

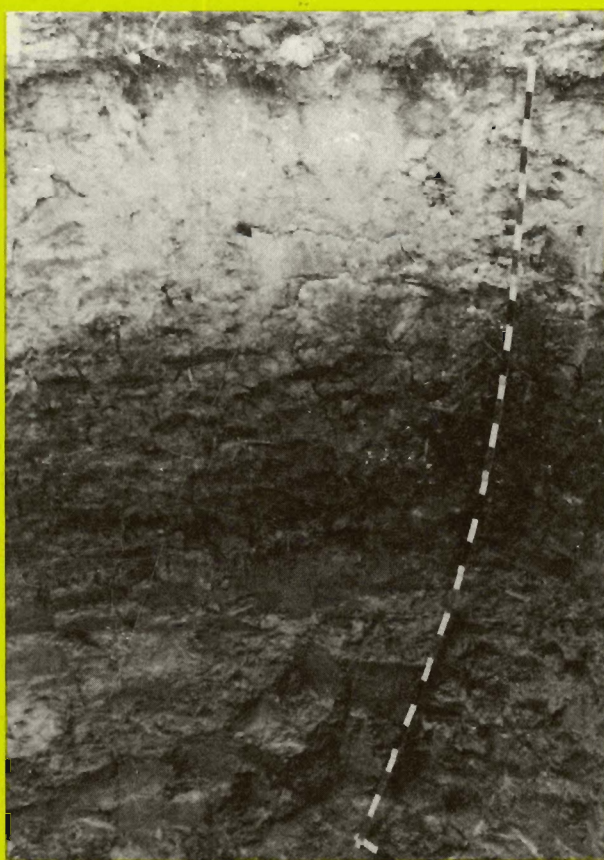
UNIVERSITÉ DE NANCY I

U.E.R. S.T.M.C.M.

INSTITUT NATIONAL
de la
RECHERCHE AGRONOMIQUE

Les planosols de Champagne humide

Pédogenèse et fonctionnement



Denis BAIZE

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DE NANCY

pour obtenir

le grade de Docteur ès Sciences Naturelles

par

Denis BAIZE

Les planosols de Champagne humide pédogénèse et fonctionnement

Soutenue publiquement le 25 octobre 1983 devant la commission d'Examen

Membres du Jury

MM.	B. SOUCHIER	Président
	F. LELONG	
	G. PEDRO	
	P. DUCHAUFOUR	
	R. DUDAL	
	B. GUILLET	
	M. JAMAGNE	

AVANT PROPOS

L'étude des planosols de Champagne humide débuta en 1969 lors d'une cartographie systématique à 1/50.000. Au cours des prospections sur le terrain nous avons été confrontés à des sols à forte différenciation texturale que nous nous sommes refusés à considérer comme de simples sols lessivés. Le contraste textural était trop fort et les horizons argileux profonds nous apparaissaient beaucoup plus comme des (B) d'altération que comme des Bt. C'est sur cette impression que se sont mises en route des études de plus en plus poussées mais qui ont tout de même mis du temps à mûrir.

En effet, jusqu'en 1977 notre activité a été essentiellement cartographique et, même plus récemment, nous n'avons jamais pu consacrer plus de 30 % de notre temps à ces recherches. En outre nous n'avons jamais disposé de laboratoire ni de personnel technique. C'est pourquoi nos travaux se sont greffés successivement les uns sur les autres depuis 1971 sans plan de travail préalable cohérent.

La nécessité constante de s'adresser à d'autres équipes ou d'autres laboratoires pour obtenir (parfois en nombre insuffisant) des données qui paraissent aujourd'hui élémentaires et irremplaçables nous a conduit à réaliser finalement un ensemble de travaux assez décousu. L'idée de rassembler ces différentes études en une thèse est récente et il faut bien admettre que, par rapport à l'ouvrage idéal, la présente monographie accuse quelques "trous" regrettables : pas d'étude approfondie sur la dispersabilité des argiles, pas d'étude de la dynamique de l'eau sous culture, pas d'étude des sols à forte différenciation texturale non hydromorphes que l'on rencontre au voisinage des planosols mais sur fortes pentes, etc...

