionnement 0-2 μ				% Fractions 2-100 μ				pH	C.E.C. (mEq.)		B.E. (mEq.)				Fe ₂ O ₃ libre %					
			Répartition			%				0-0,2		0,2-2		0-0,2		0,2-2				Terre		Argile								
			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		H ₂ O	Terre	Argile	Ca	Mg	K	Na					
<u>ESSIGNY</u>																														
A 984	B ₃	25,6	5,8	12,5	52,4	3,5	0,1	0,1	-	14,3	11,3	56	44	7,8	16,8	70,2	4,7	7,5	11,9	46	13,9	1,13	0,26	0,17	1,74					
985	B/C	20,0	6,6	13,3	56,4	3,5	0,1	0,1	-	8,8	11,2	44	56	8,3	16,6	70,5	4,4	7,8	10,5	53	13,0	1,28	0,23	0,18	1,78					
986	C1	20,0	5,7	15,5	55,4	3,2	0,1	0,1	-	10,5	9,5	53	47	7,1	19,4	69,3	4,0	7,6	9,4	47	11,7	1,47	0,23	0,18	1,73					
987	C2	16,0	6,5	16,4	58,8	2,1	0,1	0,1	-	9,0	7,0	56	44	7,7	19,5	70,0	2,5	7,7	8,3	52	10,3	1,13	0,20	0,16	1,61					
<u>AUBIGNY</u>																														
A 974	B/C	23,2	4,6	12,0	54,6	4,8	0,6	0,2	-	12,0	11,2	52	48	6,0	15,6	71,0	6,2	7,8	10,8	47	13,9	0,70	0,20	0,17	1,73					
975	C1	16,9	3,2	15,2	62,0	2,5	0,1	0,1	-	8,3	8,6	49	51	3,8	18,2	74,4	3,0	7,9	8,0	47	11,4	0,54	0,18	0,19	1,61					
976	C2	15,2	7,2	14,4	56,8	4,8	0,4	1,2	13,5	5,4	9,8	36	64	8,5	17,0	67,0	5,7	8,2	5,9	39	23,9	0,71	0,15	0,22	1,27					
977	C3	13,6	6,4	18,4	58,8	1,6	0,2	1,0	12,2	5,7	7,9	42	58	7,4	21,3	68,2	1,9	8,2	5,2	38	22,5	0,94	0,14	0,17	1,23					
<u>LE HAMEL</u>																														
5 059	B ₃	24,0	5,0	10,8	57,4	2,6	0,1	0,1	-	12,5	11,5	52	48	6,6	14,3	75,8	3,4	8,0	12,0	50	15,6	0,83	0,22	0,22	1,66					
5 060	B/C	20,7	5,8	9,9	60,9	2,5	0,1	0,1	-	10,8	9,9	52	48	7,3	12,5	76,8	3,2	7,8	10,4	50	13,2	0,88	0,20	0,20	1,43					
5 061	C1	16,4	4,9	15,6	60,6	2,3	0,1	0,1	-	7,8	8,6	48	52	5,9	18,7	72,8	2,8	7,9	8,5	52	11,8	0,53	0,12	0,06	1,40					
5 062	C2	14,7	4,9	15,8	62,8	1,6	0,1	0,1	0,6	7,0	7,7	48	52	5,7	18,5	73,6	1,9	8,2	8,1	55	19,7	0,53	0,13	0,06	1,40					

ESSIGNY

	<u>A 984</u>	<u>A 985</u>	<u>A 986</u>	<u>A 987</u>
SiO ₂	53.5	54.4	57.0	56.5
Al ₂ O ₃	26.2	25.4	24.0	24.85
Fe ₂ O ₃	12.3	13.4	15.2	14.6
CaO	0.8	0.65	0.6	0.9
MgO	1.45	1.3	0.5	0.3
Na ₂ O	0.5	0.5	0.5	0.5
K ₂ O	3.3	3.2	3.2	3.3
Total	98.55	98.85	101.0	101.55
Ki	<u>3.5</u>	<u>3.6</u>	<u>4.0</u>	<u>3.9</u>

Une diminution relative des teneurs en Si et Fe s'observe en fonction de l'altération, avec augmentation de Al et Mg, les autres éléments restant constants.

Le Ki présente une diminution, il passe de 4.0 à 3.5.

AUDIGNY

	<u>A 971</u>	<u>A 975</u>	<u>A 976</u>	<u>A 977</u>
SiO ₂	53.2	54.3	52.8	51.9
Al ₂ O ₃	26.5	27.6	24.2	22.0
Fe ₂ O ₃	14.0	14.8	13.8	13.2
CaO	0.0	0.0	4.5	4.75
MgO	0.0	0.0	0.0	-
K ₂ O	3.2	3.3	3.2	3.1
Na ₂ O	0.55	0.6	0.7	0.55
Total	97.45	100.5	99.60	90.30
Ki	<u>3.4</u>	<u>3.38</u>	<u>3.7</u>	<u>3.37</u>

On ne peut observer ici qu'une augmentation de la teneur en Al de bas en haut de la séquence, ainsi que les valeurs importantes de Ca pour les niveaux de loess calcaires.

Le Ki diminue dans ce cas-ci de 3.9 à 3.4.

LE HAMEL

	<u>5.059</u>	<u>5.060</u>	<u>5.061</u>	<u>5.062</u>
SiO ₂	56.6	55.9	55.6	53.3
Al ₂ O ₃	25.5	25.5	25.25	24.5
Fe ₂ O ₃	12.0	11.5	12.25	12.5
CaO	traces	-	-	traces
MgO	1.1	0.54	0.4	1.0
Na ₂ O	0.36	0.30	0.4	0.32
K ₂ O	<u>3.1</u>	<u>3.2</u>	<u>3.1</u>	<u>2.6</u>
Total	98.60	97.00	97.00	97.72
Ki	<u>3.78</u>	<u>3.72</u>	<u>3.74</u>	<u>3.81</u>

Ici également l'augmentation de la teneur en Al est présente ainsi que celle de Mg au-dessus du niveau calcarifère.

La Ki varie ici relativement peu.

D'une manière générale on constate donc relativement peu de variations dans la composition chimique des fractions argileuses en fonction des niveaux d'altération successifs. La légère augmentation de la teneur en Al, avec diminution correspondante du Ki, pourrait correspondre à l'élimination d'une faible quantité de Si.

Fractions limoneuses.

Afin de mettre en évidence l'altération éventuelle de certains composants des fractions granulométriques limoneuses entre les différents niveaux de chaque séquence, nous avons effectué l'analyse chimique des échantillons correspondants, avec dosage de K_2O , Na_2O et CaO (exprimés en %). Nous en présentons les résultats dans le tableau suivant :

	2-10 μ			10-20 μ			20-50 μ		
	K_2O	Na_2O	CaO	K_2O	Na_2O	CaO	K_2O	Na_2O	CaO
<u>ESSIGNY</u>									
984	2.78	0.96	0.60	2.00	1.32	0.54	1.60	1.22	0.70
985	2.38	1.02	1.30	2.05	1.31	0.44	1.50	1.24	0.85
986	2.50	1.07	0.60	2.14	1.40	0.50	1.56	1.16	0.58
987	2.68	0.97	0.70	2.05	1.40	0.74	1.60	1.26	0.75
<u>AUBIGNY</u>									
974	2.84	0.90	0.60	2.14	1.37	0.75	1.48	1.18	0.60
975	2.84	0.89	0.64	2.14	1.41	0.90	1.56	1.24	0.64
976	2.40	0.79	0.90	1.88	1.20	4.50	1.40	1.18	6.70
977	2.20	0.63	14.25	1.88	1.10	7.95	1.44	1.12	6.05
<u>LE HAMEL</u>									
5.059	2.75	0.82	0.70	2.14	1.37	0.55	1.52	1.20	0.90
5.060	2.90	0.81	0.70	2.22	1.36	0.75	1.65	1.24	0.70
5.061	2.68	0.87	0.70	2.10	1.32	0.50	1.56	1.18	0.60
5.062	2.65	0.82	0.90	2.18	1.32	0.55	1.70	1.28	0.64

Si nous examinons tout d'abord la répartition dans les différentes fractions granulométriques, par horizon, nous pouvons faire les constatations suivantes :

- K_2O - la plus grande quantité se trouve dans la fraction 2-10 μ , ensuite dans 10-20, puis 20-50 μ .
- Na_2O - la plus grande quantité se trouve ici dans la fraction 10-20 μ , ensuite 20-50, puis 2-10 μ .
- CaO - se répartit de manière assez homogène entre les différentes fractions, excepté pour les horizons carbonatés, où la quantité la plus importante s'observe dans la fraction la plus fine : 2-10 μ .

Ceci pourrait signaler d'une part la présence d'une quantité plus importante de minéraux micacés dans la fraction 2-10 μ , d'autre part celle de plagioclases dans les fractions plus grossières.

- A U B I G N Y -

0 - 2 μ										2 - 10 μ											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ki		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ki
974	53.2	26.5	14.0	.	.	0.0	0.0	3.2	0.55	3.40	70.7	14.3	6.3	0.6	0.20	0.57	1.15	3.16	1.08	8.41	
975	54.6	27.6	14.8	.	.	0.0	0.0	3.3	0.6	3.36	69.7	13.5	6.6	0.6	0.13	0.63	1.25	3.09	1.05	8.75	
976	52.6	24.2	13.6	.	.	4.5	0.8	3.2	0.7	3.70	69.0	14.8	5.8	0.6	0.09	0.76	1.79	3.16	1.12	7.90	
977	51.9	22.8	13.2	.	.	4.75	.	3.1	0.55	3.87	68.9	14.6	6.2	0.6	0.13	1.14	1.58	3.07	1.02	8.06	

10 - 20 μ										20 - 50 μ											
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ki		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Ki
974	82.1	9.7	2.8	0.4	0.08	0.58	0.56	2.29	1.52	14.38	89.1	5.9	1.3	0.3	0.06	0.52	0.16	1.61	1.33	25.86	
975	81.4	9.5	2.7	0.4	0.06	0.59	0.58	2.26	1.57	14.50	88.4	6.4	1.5	0.4	0.06	0.59	.	1.70	1.41	23.61	
976	79.3	9.5	3.1	0.4	0.09	0.90	1.55	2.42	1.54	14.25	86.2	6.8	1.6	0.3	0.04	0.71	1.03	1.73	1.47	21.67	
977	79.0	10.1	3.4	0.4	0.09	1.07	1.24	2.44	1.50	14.28	86.2	6.2	1.7	0.4	0.04	0.60	0.69	1.75	1.40	23.54	

Pratiquement aucune interprétation n'est possible en fonction des différences entre horizons pour chaque séquence, hormis l'importance probable de mécanismes liés à la décarbonatation.

Il semble donc que très peu de variations dans la composition chimique interviennent à ce stade.

Afin de pouvoir examiner de manière plus détaillée la variation de composition des différentes fractions granulométriques, nous avons effectué l'analyse globale des fractions limoneuses de la séquence d'AUBIGNY.

Cependant, une correction très importante s'impose : le CaO dont provient à la fois des plagioclases et du CaCO₃ présent dans les deux niveaux inférieurs. Cette correction a été effectuée et nous amène à présenter un tableau dans lequel le CaO dû à la présence du calcaire a été soustrait. Nous y avons repris les analyses de la fraction argileuse, à titre comparatif.

La comparaison entre les différentes fractions permet de confirmer les premiers résultats en ce qui concerne la répartition de K₂O, Na₂O et CaO.

Pour les autres éléments on constate des fractions fines aux fractions grossières :

- une augmentation nette de SiO₂ : 50 à 90
- une diminution assez nette pour Al₂O₃ : 27 à 6, Fe₂O₃ : 15 à 1,3, MnO : 0,20 à 0,04.
- une diminution pour MgO, à partir de 2-10 μ jusqu'à 20-50 μ .

Les K_i varient naturellement de manière importante : de 3,4 à 28.

L'analyse des résultats des différents niveaux amène un certain nombre de commentaires que nous allons exposer successivement ; les comparaisons se feront toujours des niveaux profonds aux niveaux supérieurs.

L'augmentation en SiO₂, faible, est cependant générale dans les fractions limoneuses. Al₂O₃ varie relativement peu. Fe₂O₃ diminue très légèrement dans les fractions 10-20 et 20-50 μ .

CaO diminue assez sensiblement, ainsi que MgO de manière plus faible dans les trois fractions. K₂O diminue très légèrement dans les fractions 10-20 et 20-50 μ . Les variations de Na₂O ne sont pas interprétables.

On peut donc raisonnablement déduire de ces résultats une légère accumulation relative de SiO₂, vraisemblablement par faible altération de minéraux tels que les plagioclases.

Nous pensons donc que les phénomènes les plus sensibles prennent naissance au niveau du front de décarbonatation où les conditions de milieu pourraient permettre une certaine altération des minéraux primaires. Cette altération doit cependant vraisemblablement être de très faible importance ; les minéraux ainsi formés viendraient enrichir la fraction fine héritée du loess originel.

3.52.4. DETERMINATIONS MINERALOGIQUES

Des analyses minéralogiques ont été effectuées sur les fractions 0-2, 2-10, 10-20 et 20-50 μ de tous les niveaux étudiés : analyses aux rayons X par diffractométrie.

Nous présenterons successivement les résultats correspondant aux fractions inférieures à 2 microns, ensuite ceux des fractions limoneuses.

Les échantillons ont été rendus Mg, Mg traités au glycol, ou traités au KCl ; des chauffages progressifs ont été réalisés : à 250°, 400° et 550°.

Fractions fines.

ESSIGNY.

On n'observe aucune différence sensible entre les quatre horizons constitutifs.

Les échantillons Mg montrent une réflexion assez large à 14,5 \AA , qui domine un pic bien différencié à 10 \AA ; deux autres réflexions sont bien distinctes : à 7,2 et 3,34 \AA . Le traitement au glycol provoque un étalement assez irrégulier jusqu'à 17 \AA , tandis que la réflexion à 10 \AA se différencie bien. Les échantillons K montrent une fermeture très imparfaite à 10 \AA . Le chauffage à 250° provoque une fermeture pratiquement complète.

On note donc la présence d'illite, de kaolinite, de quartz, à côté d'édifices gonflants du type montmorillonite. Le gonflement irrégulier et la fermeture difficile et incomplète correspondraient à des minéraux intergrades.

De bas en haut de la séquence on peut deviner une ouverture plus grande des minéraux du type illitique, ainsi qu'une fermeture de plus en plus difficile.

AUBIGNY.

La réflexion à 14,5 \AA est très bien exprimée, celle à 10 \AA l'est plus nettement que dans la séquence précédente ; les autres sont analogues à cette dernière. Le traitement au glycol montre une réflexion très nette à 10 \AA et le gonflement assez marqué d'une partie de l'échantillon vers des distances basales plus grandes.

Le chauffage permet d'observer un comportement légèrement différent entre les niveaux profonds et les niveaux supérieurs. L'horizon C₃ se ferme dès 250°, tandis que le B/C ne marque une fermeture sensible que vers 400°, la fermeture paraissant complète pour tous les niveaux à 550°.

Le traitement au potassium provoque une fermeture assez bonne pour le C₃, simplement moyenne pour le B/C ; tout se ferme de manière satisfaisante à 250°.

Les minéraux sont donc essentiellement les suivants : quartz, kaolinite, illite et gonflants à 14 \AA .

On peut donc constater ici, essentiellement, la fermeture plus difficile au chauffage et au traitement K des niveaux plus altérés. Ceci pourrait correspondre à une transformation plus avancée des minéraux argileux dans les horizons supérieurs.

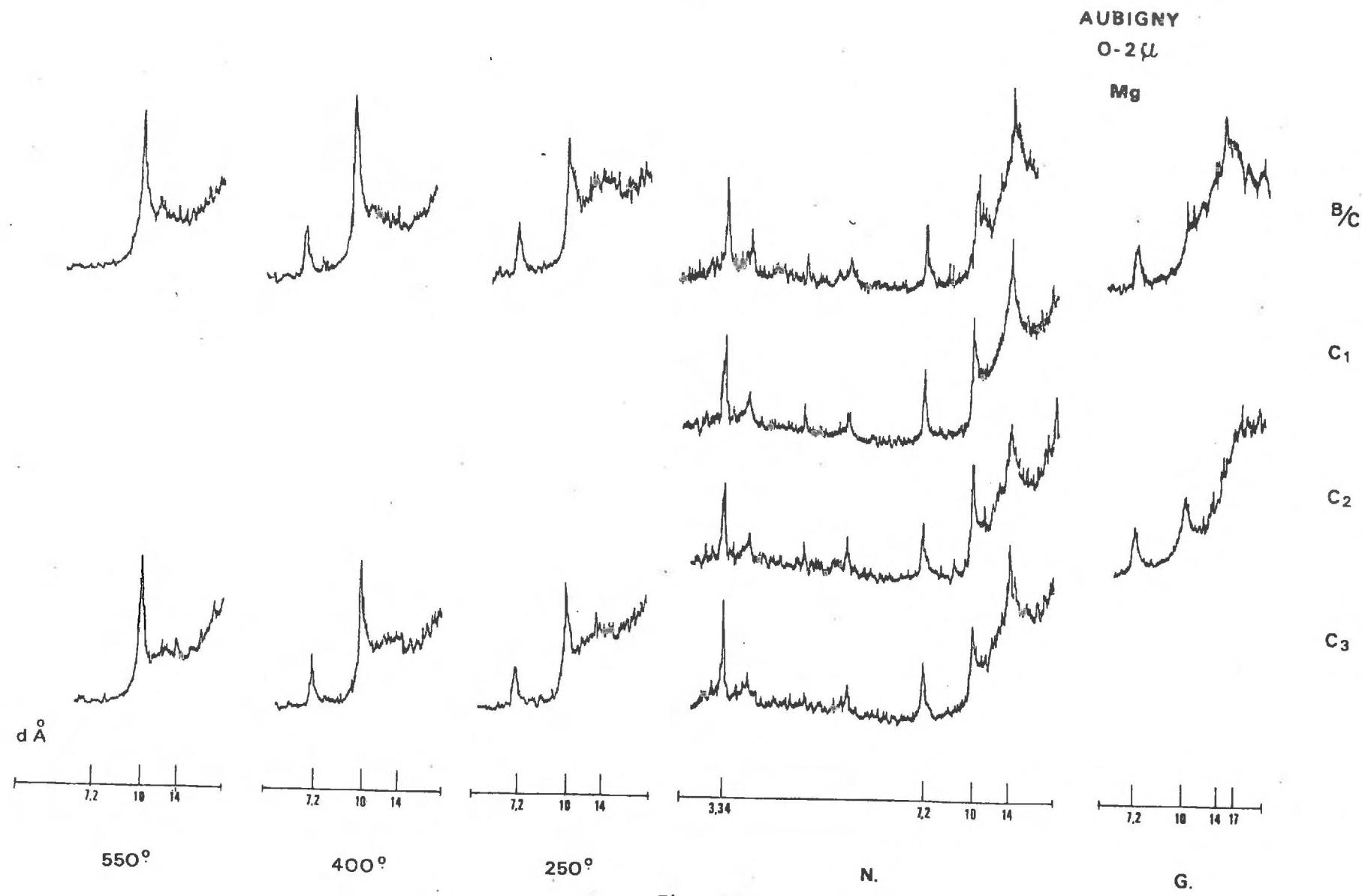


Fig. 46

AUBIGNY

0-2 μ

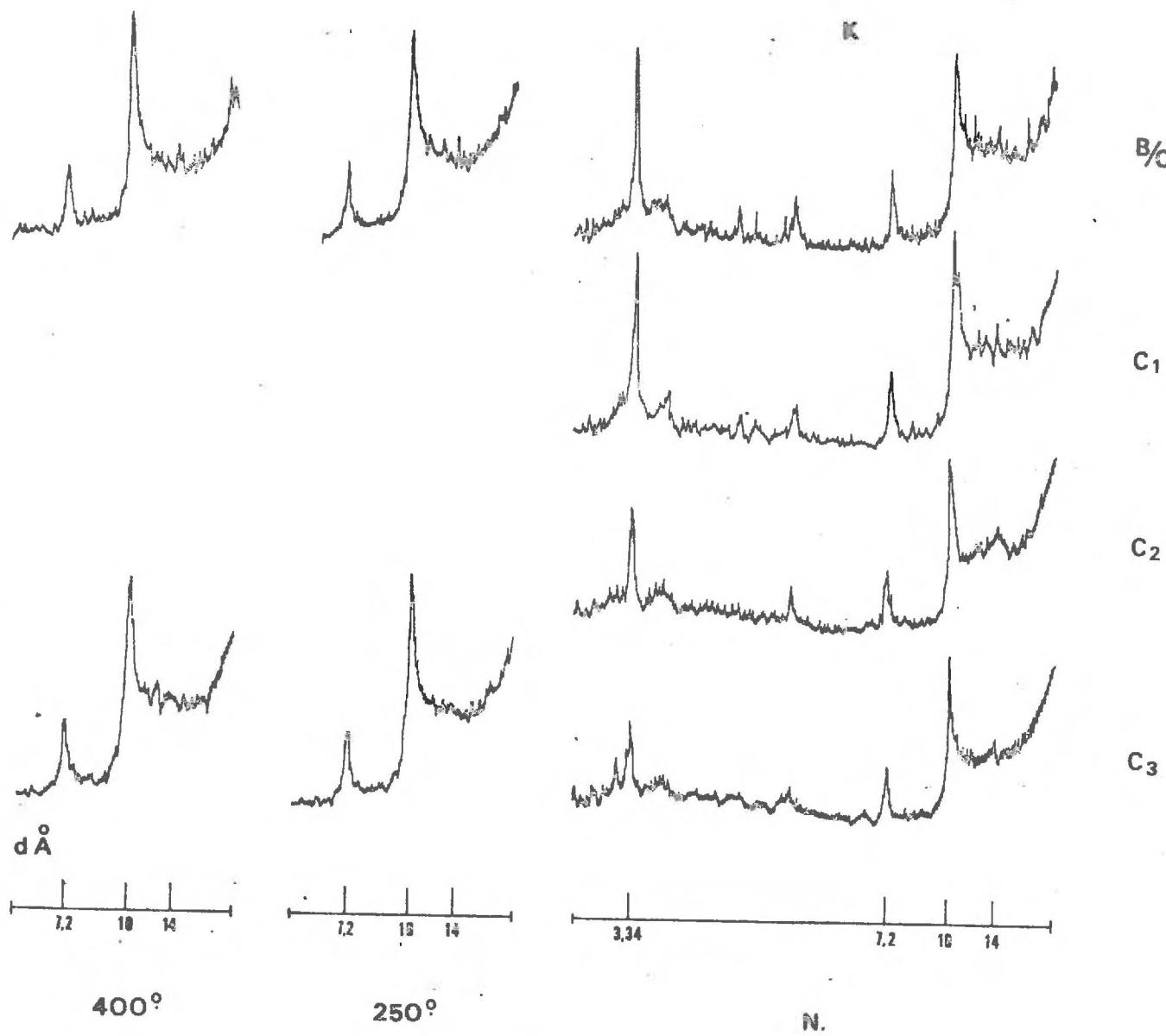


Fig 47

LE HAMEL.

Les fractions fines des niveaux de cette séquence présentent beaucoup d'analogies avec celles des deux autres.

On observe, au Nig, une réflexion nette à 14,5 Å, une autre moins bien exprimée à 10 Å, d'autres à 7,2 et 3,34 Å. On peut déceler quelques accidents mineurs à 3,20/3,25 Å, surtout dans les horizons B/C et B₃, qui correspondent à des feldspaths. Le traitement au glycol provoque un gonflement partiel pour tous les échantillons, avec maintien de traces à 14 Å. Le traitement K provoque une fermeture sur 10 Å et met plus nettement en évidence les réflexions à 3,20 Å. Le chauffage a été appliqué aux échantillons extrêmes B₃ et C₂, et provoque une amélioration de la fermeture : pratiquement complète à 250° pour le C₂, à 400° pour le B₃.

Les mêmes minéraux sont donc présents avec, semble-t-il, de petits fragments feldspathiques.

DISCUSSION.

Nous pouvons résumer les faits d'observations de la manière suivante :

- réflexion à 14,5 Å, se déplaçant vers des distances basales plus grandes par gonflement, avec fermeture vers 10 Å assez facile au niveau des loess, plus difficiles dans les "lehms".
- réflexion généralement nette à 10 Å.
- réflexion à 7,2 Å.
- réflexion à 3,34 Å.