De très nombreuses collaborations ont donc dues être demandées et ont été obtenues, ce qui fait de cette thèse presque une oeuvre collective dont le signataire n'est que l'animateur et pour ainsi dire le "chef d'orchestre".

Une synthèse finale a donc été tentée à partir des différentes données accumulées. L'auteur aurait voulu pouvoir réaliser l'étude des planosols de Champagne humide en utilisant toutes les approches possibles. Toutes les voies d'accès à la connaissance de ces sols n'ont pu être exploitées faute de temps et de moyens techniques à y consacrer. Nous conservons cependant l'ambition de présenter cette thèse selon les deux grands principes suivants :

- d'abord établir des faits d'une façon irréfutable, notamment en utilisant différentes techniques indépendantes les unes des autres ;

- laisser ensuite au maximum parler ces faits, en les confrontant, sans trop les solliciter et sans faire trop appel aux hypothèses.

Au lecteur de juger du résultat.

°
° °
°

Je tiens à remercier, en premier lieu, Monsieur B. SOUCHIER auquel suis redevable à plusieurs titres. D'abord, il a accepté de patronner cette t où l'on parle si peu (et si mal) de matières organiques. Ensuite, il m'a ouve très largement les portes de différents laboratoires du Centre de Pédologie Biologique du C.N.R.S. dont il est le directeur. Sans l'intervention efficace enthousiaste de plusieurs de ses collaborateurs, je n'aurais jamais pu dispos d'analyses chimiques et minéralogiques "fines" sans lesquelles mon travail n'a rait pas pu déboucher. Enfin, et malgré un emploi du temps surchargé, il a ter me consacrer un grand nombre d'heures à lire et relire mes brouillons successi et à me prodiguer ses conseils, avec patience et bienveillance. Si je me prése un peu comme le chef d'orchestre, bien visible du public, c'est lui qui a assu le rôle plus discret mais essentiel de l'impresario. Qu'il en soit très viveme remercié.

Ma reconnaissance va aussi aux personnalités qui ont accepté de lire attentivement mon mémoire et de faire partie du jury ; ils m'ont ainsi rendu de grands services par leurs critiques et leurs suggestions : Monsieur F. LELONG s'est attelé plus particulièrement à la lecture des chapitres IV et V, Monsieur G. PEDRO et B. GUILLET se sont surtout consacrés aux problèmes de pédogenèse.

Mes remerciements vont également à Monsieur R. DUDAL et à Monsieur Ph. DUCHAUFOUR qui ont bien voulu s'intéresser à ce travail et participer à mon jury. Le mot "PLANOSOLS", insidieusement glissé dans le titre, y a été certaine- ment pour beaucoup.

A Marcel JAMAGNE je dois un hommage *tout particulier*. Mon chef de serv depuis presque quinze ans, il est devenu, jour après jour, non seulement mon pre- mier conseiller scientifique mais tout simplement un ami. Le travail que je signe aujourd'hui est avant tout une production de son service, le S.E.S.C.P.F., pour lequel il a tant oeuvré.

Quatre autres chercheurs doivent être cités ici car je leur suis redev- ble de précieux conseils : R. BETREMIEUX et D. TESSIER en ce qui concerne le fonctionnement hydrique ; J. ROUILLER et M. ROBERT pour tout ce qui touche à la chimie et à la minéralogie.