Nous aurions donc affaire dans tous les niveaux à du quartz, de la kaolinite, de l'illite et à des minéraux intergrades 10-14 Å, dont une partie est gonflante.

L'altération du loess/"lehm" ne se marquerait que par une "ouverture" plus importante des minéraux.

Les traces de feldspaths décelés dans les échantillons du HAMEL pourraient être liés à des mécanismes de microdivision.

Fractions limoneuses.

Les différentes fractions limoneuses présentent d'une manière générale beaucoup d'analogies dans leur constitution.

Les diffractogrammes permettent d'observer les faits suivants (exemple pris sur AUBIGNY C₂) :

- réflexion nette à 14,2 Å.
- réflexion très nette à 10 Å.
- réflexion nette à 7,2 Å.
- réflexions à 4,26 - 3,53 - 3,34 - 3,25 - 3,20 - 3,05 - 2,9 Å.

La réflexion à 14 Å n'est pas toujours nette, tandis que l'intensité des autres peut être variable.

Il semble donc que nous avons affaire aux minéraux suivants, présents en quantité variable dans les différentes fractions :

- quartz - feldspaths - micas - chlorite - kaolinite - calcite dans certains niveaux.

Entre les diverses *fractions* on peut constater quelques différences :

- les feldspaths sont de plus en plus abondants des fractions fines aux fractions grossières. .
- les minéraux micacés (10 Å) présentent une variation inverse, avec parfois une légère dominance apparente dans la fraction 10-20 μ .
- la chlorite apparaît le plus distinctement dans la fraction intermédiaire 10-20 μ , elle semble plus altérée (réflexion plus large et moins bien exprimée) dans 2-10 μ , et moins abondante dans 20-50 μ . La fraction 2-10 μ marque un certain gonflement après traitement au glycol, tandis que la fermeture après traitement au potassium et chauffage est très incomplète. Ceci pourrait signifier la présence de minéraux chloritiques mal cristallisés dans cette fraction, ou d'une chlorite en voie d'altération. L'enrichissement en Mg observé dans la fraction argileuse des horizons altérés d'Essigny et du Hamel en représenterait éventuellement une conséquence.
- la kaolinite est essentiellement représentée dans les fractions 2-10 et 10-20 μ .
- lorsque présente, la calcite paraît progressivement plus abondante dans les fractions fines.

Pratiquement aucune variation ne peut être décelée sur les diffractogrammes entre les différents niveaux d'une même séquence.

Enfin, pour confirmer la présence de chlorite, une attaque acide, par HCl, a été réalisée sur les niveaux présentant une réflexion marquée à 14 Å. Après traitement, cette réflexion a disparu, celle à 7 Å étant maintenue, bien qu'ayant diminué.

Comme d'autre part, après chauffage à 550° on observe pour ces mêmes échantillons une intensification de la réflexion à 14 Å, il semble que la chlorite soit bien présente, en association avec la kaolinite.

Quelques déterminations de surfaces spécifiques effectuées sur les fractions argileuses de niveaux caractéristiques de loess et horizons d'altération correspondants ont confirmé la faible évolution minéralogique.

En effet, ces surfaces assez importantes : de l'ordre de 300 m²/g, présentent très peu de variation. Par exemple pour la séquence d'Aubigny : A 977 = 308 m²/g, A 974 = 306 m²/g.

De l'ensemble de nos résultats d'analyses minéralogiques il semble donc évident que très peu de variations qualitatives des constituants minéraux interviennent dans les phénomènes d'altération initiale des formations loessiques, ce qui confirme les premiers résultats déduits du bilan chimique.

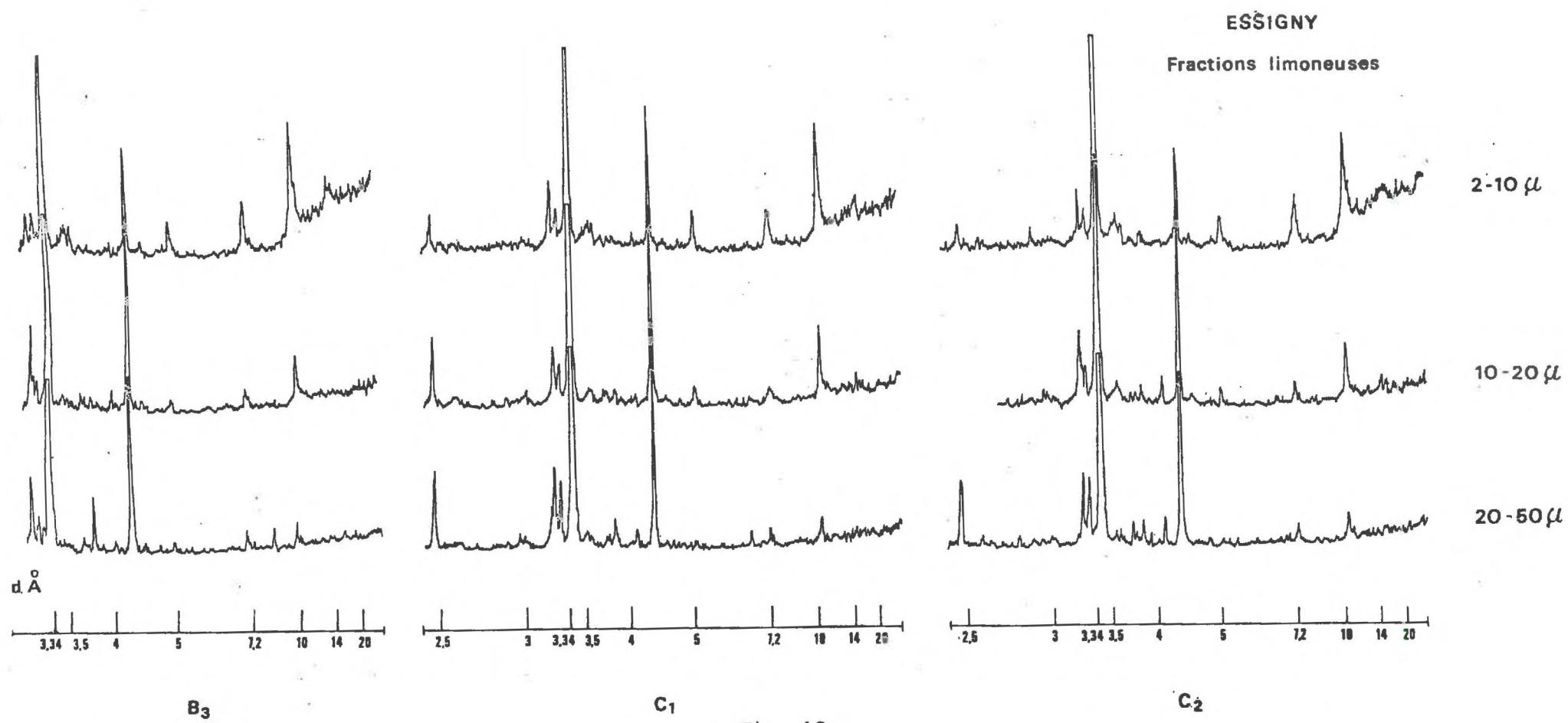
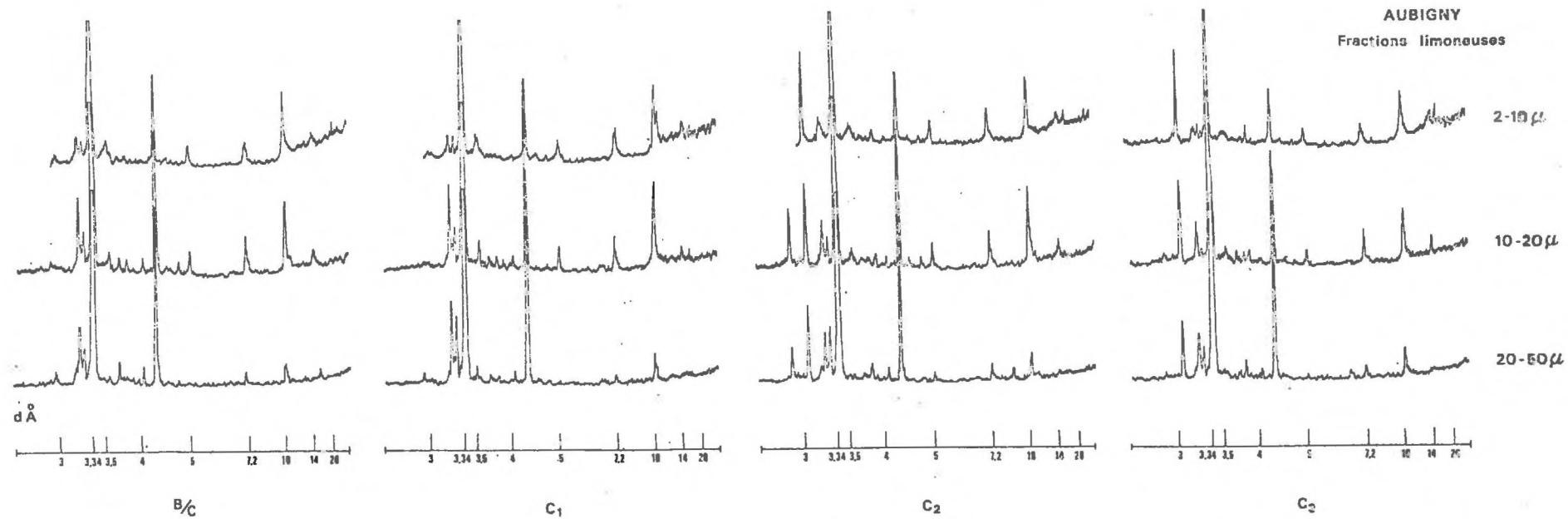


Fig. 48

AUBIGNY
Fractions limoneuses



LE HAMEL
Fractions limoneuses

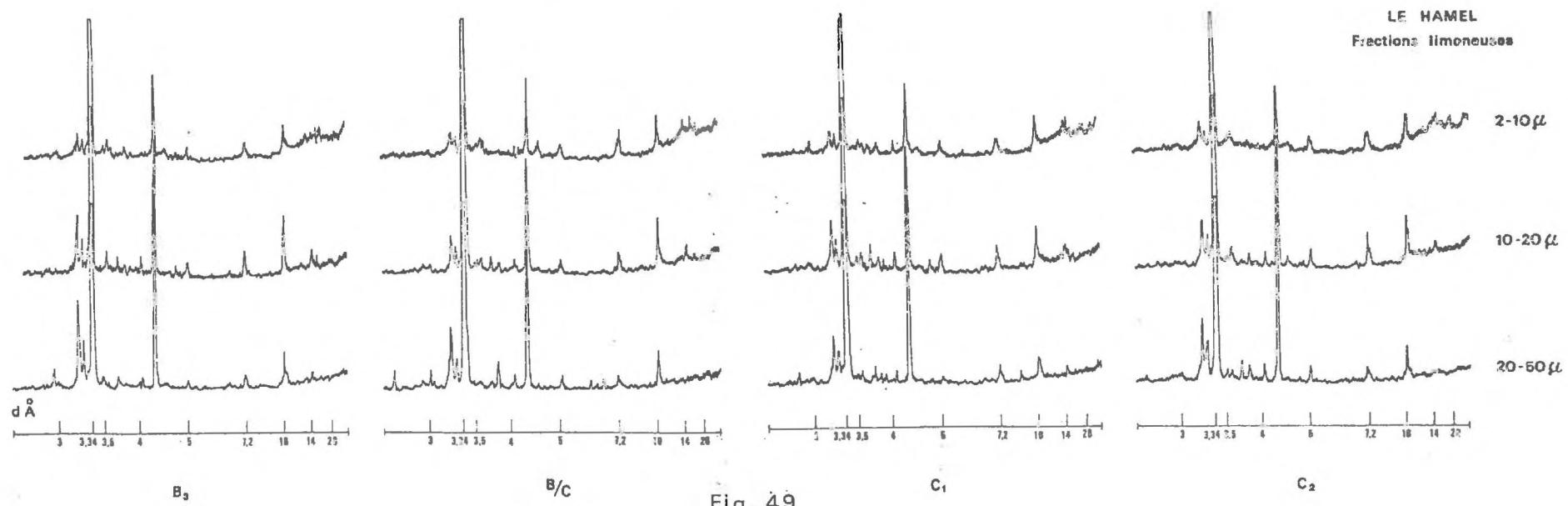


Fig. 49

3.53. DISCUSSION - CONCLUSIONS.

Les trois séquences que nous avons étudiées constituent, avec quelques variations, comme la teneur en calcaire des horizons profonds, des répétitions destinées à confirmer la constance de nos observations et interprétations.

L'homogénéité du matériau de départ pour chacune d'entre elles peut être considérée comme satisfaisante sur la base des tests suivants : distribution des minéraux lourds - répartition granulométrique des fractions limoneuses et sableuses - absence de discontinuités.

L'examen micromorphologique ne nous a pas permis de déceler les traces de déplacements colloïdaux importants dans les différents niveaux, hormis quelques migrations de très faible amplitude.

L'analyse granulométrique détaillée a mis en évidence la diminution relative de la fraction 10-20 μ en fonction de l'altération, ainsi qu'une libération assez sensible d'argile fine au niveau du front de décarbonatation, ces résultats confirmant respectivement les données obtenues par Zöll et al. (1969) et les conceptions de Duchaufour (1958).

L'étude de la variation des bases échangeables nous a montré une augmentation relative de la saturation du complexe en Ca et K dans les niveaux altérés, que nous pourrions mettre en relation avec une certaine altération des minéraux primaires.

L'analyse chimique globale des fractions argileuses des différents horizons de nos trois séquences a montré peu de variations dans la composition pour les différents niveaux. Une diminution assez générale du K₂O en fonction de l'altération semble systématique.

L'analyse chimique des fractions limoneuses des trois séquences nous a apporté relativement peu de renseignements permettant une interprétation relative à l'altération progressive. Nous avons cependant pu préciser la répartition préférentielle probable des différents minéraux altérables dans chacune des fractions.

Pour la séquence d'Aubigny a été réalisée une analyse chimique très détaillée de toutes les fractions inférieures à 50 μ . Après avoir effectué une correction destinée à éliminer l'influence du CaCO₃ nous avons pu mettre en évidence d'une part une accumulation relative de SiO₂ due vraisemblablement à une certaine altération des minéraux primaires du type feldspaths, la diminution des teneurs en CaO et K₂O étant, faibles peut-être, mais assez systématique.

Au demeurant, il faut remarquer que les phénomènes d'altération les plus sensibles se présentent au niveau du front de décarbonatation.

Des analyses minéralogiques ont été effectuées à la fois sur les fractions argileuses et limoneuses des différents niveaux.

En ce qui concerne les argiles, la constitution de la fraction inférieure à 2 microns paraît être essentiellement la suivante : illite - kaolinite - quartz et minéraux gonflants 10-14 Å.

Les fractions limoneuses comportent du quartz, des feldspaths, des micas, de la chlorite, de la kaolinite et éventuellement de la calcite dans les niveaux profonds. Nous avons pu confirmer la répartition préférentielle de ces minéraux en fonction des différentes fractions étudiées.

Pou de variations notables ont pu être mises en évidence sur la base de ces analyses, excepté une certaine "ouverture" des minéraux phyllitiques correspondant à une simple transformation au cours de l'altération.

En conclusion, nous pouvons résumer de la façon suivante nos observations et interprétations en ce qui concerne les premiers processus d'altération des formations loessiques dans la région étudiée, et introduire quelques hypothèses : - libération d'argile fine par dissolution des carbonates - altération probablement très faible, de minéraux primaires du type plagioclases, au niveau du front de décarbonatation - fractionnement vraisemblable de minéraux micacés et autres silicates suggéré par l'examen des données granulométriques - ces mécanismes d'altération paraissent affecter essentiellement la fraction 10-20 μ , comme l'ont prouvé à la fois les résultats des analyses granulométriques et chimiques.

Ces conceptions rejoignent assez sensiblement certaines hypothèses avancées par les chercheurs de l'école de Göttingen, Scheffer, Meyer, Gebhardt, Kalk, Fölscher (1960-1966), par Millot et al. (1957-1962), et par Zötl et Kusmaul (1967).

Sous réserve du nombre relativement restreint de données que nous avons à notre disposition, l'altération initiale des loess, faisant partie du phénomène dit de "lehmification", correspondrait donc essentiellement :

- à une *microdivision* d'éléments de la taille des limons fins entraînant une augmentation de la fraction argileuse, notamment en minéraux du type illitique,
- à une légère augmentation de la teneur en minéraux gonflants par *libération* lors de la décarbonatation,
- à une *transformation* minéralogique modérée provoquant l'ouverture des feuillets des minéraux argileux à 10 Å.

*

*

*

3.6. CONCLUSIONS GENERALES

Nous nous sommes donc attachés, dans cette partie de notre travail, à l'étude du loess en tant que matériau originel.

L'inventaire détaillé que nous avons réalisé était justifié par l'importance de ce type de matériau en tant que facteur pédogénétique.

L'étude des variations de la couverture loessique nous a tout d'abord permis de définir l'extension des dépôts récents et celle des formations limoneuses plus anciennes, de les caractériser essentiellement aux plans granulométrique et minéralogique, et de retenir une stratigraphie de référence.

Les caractères essentiels des principaux paléosols observés ont été cernés dans le troisième chapitre, données que nous serons amenés à utiliser pour l'étude des sols polygéniques. Ces éléments devraient d'autre part pouvoir constituer un élément de comparaison pour des études ultérieures consacrées à la paléopédogénèse, particulièrement dans la zone d'Europe occidentale.

Dans le dernier chapitre, nous avons pu mettre en évidence la nature des mécanismes fondamentaux qui agissent au cours des premiers stades d'évolution du matériau louss. Ces résultats seront intégrés par la suite dans la succession des processus pédogénétiques qui sont à l'origine du développement des sols sur limons loessiques.

Nous pensons que la caractérisation des matériaux originels limoneux représentés dans la région étudiée que nous venons d'effectuer peut être considérée comme suffisante pour l'étude pédogénétique de ces formations à laquelle nous allons maintenant nous consacrer.

- QUATRIEME PARTIE -

LES PHENOMENES PEDOGENETIQUES.

4.1. GENERALITES

Cette quatrième partie constitue le corps principal de notre étude où nous traitons de l'analyse détaillée de notre fond d'observations et des interprétations qu'elle nous suggère.

Notre objectif est donc de tenter de définir la nature et le mode d'action des différents processus pédogénétiques qui ont agi ou agissent encore sur les matériaux loessiques pour y provoquer le développement des sols.

Nous allons examiner dans les pages qui suivent, en fonction de différents stades de développement bien définis, le comportement d'un grand nombre de paramètres du sol de manière à préciser l'évolution de chacun d'entre eux.

Ceci devrait nous amener d'une part à mettre en évidence les conditions de milieu prédisposant et favorisant les grands processus du lessivage et de la dégradation des horizons d'accumulation d'argile, d'autre part à caractériser avec suffisamment de précision les produits de déplacement et les produits résiduels.

Au cours de l'analyse de notre fond d'observations, et au travers des grands ensembles représentés par les régions naturelles, nous ont apparues plusieurs unités de regroupement qui correspondent essentiellement à l'ancienneté et au type de mise en place des matériaux.

Nous pouvons en effet distinguer les sols développés sur limon récent du Pléistocène terminal, ceux développés sur limons d'apport plus ancien, et enfin les sols polygéniques ayant subi l'action de plusieurs cycles pédogénétiques. Les premiers pourraient être âgés de quelques dix mille ans, tandis que les autres porteraient des traces d'évolution dont certaines dateraient de plusieurs dizaines de milliers d'années.

La littérature concernant les problèmes qui nous préoccupent est abondante et nous avons dû effectuer une sélection en fonction de l'orientation de notre travail.

Les sols développés dans les matériaux loessiques, sols d'évolution actuelle ou différents paléosols ont été étudiés par de nombreux auteurs en Europe et aux Etats-Unis.

Dans un premier chapitre nous effectuerons tout d'abord une revue bibliographique en faisant le point des connaissances actuelles.

Les autres chapitres traiteront de la pédogenèse proprement dite des sols limoneux. Nous y analyserons de manière détaillée un nombre restreint de profils représentatifs, ainsi que du matériel provenant d'échantillonnages très sélectifs de façon à bien définir la nature des déplacements au sein des profils.

L'analyse s'effectuera en deux temps.

Une caractérisation la plus complète possible des types de sols retenus sera tout d'abord réalisée. Treize profils ont été sélectionnés : cinq sur limons récents - cinq sur limons plus anciens - et trois sols polygéniques dont un dans une superposition limon récent sur limon ancien et deux dans des matériaux anciens redistribués et soumis à une pédogenèse actuelle.

Ensuite, étant donné l'importance prise par les phénomènes d'éluviation / illuviation dans la genèse des sols qui nous occupent, des échantillons de revêtements argileux ou argilo-limoneux caractéristiques des différents stades d'évolution, ainsi que les plages dégradées prélevées dans les sols glossiques, feront l'objet d'analyses particulières.

Des premières conclusions pourront être tirées de l'ensemble des analyses détaillées effectuées.

L'ensemble des données exposées dans cette partie du travail servira de base aux interprétations générales que nous tenterons dans la cinquième partie.

*

*

*

4.2. REVUE ET ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Il ne nous est naturellement pas possible de présenter, dans le cadre du présent travail, une analyse détaillée de l'abondante littérature concernant les sols développés sur formations limoneuses et les processus de leur évolution.

Nous nous limiterons donc, tout comme pour les travaux se rapportant aux loess en tant que matériau, aux études qui nous paraissent les plus fondamentales et à celles en liaison directe avec notre propre travail. Seront traitées successivement les études ayant pour objet les sols développés sur loess en Europe de l'Ouest, en Europe continental et pour quelques unes aux Etats-Unis.

Ensuite, nous envisagerons une série de travaux concernant différents aspects des principaux processus de la pédogenèse affectant les matériaux limoneux.

Faisant suite aux recherches de *V. Agafonoff* sur les matériaux loessiques, *G. Joret* étudie en 1932 les sols de limons de Picardie. Se basant sur les travaux de *J. de Lapparent* et *A. Vemolan*, l'auteur analyse la variation de la composition granulométrique des sols limoneux d'ouest en est. Il constate une augmentation progressive de la teneur en argile et en limon fin, alors que l'épaisseur de la couche limoneuse diminue.

En 1946, *H. Malterre* explique la formation de la "terre à briques" par l'évolution pédogénétique du loess, et constate l'absence d'altération des réseaux cristallins des minéraux argileux.

Le même auteur, en 1948, analyse des sols limoneux de la Brie, de la Beauce et du Santerre et remarque la rareté de l'ergeron en région briarde.

Dès 1949, *G. Aubert* met en évidence certaines différences dans le degré d'évolution des sols sur limon loessique, selon des variations climatiques locales et la granulométrie, les sols sur limons sableux étant lessivés, parfois très légèrement podzoliques.

C. Riedel et *J. Franc de Ferrière* (1951) publient un ouvrage sur les sols de la Brie où ils lient des degrés d'évolution différents à l'ancienneté de la mise en place des matériaux limoneux. Cependant, une certaine ambiguïté marque la définition des niveaux stratigraphiques et celle des horizons du sol.

J. Pupuis (1952) caractérise fort bien quelques importantes unités de sols dans le centre du Bassin de Paris.

R. D'udal effectue, en 1953, une remarquable synthèse sur l'évolution des limons loessiques de Belgique.

L'auteur décrit les principaux stades d'évolution pédologique de formations limoneuses du Pléistocène supérieur, il émet l'hypothèse d'une libération puis d'une néoformation d'argile au stade sol brun puis dans les étapes postérieures par altération des feldspaths et micas dans les horizons supérieurs. L'illite est le minéral argileux dominant, alors que la kaolinite est plus importante en surface que dans les horizons profonds, ceci particulièrement dans les sols lessivés désaturés. Des sols podzoliques sont décrits, avec dégradation partielle de la partie supérieure de l'horizon Bt, et appa-

rition d'un horizon fragipan en profondeur. *Dudal* envisage une séquence d'évolution en fonction des différents facteurs de la pédogenèse : chronoséquence, climoséquence, toposéquence, lithoséquence, bioséquence. Il montre comment les caractéristiques morphologiques traduisent les variations des propriétés intrinsèques du sol.