Le reste de l'orchestre est composé d'une foule de personnes qui ont réalisé des analyses ou des travaux divers et qui ont donc participé au travail commun à différents titres :

- Roger DARTHOUT (1)
(organisation des stations de mesure, étalonnage de sonde à neutrons, mesures de pF) ;
- Gérald YART (1)
(installation des dispositifs de mesure in situ et maintenance, relevés des piézomètres et mesures neutroniques, mesures de densité apparente)
- Pierre COURTEMANCHE, Hervé GAILLARD et Didier CHESNEAU (1)
(relevés piézométriques et mesures neutroniques)
- Gérard RUNSER et Gilbert DARRAS (4)
(creusement de fosses et prélèvements) ;
- J. ROUILLER (3)
(analyses chimiques des eaux, du fer, de l'aluminium et des argiles) ;
- Georges VENEAU et Nicole VAN OORT (2)
(analyses chimiques, méthode Kiély-Jackson) ;
- G. BURTIN (3)
(séparation et quantification à la centrifugeuse Sharples) ;

- B. GERARD (3)
(analyse de C et N dans les eaux) ;
- Michel HERVIO (2) et F. LHOÏTE (3)
(diffractogrammes de rayons X) ;
- MMrs G. SOIGNET, H. CIELSKI et tout le personnel du laboratoire
d'analyse des sols I.N.R.A. d'ARRAS ;
- F. VAN OORT
(mesures de densités apparentes) ;
- P. GUILLORE (6)
(réalisation de lames minces) ;
- Mlle Colette MERE et les techniciennes de la Station Agronomique de
l'Yonne (analyses d'eaux) ;
- MMrs G. LUCOTTE et A. BUISSON (5)
(détermination des minéraux lourds) ;
- Mr J.M. ROYER
(rédaction du chapitre "Végétation naturelle") ;
- Lucien TURC (2)
(calculs des ETP et des bilans hydriques décennaux) ;

Ont, en outre fourni des renseignements :

- Mr. L. COUREL
(sédimentologie du Crétacé et minéraux lourds) ;
- Station Météorologique d'Auxerre-Saint-Georges.

Et enfin, je remercie particulièrement ceux qui ont permis la publication
de cet ouvrage :

- Béatrice NOIRTIN (1)
(dessin des figures et réalisation des maquettes)
aidée de Michel VELLY , Brigitte LE BERRE et Lucien ROUSSET (1)
- Jacqueline MARTINEZ (1)
(ensemble de la dactylographie et de la présentation)
dont la gentillesse, la patience et l'efficacité méritent une
mention toute spéciale.

°
° °
°

* Monsieur J. CONCARET n'est pas intervenu au cours de la rédaction de
cette thèse. Cependant je lui dois beaucoup, du temps où il était mon patron à la
tête de la Station Agronomique de l'Yonne. Non seulement il m'a initié concrètement
à la cartographie des sols, mais il m'a inculqué deux tournures d'esprit qui me pa-
raissent nécessaires sinon suffisantes dans la pratique scientifique : le scepti-
cisme et l'esprit critique (y compris, naturellement, auto-critique). J'espère que,
en retour, ma description du fonctionnement hydrique des planosols de Champagne
humide viendra illustrer avec bonheur ses idées sur le drainage des sols à profil
différencié.