En 1953 également, *A. Caloux* étudie l'influence d'une monoculture de hêtres sur la dégradation des sols forestiers loessiques, particulièrement fragiles et sensibles à la modification ou destruction du manteau végétal naturel. Les sols limoneux ayant évolué durant plus de deux siècles sous des massifs purs de hêtres accusent de profondes modifications biologiques et physico-chimiques.

Ce même problème est abordé en 1954 par *A. Louis* qui caractérise les types de sols à tendance "glossique" de la forêt de Soignes.

Enfin, dans son étude sur les sols de la Hesbaye occidentale, *R. Pérot* (1956) discute des principales hypothèses concernant la formation de l'horizon B_{2t} dans les sols limoneux : migration de substances colloïdales, néoformation d'argile. La couleur brune serait due aux hydrates ferriques provenant de minéraux comme la biotite et la hornblende. Les horizons B_t tachetés correspondent à un début de dégradation, avec reprécipitation des colloïdes dans un horizon "beta" (β) situé au contact du matériau original calcique. L'auteur analyse les différentes formes de fer, notamment dans la partie supérieure des sols dégradés où la teneur en formes très mobiles est importante.

Dans le cadre de ses observations sur les loess anciens, *G. Manil* décrit en 1955 un paléosol typique développé dans un loess anté-rissien, probablement d'âge Mindel. Ce sol fossile présente une teneur en argile importante, cette argile possédant une capacité d'échange relativement faible par rapport à celle des sols lessivés développés dans les limons récents supérieurs.

Etudiant l'évolution des minéraux argileux dans les limons de la vallée du Rhin, *Th. Camez*, *G. Millot*, *C. Roth* et *P. Verner* précisent, en 1956 et 1957, les modifications qui interviennent au cours de la "lehmification" et du lessivage. Les auteurs montrent l'importance des phénomènes de dissolution des feuillets, provoquant l'apparition de nombreux interstratifiés qui migrent ensuite préférentiellement verticalement dans le profil. Ils constatent l'instabilité de la chlorite dans l'évolution pédogénétique des loess, déduisent que l'altération provoque un fractionnement des minéraux argileux, et observent une accumulation des parties les plus fines dans la partie moyenne du sol ou au niveau de contact avec des matériaux lehmifiés sous-jacents. Dans sa thèse, *Th. Camez* note que le processus de lessivage provoque une modification dans les proportions des différents minéraux argileux : montmorillonite, chlorite, illite, kaolinite, et que dans les sols très évolués intervient de plus une évolution par transformation avec tendance à la formation de vermiculite et de minéraux interstratifiés illite / vermiculite et chlorite / vermiculite.

En 1958, *R. Maréchal*, dans son travail sur la région condruzienne, donne une description très détaillée des sols limoneux très typiques présentant des degrés d'évolution différents, notamment du point de vue intensité de l'hydromorphie. L'année précédente, *R. Tavernier* et *R. Maréchal* avaient décrits les sols à horizon compact, ou fragipan, de la même région.

G. Manil exprime, en 1960, la possibilité de développement de sols du type planosolique sur des affleurements de limon ancien. En 1962, le même auteur définit deux formes sensiblement différentes de lessivage : - en milieu aéré, peu acide et toujours riche en calcium - en milieu moins aéré, et plus acide.

A cette époque, les matériaux limoneux loessiques sont étudiés essentiellement par A. Vink et J. Van den Broek. Van den Broek et Van der Marel (1962) étudient notamment les relations Ca/Mg et K/Mg dans les sols loessiques du Limbourg. Ils en déduisent une vitesse relative de décarbonatation, localisent la calcite et la dolomite dans les fractions granulométriques, et examinent l'évolution des rapports en fonction de l'évolution.

En 1962, G. Millot, dans son ouvrage sur la géologie des argiles, fait une synthèse des connaissances. L'auteur donne la composition de la fraction inférieure à 2 microns des dépôts éoliens de plusieurs grandes régions loessiques : Alsace, Bassin de Paris, Etats-Unis. Il reprend les modifications minéralogiques qui apparaissent au cours de l'altération du loess en lehm, résultats des études antérieures.

G. Millot esquisse ensuite l'évolution des minéraux argileux dans les grands processus pédogénétiques, dont nous ne donnerons que quelques aperçus.

- Répartition uniforme de l'illite dans les sols bruns, de plus en plus abondante en surface par rapport à la profondeur lorsque le lessivage s'intensifie.

- Fragilité de la chlorite et de la montmorillonite qui se dégradent en surface et dont l'importance diminue donc de bas en haut du profil.

- Apparition de minéraux interstratifiés dans le haut du solum.

- L'apparition du processus de podzolisation intensifie les variations. L'illite est moins importante en surface, avec apparition de nombreux interstratifiés illite/vermiculite et illite/chlorite, tendance à la vermiculisation.

En ce qui concerne le processus d'illuviation, le lessivage paraît le plus aisé pour les minéraux du type montmorillonite et les minéraux altérés. Il s'exerce sur des matériaux fractionnés, dispersés, ayant atteint une taille favorable, donc généralement pour l'argile fine. Les déplacements auraient lieu dans l'ordre suivant : montmorillonite, vermiculite, minéraux interstratifiés, chlorite, illite, kaolinite.

Dans les sols les plus évolués, où apparaît la vermiculite, on observerait ensuite l'apparition d'intergrades vermiculite/montmorillonite, puis celle de la montmorillonite elle-même.

G. Plaisance (1964) analyse de façon détaillée les sols limoneux de la forêt de Chaux. Il émet de nombreuses hypothèses sur l'origine des différents faciès d'hydromorphie, et examine particulièrement l'évolution des minéraux argileux. Les sols bruns et sols bruns lessivés développés dans des dépôts relativement récents montrent une dominance de vermiculite sur des minéraux interstratifiés, eux-mêmes mieux représentés que l'illite et la kaolinite, présentes cependant. L'altération en surface de sols lessivés dégradés hydromorphes développés dans des vieux dépôts éoliens se manifeste par l'apparition de teneurs très importantes en vermiculite ainsi que par l'augmentation de la kaolinite aux dépens des interstratifiés et surtout de l'illite. Dans l'horizon d'accumulation d'argile de ces sols les interstratifiés montmorillonitiques sont plus abondants que la vermiculite et la kaolinite, l'illite étant présente à l'état de traces. Plaisance en déduit l'importance du processus de vermiculisation et de l'apparition de minéraux interstratifiés par ouverture des illites et dégradation de la chlorite.

A cette époque (1964) nous avons décrit quelques uns des sols limoneux les plus représentatifs de la partie nord du Bassin de Paris, allant du sol brun lessivé au sol lessivé glossique hydromorphe.

J. Vandamme et al. (1965) étudient la variation de la teneur en argile des sols limoneux belges en fonction de la localisation géographique et de leur degré d'hydromorphie. Ils arrivent à la conclusion que les sédiments éoliens, provenant du nord-ouest, deviennent de plus en plus fins, de plus en plus altérés et plus argileux avec l'éloignement de la région d'origine, tant dans l'horizon illuvial que dans le matériau originel. Les auteurs remarquent ensuite l'influence dégradante faiblement podzolisante de l'hydromorphie entraînant une certaine altération du complexe argileux.

A l'occasion d'un colloque sur les limons du Bassin de Paris, nous avons nous-mêmes présenté en 1967, quelques aspects morphologiques et micromorphologiques des sols développés sur loess, ainsi qu'une séquence chronologique théorique regroupant les principaux types d'évolution observés en Europe occidentale. Nous reprendrons ces notions au cours du présent travail.

F. le Tacon (1967) effectue une cartographie et une analyse détaillée de plusieurs grandes unités de sols limoneux des Basses-Vosges. Il en déduit plusieurs phases successives de pédogenèse dont les principales très anciennes, l'auteur décrit notamment des sols lessivés très épais à horizon d'accumulation rendus imperméables à cause d'une hydromorphie marquée. Il observe une libération d'aluminium liée à une destruction d'argile et étudie le rapport des formes de fer, libre et total. Le rapport fer libre / fer total est d'une manière générale inférieur à 0,5 pour les sols lessivés, supérieur à 0,5 pour les sols plus anciens rubéfiés.

En 1968, Ph. Duchauffour et B. Souchier, sur la base de travaux réalisés sur des sols limoneux de Lorraine, précisent les différences existant entre des sols lessivés mésotrophes et oligotrophes, des sols lessivés podzoliques et podzoliques à pseudogley. Ils montrent que l'entraînement d'argile peut se poursuivre en milieu très désaturé, et que l'aluminium libéré vient s'accumuler au niveau de l'horizon Bt préalablement formé.

N. Fedoroff (1968) expose un classement des divers types d'horizons Bt présents en France atlantique. Partant de la séquence évolutive que nous avions mis en évidence sur limon loessique, l'auteur en présente des variations pour des sols développés sur d'autres matériaux. N. Fedoroff y oppose deux types d'horizons textural : statique et dynamique. L'horizon Bt des sols développés sur limon loessique récent serait intermédiaire : pseudostatique.

En 1969, J. Lozet présente un travail concernant la genèse des horizons du type fragipan dans la région condruzienne. Il conclut à l'origine glaciaire probable de cet horizon, en accord avec les auteurs britanniques, mais en opposition avec la majorité des chercheurs américains.

En 1968 et 1969, J. Bouma, J. Van Schuylenborgh et L. Ponis publient, dans le cadre de travaux concernant la genèse des sols en climat tempéré humide, une série de travaux sur les sols limoneux. Les auteurs décrivent avec beaucoup de précision les caractères des sols glossiques plus ou moins fortement hydromorphes. Ils signalent la présence importante d'argile orientée au niveau de l'horizon de transition B₃, la dissociation partielle entre fer et argile au cours des phénomènes de déplacement, ainsi que la différence qui existe entre la composition des langues de dégradation et la matrice des horizons au même niveau. Ils attribuent, au moins partiellement, la genèse de ces langues à des processus d'oxydo-réduction.

Les auteurs signalent d'autre part l'absence de revêtements argileux dans les sols les plus hydromorphes, cependant que des argiles bien orientées sont présentes dans la masse de l'horizon. Des accumulations de grains de squelette sont enfin bien mises en évidence.

Très récemment, J. Van den Broek et H. Van der Marel (1969) ont effectué une analyse particulièrement détaillée de l'altération, de l'illumination et de la tendance à la podzolisation d'un sol hydromorphe sur loess. Ils en déduisent que des processus très différents caractérisent ce sol et en rendent la classification particulièrement difficile.

Actuellement, en France comme dans les pays immédiatement voisins, de nombreuses études sont en cours sur les sols développés dans les formations limoneuses loessiques.

Parmi les nombreux travaux effectués sur les sols qui nous occupent, en Allemagne et en Europe centrale, certains sont particulièrement intéressants.

Nous avons déjà cité J. Fink (1956) qui présente une synthèse des sols et paléosols sur loess d'Autriche, en soulignant l'importance des variations climatiques du territoire dans la différenciation des sols.

En 1957, H. J. Altemüller établit, pour les sols sur loess de Basse Saxe, une séquence évolutive progressive. E. Meyer (1960) considère que les sols bruns lessivés sur loess se sont développés durant toute la période postglaciaire, c'est-à-dire environ 10.000 ans. P. Kundler (1961) montre que les sols bruns lessivés sont caractérisés par la migration des argiles fines et par celle du fer.

Au Congrès de Nouvelle-Zélande, en 1962, F. Scheffer et al. exposent leurs conceptions sur l'altération et l'évolution pédologique des matériaux meubles comme les limons. Ils opposent l'altération en milieu clos ou confiné, à l'altération en milieu ouvert. Le premier étant favorable à la néogenèse d'argile, le second à l'argilification, c'est-à-dire au fractionnement mécanique. L'altération du loess s'opérant essentiellement en milieu ouvert, les processus seraient de façon dominante de nature mécanique : microdivision des micas par libération des oxydes de fer puis désquamation. L'évolution des sols en conditions acides amènerait ensuite une ouverture des illites : apparition des "Hemi-expandites". Dans un stade plus avancé, apparition des "Holo-expandites", phénomène correspondant à la vermiculisation. Un stade plus avancé verrait ensuite la genèse de chlorites secondaires.

I. Lieberoth, en 1963 et 1964, étudie les loess de Saxe et les sols et paléosols qui s'y sont développés. Nous avons vu plus haut l'apport très important de ces travaux dans la connaissance de la stratigraphie du Pléistocène supérieur. L'auteur décrit des types de sols successifs contemporains des périodes interglaciaires : sols podzoliques à pseudogley sur loess rissien, sol brun arctique sur würm ancien, sol lessivé sur loess récent.

Lieberoth (1964) compare ensuite les caractéristiques de deux types de sols très importants sur loess : "Parabraunerde" et "Fahlerde". Il compare notamment la morphologie des profils, les indices d'entraînement de l'argile totale et de l'argile fine, les capacités d'échange et la répartition de différentes formes du fer. Il conclut à une dynamique différente de ces deux types de sols qui correspondent aux stades de sol lessivé et sol lessivé glossique.

En 1965, E. Kundler publie un gros travail sur les différents types de sols forestiers de la D. D. R.. Il distingue deux phases d'évolution pour les sols lessivés : une phase de migration mécanique et une phase de blocage résultant de l'acidification progressive.

F. Scheffer, B. Meyer et H. Cebhards (1966) étudient l"argilification" et l'évolution minéralogique au cours de la décarbonatation et de l'acidification des sols sur loess. Deux zones ou fronts d'évolution principaux sont distingués : zone de décarbonatation en milieu saturé, zone d'acidification en milieu riche en aluminium. La rapidité des processus paraît liée étroitement à l'économie en eau. L'enrichissement en argile apparaissant au cours de l'altération du loess serait issue partiellement de phénomènes cryoclastiques et partiellement de processus pédogénétiques.

Il convient de citer également les nombreux travaux de E. Mückenhausen et de l'Université de Bonn sur les sols limoneux, souvent hydromorphes, de l'ouest de l'Allemagne. Il s'agit fréquemment des "pseudogleys" de la systématique des sols utilisée en Allemagne.

La littérature se rapportant aux sols développés sur formations limoneuses en Europe centrale est beaucoup trop importante pour pouvoir être analysée ici. Cependant, les contacts que nous avons eus avec les pédologues roumains nous permettent de citer les travaux très intéressants de N. Cernescu, N. Spirescu, N. Githulescu et A. Conea. Les chercheurs soviétiques sont nombreux ; indépendamment de ceux que nous avons cités plus haut il faut noter le travail de S. V. Zonn (1966) qui traite des sols limoneux de la Russie d'Europe, et qui esquisse une séquence d'évolution sous climat continental.

En ce qui concerne l'abondante littérature américaine, nous en avons retiré ce qui nous paraît essentiel pour le travail que nous réalisons et avons intégré ces études dans l'analyse qui suit et qui se rapporte aux principaux processus pédogénétiques affectant les sols sur formations limoneuses.

Le processus de *lessivage*, ou déplacement de particules argileuses dans le sol, pratiquement sans altération des minéraux argileux constitutifs, n'a vraiment été étudié que depuis une cinquantaine d'années. Cette notion fut introduite pour expliquer la différence de teneur en argile de l'horizon Bt par rapport à l'horizon A.

En 1928, pour rendre compte de ce mécanisme, M. Baldwin introduit les "Grey Brown Podzolic soils" dans la classification américaine. G. Aubert et A. Demolon (1938), ensuite Ph. Duchaufour (1956) adoptent une conception analogue pour la systématique française des sols, et y introduisent la notion de sol lessivé.

En 1938, Baldwin définit déjà des sols à horizon Bt très enrichi comme "planosols". Nous verrons plus loin les conceptions actuelles concernant ce type de développement.

Cependant, l'origine de la différence granulométrique entre horizons A et B paraît toujours fortement controversée. Deux écoles importantes sont en présence. D'une part l'école russe pour laquelle intervient une destruction par attaque acide dans les horizons supérieurs, les produits d'altération se déplaçant ensuite en solution dans le sol pour se reconstituer en feuillets minéraux dans l'horizon B. Les chercheurs de l'autre école, la majorité, considèrent que les particules se déplacent sans destruction importante, en suspension, pour se déposer au niveau de l'horizon Bt. Différentes hypothèses sont émises pour expliquer les conditions de milieu nécessaires aux déplacements et aux dépôts.

Sur le terrain, les caractères du lessivage, ou de l'illuviation, sont constitués par les revêtements argileux présents dans les pores et sur les agrégats structuraux. Dès 1928, *Baldwin* avait observé des "coatings" sur les faces des agrégats ; depuis lors de nombreux auteurs en ont donné des descriptions précises : "clay skins" de *Cline* (1949), *Buol* et *Hole* (1959), "clay films" de *Thorp* et al. (1957), "cutans" de *Brewer* (1960) ; "tonhauchten" de *Kunze* et *Oakes* (1957) ; très bien analysés par *Laruelle* en 1958 dans les sols limoneux de Belgique.

Ces revêtements sont le plus aisément discernables dans des matériaux de granulométrie intermédiaire : limoneuse, limono-sableuse, limono-argileuse... Dans les sédiments sableux, l'argile tend à entourer les grains individuellement et à former des ponts, tandis que dans les dépôts argileux les tensions caractéristiques de ces matériaux peuvent faire disparaître, au moins partiellement, ces enrobements.

V. Malycheff (1929) et *A. Allen* (1930) furent les premiers à étudier des sols sur loess au microscope polarisant ; il fallut cependant attendre 1938 pour qu'une méthodologie soit mise au point par *W. Kubiena*. Depuis lors de nombreux travaux ont été réalisés : *Frei* et *Cline* (1949), *Caleb* (1954), *Altemüller* (1956), *Jongerius* (1956), *Laruelle* (1957), *Stephcn* (1960) et surtout *Brewer* (1956-1964).

Il faut cependant noter qu'ici également une controverse existe entre certains chercheurs soviétiques et la majorité des micromorphologistes. *Yarilova* et *Parfenova* (1957-1958), *Karpachevskiy* et *Shleymis* (1966) considèrent en effet que les argiles orientées présentes dans les horizons d'accumulation d'argiles constituent des "colloform clays" issues de la précipitation de gels.

Brewer (1960) précise par ailleurs que les argiles orientées ne proviennent pas toutes de déplacements, mais peuvent résulter de processus d'altération en place.

Très peu d'études, par contre, ont été effectuées sur la composition et les propriétés des produits argileux illuvierés.

S. Buol et *F. Hole* (1959-1961) comparent la composition des revêtements argileux de l'horizon Bt d'un sol lessivé sur limon à celle de la fraction argileuse des agrégats correspondants. Les revêtements, très argileux (plus de 80 % pour la fraction 0-2 μ), sont plus riches en C, N, Fe, Al, Mn, K que l'argile des agrégats, mais plus pauvres en Si. De l'analyse du rapport fer libre / fer total les auteurs déduisent un déplacement du fer indépendant de l'argile sous formes de complexes organo-ferriques.

R. Grossman (1959), analysant la nature minéralogique des "coatings" de quelques sols de l'Illinois montre qu'ils sont plus riches en montmorillonite que les agrégats correspondants, et conclut que ce type d'argile se déplace plus aisément que les autres minéraux qui lui sont associés.

I. Khalifa et *S. Buol* (1967) montrent que la fraction fine des argiles des revêtements est beaucoup moins bien cristallisée que celle des agrégats correspondants.

Les mécanismes de déplacement ont fait l'objet d'un certain nombre de théories et de travaux expérimentaux.

En 1934 et 1935, *G. Smith*, *J. Jenny* cherchent l'origine des "illuvial pans" par une théorie sur les solutions électrolytiques.

Bray (1934) considère la dispersion de colloïdes très petits, même saturés par des ions défavorables à cette dispersion, qui intervient dès qu'une percolation d'eau rapide apparaît dans le sol au début des principales chutes de pluie.

E. Frei et M. Cline (1949) examinent les différentes possibilités de déplacement de l'argile et concluent à l'éluviation de l'argile sous forme colloïdale à partie de l'horizon A₂, avec la protection de colloïdes organiques.

M. Cline (1949) montre que la présence de carbonates de calcium inhibe les déplacements colloïdaux, sans cependant totalement les bloquer.

R. Bétrémieux, en 1951, publie une étude expérimentale très intéressante sur l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Il met en évidence l'importance des phénomènes d'oxydo-réduction dans le comportement de ces éléments réductibles.

En 1956, Ph. Duchaufour considère les valeurs de pH optimales pour les déplacements d'argiles : entre 5 et 6,5. Plus bas que 5 une flocculation intervient par l'ion Al, au-dessus de 6,5 par l'ion Ca.

De nombreux travaux expérimentaux ont été réalisés pour déterminer les conditions de milieu permettant ou favorisant le lessivage : Thorp et al. (1957), Brewer et Haldane (1957), Bartelli et Odell (1960), Hallsworth (1963), Dijkerman et al. (1967).

Nous avons vu qu'en 1962, G. Hanil considère deux types de lessivage différents, l'un en milieu aéré et saturé, l'autre en milieu plus asphyxiant et désaturé. Kundler (1965) et Duchaufour (1966) reprendront ces notions.

En 1964, Ph. Duchaufour étudie la dynamique de l'aluminium dans plusieurs types importants de sols désaturés, et en montre l'intérêt pour l'étude des processus d'altération et de migration. L'auteur en déduit pour les sols bruns lessivés une altération modérée libérant de l'aluminium essentiellement sous forme échangeable, qui constituerait la raison de l'acidité de ces sols.

C. Juste, en 1965, met en évidence l'influence de l'aluminium dans l'évolution des sols acides du Sud-Ouest atlantique.

H. Gebhardt (1964) note, à partir d'un certain stade d'évolution des sols lessivés, un comportement différent de l'argile et du fer, dénotant probablement le seuil d'intervention d'un processus complémentaire.

Ph. Duchaufour et B. Souchier (1965-1966) analysent le comportement de divers types de sols en fonction de plusieurs paramètres, dont le fer, l'aluminium et les composés humiques. Les sols bruns lessivés sont caractérisés par un entraînement modéré de l'argile et du fer, les sols lessivés mésotrophes et oligotrophes continuent à montrer des phénomènes de déplacements colloïdaux, malgré une libération de plus en plus importante d'aluminium qui vient progressivement s'accumuler dans l'horizon textural.

Dans un même ordre d'idées, les travaux de Schwertmann (1966) et Lefèvre-Drouet (1963-1966) montre l'importance de Al échangeable dans l'acidité des horizons minéraux et hémorganiques des sols lessivés.

S. Zonn (1966) confirme le comportement différent de l'argile et du fer dans les sols fortement évolués.

En 1969, B. Souchier et Ph. Duchaufour prouvent que même en milieu très acide et riche en aluminium, le lessivage des argiles peut se produire grâce à l'action de composés organiques solubles provoquant leur dispersion.

La 7ème approximation de classification américaine des sols donne actuellement une définition précise de l'horizon d'accumulation d'argile, ou horizon "argillique", à laquelle il peut être intéressant de se référer (1960-1967).

Certains auteurs : Mick (1949), Brewer (1955), Oertel (1961) mettent en garde contre la sous-estimation des altérations en place dans l'augmentation de la teneur en argile des horizons B. Enfin, A. Corte (1961) émet l'hypothèse de l'influence de conditions tardiglaciaires dans la genèse de certains horizons d'accumulation d'argile.

Le comportement particulier de certains sols lessivés très désaturés et fréquemment à caractères d'hydromorphie a justifié un nombre croissant de travaux, essentiellement depuis une vingtaine d'années. Ces sols peuvent présenter quelquefois en surface une tendance à une podzolisation discrète.

Il s'agit des sols lessivés à horizon Bt dégradés, sol lessivés glossiques, parfois planosoliques.

Leur étude a tout d'abord été menée presqu'exclusivement par les chercheurs américains, bien que certaines observations leur correspondant soient de très loin antérieures.

Dès 1889, Glinka note des taches blanchies sur les faces des agrégats structuraux des horizons B de Chernozem podzolisés et sols forestiers gris en U. R. S. S.. En 1924, il précisera ses observations en parlant de sable fin "lavé" de son fer et de son argile. A. Rode rend compte également, dès 1930, de semblables observations.

Aux Etats-Unis, M. Cline, E. Frei et S. B. Mac Caleb (1949-1950), constatent la présence, dans l'état de New-York, de différents sols lessivés à acidité croissante. Le solum s'approfondit, l'horizon A₂ s'acidifie, l'horizon Bt s'épaissit sans augmentation du taux d'argile, des "silty coatings" apparaissent sur les agrégats de la partie supérieure du Bt.

M. Cline (1949) interprète les caractères de ces revêtements de limon fin comme une perte d'argile sous l'influence d'un intense lessivage acide. L'auteur n'exclut cependant pas la possibilité d'une décomposition chimique avec déplacement en profondeur ; il note d'autre part la présence de taches de dégradation dans des sols moins désaturés. E. Frei et M. Cline, examinant des échantillons d'agrégats de Bt au microscope polarisant observent la présence, à l'intérieur, de reliques constituées par des particules d'argiles orientées, tandis qu'en limite d'agrégats les éléments limoneux et sableux dominent.

R. Dudaï (1953) présente, dans sa séquence sur limon loessique, un sol lessivé podzolique dont l'horizon A₂ pénètre en langues dans le B_{2t}. Il observe, sous monoculture de hêtres, une micropodzolisation marquée, particulièrement dans les zones les plus humides. Cette dégradation va de pair avec la présence d'un horizon du type fragipan en profondeur. L'auteur émet l'hypothèse d'une induration de ce niveau par de la silice colloïdale provenant de la dégradation des minéraux argileux. Dudaï observe dans l'horizon A₂ des valeurs de capacité d'échange assez faibles, et note la présence de kaolinite.

A. Rode et S. Feofarova (1955) étudient les chernozems podzolisés et les "grey forest soils" des steppes forestières et analysent les "poudres silicatées" des horizons B. Ces plages sont plus riches en quartz et feldspaths et plus pauvres en argile que les agrégats du sol.

En 1959, G. Manil définit un processus de "délehmification", correspondant à la destruction progressive de l'horizon Bt illuvial et la reconstitution d'un horizon compact en profondeur.

Thorp et al. (1959) mettent en évidence, par examen de lames minces, des traces d'ancien horizon Bt dans un horizon de transition A₃/B₁ qui constitue en fait un horizon A & B de la nomenclature actuelle.

P. Grossman (1959) étudie plus particulièrement les surfaces de dégradation, en les comparant avec l'intérieur des agrégats. Cette dégradation est très localisée aux abords des limites d'agrégats, et l'auteur en déduit l'influence d'un processus pédogénétique du type éluvial.

R. Arnold (1963) caractérise les "silans" de certains sols, et confirme en tous points les observations de Frei, Cline et Thorp.

Grossman (1959) puis Arnold (1963) trouvent moins de fer, de manganèse et de feldspaths dans les plages dégradées. Les minéraux argileux sont différents : moins de montmorillonite dans les zones altérées, et apparition d'intergrades alumineux.

En 1964 et 1967, nous présentons nous-mêmes d'une part une étude sur des sols glossiques à fragipan du nord de la France, d'autre part une synthèse générale concernant les sols sur loess d'Europe occidentale dont le sol lessivé glossique paraît être un stade ultime d'évolution.

P. Bullock (1968) réalise enfin un travail directement axé sur l'étude de la zone de dégradation des sols lessivés. Il constate essentiellement : un départ d'argile fine des plages dégradées, avec migration à grande profondeur, une composition des revêtements argileux intermédiaire entre les matériaux dégradés et ceux de l'intérieur des agrégats. L'auteur ne constate pas de destruction d'argile à proprement parler, mais une altération des micas en vermiculite, avec transformation en chlorite secondaire dans les horizons supérieurs. Bullock n'exclut pas la possibilité de l'élimination d'une certaine quantité d'argile hors du solum.

F. de Coninck (1968) expose très clairement l'évolution des podzols de Campine où les processus de dégradation du Bt précèdent ceux de la podzolisation proprement dite. Il définit une illuviation dite "secondaire" correspondant à la remobilisation des argiles de l'horizon Bt en milieu acide et réducteur.

De Coninck, Herbillon, Tavernier et Friniat (1968) précisent ensuite les conditions d'altération d'un tel horizon.

En 1969, R. Ranney et M. Ceatru étudient les déplacements d'argile et la formation de langues de dégradation dans deux sols glossiques du Wisconsin. Aucune destruction d'argile ne peut être mise en évidence, et la formation du "tonguing" résulte d'un processus éluvial.

Enfin, il faut rappeler les travaux de J. Bouma et al. (1968-1969), J. Van den Broek et al. (1969) sur les sols limoneux glossiques des Pays-Bas, et que nous avons commentés plus haut.

En ce qui concerne l'évolution des minéraux argileux au cours de la pédogénèse, les travaux les plus importants ont été réalisés par G. Millot et G. Pedro, aux Etats-Unis par M. Jackson.

Il faut noter tout d'abord que les particules colloïdales représentent le plus souvent des produits d'altération relativement stables et moins altérables, d'une manière générale, que les minéraux primaires à partir desquels ils se sont formés.

En 1948, M. Jackson et al. établissent une séquence d'altération des minéraux argileux dans les sédiments et les sols. Les mêmes auteurs suggèrent (1952) que les micas s'altèrent en montmorillonite par l'intermédiaire des phases illitique et vermiculitique. De nombreux travaux américains ont suivi, confirmant et précisant la séquence de Jackson.

En 1964 et 1965, G. Millot et al. définissent avec précision les mécanismes de l'évolution des minéraux phylliteux; leur "dégradation" et leur "agradation". Nous avons vu plus haut l'importance de leurs travaux pour la connaissance de l'évolution des loess.

Depuis 1964, G. Pedro étudie expérimentalement les aspects fondamentaux de l'altération des roches ainsi que les processus géochimiques de la pédogénèse.

M. Jackson et al. (1963) introduisent la notion de l'effet "antigibbsite" : introduction de composés alumineux en position interfoliaire des minéraux 2/1, qui amène progressivement la formation de vermiculite alumineuse puis de chlorite secondaire.

Des travaux récents de M. Robert et G. Pedro (1972) ont précisé les conditions de milieu permettant la formation de ces minéraux alumineux.

S. Hénin et al. (1968) montrent que la stabilité des minéraux secondaires pédogénétiques est, d'une manière générale, relativement importante.

En 1969, G. Pedro effectue une synthèse sur l'évolution des minéraux dans les sols durant le Quaternaire, et traite particulièrement de celle de la séquence phylliteuse correspondant aux transformations pédominéralogiques.

M. Robert (1972) vient de définir les conditions de transformation pour une séquence d'évolution illite / smectite.

D'assez nombreux chercheurs ont noté, au sein des profils de sols développés dans les matériaux limoneux, la présence d'horizons compacts dont certains correspondent à la définition du "fragipan" des auteurs anglo-saxons. L'origine de cet horizon a déjà été abondamment discutée.

La majorité des auteurs américains sont partisans d'une genèse strictement pédologique : Russel (1961), Carlisle et al. (1957), Knox (1957), Grossman et al. (1959), Yassoglou et al. (1960), Iha et al. (1963). Les arguments présentés sont basés essentiellement sur la disposition, la profondeur, la granulométrie, la morphologie, la saturation de cet horizon.

D'autres, Fitzpatrick (1956), Crampton (1965), voient deux phases dans la formation de cet horizon compact. La première, phase d'induration, daterait des périodes glaciaires, la seconde, phase de cimentation, serait due à des phénomènes pédogénétiques.

La nature du ciment éventuellement présent a fait l'objet de diverses hypothèses. En 1953, *P. Dusal* pense à de la silice colloïdale. En 1966, *Vanderford et Shaffer* supposent que certaines formes d'accumulation d'argile pourraient en être la cause.

J. Lozet (1969), étudiant un type de "fragipan" dans le Condroz, conclut à l'influence prépondérante des conditions glaciaires sur la formation de cet horizon compact.

Nous venons de voir, à travers la littérature consacrée aux sols limoneux, que certains de ces sols, parmi les plus évolués, paraissent présenter certains symptômes de podzolisation.

La différence entre processus de lessivage et de podzolisation, ainsi que leur nature et leur signification ont fait l'objet de travaux importants. Il ne nous est pas possible d'entrer dans le détail des diverses conceptions émises, nous nous réfèrerons aux définitions récemment précisées par *Ph. Duckaufour* dans sa publication de 1968 sur l'évolution des sols.

Dès 1948, *Duckaufour* montre la succession et l'interaction possible des deux processus dans son travail sur la chênaie atlantique.

Les auteurs américains que nous avons cité plus haut (*Cline, Frei et Cline - Mac Caleb*) sont partisans d'une "clay translocation without destruction" en conditions faiblement acides, et d'un début de destruction en conditions progressivement de plus en plus acides.

Les auteurs soviétiques, antérieurement à 1950, étaient pratiquement unanimes à considérer une destruction des minéraux argileux dans les horizons supérieurs et une synthèse de néoformation dans l'horizon d'accumulation.

En 1958, *V. Fridland*, sur la base d'analyses globales des argiles, dissocie les processus d'"illimerisation" et de podzolisation, conceptions qui rejoignent celles des auteurs occidentaux.

I. Parfenova et A. Varilova (1960), ainsi que *A. Code* (1964) sont en désaccord avec *Fridland* sur de nombreux points. *Code* souligne l'importance des mécanismes de formation d'argile en place dans les horizons B et d'une resynthèse à partir de produits d'altération issus de l'horizon A.

Ph. Duckaufour et F. Lelong (1968) admettent la possibilité d'élimination sous forme soluble des produits d'altération des argiles dans des sols lessivés podzoliques hydromorphes.

En 1968, sont publiés, comme nous l'avons vu, les travaux de *F. de Coninck et P. Cullock* traitant respectivement des processus de dégradation-podzolisation et de dégradation des horizons argilliques.

R. Brinkman (1969) introduit une nouvelle notion, celle de "ferrolyse", mécanisme cyclique d'oxydo-réduction provoquant l'attaque des minéraux argileux. Ce processus serait à l'origine de nombreux types de sols comme les glossisols et les planosols.

En 1970, *R. Dusal* passe en revue l'ensemble des conceptions concernant les sols appelés podzoliques dans la littérature et propose un classement à l'échelon international pour l'élaboration de la carte des sols du monde.

Les travaux que nous venons de citer et d'analyser brièvement représentent la somme des connaissances actuelles sur les sols développés sur matériaux limoneux et les processus pédogénétiques qui sont à l'origine de leur développement. Ces données nous ont naturellement permis d'orienter notre démarche de recherche.

Le lessivage d'argile sous forme colloïdale a été reconnu depuis de nombreuses années par beaucoup d'auteurs, indépendamment des quelques controverses que nous venons d'évoquer.

Il ne nous est matériellement pas possible d'entrer dans le détail des diverses prises de position, hypothèses et nuances avancées par les différents chercheurs.

Les deux points les plus importants sont représentés d'une part par les *conditions de milieu* permettant et favorisant les mécanismes du processus, d'autre part par la *nature des produits de déplacement*.

En ce qui concerne les conditions de migration, nous nous référons au travail de P. Duchaufour (1968) qui distingue deux formes de lessivage que signalait déjà J. Manil en 1962 :

- lessivage en milieu aéré, calcique ou modérément désaturé,
- lessivage en milieu mal aéré et acide.

Ces deux types peuvent se présenter successivement sur matériaux limoneux.

La composition des dépôts résultant de ces migrations a fait l'objet d'un nombre restreint d'analyses, bien que constituant naturellement un élément important d'interprétation. Rappelons les travaux de Grossman (1959) Huol et Høle (1959-1961) qui signalent la quantité importante de minéraux gonflants dans les "clay skins" analysés.

Trois hypothèses principales ont été émises par la majorité des pédologues pour expliquer les phénomènes de *dégradation secondaire*, c'est-à-dire l'altération des horizons d'accumulation d'argile.

P. Bullock (1968) les présente de la façon suivante :

- altération et désintégration des feuillets argileux avec élimination d'une partie ou de la totalité des produits obtenus.
- approfondissement de l'horizon A2 avec déplacement d'argiles de la partie supérieure de l'horizon Bt et accumulation à un niveau inférieur dans le solum.
- interventions simultanées des deux premiers processus.

De son propre travail sur les zones de dégradation, Bullock conclut à l'absence de destruction d'argile proprement dite, mais à une altération dans le sens d'une "agradation" par alumination des minéraux phylliteux. Cependant, il ne considère pas comme impossible l'élimination à grande profondeur de certains constituants.

De Coninck (1968) montre l'importance des conditions de réduction et de désaturation dans l'origine de la dégradation des niveaux d'accumulation d'argile, et dans l'apparition d'une illuviation dite "secondaire".

Rappelons enfin que Duchaufour et Lelong (1968) émettent l'hypothèse d'une élimination de produits d'altération sous forme soluble dans des sols hydromorphes à tendance podzolique.

Grossman (1959), Arnold (1963), Bullock (1968) et Ranneff et al. (1969) analysent un certain nombre d'échantillons de plages dégradées et de revêtements argileux. Ces différents auteurs en déduisent un départ d'argiles fines essentiellement montmorillonitiques et une aluminisation des minéraux argileux résiduels des zones blanchies.

Nous nous sommes efforcés, au cours de notre travail, de tester ces différentes hypothèses sur notre matériel d'étude, et d'apporter notre propre contribution à la connaissance des sols limoneux et de leur genèse.

*

*

*

4.3. CARACTERISATION ET ETUDE DES PROFILS TYPES

Les profils suivants ont donc été retenus pour une étude détaillée ; ils présentent des degrés de développement sensiblement différents compte-tenu de l'âge du matériau, de sa composition, des conditions de mise en place, de la tendance climatique, de la position topographique, de l'occupation végétale.

Ces sols appartiennent à la couverture limoneuse des différentes régions naturelles.

Soils sur limons d'apport récent.

ESSIGNY 3	- Picardie
CRAONNE 47	- Soissonnais
LAON 1	- Soissonnais
VERVINS 10	- Marlois
EPERNAY 3	- Haute-Brie

Soils sur limons d'apport plus ancien.

CHATEAU-THIERRY 11	- Haute-Brie
MONTMIRAIL 32	- Haute-Brie
MONTMIRAIL 31	- Haute-Brie
MONTMIRAIL 15	- Haute-Brie
CHATEAU-THIERRY 22	- Tardenois

Soils polygéniques.

HIRSON 16	- Thiérache
HIRSON 55	- Ardenne
LA FERE 6	- Soissonnais

La présentation, au sein de chaque groupe, sera faite en fonction d'une progression dans le degré d'évolution des sols.

Pour chaque profil seront présentés une description morphologique détaillée, les résultats des différentes déterminations analytiques et ceux de l'examen micromorphologique. Les principales caractéristiques seront mises en évidence tandis que la place du type de sol dans les systèmes de classification français et américain, ainsi que dans la légende de la carte des sols du monde de la F. A. O. sera précisée.

En ce qui concerne les déterminations minéralogiques effectuées sur les fractions d'argiles fines et grossières d'échantillons particuliers : revêtements et plages dégradées, les données seront traitées dans le chapitre 4.4..

On remarque dans cette sélection l'importance prise par les unités de la Haute-Brie, la raison en est le stade d'évolution très poussé de ces sols, permettant l'étude des principaux aspects de la "dégénération" et de l'hydromorphie.

4.31. SOLS SUR LIMONS D'APPORT RECENT

Nous avons sélectionné quatre profils caractéristiques des régions à couverture de loess récent : Picardie, Soissonnais et Marlois, ainsi qu'un cinquième typique des zones dispersées à recouvrement plus récent sur les matériaux anciens de Haute-Brie.

Le profil *Essigny 3* est caractéristique de la région picarde, ceux du Soissonnais sont *Craonne 47* et *Laon 1*, celui du Marlois *Vervins 10*, tandis qu'*Epernay 3* représente le limon récent du Sud de la région.

- PROFIL ESSIGNY 3 -

Situé dans la partie ouest de la région étudiée, ce sol est développé dans la couverture loessique très pure de Picardie. Il représente le degré d'évolution le plus répandu : décarbonatation et illuviation modérée, avec différenciation d'un horizon Bt très caractéristique.

Ce profil a fait l'objet d'un examen micromorphologique approfondi, et d'une détermination des minéraux argileux de l'horizon d'accumulation et de l'horizon C.

DESCRIPTION

<u>Localisation</u>	Essigny-le-Grand - Sud-ouest de l'église.
<u>Date - Conditions atmosphériques</u>	14/5/63 - Temps pluvieux.
<u>Végétation</u>	Blé
<u>Position géomorphologique</u>	Milieu d'une pente longue, faible (2-3 %) à exposition ouest.
<u>Altitude</u>	105 m.
<u>Matériau originel</u>	Couverture homogène de loess récent.
<u>Economie en eau</u>	Drainage externe : moyen Drainage interne : favorable.
<u>Activités biologiques</u>	Très importantes. Excellente activité faunique - Conduits de lombricides présents jusqu'à plus de 150 cm.
<u>Classification</u>	Sol brun lessivé Hapludalf typique à Agrudalf.
<u>Remarques</u>	Sol développé dans une couverture loessique décarbonatée reposant à 200 cm sur un lehm ancien recarbonaté. Cette transition, qui ne constitue pas une discontinuité typique, a cependant été indiquée par le symbole II.

Ap	Limon moyen - Brun gris foncé : 10 YR 4/2 - Assez frais - Teneur assez élevée en matière organique - Radicelles assez nombreuses - Structure polyédrique subangulaire moyenne, moyennement développée ; localement tendance vers une structure grumeleuse - Présence d'une semeille de labour caractérisée par une structure lamellaire à muciforme moyennement développée, à la partie inférieure de l'horizon (3 à 4 cm) - Friable à ferme - Limite distincte et ondulée.
B ₁ - 24/26 - 37	Limon argileux - Brun foncé : 10 YR 4/3 - Assez frais - Infiltration de matière organique moyenne - Radicelles encore assez nombreuses - Horizon légèrement tacheté de points d'oxydation - Structure polyédrique subangulaire fine à moyenne, moyennement développée - Friable à ferme - Revêtements argileux à argilo-humifères épais et continus recouvrant 50 à 60 % des faces des agrégats structuraux - Les conduits de lombrics sont tapissés d'une pellicule humifère assez épaisse - Limite graduelle et régulière.
B ₂₁ t - 37 - 48	Limon argileux - Brun jaune foncé : 10 YR 4/4 - Assez frais - Infiltration de matière organique diminuant progressivement, mais restant moyenne localement - Quelques radicelles d'orientation verticale - Taches d'oxydation très dispersées et peu contrastées - Structure graduelle et régulière - Revêtements argileux et argilo-humifères épais et assez continus sur toutes les faces des unités structurales - Limite graduelle et régulière.
B ₂₂ t - 48 - 70	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Assez frais - Faible infiltration de matière organique - Quelques radicelles - Structure polyédrique angulaire fine à moyenne bien développée reprise dans une structure prismatique fine à moyenne, moyennement développée - Ferme - Revêtements argileux moyennement épais et continus sur la majorité des faces structurales - Limite graduelle et régulière.
B ₃ - 70 - 100	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Frais - Quelques traces d'infiltration humifère - Quelques traces d'oxydo-réduction peu accentuées - Ferme - Structure prismatique grossière faiblement développée - Revêtements argileux minces et discontinus sur les faces verticales - Limite distincte et régulière.
B/C - 100 - 120	Limon moyen - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Frais - Traces oxydo-réduction éparses - Peu structuré, quelques faces verticales se dissocient dans la masse à structure continue - Friable - Revêtements argileux minces et discontinus de moins en moins étendus - Limite graduelle et régulière.
C ₁ g - 120 - 145	Limon moyen - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Frais à humide - Phénomènes d'oxydo-réduction plus marqués avec prédominance des caractères gleyifiés - Structure massive - Friable à ferme - Traces de revêtements argileux minces sur quelques faces préférentielles de dissociation verticales - Limite graduelle et régulière.
C ₂ g - 145 - 200	Limon moyen - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Frais à humide - Oxydo-réduction assez marquée - Structure massive. Loess décarbonaté.
II C ₃ - 200 - 225	Limon moyen - Prélèvement à la tarière.
II C ₄ - 225 - 255	Limon moyen - Prélèvement à la tarière.
II C ₅ - 255 - 280	Limon argileux - Prélèvement à la tarière.

SE GRANULOMÉTRIQUE :

CARTE : _____ ESSIGNY

PROFIL N° 3

% de terre séchée à 105° C

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES :

Horizon	Densité app.	Densité abs.	Porosité %	Stabilité de structure							Humid. pF 2,5	P. F. pF 4,2	Eau utile %						
				Test d'instabilité			log. 10 le	Test de percolation log. 10 K											
				Alc.	Benz.	Air		1 H.	2 H.	3 H.									
Ap	1.42	2.67	46.8	11.6	3.8	2.2	1.79	1.32	1.26	1.22	30.3		9.5	20.8					
B ₁				15.2	3.8	2.4	1.82	1.18	1.15	1.08	29.8		10.1	19.7					
B _{21t}	1.62	2.63	38.4	10.0	0.8	2.8	2.04	1.05	1.01	1.01	30.6		11.3	19.3					
B _{22t}	1.59	2.50	36.4	9.2	0.4	2.4	2.07	1.21	1.19	1.17	32.3		11.3	21.0					
B ₃	1.56	2.50	37.6	6.6	1.0	3.0	2.01	1.19	1.11	1.05	29.5		10.2	19.3					
B/C				3.4	1.0	2.2	2.23	1.10	0.98	0.94	29.3		10.8	18.5					
C _{1g}	1.59	2.53	37.2	1.6	0.1	0.8	2.75	1.02	1.02	1.02	27.9		11.4	16.5					
C _{2g}				1.0	0.04	0.1	3.03	0.85	0.85	0.81	27.4		9.0	18.4					
IIC ₃				-	-	-	-	-	-	-	27.0		8.6	18.4					
IIC ₄				-	-	-	-	-	-	-	26.7		8.3	18.4					
IIC ₅				-	-	-	--	-	-	-	26.6		8.3	18.3					

ANALYSE CHIMIQUE :

Horizon	pH		Carb.	N tot.	C/N	En milliéquivalents/100 g de terre, à pH 7,0						% sat. S/T × 100	T 100 g argile	Fer libre	Fer HCl	Alum. éch.	Alum. libre
	eau	KCl	%	%		C.E.C. T	Ca	Mg	K	Na	Total B.E. S			Fe ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	méd. %	A ₁₂ O ₃ %
Ap	7.6	13.2	1.46	9.0		11.4	17.0	0.83	0.65	0.21	18.69	Sat.	-	1.55	2.22		
B ₁	7.7	4.7	0.06	7.8		10.9	13.8	0.92	0.27	0.19	15.18	"	-	1.83	2.79		
B _{21t}	7.9					11.85	18.7	1.02	0.30	0.23	20.25	"	42	2.02	3.36		
B _{22t}	7.7					12.45	16.0	1.26	0.40	0.24	17.90	"	48	1.85	3.58		1.68
B ₃	7.5					11.90	13.9	1.13	0.26	0.17	15.46	"	48	1.73	3.43		
B/C	7.8					10.45	13.0	1.28	0.23	0.18	14.69	"	49	1.77	2.93		
C _{1g}	7.6					9.35	11.7	1.47	0.23	0.18	13.58	"	43	1.73	2.86		
C _{2g}	7.7					8.25	10.3	1.13	0.20	0.16	11.79	"	49	1.61	2.07		
IIC ₃	7.6					9.75	13.8	1.16	0.22	0.18	15.16	"	47	1.45	2.93		1.18
IIC ₄	8.2					8.05	26.8	1.49	0.24	0.25	28.78	"	44	1.51	2.50		1.15
IIC ₅	8.2					9.05	25.7	1.52	0.20	0.22	27.64	"	42	1.55	2.57		

Le profil s'est différencié dans un dépôt loessique homogène d'une épaisseur de 200 cm, reposant sur un autre loess plus ancien, recarbonaté. Il faut remarquer d'une part la très faible quantité de sable, d'autre part la variation brutale de la teneur en limon grossier au niveau de la discontinuité, compte tenu de la teneur en argile différente.

Ce sol présentant visiblement un degré de troncature assez important, il ne nous est pas possible de calculer un indice d'entraînement à partir des chiffres que nous possédons. L'évolution générale du sol correspondrait à un taux d'entraînement de 1,6 à 1,7 pour l'argile totale, probablement un peu supérieur pour l'argile fine. Remarquons que la teneur maximum en argile étant relevée au niveau de l'horizon $B_{21}t$, c'est le niveau B_{22} qui contient la plus d'argile fine.

Le calcaire présent dans les horizons profonds C_4 et C_5 l'est sous forme de "mycelium" vermiculé emplissant des pores, ils constituent donc une recarbonatation de ces niveaux enfouis par évolution du loess de couverture.