°
° °

(1) I.N.R.A. - S.E.S.C.P.F. Orléans

(2) I.N.R.A. - Versailles

(3) C.N.R.S. - C.P.B. - Nancy

(4) Station Agronomique de l'Yonne - Auxerre

(5) Institut des Sciences de la Terre - Université de Dijon

(6) I.N.A. Grignon

PLAN GÉNÉRAL

	<i>pages</i>
Avant propos	
INTRODUCTION	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">I. LA CHAMPAGNE HUMIDE</div>	
1. APERCU GENERAL	6
2. LITHOLOGIE	6
A. Les matériaux géologiques argileux.	9
B. Les matériaux géologiques sableux.	9
C. Les formations superficielles limoneuses.	11
3. CLIMAT	
A. Températures.	12
B. Précipitations.	13
C. Bilans hydriques.	14
4. VEGETATION ET CULTURES	
A. Végétation naturelle.	15
B. Sylviculture.	16
C. Cultures.	16
5. PEDOLOGIE GENERALE	17
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">II. PRESENTATION DES SOLS</div>	
1. MACROMORPHOLOGIE	23
A. Les humus.	23
B. La micropodzolisation.	26
C. La couleur des horizons A ₂ .	30
D. Aspects de l'hydromorphie dans les horizons A.	31
E. La "dégradation morphologique" au sommet des horizons (B).	32
F. Les horizons (B).	34
G. Les horizons C.	36
H. Les éléments grossiers apparemment allochtones.	37
I. Récapitulation - sélection de sept profils types.	38
2. ELEMENTS DE MICROMORPHOLOGIE	41
A. Profil Héry.	41
B. Profil Pontigny.	43
C. Profil Mont-Saint-Sulpice.	43
D. Profil Nationale 77.	43
E. Profil Rebourseaux.	46
F. Conclusions.	46

3. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE COURANTE

- A. Etude des fractions "argile" < 2 μm .
- B. Complexe absorbant et pH.
- C. Le fer.
- D. L'aluminium.
- E. Récapitulation - première synthèse.

III. ETUDE GRANULOMETRIQUE

- 1. ETUDE PREALABLE DE 111 HORIZONS A
- 2. TYPOLOGIE GRANULOMETRIQUE DES DIVERS FACIES LITHOLOGIQUES
- 3. COMPARAISON DES "SQUELETTES GRANULOMETRIQUES" AU SEIN DES PROFILS
 - A. Approche qualitative - application aux 55 profils.
 - B. Approche quantitative - application aux 55 profils.
 - C. Approche quantitative - application aux sept principaux profils.
- 4. APPAUVRISSEMENT EN ARGILE DES SOLS
- 5. ARGUMENTS TIRES DE CARTOGRAPHIES A DIFFERENTES ECHELLES
 - A. Moyenne échelle.
 - B. Etude d'un secteur test à grande échelle.
- 6. CONCLUSION - DISCUSSION

IV. ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

- 1. INTRODUCTION
 - A. Objectifs.
 - B. Plan.
 - C. Dispositifs de mesure.
 - D. Remerciements.
- 2. CLIMAT DES CINQ ANNEES ET CLIMAT GENERAL
 - A. Choix de la station météorologique de référence.
 - B. Précipitations annuelles.
 - C. Précipitations mensuelles.
 - D. Précipitations mensuelles et saisonnières des cinq années étudiées.
 - E. Précipitations : nombre de jours et intensité.
 - F. Températures moyennes mensuelles.
 - G. Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles.
 - H. Conclusions.
- 3. BILANS HYDRIQUES DECADEAIRES FONDES SUR L'E.T.P.
- 4. PIEZOMETRIE.
 - A. Piézomètres de surface.
 - B. Piézomètres profonds.
- 5. HUMIDITES DETERMINEES PAR MESURES NEUTRONIQUES
 - A. Méthode neutronique : principe et étalonnage.
 - B. Variations des comptages bruts au cours du temps.
 - C. Valeurs caractéristiques de l'humidité et réserves en eau.
 - D. Bilans volumiques.

6. DONNEES TENSIOMETRIQUES - RELATIONS pF/HUMIDITES	
A. Evolution du potentiel total.	127.
B. Autre estimation de la capacité au champ à partir de données tensiométriques.	131.
C. Relations potentiel matriciel/teneurs en eau.	133.
7. COMPARAISONS ENTRE LES MESURES ET LES BILANS CALCULES	
A. Humidités du sol.	138
B. Pertes en eau en périodes estivales.	143
C. Conclusions méthodologiques.	144
8. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX S'ECOULANT EN SURFACE (SITE D'HERY)	145
9. CONCLUSIONS	
A. Récapitulation.	151
B. Synthèse.	153