Notons une teneur en matière organique assez importante dans la couche arable, et moyenne jusqu'à 40 cm.

La densité apparente et la porosité totale restent assez constantes dans tout le profil dès les horizons minéraux : voisines respectivement de 1,6 et de 37 %.

La stabilité structurale décroît très progressivement avec la profondeur, tandis que le test de percolation met en évidence un maximum relatif au niveau du $B_{22}t$.

En ce qui concerne la réserve en eau, elle est remarquablement élevée dans tout le profil.

Largement saturé, et à pH supérieur à 7,5, ce sol présente des capacités d'échanges moyennes, comprises entre 42 et 49 meq. pour l'argile.

Le fer libre est présent en quantité moyenne, ainsi que le fer soluble HCl. Quelques dosages d'Al libre ont été effectués dans les horizons B_{21} et C , de manière à pouvoir effectuer des comparaisons ; nous reviendrons sur ces données plus loin.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette - Nature. Le squelette présente une composition assez homogène sur l'ensemble du solum : quartz, feldspaths.

Quelques cristaux à relief fort s'observent : zircon ou epidote, avec présence de hornblende verte. Sur tout le profil, de petits fragments de biotite sont observables. La glauconie est présente dans tous les horizons et semble plus ou moins altérée en surface et jusqu'au B_3 .

Les dimensions sont assez homogènes avec quelques gros cristaux de quartz dans l'horizon Ap.

La distribution s'effectue au hasard, l'orientation étant généralement modifiée.

Plasma - La répartition du plasma est assez homogène dans les horizons supérieurs, sauf dans l'horizon Ap où on note certaines accumulations préférentielles. Dans la partie inférieure du B_{21} ainsi que dans le B_3 , une certaine hétérogénéité s'observe, le B/C et le C sont à nouveau très homogènes.

Les séparations sur squelette s'observent dans tout le profil, principalement dans les horizons B où l'on note également d'une part

des séparations dans la masse, d'autre part la présence de paroies. L'assemblage plasmique caractéristique est donc du type squelseptique avec maseptique au niveau des horizons B, et vaseptique associé.

La nature du plasma est essentiellement argileuse pour ces séparations sur squelette, celles liées au "Masopic fabric" sont beaucoup plus ferriques, la distribution de base du plasma s'effectue principalement au hasard, la distribution par référence est cutanique sur squelette ou subcutanique pour le type vaseptique.

L'orientation de base a un degré modéré à fort, la trame est essentiellement modérément à fortement striée, particulièrement au niveau des horizons B.

Structure de base - La squelette est toujours supérieur au plasma. Notons un assemblage élémentaire des constituants qui, intertextique dans l'horizon A_p, devient du type porphyrique au niveau des horizons B pour redevenir intertextique dans les C.

Vides - Un caractère remarquable est le suivant : les "irregular orthovughs" de l'A_p font place dès l'horizon B₁ à des vides à parois plus lisses, donc tous "smoothed metavughs". Dès le B_{2t} apparaissent des chenaux liassés, simples ou "dendroides", ainsi que quelques chambres. Dans la partie inférieure du B_{2t} on observe des "craze planes" qui semblent liés au développement maximum de structure secondaire. Le bas du solum présente des vides réguliers et irréguliers, quelquefois "mammillatae", à parois lisses, les chenaux étant de moins en moins représentés.

Caractéristiques pédologiques - Cutanes. Des concentrations plasmiques du type argiliants, tous "normal void cutans", apparaissent dans certains vides dès l'horizon B₁ et sont présents dans les horizons B et C. Assez continus dans les horizons B_{2t} et B_{2t}, ils deviennent plus épais et discontinus dans le bas du B_{2t}. Notons, pour les revêtements épais du B_{2t}, une nature plus ferrique ou une pigmentation très importante. Dans les horizons B₃ et C₁, présence de grains de "silt" interstratifiés dans les revêtements. Des concentrations plasmiques très ferriques probablement "relict" s'observent dans le B₁, recouverts par des cutanes actuels. La distribution de ces "true cutans" est donc typiquement cutanique.

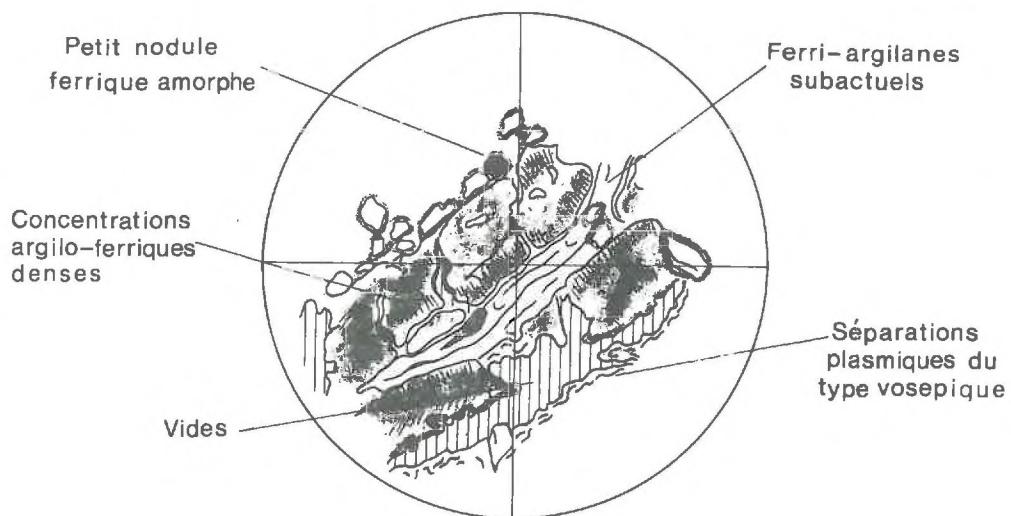
L'orientation de base est généralement forte, la trame modérément à fortement striée. L'orientation de référence est donc parallèle aux parois des vides.

Des concentrations calcaires du type calcitaines de diffusion s'observent au niveau de l'horizon le plus profond. Ils représentent le résultat de la décarbonatation du loess.

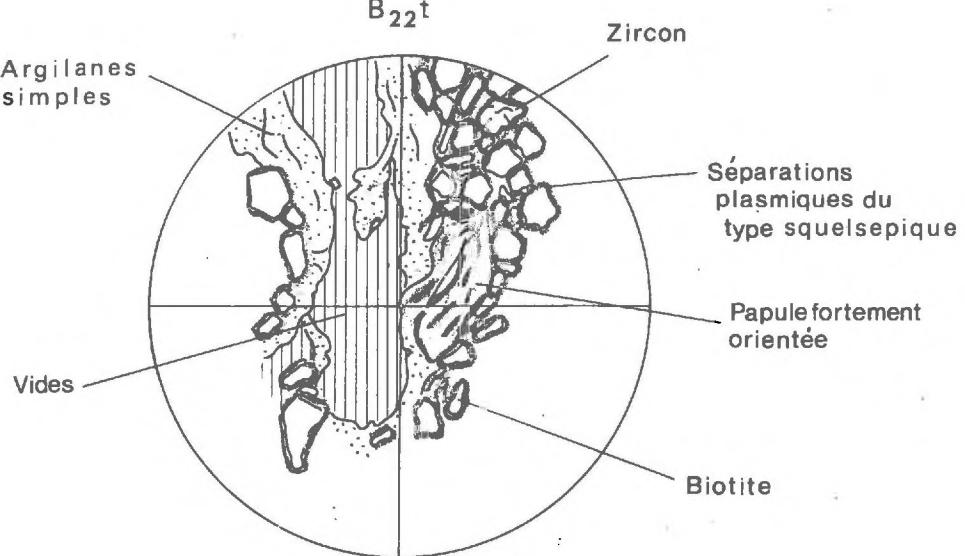
Glaebules. On observe des glaebules sur l'ensemble du solum. Dans la partie supérieure des nodules argilo-ferriques semblent être en formation, caractérisés par la présence de "halos", certains sont déjà bien différenciés. On note dans la partie inférieure de l'horizon B_{2t} des glaebules de couleur foncée, unisiotropes. A ce même niveau, on observe des nodules de formes amygdoides, avec présence de manganèse, caractéristique qui semblerait liée à des conditions très locales d'hydromorphie. Cette humidité localisée serait due à la perte de macrostructure au contact de l'horizon B₃ sous-jacent. Enfin, de petits nodules de fer et manganèse, à limites très nettes, et de forme sphérique, s'observent dans le bas du profil et sembleraient liés aux conditions de dépôt.

B₁

ESSIGNY 3



B_{22t}



B₃

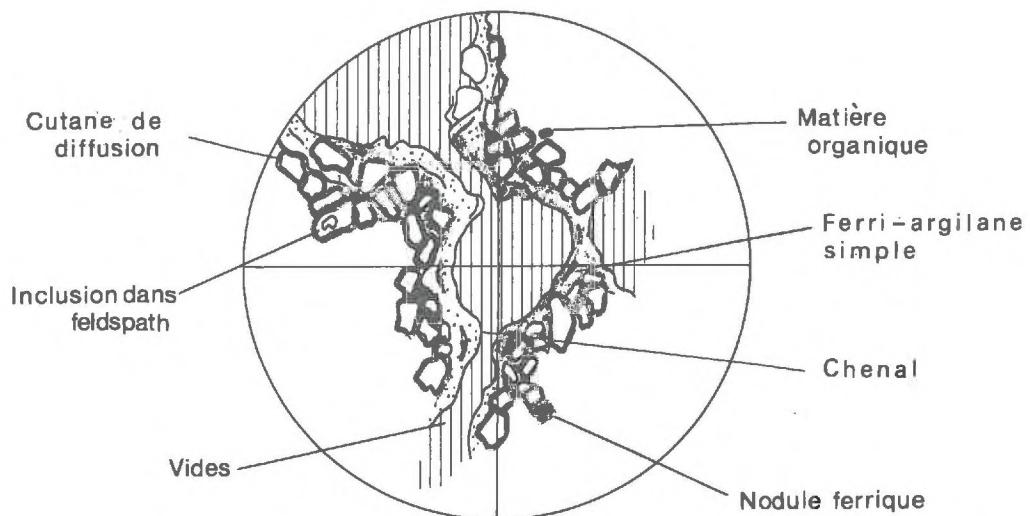


Fig. 50

0,1 m/m.

ESSIGNY 3.

Horizons → Unités de description ↓	Ap	B ₁	B ₂₁	B ₂₂	B ₃	C ₁	C ₂ ea
<u>S₁ Matrix</u> Squelettes	Quartz - Assez homogène	Feldspaths - Zircon - Assez homogène	Epidote - Homogène	Homblende verte - Biotite Assez homogène	- Glauconite plus Assez homogène	ou moins altérée Assez homogène	- - - - Assez homogène
Plasma	Argileux à argilo-ferrique Débris de matrice organique, Hétérogène, Accumulations locales	Argileux, très ferrique localement, Matière organique humifiée, Assez homogène, plus deux localement	Argileux à argilo-ferrique Quelques débris organiques, Assez homogène	Argileux à argilo-ferrique Assez hétérogène	Argileux à argilo-ferrique localement, Assez hétérogène	Essentiellement argileux Assez homogène	Argileux - Présence de CaCO ₃ par plaques, Assez homogène
Séparations plasmiques	Fines sur squelette	Sur squelette peu marquée près des parois des vides	Sur squelette peu marquée dans la masse et près des vides	Sur squelette, près parois des vides, quelques unes dans la masse	Sur squelette, dans la masse, en bandes ± concentriques par rapport aux vides	Sur squelette, très faibles près parois des vides	Quelques unes sur squelette, quelques unes dans la masse, indépendantes
Assemblages plasmiques	in-Squelepique	(vo)-Squelepique	ma-(vo)-Squelepique	vo-ma-Squelepique	(ma)-Squelepique	(vo)-Squelepique	-
Structure de base	SK >> Pl	SK > Pl	SK > Pl	SK > Pl	SK > Pl	SK >> Pl	SK >> Pl
Assemblage élémentaire	Intertextique	Intertextique à porphyrique	Porphyrique	Porphyrique	Porphyrique	Intertextique	Intertextique
Vides	Cavités ortho, irrégulières	Cavités méta, adoucies régulières et irrégulières Quelques cavités ortho, Chenaux méta, simples et dendroïdes, irrégulières Quelques chambres	Cavités et chenaux méta, adoucis et assez régulières	Cavités méta, régulières et irrégulières "mammillées". Chenaux simples et anastomosés, Quelques chambres	Cavités méta, régulières et irrégulières Quelques cavités ortho, irrégulières Quelques chenaux	Cavités méta, "mammillées", régulières et irrégulières. Quelques cavités ortho	Vides d'enassement et cavités ortho
<u>Caractéristiques pédologiques</u>							
Othoc. Séparations (voir plasma)							
Concentrations							
Cutanes	Quelques argilanes fines et discontinues, modérément orientées, dans pores. Cutans conoidés : argilanes fines recouvrant des ferri-argilanes épais,	Argilanes simples, épais sur parois des vides, fortement orientées	Ferr-argilanes simples, modérément épais, fortement orientés, sur parois des vides	Argilanes simples, assez continus, fortement orientés	Argilanes simples englobant quelques grains de "silt"	Cutans de CaCO ₃ : cal-cutans de diffusion à partir des vides	
Glaebules	Nodules ferriques, petits à limites très nettes Quelques cristallites	Quelques nodules argilo-ferriques ou ferriques Quelques papilles à limites très nettes Quelques cristallites	Petits nodules très ferriques à limites nettes Quelques papilles fortement orientées Cristallites	Petits nodules très ferriques à limites assez nettes Quelques papilles et cristallites	Petits nodules très distincts plus ou moins sphériques, à limites nettes. Nodules plus importants à limites progressives. Très petits papilles fortement orientées Cristallites	Quelques petits nodules Fe/Mn à limites assez nettes, Quelques cristallites	Quelques petits nodules Fe/Mn
Hérités Pedorelicts		Ferri-argilanes fortement orientés	Petits nodules ferriques très denses				
<u>Elementary fabric (Kubiana)</u>	Intertextic à plectosamicic	Porphyropic	Porphyropic	Porphyropic	Porphyropic	Intertextic à porphyropic	Intertextic

Papules. Les papules mentionnés dans la description du plasma sont généralement modérément à fortement orientés, leur trame étant essentiellement striée.

Cristallites. Des cristallites ferriques sont présents dans une grande partie du profil. Un maximum est observable dans l'horizon B₂₁ ; leur orientation est généralement modérée à forte.

Assemblage élémentaire selon Kubiena - L'assemblage du type "plectosmictic" à "intertextic" de l'horizon Ap fait place immédiatement à l'assemblage "porphyropicte" qui représente le reste du profil, jusqu'au niveau de l'horizon C, à nouveau "intertextic".

Stade d'évolution - Nous sommes en présence d'une "Braunerde" avec présence de "Braunlehm-Teilplasma" important, dû vraisemblablement à une altération en place, ainsi que de cutanes de "braunlehm" issus d'une illuviation très nette.

Conclusions - La répartition des revêtements argileux paraît indiquer une évolution relativement marquée liée aux unités les plus ferriques. Ceux-ci sont situés assez profondément, et sont relativement épais. Une évolution actuelle ou récente moins intense aurait provoqué l'apparition des revêtements plus fins, assez continus et beaucoup moins pigmentés que l'on trouve au niveau des horizons B_{21t} et à la partie supérieure du B_{22t}. Une hypothèse pourrait être avancée : le lessivage maximum date-rait par exemple de la période atlantique, l'évolution plus récente ayant suivi ce premier lessivage assez accentué.

DETERMINATIONS MINERALOGIQUES

L'ensemble des résultats des analyses classiques nous ayant prouvé que peu de différences étaient à prévoir dans la composition minéralogique de la fraction fine des horizons de ce sol, nous nous sommes contentés d'effectuer une analyse aux rayons X sur deux échantillons d'argile 0-2 μ provenant des horizons B_{22t} et C₄ ; ceci afin de comparer les deux niveaux d'apport successifs.

B_{2t} L'échantillon Mg montre trois réflexions, à 7,2 et 10 \AA bien différencier, à 14 \AA assez large. Le traitement au glycerol provoque un déplacement avec étalement entre 16 et 18 \AA . L'échantillon K montre une fermeture partielle sur 10 \AA , avec semble-t-il un léger maintien à 14 \AA .

II C₄ L'échantillon saturé Mg présente, en plus des réflexions nettes à 7,2 et 10 \AA , un pic particulièrement net à 14 \AA . Le gonflement au glycerol permet de voir le maintien assez net d'une partie à 14 \AA , tandis qu'une autre se déplace pour se centrer très nettement sur 17 \AA . La fermeture au traitement potassium est assez analogue à celle enregistrée pour l'horizon B_{2t}.

Les minéraux constitutifs de la fraction argileuse de ces deux horizons sont donc essentiellement de l'illite, de la kaolinite et des minéraux gonflants, tandis qu'une certaine quantité de chlorite est présente. Cette dernière apparaît particulièrement bien au gonflement dans l'horizon C.

Une différence est cependant sensible entre les deux horizons, la netteté de la réflexion à 14 Å et son déplacement après traitement au glycerol indique une certaine évolution vers une interstratification dans l'horizon Bt, confirmée par la fermeture moins avancée après traitement K.

La présence de chlorite en faible quantité dans ce sol confirme la caractérisation des limons récents faite précédemment et qui la mentionnait.

DISCUSSION - CONCLUSIONS

L'ensemble de nos observations et l'interprétation des différentes données analytiques nous montrent que ce sol a atteint un degré d'évolution modérément avancé : décarbonatation et illuviation.

Développé dans une couverture limoneuse récente en prolongement de la Picardie, il représente le sol brun lessivé typique de cette région. La phase la plus intense d'illuviation serait intervenue sous le climat de la période atlantique, comme nous tenterons de le mettre en évidence dans les pages qui vont suivre.

Les caractéristiques physiques ne montrent guère de variations sur l'ensemble du solum, tandis que celles enregistrées au plan minéralogique sont très faibles.

Mis en culture depuis très longtemps, ce sol a de ce fait été partiellement érodé, tandis qu'une activité biologique importante se manifeste très profondément.

Caractérisant une évolution modérée, ce sol se classe comme "sol brun lessivé" dans la classification française, comme "Typic Hapludalf" en transition vers "Agrudalf" dans la classification américaine. Il entrerait d'autre part comme "Orthic Luvisol" dans la légende de la carte des sols du monde de la F. A. O..

- PROFIL CRAONNE 47 -

Ce profil est particulièrement représentatif des sols sur limons des plateaux du Soissonnais.

Il représente le degré de développement caractéristique de la couverture du limon récent, les sols étant fréquemment partiellement tronqués par les mécanismes de l'érosion anthropique.

ESSIGNY 3

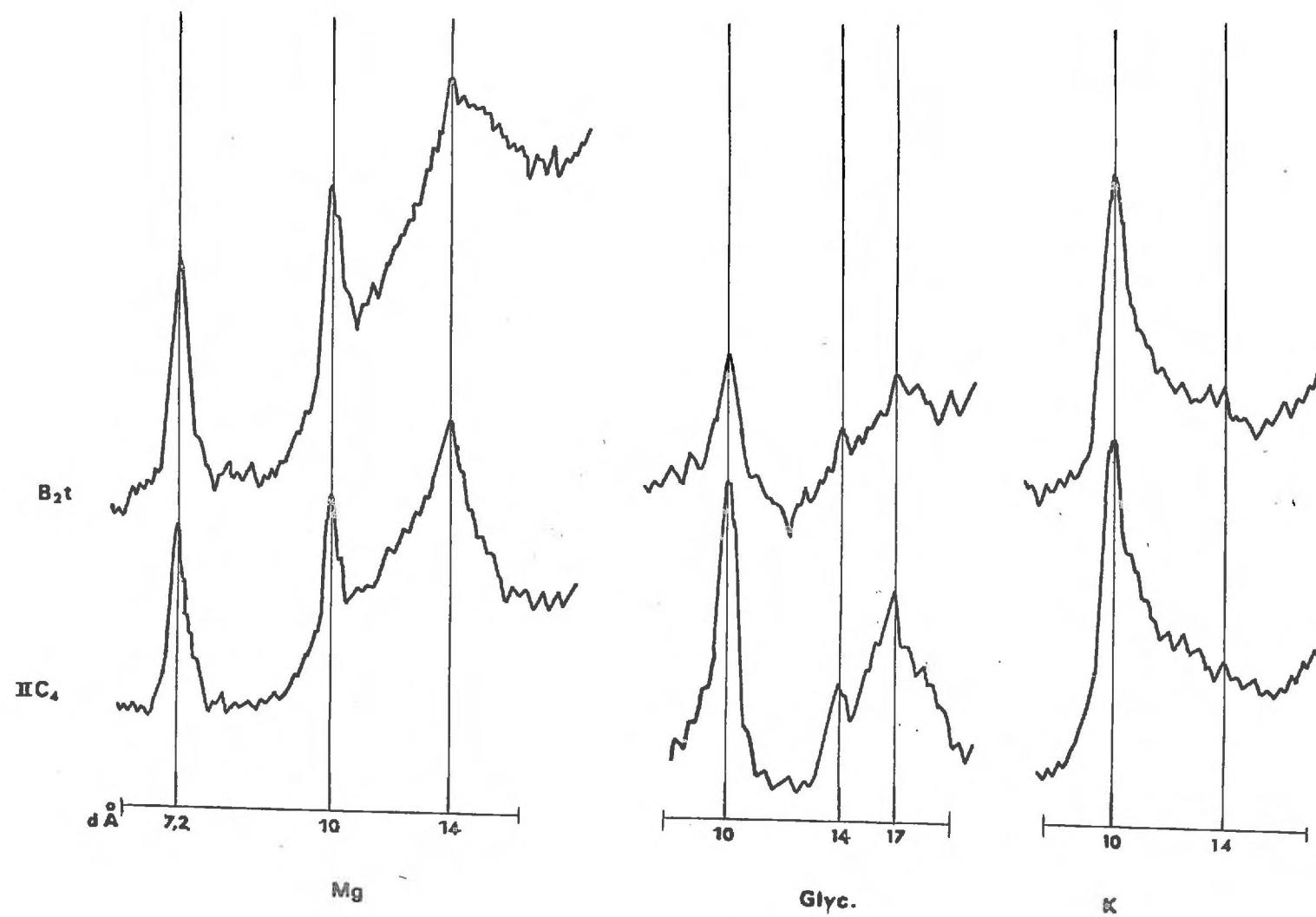


Fig. 51

DESCRIPTION

<u>Localisation</u>	Plateau de Blansy-les-Fismes x = 695 510, y = 183 060
<u>Date - Condition atmosphériques</u>	15/5/67 - Temps frais
<u>Végétation</u>	Chaume de blé
<u>Positions géomorphologiques</u>	Relief subnormal - Pente très faible à exposition Sud.
<u>Altitude</u>	195 m.
<u>Matériaux originels</u>	Couverture homogène de loess récent.
<u>Economie en eau</u>	Drainage externe : moyen Drainage interne : favorable
<u>Activités biologiques</u>	Très importantes activités biologiques jusqu'à 150 cm - Importantes jusqu'à 200 cm.
<u>Classification</u>	Sol brun lessivé Agrudalf typique
Ap ₁ 0 - 21/24 cm	Limon moyen à limon argileux - Brun : 10 YR 4/3 - Assez frais à frais - Teneur moyenne en matière organique - Colonisation radiculaire très faible - Structure polyédrique subangulaire fine à moyenne, modérément développée : grumeleuse fine localement - Friable - Limite distincte et régulière.
Ap ₂ -37/40	Limon argileux - Brun : 10 YR 4/3 - Frais - Réaction à l'aide chlorhydrique faible (amendements) - Teneur moyenne en matière organique - Quelques radicelles - Quelques concrétions - Structure polyédrique subangulaire moyenne modérément développée, grumeleuse fine par endroits - Friable à ferme - Horizon tassé - Limite nette et légèrement ondulée.
A/B -40/46	Limon argileux - Brun à brun foncé : 10 YR 4/3 à 7, 5 YR 4/4 - Frais - Teneur faible en matière organique - Structure polyédrique subangulaire moyenne, très faiblement développée - Assez compact, tassé - Revêtements argilo-humifères bruns : 10 YR 4/3 - Limite nette et discontinue.
B ₂₁ ^{ta} -56/60	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Frais - Quelques petites concrétions - Quelques traces d'oxydation - Structure polyédrique angulaire fine, bien développée, moyenne à la base de l'horizon - Friable à ferme - Revêtements argilo-humifères brun clair : 10 YR 5/3, continu dans la partie supérieure, discontinus à la base - Assez nombreux pertuis fauniques brun foncé : 10 YR 4/2, 5 - Limite distincte et régulière.

- B₂₂^t
- 74/80
Limon argileux - Brun jaune · 10 YR 5/6 - Frais - Quelques traces de matière organique - Quelques concrétions friables ferro-manganiques - Traces d'oxydation - Structure polyédrique angulaire moyenne à grossière, assez bien développée à prismatique moyenne - Revêtements argileux brun légèrement foncé 7,5 YR 4/5 à brun jaune : 10 YR 5/4, fins, presque continus - Ferme à friable. Limite distincte et ondulée.
- B₃
- 97/105
Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Frais - Quelques traces de matière organique - Quelques concrétions et taches ferro-manganiques - Oxydation en petites taches locales - Structure prismatique grossière modérément développée - Ferme - Revêtements argileux très fins et continus sur les faces verticales, brun jaune : 10 YR 5/4 - Enduits le long des pertuis fauniques, de teinte brune : 7,5 YR 5/2. Limite distincte et ondulée.
- C₁
- 124/130
Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/5 - Plus frais - Quelques traces de matière organique très localisées - Oxydation légèrement plus importante - Structure assez continue, avec de rombreuses faces verticales se dissociant dans la masse - Friable - Matériaux poreux. - Limite graduelle et ondulée.
- C₂
- 146/152
Limon moyen à limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/5 - Frais - Oxydation présente mais peu contrastée - Structure assez analogue au C₁ - Friable - Limite nette et légèrement ondulée.
- C_{3g}
- 170/184
Limon moyen à limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/5 - Frais - Oxydation assez bien marquée (15 à 20 % de recouvrement) sous forme de bandes brun jaune : 10 YR 5/8 - Quelques phénomènes de réduction - Structure continue à aspect massif Ferme - Limite nette et fortement ondulée.
- C₄
Limon moyen à limon argileux - Beige foncé : 10 YR 6/4 - Frais - Teneur moyenne en calcaire - Assez nombreux pores colmatés par infiltration calcaire - Taches ferro-manganiques assez nombreuses, peu indurées - Structure continue avec quelques faces verticales - Friable.
- C_{4ca}
Lit de concrétions calcaires (poupées de 3 à 5 cm d'épaisseur) à la discontinuité. Limite nette et ondulée.
- II C₁
- 230/240
Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Frais - Quelques traces de calcaire - Oxydation légèrement marquée - Structure à tendance lamellaire, légèrement squameuse - Compact - Pertuis radiculaires avec gaines extérieures calcaires et remplissage central argileux de couleur brune : 7,5 YR 5/4 à brun rougeâtre 5 YR 5/4 - Limite distincte et ondulée.
- II C₂
- 285/295
Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 6/6 - Frais - Quelques concrétions ferro-manganiques, légèrement indurées - Structure lamellaire, légèrement squameuse, faiblement développée - Ferme - Mycélium calcaire dans les pertuis recouverts d'une fine pellicule argileuse.

La couverture limoneuse présente une faible quantité de sable, et on remarque une transition vers 200 cm où on passe à un limon plus ancien altéré et recarbonaté ; il faut noter la teneur plus faible en limon grossier de ce dernier matériau.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE :

CARTE : _____

CRAONNE

PROFIL N° 42

% de terre séchée à 105° C

N° de labo.	Horizon	Profondeur en cm	Couleur à l'état sec	Argile			Limos			Sables fins		S. G.	Calc.	M. O.	Fractionnement de l'argile		
				0-2μ	2-10μ	10-20μ	20-50μ	50-100μ	100-200μ	200-2000μ					0-0,2μ	0,2-2μ	
8270	Ap 1	0 - 21/24	10 YR 6/3	21.2	9.3	15.4	40.3	6.6	2.0	0.6	2.8	1.8	11.2	10.0			
8271	Ap2	- 37/40	10 YR 6/4	19.6	9.0	14.7	43.7	6.6	1.4	0.6	2.7	1.7	10.2	9.4			
8272	AB	- 40/46	10 YR 5/4	28.0	10.7	13.2	39.6	5.6	1.4	0.4	ε	1.1	13.9	14.1			
8273	B ₁ ta	- 56/60	10 YR 5/6	31.5	8.3	14.1	40.0	4.1	1.1	0.2	-	0.7	18.2	13.3			
8274	B ₂ t	- 74/80	10 YR 5/6	30.9	6.6	14.1	44.8	2.9	0.6	0.1	-	-	18.6	12.3			
8275	B ₃	- 97/105	10 YR 6/6	28.0	6.6	14.0	47.3	3.4	0.6	0.1	-	-	14.4	13.6			
8276	C ₁	- 124/130	10 YR 6/4	21.2	7.8	17.2	50.5	2.8	0.4	0.1	-	-	10.7	10.5			
8277	C ₂	- 148/152	10 YR 7/5	19.6	8.2	18.0	52.3	1.6	0.2	0.1	-	-					
8278	C ₃ g	- 170/184	10 YR 6/6	19.0	13.0	16.5	45.3	4.6	1.4	0.2	-	-					
8279	C ₄	- 204/216	10 YR 7/5	18.1	10.7	18.1	42.1	3.5	0.8	0.3	6.5	-					
8279'	C ₄ ca	-	-	23.9	11.6	13.2	29.9	4.9	1.9	0.5	14.1	5	9.8	14.1			
8280	IIC ₁	- 230/240	10 YR 7/4	29.6	9.9	14.0	34.4	6.3	3.2	1.4	1.2	-					
8281	IIC ₂	- 285/295	10 YR 5/6	29.9	9.1	12.5	34.0	6.0	3.6	3.9	1.0	-					

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES :

Horizon	Densité app.	Densité abs.	Porosité %	Stabilité de structure						Humid. pF 2.5	He 9	P. F. pF 4,2	Eau utile %										
				Test d'instabilité			Test de percolation log. 10 K																
				Alc.	Benz.	Air	log. 10 ls	1 H.	2 H.	3 H.													
P ₁				5.5	1.5	1.6	2.29	0.79	0.73	0.68	27.9	12.2	15.7										
P ₂				4.5	1.0	1.6	2.375	0.89	0.84	0.75	28.3	9.4	18.9										
B				9.4	0.8	2.0	2.11	0.93	0.92	0.78	28.8	11.5	17.3										
B ₁ ta				17.1	0.8	5.0	1.79	1.02	0.94	0.85	30.4	13.9	16.5										
B ₂ t	1.54	2.69	42.8	10.6	0.8	4.1	1.93	0.91	0.87	0.82	32.5	13.5	19.0										
B ₃	1.54	2.70	43.0	5.2	0.5	2.2	2.28	0.80	0.75	0.74	31.9	11.1	20.8										
B ₄	1.55	2.69	42.4	3.9	0.4	1.3	2.40	0.76	0.74	0.71	30.1	9.5	20.6										
B ₅	1.58	2.66	40.6								30.2	8.6	21.6										
B ₆								30.1	18			11.1	21.0										
B ₇								26.1				8.8	17.3										
B ₈								27.6	22			10.7	16.9										
IIC ₁	1.68	2.68	37.3					27.8	22			12.4	15.4										
IIC ₂								28.7				13.3	15.4										

ANALYSE CHIMIQUE :

Horizon	pH		Carb.	N tot.	C/N	En milliéquivalents/100 g de terre, à pH 7,0						% sat. S/T x 100	T 100 g argile	Fer libre	Fer HCl	Alum. éch.	Alum. libre
	eau	KCl				C.E.C. T	Cs	Mg	K	Na	Total B.E. S			Fe O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	méq. %	Al ₂ O ₃ %
P ₁	7.8	8.9	1.02	8.9		10.8	21.2	0.89	0.34	0.02	22.55	Sat	-	1.36			
P ₂	7.8	8.8	0.92	9.6		9.9	26.3	1.12	0.46	0.03	27.91	"	-	1.26			1.35
B	7.8	5.6	0.70	8.0		12.7	17.8	1.30	0.34	0.04	19.48	"	-	1.55			
B ₁ ta	7.8	3.5	0.54	6.5		15.1	17.9	1.49	0.38	0.04	19.81	"	48	1.68	4.64		1.38
B ₂ t	7.4					15.4	15.1	1.55	0.28	0.05	17.02	"	50	1.91	4.70		1.85
B ₃	7.7					12.7	15.7	1.89	0.25	0.05	17.89	"	45	1.73			
B ₄	7.7					11.9	13.9	1.69	0.17	0.05	15.81	"	56	1.68	3.96		
B ₅	7.7					10.5	13.4	1.64	0.16	0.05	15.25	"	54	1.74			1.32
B ₆	7.8					11.6	16.3	2.12	0.16	0.07	18.65	"	61	1.67	4.07		
B ₇	8.0					11.3	27.9	1.92	0.15	0.08	30.05	"	63	1.58			1.38
B ₈	8.2					-	-	-	-	-	-	"	-	-			
IIC ₁	8.0					17.9	31.8	1.85	0.20	0.10	33.95	"	60	1.71			
IIC ₂	8.0					17.0	27.8	1.50	0.20	0.11	29.81	"	57	1.79			

L'horizon B_2t est particulièrement bien différencié, et se divise en $B_{21}ta$ et $B_{22}t$. Le $B_{21}ta$ constitue un horizon "anthropique" lié à une mise en culture ancienne et caractérisé d'une part par une importante activité biologique, d'autre part par la présence de très nombreux revêtements argilo-humifères sur les faces des agrégats structuraux.

L'enracinement descend très profondément, sans aucune entrave ; de gros conduits de lombrics tapissés d'une épaisse pellicule humifère s'obsservent jusque dans l'horizon C, ainsi que de nombreux grumeaux coprogènes.

En ce qui concerne les phénomènes d'illuviation, il faut remarquer la présence de revêtements argileux assez épais et continus sur les faces de dissociation verticales dans les horizons C.

Aucun indice d'entraînement ne peut être interprété à partir de ce sol érodé. Des profils analogues situés sous végétation forestière et n'ayant pas subi d'érosion marquée présentent des indices d'environ 1,7 pour l'argile comme pour le fer. La répartition du fractionnement de l'argile nous montre cependant une augmentation très importante de l'argile fine au niveau du B_2t .

Le calcaire présent dans l'horizon Ap est dû aux amendements.

Le niveau de contact entre les deux dépôts limoneux montre une accumulation de calcaire sous forme de "mycelium" tout comme dans le profil d'Essigny que nous venons de décrire.

La porosité totale reste très bonne sur l'ensemble du profil : plus de 40 %, elle diminue légèrement dans le niveau enfoui indiqué II.

La stabilité structurale est faible dans les trois horizons supérieurs, mais nettement meilleure au niveau des horizons Bt. La matière organique présente une teneur insuffisante dans la couche arable, bien qu'infiltrée assez profondément.

La réserve en eau est élevée pour tout le profil, atteignant 20 % dans quelques horizons.

Ce sol est, comme le précédent, largement saturé, et les capacités d'échange y sont moyennes. Voisines de 50 meq. dans le solum, les C. E. C. de l'argile augmentent dans les horizons C, ainsi que dans le matériau II.

Le fer libre est présent en quantité modérée, le rapport fer libre / fer HCl étant voisin de 40, ce qui est normal pour un sol développé dans un limon récent. Les déterminations de l'Alumine libre indiquent des valeurs faibles et analogues à celles du profil précédent.

MICROMORPHOLOGIE

L'examen micromorphologique n'a pas amené de complément particulier par rapport au profil précédent, nous ne reproduirons donc pas de description systématique, les grandes lignes restant les mêmes.

Il faut cependant noter la dominance des *assemblages plasmiques* du type *inscpique* et *squelsepique*, tandis que les *assemblages élémentaires* sont essentiellement agglomérés à *intertextique*, le type *porphyrique* n'apparaissant que par places.

Les concentrations plasmiques sont représentées surtout par des argilanes jaunes assez fortement orientés, certains paraissant nettement plus ferriques que d'autres.

Quelques nodules apparaissent à la base de l'horizon d'accumulation, tout comme dans le profil précédent.

Au plan micromorphologique, le stade d'évolution est donc sensiblement analogue à celui du sol brun lessivé de Picardie.

DETERMINATIONS MINERALOGIQUES

Trois échantillons d'argile 0-2 μ provenant des horizons A₂, B_{2t} et C ont fait l'objet de déterminations minéralogiques par diffractométrie aux rayons X.

Un prétraitement au citrate de Na a été appliqué.

- A₂ Le diagramme Mg montre deux réflexions très nettes à 7,2 et 14 \AA , ainsi qu'une légère différenciation à 10 \AA .
Le traitement au glycérol provoque un déplacement d'une grande partie à 17 \AA , une partie étant maintenue à 14.
Une fermeture partielle intervient après traitement au potassium.
- B_{2t} Assez analogue à l'horizon précédent, on note cependant une réflexion meilleure à 10 \AA sur le diffractogramme Mg, et à 14 \AA lors du gonflement.
- C Trois réflexions nettes se présentent sur le diagramme Mg : 7,2, 10 et 14 \AA .
Après traitement au glycérol on note une réflexion marquée à 14 \AA , et une autre bien exprimée à 17 \AA .
La fermeture après traitement K est meilleure que pour les deux horizons précédents.

Le profil présente donc très peu d'évolution sur le plan des minéraux argileux.

On note dans les trois horizons la présence de kaolinite, d'illite, de vermiculite et de minéraux gonflants du type montmorillonite.

La kaolinite paraît relativement plus abondante dans l'horizon A₂, tandis que la montmorillonite est la mieux exprimée dans le C.

L'étalement de la réflexion à 17 \AA après gonflement dans les deux niveaux supérieurs fait penser à une plus grande quantité de minéraux interstratifiés, ce qui est confirmé par une fermeture beaucoup plus partielle après traitement au potassium.

DISCUSSION - CONCLUSIONS

Décarbonatation et illuviation en milieu saturé caractérisent ce sol qui présente donc un degré d'évolution très analogue au précédent.

Il est cependant développé dans un matériau original un peu plus argileux que celui d'Essigny, et d'une manière générale légèrement plus sableux. Le matériau limono-argileux enfoui constitue un horizon d'altération dont l'évolution date vraisemblablement d'un interstade de la dernière glaciation.

Assez fortement érodé, le sol présente une activité biologique très importante et une grande abondance de revêtements humifères et argilo-

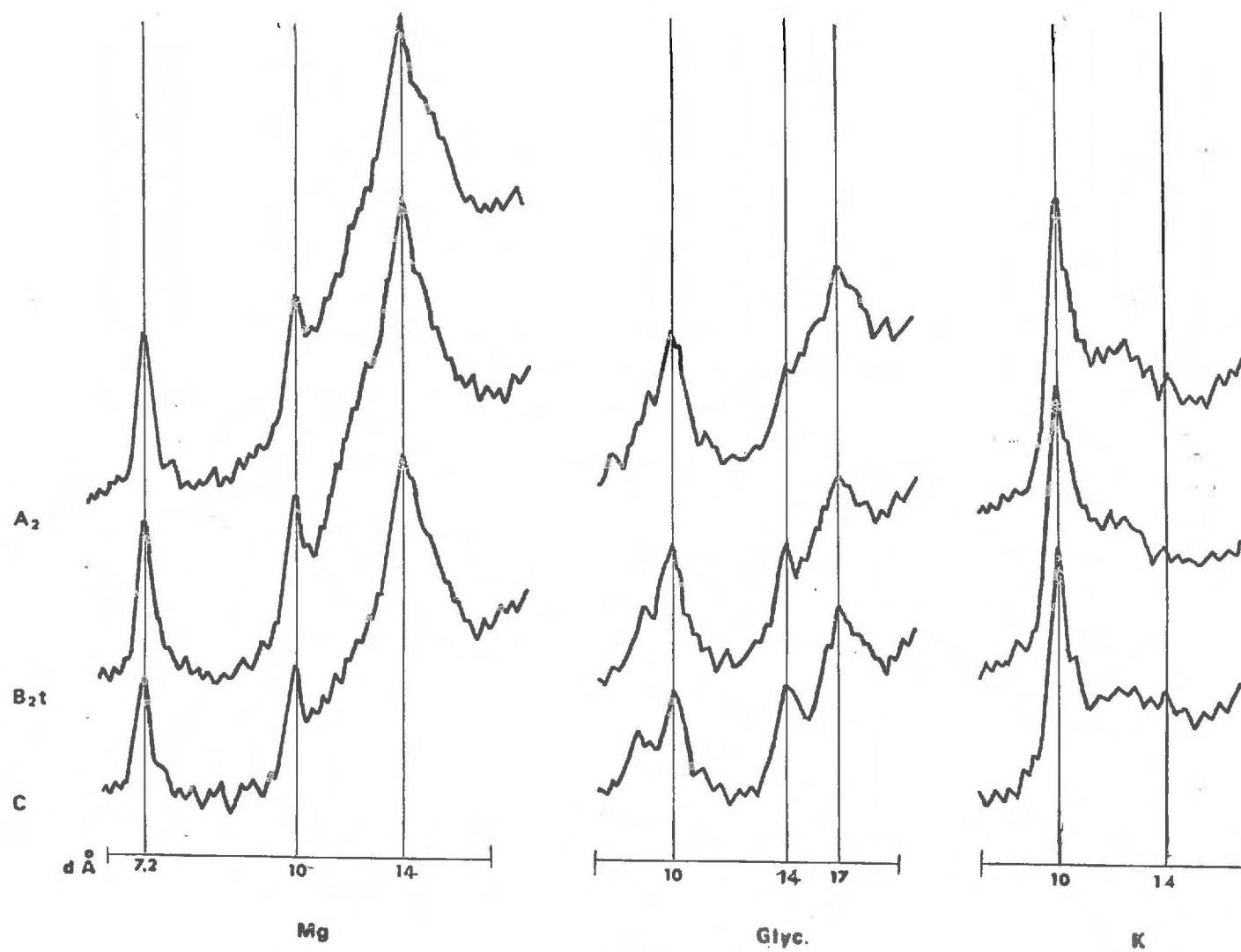


Fig. 52

humifères dans les couches de surface.

L'évolution minéralogique est très faible, on note essentiellement une augmentation des minéraux interstratifiés dans l'horizon A_2 et l'horizon B_{2t} .

Le sol typique de la couverture limoneuse récente du bassin de Paris, ce profil est à classer de la façon suivante :

- classification française : "sol brun lessivé"
- 7e approximation : "Typic Agrudalf"
- légende F. A. O. : "Orthic luvisol".

- PROFIL LAON 1 -

La bordure de l'Île-de-France, au Nord et Nord-Est, présente une couverture limoneuse fortement influencée par les formations sableuses des assises tertiaires.

Liée à cette granulométrie et à une couverture forestière plus fréquente, des sols un peu plus évolués que ceux que nous venons de décrire peuvent s'observer.

Le profil Laon 1 est caractéristique de ce stade.

DESCRIPTION

<u>Localisation</u>	Carte Laon 5-6 Montbérault - Les Hauts Combles.
<u>Date - Conditions atmosphériques</u>	19/5/61 - Après quelques jours de sécheresse.
<u>Végétation</u>	Taillis sous futaie : charmes, coudriers, érables, bordaines ; réserves : frênes chancreux, châtaigniers, bouleaux, trembles.
<u>Positions géomorphologiques</u>	Très léger replat sur dôme situé à l'Ouest.
<u>Altitude</u>	190 m.
<u>Matériau originel</u>	Limon quaternaire (Würm) reposant sur substrat tertiaire à plus de 4 m.
<u>Economie en eau</u>	Drainage externe : assez lent. Drainage interne : modéré.
<u>Activités biologiques</u>	Très importantes dans les horizons de surface (A_{11} et A_{12}) ; diminuant fortement après. Deviennent nulles au contact du C.
<u>Classification</u>	Sol lessivé légèrement marmorisé. Hapludalf typique.
<u>O_1</u>	Litière très peu importante. Fâne à décomposition très rapide.
<u>A_{11}</u>	Limon moyen sableux - Brun gris très foncé : 10 YR 3/2 - Assez sec - Légère accumulation de matière organique - Quelques grosses racines - Feutrage radiculaire important - Rares petits cailloux épars - Structure grumeleuse moyenne, moyennement développée - Friable - Limite assez régulière.
<u>- O - 7 cm</u>	

A ₁₂	Limon moyen sableux - Brun jaune : 10 YR 4/3 - Assez sec - Très légère infiltration de matière organique - Nombreuses racines dans colonisation radiculaire assez importante - Quelques fragments de grès localement - Structure grumeleuse moyenne, moyennement développée - Friable - L'activité biologique est meilleure dans cet horizon que dans le précédent - Limite diffuse et ondulée.
- 7 - 22	
A ₂	Limon moyen sableux - Brun jaune : 10 YR 5/3 - Assez sec - Très légère infiltration de matière organique - Quelques grosses racines et activité radiculaire moyenne - Structure granulaire fine moyennement développée - Friable - Limite graduelle et légèrement ondulée.
- 22 - 38	
B ₁	Limon moyen sableux - Brun jaune : 10 YR 5/4 - Assez sec - Colonisation radiculaire moyenne - Marmorisation le long des canaux radiculaires - Revêtements argileux bruns : 10 YR 4/4, de plus en plus nombreux dans le bas de l'horizon où la structure s'améliore - Structure polyédrique angulaire moyenne, faiblement développée - Friable à ferme dans le bas de l'horizon - Limite graduelle et régulière.
- 38 - 46	
B _{21t}	Limon argileux sableux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - "Coatings" légèrement plus foncés : 7,5 YR 4/4 - 7,5 YR 5/6 à 10 YR 6/2 pour la marmorisation - Assez sec - Quelques petites racines - Structure polyédrique angulaire fine, assez bien développée - Revêtements nombreux sur les faces des unités structurales (70 à 80 %) - Marmorisation poussée près des pertuis radiculaires - Ferme - Limite graduelle et régulière.
- 46 - 65	
B _{22t}	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Assez sec - Quelques radicelles - Structure polyédrique angulaire fine à moyenne, modérément développée - Assez nombreux revêtements argileux sur les faces de structures, bruns : 7,5 YR 4/4 - Traces de marmorisation - Ferme - Limite graduelle et régulière.
- 65 - 85	
B ₃	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Assez sec - Structure polyédrique angulaire moyenne, modérément développée - Revêtements argileux sur les faces verticales de structure - Traces de marmorisation - Ferme - Limite progressive.
- 85 - 105	
B/C	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Assez sec - Quelques petites racines - Marmorisation localement, diminuant vers le fond du profil - Structure polyédrique angulaire moyenne, moyennement développée - Limite progressive et régulière.
- 105 - 135	
C ₁	Limon argileux sableux - Brun jaune 10 YR 5/6 - Assez sec - Toujours quelques petites racines - Structure polyédrique angulaire moyenne faiblement développée - Limite progressive.
- 135 - 160	
C ₂	Limon argileux sableux - Brun jaune : 10 YR 5/6 - Assez sec - Peu structuré - Faces de dissociation verticales - Limite progressive.
- 160 - 175	
C ₃	Limon moyen sableux - Brun jaune : 10 YR 5/4 plus passage 6/1 - Assez sec à sec - Structure continue - Nombreuses taches de Mn - Loess décarbonaté.
- 220 - 260	

Le matériau original paraît assez homogène, le rapport LG/LF oscillant entre 2,5 et 3,0. La teneur en sable est particulièrement importante, et se répartit principalement dans la fraction 50 à 100 microns.

Ce sol semble très peu érodé, et l'horizon A₂ est très différencié. Il faut noter quelques petites taches de dégradation sur les agrégats de l'horizon B₁ et du B_{21t}; ceci semble en relation avec la légère marmorisation qui s'observe le long des canaux racinaires.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE :

CARTE : LAON

PROFIL N° 1

% de terre séchée à 105° C

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES :

Horizon	Densité app.	Densité abs.	Porosité %	Stabilité de structure								Humid. pF 2,5	P. F. pF 4,2	Eau utile %					
				Test d'instabilité			log. 10 ls	Test de percolation log. 10 K											
				Alc.	Benz.	Air		1 H.	2 H.	3 H.									
A ₁₁				34.8	28.8	30.4	1.04	1.93	1.88	1.88	27.2		22.0	5.2					
A ₁₂	1.45	2.44	40.6	39.6	21.8	21.8	1.10	1.91	1.86	1.86	21.5		14.0	7.5					
A ₂				15.2	3.4	6.0	1.44	1.50	1.48	1.49	20.7		10.4	10.3					
B ₁				-	-	-	-	-	-	-	-		-	-					
B _{21t}				14.2	2.4	3.6	1.63	1.53	1.46	1.46	23.6		14.2	9.4					
B _{22t}	1.65	2.53	34.8	7.6	1.4	2.8	1.76	1.35	1.32	1.32	27.1		13.1	14.0					
B ₃				-	-	-	-	-	-	-	-		-	-					
B/C				5.0	0.8	1.8	2.02	1.24	1.24	1.20	28.8		16.5	12.3					
C ₁	1.64	2.53	35.2	6.8	1.0	1.8	2.04	1.40	1.42	1.37	28.5		16.2	12.3					
C ₂				-	-	-	-	-	-	-	20.6		9.6	11.0					
C ₃				-	-	-	-	-	-	-	-		-	-					

ANALYSE CHIMIQUE :

Horizon	pH		Carb.	N tot.	C/N	En milliéquivalents/100 g de terre, à pH 7,0						% sat. S/T x 100	100 g argile	Fer fibre	Fer HCl	Alum. éch.	Alum. libre
	eau	KCl	%	%		C.E.C.	Ca	Mg	K	Na	Total B.E. S			Fez Os %:	Fe2O3 %	méq. %	Al2O3. %
						T											
11	6.1	21.8	1.55	14.1		13.7	13.2	1.69	0.61	0.12	15.62	Sat	-	1.18	-	0.04	1.37
12	5.8	12.4	1.04	11.9		10.1	12.0	0.75	0.34	0.12	13.21	Sat	-	1.05	2.15	0.07	1.31
12	6.7	4.7	0.45	10.4		8.2	14.2	0.34	0.18	0.12	14.84	Sat	(43)	1.11	2.28	0.02	1.23
1	6.8					-	-	-	-	-	-	-	-	1.36	2.05	0.04	1.37
21t	7.3					11.2	13.8	0.47	0.27	0.13	14.67	Sat	36	2.03	4.40	0.03	2.13
22t	7.0					13.8	16.0	1.53	0.41	0.19	18.13	Sat	49	2.14	4.32	0.02	1.98
3	6.1					-	-	-	-	-	-	-	-	2.02	4.00	0.02	1.90
1/C	6.5					15.7	14.6	2.23	0.27	0.14	17.24	Sat	64	1.90	2.91	0.04	1.65
1	6.9					15.6	14.0	2.45	0.33	0.16	16.94	Sat	59	1.86	3.76	0.04	1.85
2	7.1					-	-	-	-	-	-	-	-	1.71	3.25	0.03	1.65
3	7.2					6.8	6.8	1.22	0.24	0.09	8.35	Sat	49	1.23	2.51	0.02	1.44

L'activité biologique est assez bonne dans le solum, elle diminue ensuite sensiblement en profondeur.

L'indice d'entraînement de l'argile totale est de plus de 1,9, tandis que celui de l'argile fine est de 2,5. La fraction inférieure à 0,2 μ est nettement dominante, avec cependant un maximum assez net dans les horizons Bt.

La densité apparente moyenne du sous-col est de 1,65 pour une porosité totale de 35 %, ce qui est caractéristique de ce stade d'évolution. La teneur en eau utile est moindre que dans les profils limoneux purs : 10 à 14 %. La stabilité structurale de ce profil forestier est bonne en surface, et reste satisfaisante dans le solum ; on note des valeurs plus faibles en profondeur.

Un rapport C/N assez élevé caractérise la matière organique de l'horizon A₁ : 14, ceci en conditions de pH modérées : 6 en moyenne, le complexe restant saturé.

La C. E. C. de l'argile varie légèrement dans le solum : 35 meq. dans l'horizon Bt, maximum de plus de 55 au niveau B/C - C.

L'indice d'entraînement du fer libre est de 2, donc légèrement supérieur à celui de l'argile. Le rapport fer libre / fer soluble HCl varie, pour les quatre niveaux où ce dernier a été dosé, entre 46 et 50 %. Quant à l'aluminium échangeable, on note un ensemble de valeurs très faibles, ce qui est normal vu le taux de saturation du complexe. La variation de l'alumine libre est plus intéressante à étudier. La répartition en fonction de la profondeur présente en effet un "profil" très net, l'indice d'entraînement étant de 1,76. Il faut noter que la valeur la plus élevée s'observe au niveau du B_{2t} où la C. E. C. est la plus faible.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette - Nature. Quartz, Feldspaths (Microcline), cristaux à relief fort, certains isotropes, quelques fragments de Biotite, Glauconie altérée (en proportions augmentant vers le bas du solum).

Dimensions. Elles sont assez irrégulières, caractéristique du limon sableux.

Distribution. Au hasard, une partie cependant est reprise dans les cutanes au niveau du B_{2t}.

Orientation. La majorité des grains sont fortement orientés.

Plasma - Repartition. Variable sur l'ensemble du solum, un caractère commun à tous les horizons étant l'assemblage plasmique du type squelettique. Les horizons A présentent cependant une dominance du type insépique. L'assemblage squelettique, peu marqué dans le A₁ et le A₂ ainsi que dans le C, est très net dans le B_{2t} et le B₃ ; il s'agit donc de séparations plasmiques sur squelette. Dans le A₁₁ et le A₁₂, la répartition s'effectue par agglomérats, tandis qu'aux niveaux B_{2t}, B₃ et C, la répartition est assez homogène. Les horizons Bt et B₃ présentent quelques séparations dans la masse, assez peu importantes cependant.

Nature du plasma. Essentiellement argileuse, quelquefois argilo-ferrique.

La distribution est "sans relation" pour la masse, mais subcutanée à cutanique pour les séparations sur squelette qui sont faiblement à modérément orientées.

La trame en est tachetée et faiblement à modérément striée.

Structure de base - Le squelette est plus abondant que le plasma, particulièrement dans l'horizon A_2 . Notons que la masse plasmique est assez dense dans l'horizon B_3 , et devient nettement plus lâche dans l'horizon C, ce qui correspond à la variation de teneur en argile.

L'assemblage élémentaire des constituants peut donc être considéré comme du type aggloméré à intertextique dans les horizons A_1 et A_2 et porphyrique dans les horizons B_2t , B_3 et C.

Vides -

Les vides irréguliers, cavités ortho, des horizons de surface font place au niveau du Bt à des vides irréguliers à parois adoucies, quelques uns étant "mammillated". On observe dans l'horizon B des chenaux et quelques chambres simples ou "dendroïdes" à parois lisses. Dans les horizons profonds on retrouve les vides réguliers ou irréguliers à parois lisses ou localement rugueuses ; notons dans l'horizon C un grand nombre de vides réguliers.

L'horizon B présente donc des chenaux qui semblent en relation avec la structure macromorphologique polyédrique typique.

Caractéristiques pedologiques -

Concentrations plasmiques.

Cutanes. Ces concentrations ou argilanes apparaissent au niveau du B_2t où elles constituent des "normal vughs" et "channel cutans". On remarque une pigmentation ferrique à la partie limitrophe au vide ; celle-ci semble représenter une évolution relativement récente de ces formations. Dans le B_3 ; les cutanes sont beaucoup plus minces et ne recouvrent que 50 % des parois des vides ; dans le C, quelques traces seulement peuvent être observées. Remarquons cependant que, dans cet horizon C, peuvent apparaître des séparations subcutanées, et qu'un remplissage de matériaux très fins et peu orientés peut être localisé entre le revêtement argileux et la séparation.

Glaebules. Les glaebules sont représentés par des nodules essentiellement ferriques qui, dans la partie supérieure du solum, présentent des limites assez diffuses à localement nettes. Au niveau de l'horizon B, on observe des nodules et concentrations ferriques (ferrisegregans) à limites nettes.

Remarque. Les revêtements d'apport récent à pigmentation ferrique semblent moins fortement orientés que les revêtements d'apport plus ancien.

Au niveau de l'horizon B_3 , on observe deux types de nodules, soit très nets à limite abrupte, soit à limite très diffuse : glaebules en formation. Dans le bas du profil, seuls des nodules en formation sont observables. A partir du A_2 , on observe sur toute la profondeur du sol des cristallites ferriques faiblement à modérément orientés.

Pédotubules. On remarque localement, au niveau de l'horizon B, quelques "isotubules" ; ils sembleraient dus à un remplissage relativement récent de vides.

Assemblage élémentaire selon Kubiena - Les assemblages du type "agglomeratic" à "intertextic" de la partie supérieure du sol passent au type "porphyropic" dans le reste du solum.

Stade d'évolution - Nous sommes en présence d'une "Braunerde" avec présence de "Braunlehm Teilplasma", particulièrement bien représenté dans les horizons B, ainsi que de "Braunlehm" secondaire sous forme de cutanes (argilanes), observables dans l'horizon B, et moins distinctement dans le C.

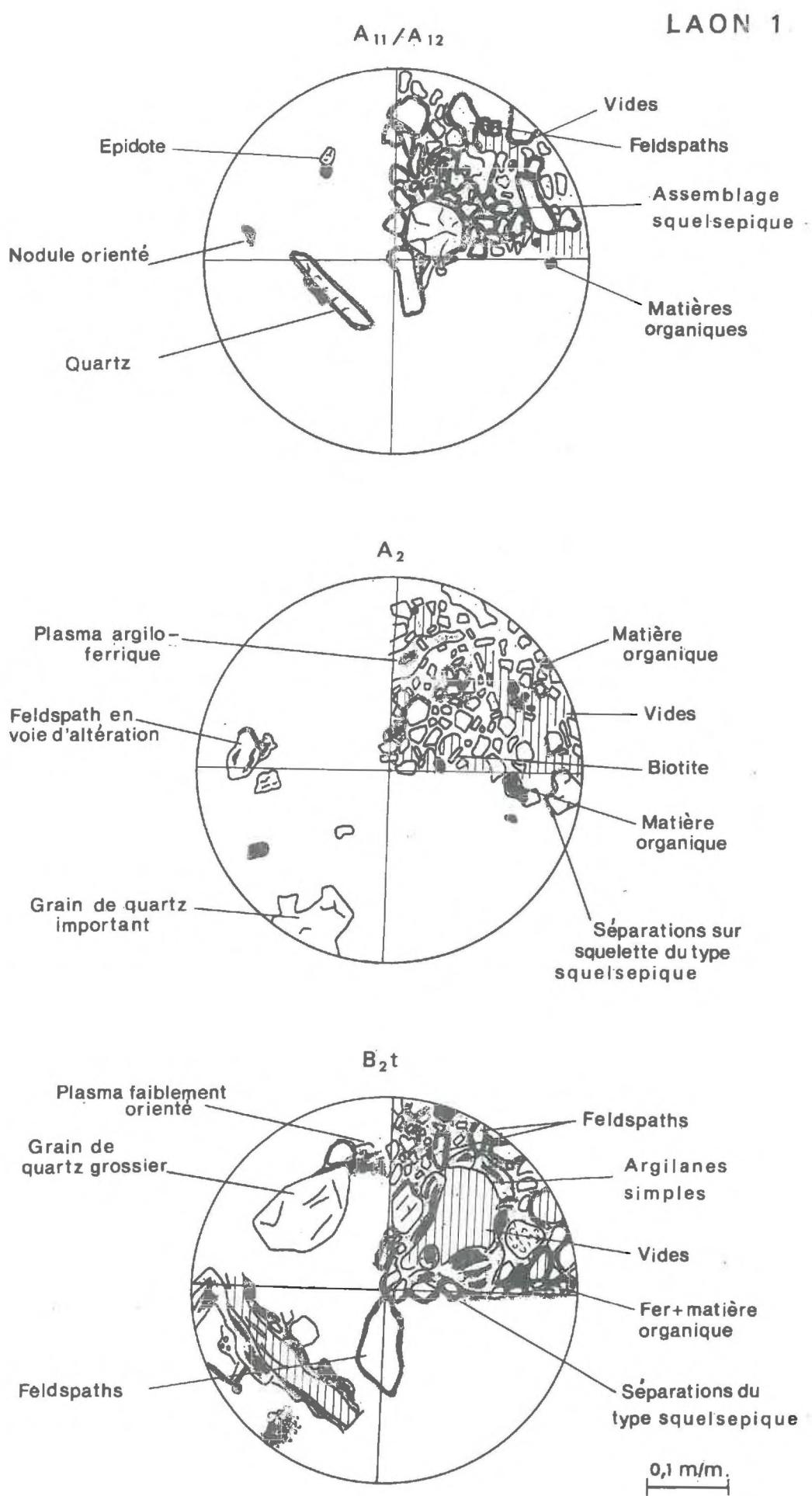


Fig. 53

LAON 1

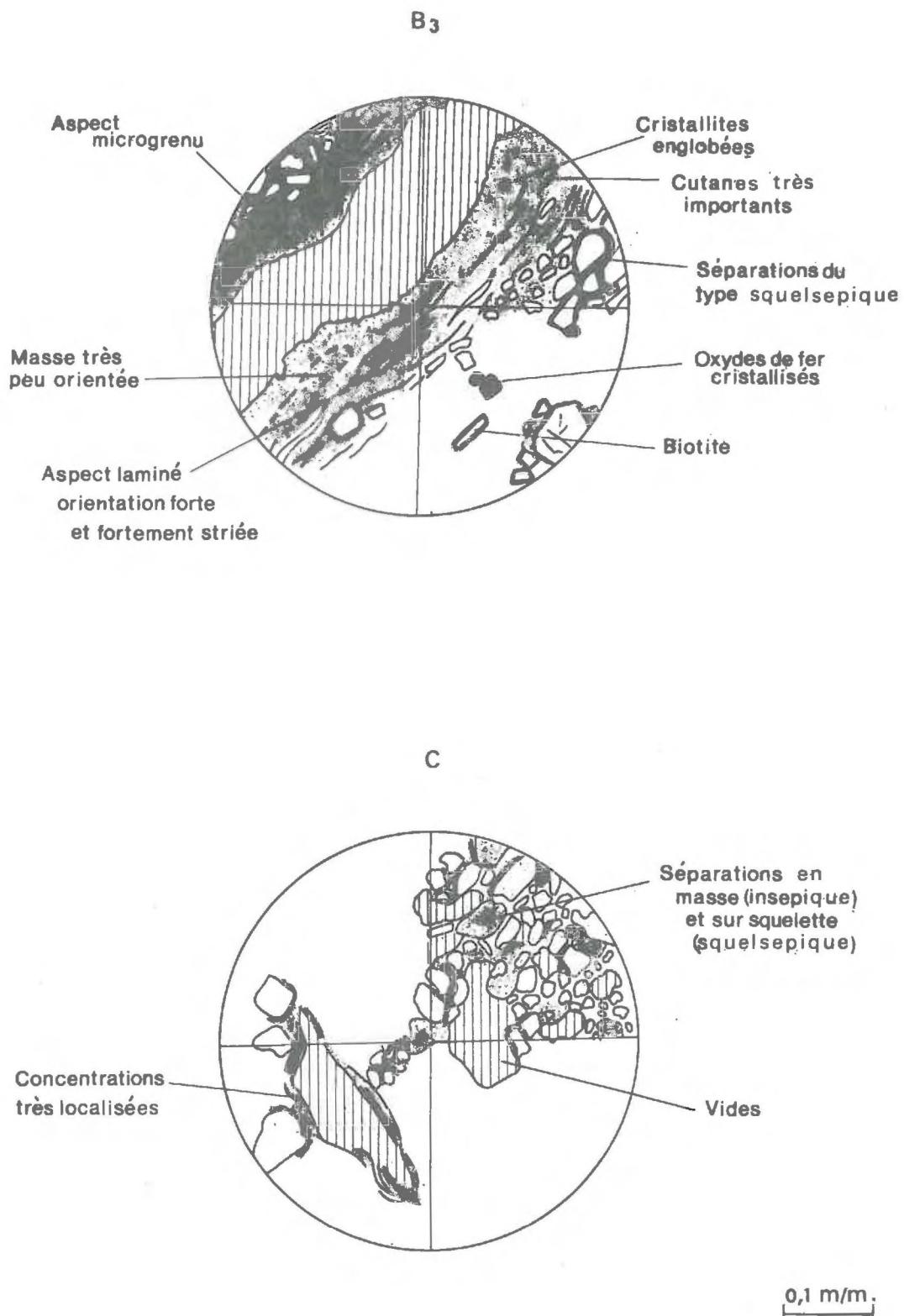


Fig. 54

LAON 1

Horizons → Unités de description ↓	A ₁₁ / A ₁₂	A ₂	B ₂ t	B ₃	C
<u>S. Matrix</u> Squelette	Quartz - Assez hétérogène	Feldspaths - Cristaux Hétérogène	à relief fort - Biotite Hétérogène	- Glaconie plus ou Hétérogène	moins altérée, Hétérogène
Plasma	Argileux à argilo-ferrique - Très nombreux débris de matière organique Hétérogène, agglomérée localement	Argileux dans séparations, argilo-ferrique dans la masse - Traces de matière organique - Répartis en agglomérats et ponts sur squelette,	argilo-ferrique - Traces de matière organique Assez homogène	Argilo-ferrique Homogène	Argilo-ferrique Assez homogène
Séparations plasmiques	Sur squelette dans les zones les plus denses	Locales sur squelette	Sur squelette, rares dans la masse	Sur squelette, quelques unes dans la masse	Sur squelette
Assemblages plasmiques	Skel-Insepique	Skel-Insepique	Squelsepique	Squelsepique	Squelsepique, tendance insepique localement
Structure de base	SK >> Pl	SK >> Pl	SK > Pl	SK > Pl	SK > Pl
Assemblage élémentaire	Aggloméré	Tendance intertextique	Porphyrique	Porphyrique	Porphyrique à intertextique.
Vides	Cavités ortho, irrégulières	Cavités ortho, irrégulières et "mammillated"	Cavités méta, régulières et irrégulières, quelques "mammillated" - Chenaux méta, simples ou dendroïdes - Quelques chambres.	Cavités ortho et méta, régulières et irrégulières	Cavités ortho, régulières très nombreuses cavités méta, régulières.
<u>Caractéristiques pédologiques</u> Orthic Séparations (Voir Plasma) Concentrations Cutanées			Argilanes simples dans la majorité des vides, à orientation d'intensité variable - Ferri-argilanes très ferriques recouvrant localement les argilanes.	Argilanes simples présents dans 50 % des vides, fortement orientés	Quelques argilanes simples fins et discontinus, à orientation modérée. Quelques grains de "silt" y sont localement englobés
Glaebules	Nodules ferriques à limites diffuses à assez nettes	Nodules ferriques à limites diffuses	Nodules et concrétions ferriques sphériques à limites très nettes	Deux types de nodules : - Bien différenciées à limites nettes - En formation à limites diffuses - Quelques cristallites.	Assez nombreux nodules en formation, à limites diffuses - Quelques cristallites.
Pedotubules			Quelques isotubules		
Hérités - Pedorelicts					
<u>Elementary fabric (Kubiena)</u>	Agglomératic à intertextic.	Tendance intertextic	Porphyropectic	Porphyropectic	Tendance porphyropectic

Conclusions - Le matériau paraissant homogène du point de vue origine sur l'ensemble du solum, toutes les caractéristiques concordent pour faire de ce type de sol un sol (brun) lessivé à développement subactuel, c'est-à-dire relativement récent. Nous serions en présence d'un loess Würm enrichi en fractions sableuses à partir des substrats tertiaires, éventuellement remanié par voie éolienne à une époque postérieure.

En ce qui concerne les concentrations plasmiques il faut remarquer à ce stade d'évolution la "pigmentation" ferrique apparaissant en bordure des vides dans les ferri-argiles de l'horizon Bt, et qui pourrait représenter le début d'un mécanisme de dissociation du fer et de l'argile.

DETERMINATIONS MINERALOGIQUES

Deux horizons ont fait l'objet de l'analyse aux rayons X, après traitement au citrate de Na : le B₂₁t et le C.

B₂₁t Le diagramme Mg montre trois réflexions principales : 7,2 et 10 Å très nettes, celle à 14 Å constitue une différenciation peu marquée et très large.

Après traitement au glycérol on observe un pic très net à 10 et un étalement très important de la réflexion à 14 vers des distances plus grandes, avec palier à partir de 17 Å.

Le traitement au K ne provoque qu'une fermeture très partielle, avec réflexion à 10 et petit accident vers 12/13 Å.

C₁ L'échantillon saturé au Mg présente une réflexion très nette à 7,2, assez nette mais de plus faible amplitude à 10, assez large mais bien dessinée à 14/15 Å.

Cet échantillon gonfle assez nettement avec déplacement à 17 Å et plus, avec un léger maximum à 17.

La fermeture après traitement au K est pratiquement complète.

Ces déterminations permettent de constater la présence dans les deux niveaux étudiés de kaolinite, d'illite et de minéraux interstratifiés gonflants.

On remarquera essentiellement le gonflement plus anarchique et la faible fermeture de l'horizon B₂₁t qui semble indiquer une teneur plus importante en minéraux interstratifiés, ainsi qu'éventuellement l'action de composés alumineux interfoliaires.

L'évolution des minéraux secondaires apparaît donc comme assez nettement plus avancée que dans les deux profils précédents.

DISCUSSION - CONCLUSIONS

L'évolution de ce profil est plus avancée que celle des sols décrits jusqu'à présent. Deux raisons sont, semble-t-il, à invoquer : d'une part la teneur en sable plus importante, d'autre part l'influence de la végétation. Nous avons pu constater par les travaux de prospection que les limons sableux présentaient, toutes autres conditions égales, un développement pédogénétique plus accentué que les matériaux limoneux purs.

Une illuviation importante marque donc ce profil, avec répartition profonde de l'argile fine. L'horizon Bt apparaît un peu "tacheté" à la partie supérieure, et présente des traces assez nettes de marmorisation.

Si l'on considère la dissociation relative entre le déplacement du fer et de l'argile dans ce sol, on peut admettre une très légère tendance à la dégradation, confirmée par ailleurs par le comportement de l'aluminium et la variation de la capacité d'échange cationique de l'argile. Les données de la micromorphologie confirment cette manière de voir.

Ce sol caractérise le stade d'évolution atteint, sous végétation forestière, par les recouvrements loessiques récents, de texture limono-sableuse. Il constitue un sol en transition entre "sol_brun_lessivé" et "sol_lessivé". Dans la classification américaine il se classe comme "Typic Hapludalf" à "Aquic Hapludalf", et dans la légende F. A. O. comme "Orthic Luvisol".

- PROFIL VERVINS 10 -

Le profil Vervins 10 est représentatif de la couverture du nord-est du Bassin de Paris, c'est-à-dire des régions de Thiérache et du Marlois. Situé sous forêt, son degré d'évolution est assez important et il possède des caractéristiques pédogénétiques très bien exprimées qui ont justifié son choix pour une étude assez approfondie.

DESCRIPTION

<u>Localisation</u>	Commune de Saint-Pierremont, lieu dit "Bois de Saint-Pierremont"
<u>Date - Conditions atmosphériques</u>	22/6/67 - Temps orageux, pas de pluie depuis 3 semaines
<u>Végétation</u>	Taillis sous futaie - Strade arborescente - <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Betula verrucosa</i> , <i>Quercus sessiliflora</i> . Strade arbustive - <i>Carpinus betulus</i> , <i>Corylus avellana</i> , <i>Acer campestre</i> , <i>Tilia cordata</i> . Strade herbacée - <i>Rubus fruticosus</i> (60 % de recouvrement), <i>Lonicera periclymenum</i> , <i>Listera ovata</i> , <i>Paris quadrifolia</i> , <i>Geranium robertianum</i> , <i>Polygonatum vulgare</i> , <i>Primula elatior</i> , <i>Galium aparine</i> , <i>Lamium sp.</i> , <i>Asperula odorata</i> , <i>Circea lutetiana</i> , <i>Millium effusum</i> , <i>Scrophularia nodosa</i> , <i>Stachys sylvatica</i> , <i>Epipactis latifolia</i> , <i>Molinia caerulea</i> .
<u>Position géomorphologique</u>	Relief normal - Bordure de plateau.
<u>Altitude</u>	132 m.

LAON 1

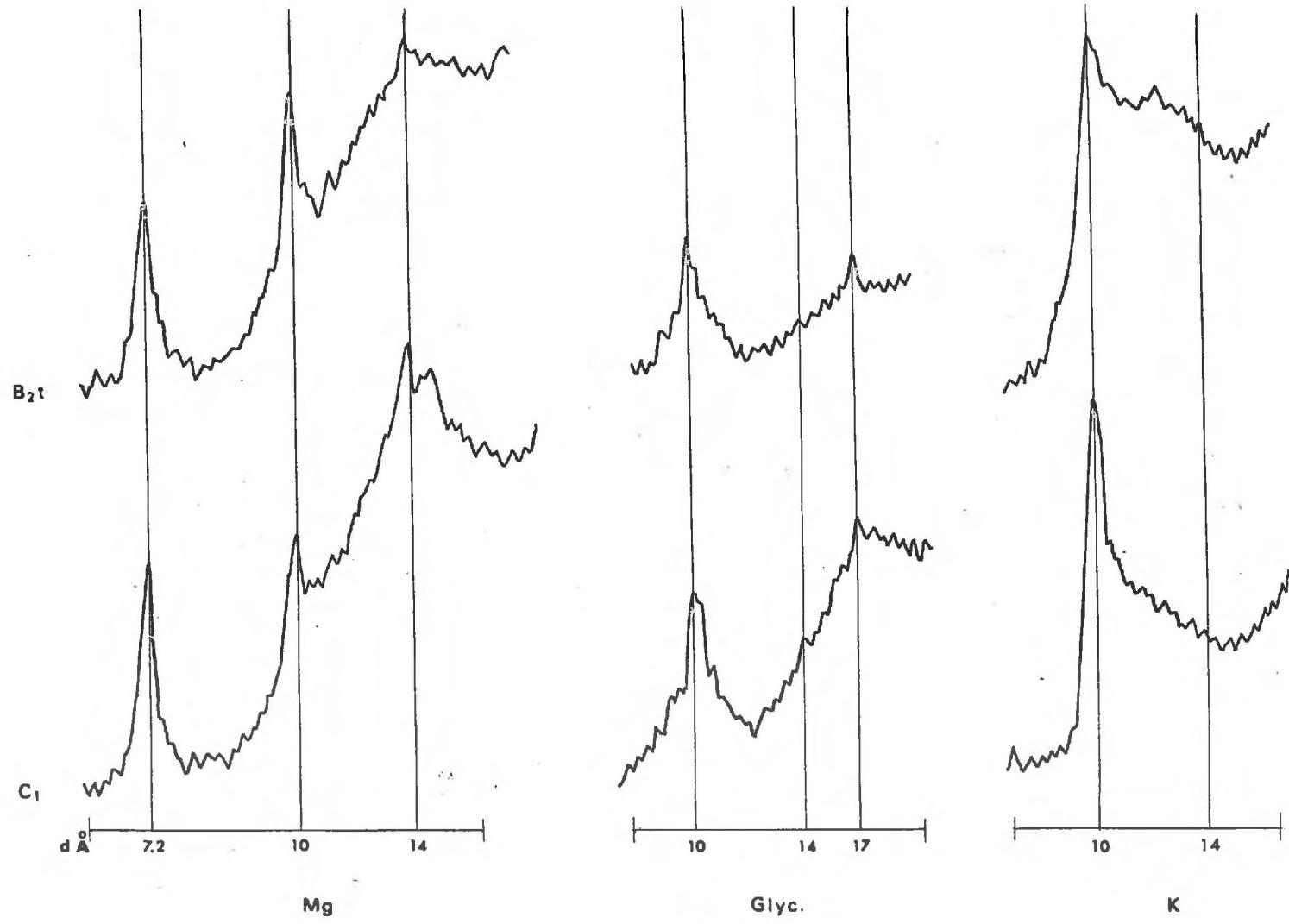


Fig. 55

<u>Matériaux originels</u>	Recouvrement limoneux supérieur à 7 m.
<u>Economie en eau</u>	Ecoulement superficiel : moyen Drainage interne : imparfait.
<u>Activités biologiques</u>	Bonnes. - Radiculaires : assez intenses dans les 40 premiers cm, puis bonnes en dessous - pénétration des racines moyennes et fines le long des "cracks", et ce jusqu'à 2 m - Orientation : diffuse dans les 40 premiers cm, puis devenant verticale en-dessous. - Fauniques : intenses dans les horizons A ₁ et A ₂ , galeries d'animaux fouisseurs jusqu'à la base de l'horizon B ₁ - Dans l'horizon A ₂ , les conduits de lombrics sont colmatés par du matériau venant de l'horizon A ₁ - Ces conduits s'observent jusqu'à l'horizon compact B _{3gx} .
<u>Classification</u>	Sol lessivé à fragipan, à pseudogley, légèrement dégradé. Fragidalf typique / aquique.
O ₁	Couche L peu importante. Couche F1 très mince et discontinue.
O ₂	Couche F2 pratiquement nulle.
A ₁	Limon moyen - Brun gris foncé : 10 YR 4/2 - Assez sec - Teneur assez forte en matière organique - Très forte colonisation radiculaire bien répartie - Quelques petits éclats de silex noirs (apports anthropiques) - Structure grumeleuse fine faiblement développée - Très friable - Limite distincte et très légèrement ondulée.
0 - 7/10	
A ₂	Limon moyen - Gris brun et brun clair : 10 YR 5/2 - 10 YR 5/3 - Assez frais - Teneur moyenne en matière organique - Forte colonisation radiculaire - Structure polyédrique subangulaire fine à moyenne faiblement développée - Friable - Limite nette et ondulée.
- 20/26	
B ₁	Limon moyen - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Assez frais - Faible teneur en matière organique - Colonisation radiculaire moyenne - Structure polyédrique subangulaire à angulaire fine à moyenne modérément développée - Friable - Quelques revêtements argilo-humifères très fins et discontinus (20 % de recouvrement), brun franc : 7,5 YR 5/6 - Limite distincte et légèrement ondulée.
- 43/48	
B _{21tg}	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Colonisation radiculaire assez faible, principalement petites racines - Phénomènes d'oxydo-réduction bien contrastés, 10 à 15 % de recouvrement d'oxydation, ocre rouge : 5 YR 5/8 ; 7 à 10 % de réduction, beige foncé : 10 YR 6/8, à orientation préférentielle verticale - Structure polyédrique angulaire fine à moyenne bien développée - Revêtements argileux fins et presque continus (70 à 80 % de recouvrement), brun franc : 7,5 YR 5/6 - Quelques concrétions ferro-manganésifères - Présence de petites plages de limon fin - Limite distincte et ondulée.
- 66/72	
B _{22tg}	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Faible colonisation radiculaire, principalement radicelles - Oxydation sur 10 à 15 %, réduction sur 7 à 10 % à contraste bien prononcé, couleurs et "Mottling" analogues à ceux du B _{21tg} - Structure prismatique moyenne assez bien développée - Très ferme - Compact - Revêtements argileux très épais, parfois quelques uns bruns : 7,5 YR 5/4, localisés principalement sur les faces structurales verticales - Quelques concrétions ferro-manganésifères (1 à 2 %) - Limite graduelle et régulière.
- 93/98	

B _{3g(x)}	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Très faible colonisation radiculaire, uniquement des radicelles - Oxydation sur 7 %, brun jaune : 10 YR 5/6, réduction sur 2 %, beige foncé : 10 YR 6/3 - Structure prismatique grossière modérément développée - Très ferme - Compact - Revêtements argileux analogues à ceux du B _{22tg} - Concrétions ferro-manganésifères (3 à 4 %, Ø moy. 1 mm) - Limite graduelle et régulière.
B/C	Limon très argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Très faible colonisation radiculaire, uniquement des radicelles - Oxydation sur 5 %, pas de traces de réduction - Structure massive avec quelques faces verticales très nettes à revêtements argileux très épais, bruns : 7,5 YR 5/4 - Très ferme - Concrétions ferro-manganésifères (3 à 4 %) - Limite nette et régulière.
II C ₁	Limon argileux - Brun franc : 7,5 YR 5/6 - Frais - Quelques radicelles - Oxydation sur 5 % - Structure massive avec quelques faces verticales très nettes à revêtements argileux très épais - Friable à ferme - Concrétions ferro-manganésifères (2 % et Ø moy. 3 mm) - Limite distincte et régulière.
II C ₂	Limon argileux - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Quelques radicelles - Quelques traces d'oxydation - Structure lamellaire moyenne modérément développée - Friable - Concrétions ferro-manganésifères (2 %) - Limite distincte et régulière.
II C ₃	Limon moyen - Brun jaune : 10 YR 5/8 - Frais - Quelques radicelles - Structure lamellaire moyenne faiblement développée - Friable - Concrétions ferro-manganésifères (5%).
- 157/160	
- 180/184	
- 195	

Prélèvements sélectifs. Trois échantillons complémentaires ont été prélevés

E₁ revêtements argileux épais au niveau B_{22tg}/B_{3g(x)}

E₂ matrice d'agrégats au même niveau

E₃ petites plages dégradées à la partie supérieure du B_{21tg}.

La partie supérieure du profil pourrait avoir été quelque peu remaniée anciennement par des phénomènes de redistribution dus à l'érosion mais l'ensemble du matériau peut être considéré comme suffisamment homogène que pour permettre les interprétations pédogénétiques.

Une certaine endohydromorphie apparaît ici, matérialisée par des taches d'oxydo-réduction réparties au niveau des horizons B_{22t} et B₃. D'autre part, de petites taches de dégradation, ou "podzol flours" sont présentes sur les agrégats du B_{21t}. Enfin, les horizons B₃ et B/C offrent une compacité assez importante et un réseau de faces structurales qui leur confère un aspect du type "fragipan", sans être tout à fait caractéristique, loin s'en faut.

Le matériau limoneux est très pur, avec une teneur en sable égale ou inférieure à 5 %. Le rapport limon grossier / limon fin est compris entre 1,5 et 1,7, excepté près de la surface où il est légèrement supérieur pour les raisons que nous avons invoquées.

L'indice d'entraînement de l'argile totale est de 2,5, tandis que celui de l'argile fine est de 3,2. L'accumulation de cette dernière se répartit sur toute la partie inférieure du solum avec un maximum dans l'horizon B/C où nous avons noté les épais revêtements argileux sur les faces verticales de structure. Les revêtements présentent une teneur en argile élevée, 65 %,

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE :

CARTE : VERVINS

PROFIL N° 10

% de terre séchée à 105° C

N° de labo.		Horizon	Profondeur en cm		Argile	Limons			Sables fins		S. G.	Calc.	M. O.	Fractionnement de l'argile	
					0-2 μ	2-10 μ	10-20 μ	20-50 μ	50-100 μ	100-200 μ	200-2000 μ			0-0,2 μ	0,2-2 μ
A 9410	A ₁	0 - 7/10			14.8	7.4	18.1	49.9	3.5	0.5	0.5		5.3	5.3	9.5
A 9411	A ₂ /A ₃	- 20/26			12.2	9.7	17.1	53.9	3.7	0.4	0.7		2.3	5.0	7.2
A 9412	B ₁	- 43/48			13.8	9.0	17.2	54.3	3.5	0.5	0.6		1.1	5.6	8.2
A 9413	B ₂₁ tg	- 66/72			25.0	9.9	16.6	44.9	2.9	0.3	0.4			14.0	11.0
A 9414	B ₂₂ tg	- 93/98			30.2	10.0	15.9	41.0	2.3	0.3	0.3			15.8	14.4
A 9415	B ₃ gx	-113/120			30.1	12.6	15.9	36.6	3.7	0.7	0.4			15.7	14.4
A 9416	B/C	-134/136			31.0	11.7	15.1	37.2	3.8	0.8	0.4			16.1	14.9
A 9417	II C ₁	-157/160			27.2	10.8	13.2	43.1	4.5	0.7	0.5			13.6	13.6
A 9418	II C ₂	-180/184			20.6	11.5	18.1	44.3	4.5	0.6	0.4			9.7	10.9
A 9419	II C ₃	- 195			17.5	11.7	17.4	47.4	4.3	0.7	1.0			5.0	12.5
J 623	E	Revêtements			64.5	5.2	6.1	21.7	2.0	0.3	0.2			46.4	18.1

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES :

Horizon	Densité app.	Densité abs.	Porosité %	Stabilité de structure							Humid. pF 2,5	P. F. pF 4,2	Eau utile %									
				Test d'instabilité			log. 10 ls	Test de percolation log. 10 K														
				Alc.	Benz.	Air		1 H.	2 H.	3 H.												
A ₁				22.6	34.8	17.7	0.99	1.60	1.55	1.53	28.5		11.3	17.2								
A ₂ /A ₃				18.3	18.9	15.6	1.11	1.50	1.42	1.36	26.5		7.1	19.4								
B ₁				12.2	3.6	10.0	1.58	1.36	1.32	1.28	27.1		6.5	20.6								
B ₂₁ tg				15.1	1.0	5.2	1.73	1.30	1.22	1.07	30.1		12.4	17.7								
B ₂₂ tg				6.2	1.0	2.6	2.15	1.01	1.01	0.98	32.4		12.6	19.8								
B ₃ gx				4.8	0.8	1.9	2.35	0.94	0.94	0.90	32.4		12.5	19.9								
B/C				3.8	0.8	1.9	2.42	0.73	0.73	0.68	30.6		10.1	20.5								
II C ₁				2.5	0.8	1.7	2.61	0.43	0.43	0.43	27.0		6.6	20.4								
II C ₂				1.9	0.7	1.6	2.61	1.93	1.93	1.93	27.2		10.6	16.6								
II C ₃				11.1	3.1	8.1	1.75	0.16	0.16	0.16	26.1		6.3	19.8								

ANALYSE CHIMIQUE :

Horizon	pH		Carb.	N tot.	C/N	En milliéquivalents/100 g de terre, à pH 7,0						% sat. S/T x 100	T 100 g argile	Fer libre	Fer HCl	Alum. éch.	Alum. libre	
	eau	KCl	%	%		C.E.C. T	Ca	Mg	K	Na	Total B.E. S			Fer Os %	Fe2O3 %	méq. %	Al2O3 %/oo	
A ₁	5.8	5.4	26.5	2.3	11.5		9.3	6.9	1.44	0.57	0.08	8.98	96.7	-	1.23	-	0.14	1.61
A ₂ /A ₃	6.5	5.5	11.5	1.1	10.5		6.0	3.8	0.81	0.11	0.05	4.77	79.5	-	1.16	2.12	0.65	1.69
B ₁	5.9	4.8	5.5				5.6	2.2	0.78	0.08	0.05	3.11	55.5	(30)	1.39	2.52	1.83	1.76
B ₂₁ tg	5.9	4.8					11.2	5.1	1.76	0.16	0.08	7.10	63.4	45	2.23	4.38	3.20	2.49
B ₂₂ tg	5.9	4.9					13.7	8.7	2.18	0.20	0.12	11.20	81.8	45	2.32	4.67	1.88	2.17
B ₃ gx	5.8	5.1					15.4	11.4	2.40	0.19	0.16	14.15	91.9	51	2.52	4.86	1.50	2.12
B/C	5.9	5.0					15.1	11.6	2.60	0.19	0.20	14.58	96.6	49	2.46	4.32	0.92	2.09
II C ₁	5.9	5.0					13.1	10.3	2.25	0.14	0.18	12.87	98.2	48	2.26	3.85	0.63	1.69
II C ₂	6.3	5.2					8.7	7.1	1.61	0.08	0.14	8.93	Sat	42	1.70	3.22	0.33	1.26
II C ₃	6.0	5.2					6.6	5.4	1.25	0.07	0.14	6.86	Sat	38	1.57	2.60	0.21	1.54
E							-	-	-	-	-	-	-	-	2.40	6.86	-	-

à dominance d'argile fine : 46 %, c'est-à-dire 72 % de l'argile totale. Nous verrons en micromorphologie qu'il s'agit de ferri-argilanes très typiques.

La porosité totale, obtenue dans ce cas-ci sur agrégats, montre une diminution assez marquée au niveau des horizons B_3 et B/C : 30 à 35 %, la densité apparente y étant plus élevée : 1,7 à 1,8.

Ce profil présente une stabilité structurale très bonne en surface du fait de la teneur en matière organique relativement bien humifiée. Elle devient assez brutalement beaucoup plus faible à la base du Bt et surtout dans les B_3 et B/C .

Nous noterons des teneurs en eau utile particulièrement élevées, vraisemblablement en relation avec la teneur importante en argile et limon fin.

La C. E. C. rapportée à l'argile paraît assez faible dans le B_1 , puis passe immédiatement à des valeurs comprises entre 45 et 50 meq. dans les horizons sous-jacents ; elle redescend ensuite dans le matériau II.

En ce qui concerne le taux de saturation, nous noterons la désaturation assez marquée de la partie supérieure de l'horizon Bt par rapport à l'ensemble du solum dont le pH est en moyenne très légèrement inférieur à 6.

L'indice d' entraînement du fer libre est ici de 2,2 environ. Le rapport Fe libre / Fe HCl varie entre 50 et 55, avec un maximum au niveau du limon II enfoui : 60. Il faut remarquer la teneur assez importante en fer des revêtements argileux, fer libre et surtout fer soluble à HCl, le rapport y étant de 35.

La variation de l'aluminium échangeable et de l'alumine libre dans le solum est assez spectaculaire. On constate une valeur très élevée de Al échangeable dans l'horizon $B_{21}t$: 3,2 meq., là où la C. E. C., liée à la teneur en argile, augmente nettement, et où la désaturation en Ca est toujours importante. L'alumine libre présente, par ailleurs, un maximum à ce même niveau, avec un indice Bt/A_2 de 1,55.

MICROMORPHOLOGIE

Squelette - Nature. Dominé par le quartz et quelques feldspaths, on observe de petits fragments de biotite et des grains de glauconie, essentiellement dans le B_3 et le C.

Dimensions. Assez homogènes, correspondant à un limon relativement pur.

Distribution. La distribution de base s'effectue au hasard, celle par référence apparaît sans relation.

Orientation. Le squelette est modérément à fortement orienté.

Plasma - Répartition. La répartition du plasma est très variable sur l'ensemble du sol. Assez homogène au niveau du A_2 , elle devient particulièrement hétérogène dans les horizons B pour retrouver une certaine homogénéité dans le C.

Séparations. De petites séparations plasmiques réparties dans la masse s'observent dans l'horizon A_2 , tandis qu'une plus grande variété caractérise les horizons B, avec dominance de séparations allongées en bandes dans les zones denses du $B_{21}t$, et dominance de séparations sur squelette dans le B_3 . Dans les parties dégradées elles sont isolées par taches.

Les assemblages plasmiques sont donc très variés : insepique dans la partie supérieure, masepique ou squelsepique dans les horizons d'accumulation, à nouveau à tendance insepique dans le bas du profil.

Nature. Argileux à argilo-ferrique dans le A_2 , la nature du plasma devient essentiellement argilo-ferrique au niveau des horizons $B_{21}t$ et B_3 .

Dans le $B_{21}t$, des zones plus délavées correspondent aux plages dégradées partiellement déferrifiées.

Distribution. Dans les horizons supérieurs, cette distribution présente quelques localisations plus denses correspondant aux séparations en taches. En sous-sol, elle est caractérisée par les bandes plasmiques de l'assemblage masepique, ainsi que par la distribution par référence du type cutanique liée à l'assemblage squelsepique.

Orientation. Le degré d'orientation, modéré dans l'horizon A_2 , devient plus important dans les horizons sous-jacents, surtout dans les séparations ; la trame, faiblement striée en surface, devient modérément striée en profondeur.

Structure de base - Le squelette est largement dominant par rapport au plasma, particulièrement dans le A_2 et les plages dégradées de la partie supérieure du Bt. Dans des zones d'accumulation préférentielles de concentrations plasmiques, le plasma peut être dominant localement dans le B_3 .

L'assemblage élémentaire des composants passe du type aggloméré de l' A_2 aux organisations intertextiques puis porphyriques dans les niveaux les plus argileux. Notons que dans la partie supérieure du Bt, la distribution du type aggloméré correspond aux zones légèrement dégradées, le type intertextique aux zones d'accumulation.

Vides - Les cavités et chenaux ortho de l'horizon A_2 et des plages dégradées font place à des vides du type méta, à parois adoucies dans les zones plasmiques plus denses au B. De nombreux chenaux apparaissent ensuite, ainsi que quelques "planes" liés à la structure macromorphologique à tendance prismatique du B_3 .

Caractéristiques pédologiques.

Concentrations plasmiques.

Cutanes. De très nombreux fragments de ferriargilanes redistribués dans la masse correspondent d'une part à un processus de dégradation, d'autre part à une activité biologique importante ; ils s'observent dans l'ensemble du Bt.

Dans les parties dégradées apparaissent des argilanes jaunes partiellement déferrifiés et modérément orientés qui constituerait l'argile préparée pour une migration secondaire.

Au niveau du B_3 se présentent deux types de cutanes bien définis : des ferriargilanes très épais, parfois de l'ordre du millimètre, fortement orientés, accompagnés de ferranes et de manganes, ensuite des argilanes secondaires, très fluidaux et faiblement orientés ("flecked orientation"). Très peu de revêtements y sont fragmentés.

Dans l'horizon C apparaissent encore quelques ferriargilanes accompagnés d'un peu de limon fin.

Glaebules. Les horizons A_2 et $B_{21}t$ présentent des nodules en formation à limites diffuses caractérisant un engorgement très temporaire de la partie supérieure du solum. Par contre, les niveaux

VERVINS 10

Horizons → Unités de description ↓	A ₂	B ₂₁ ^t	B ₃	C
<u>S. Matrix</u>				
<u>Squelette</u>	Quartz - Assez homogène et hétérogène.	Feldspaths - Assez homogène	Epidote - Glaucophane Assez homogène	Biotite Assez homogène
<u>Plasma</u>	Argileux à argilo-ferrique localement - Traces de matière organique - Assez homogène	Argilo-ferrique à argileux dans zones dégradées - Traces de matière organique Très hétérogène	Argilo-ferrique essentiellement, argileux dans certaines concentrations - Hétérogène	Argileux à argilo-ferrique Ségrégations de fer - Assez homogène
<u>Séparations plasmiques</u>	Quelques unes dans la masse, en très petites plages	Dans la masse et sur squelette dans zones denses.	Sur squelette et dans la masse, en petites bandes	Sur squelette et en petites taches dans la masse
<u>Assemblages plasmiques</u>	(Insepique)	Squel-in-masepique à in-ma-Squelsepique - Insepique localement.	in-ma-Squelsepique	in-Squelsepique à quel-Insepique
<u>Structure de base</u>	SK >> Pl	SK > Pl à SK >> Pl	SK > Pl, très localement Pl > SK	SK > Pl
<u>Assemblage élémentaire</u>	Aggloméré	Intertextique à aggloméré	Porphyrique	Porphyrique à intertextique
<u>Vides</u>	Cavités et chenaux ortho, quelques méta.	Cavités et chenaux méta dans zones denses, essentiellement ortho dans plages dégradées	Cavités et chambres méta régulières à irrégulières chenaux dendroïdes et anastomosés - Quelques "planes".	Cavités et chambres ortho assez régulières - Quelques cavités méta.
<u>Caractéristiques pédologiques</u>				
<u>Orthic - Séparations (v. Plasma)</u>				
<u>Concentrations Cutanées</u>	Quelques argilanes jaune faiblement orientés	, Horizon très complexe Zones denses : Très nombreuses ferriargilanes fragmentées et redistribuées, fortement orientées concentrations plasmiques jaune clair en petites masses avec remplissage de "silt". Zones dégradées : Argilanes jaune clair modérément orientées.	Plusieurs types : - Ferriargilanes très épais, striés et fortement orientées - Manganes ou ferranes recouvrant localement les premiers - Argilanes jaunes, très fluidaux, faiblement orientées. Du "silt" se retrouve dans le premier et le dernier type.	Ferriargilanes peu nombreux mais très épais, peu striés, fortement orientées, "Normal void" cutanées. Différenciation locale du fer - Un peu de "silt" intégré.
<u>Glaebules</u>	Quelques ionodules et figures de ferruginisation	Nodules à limites diffuses et "halos glaebulaires".	Petits nodules arrondis ou elliptiques à limites très nettes - Nodules plus diffus mais très concentrés	Nodules foncés isotropes à limites très nettes à assez nettes pour quelques uns - Quelques concrétions à limites nettes.
<u>Pedotubules</u>		Tendance à la formation d'isotubules	Quelques isotubules	
<u>Hérités - Pedorelicts</u>				
<u>Elementary fabric (Kubiena)</u>	Agglomeratic à Intertextic	Tendance générale Intertextic	Porphyropectic	Porphyropectic à intertextic