V. BILANS ISOQUARTZ

1. INTRODUCTION	
Objectifs.	157
Choix de la méthode des bilans isoquartz.	157
Remarque sur les bilans isoquartz.	158
Réalisation - Hypothèses de base.	158
Calculs.	160
2. METHODE DETAILLEE ET APPLICATION AU PROFIL HERY	
A. Approche qualitative.	161
B. Approche quantitative de base.	162
C. Déterminations des taux de quartz.	166
D. Bilans isoquartz.	172
E. Discussion.	177
3. PROFIL PONTIGNY	
A. Présentation du profil et déterminations des taux de quartz.	179
B. Bilans isoquartz.	179
4. PROFIL REBOURSEAUX	
A. Présentation du profil et déterminations des taux de quartz.	186
B. Bilans isoquartz.	187
5. PROFIL FLOGNY	
A. Présentation du profil et déterminations des taux de quartz.	193
B. Bilans isoquartz.	193
6. RECAPITULATION - CONCLUSIONS	
A. Comparaison des quatre bilans globaux.	197
B. Bilan des épaisseurs.	200
C. Nature des pertes des horizons A.	200
D. Composition des pertes des horizons A.	200
E. Gains des horizons (B).	204

VI. LE COMPLEXE D'ALTERATION

1. ACIDITE ET CATIONS ECHANGEABLES AU pH DU SOL	209
---	-----

2. BILAN DES DIFFERENTES FORMES DU FER ET DE L'ALUMINIUM	
A. Bilan des différentes formes du fer.	212
B. Bilan des différentes formes de l'aluminium.	218
3. ETUDE DES FRACTIONS "ARGILES" DU PROFIL HERY	
A. Méthode.	222
B. Proportions.	222
C. Diffractogrammes de rayons X.	223
D. Produits extraits par le réactif Mehra-Jackson.	228
E. Composition chimique des sous-fractions "argile" après traitement au dithionite.	230
F. Synthèse.	233
4. LES LIMONS DU PROFIL HERY - PRESENCE DE JAROSITE	233
5. ETUDE DES FRACTIONS "ARGILES" DU PROFIL FLOGNY	
A. Proportions.	235
B. Diffractogrammes de rayons X.	237
C. Produits extraits par le réactif Mehra-Jackson.	243
D. Composition chimique des sous-fractions "argile" après traitement au dithionite.	245
E. Synthèse.	247
6. SYNTHÈSE PARTIELLE	
A. La microdivision.	249
B. La dispersion des argiles.	250
C. Les eaux d'écoulement superficiel et leur contenu.	251
D. Tentative de détermination de l'âge des planosols.	253
E. Processus géochimiques.	256

VII. SYNTHÈSE GÉNÉRALE - PEDOGÈNESE

1. INTRODUCTION	261
2. RECONSTITUTION HYPOTHÉTIQUE DE LA SÉQUENCE CHRONOLOGIQUE D'ÉVOLUTION	262
3. EXTENSION DES PLANOSOLS D'ALTERATION DIRECTE EN FRANCE	266
4. COMPARAISON AVEC D'AUTRES TYPES DE SOLS	
A. Comparaison avec les pélosols lorrains.	266
B. Comparaison avec les sols sur limons loessiques du bassin de Paris.	269
5. CLASSIFICATION	
A. selon la classification FAO.	270
B. Selon la Soil Taxonomy.	271
C. Selon la classification française.	271
6. CE QUI N'A PAS PU ÊTRE FAIT	272
7. DERNIÈRE REMARQUE	273
RESUME.	275
BIBLIOGRAPHIE.	279

<u>ANNEXES</u> :	N° 1 : Description et analyses des sept principaux profils.
	N° 2 : Examens micromorphologiques à la loupe binoculaire polarisante.
	N° 3 : Diffractogrammes de rayons X.
	N° 4 : Minéraux lourds.
	N° 5 : Données annexes relatives au fonctionnement hydrique.
	N° 6 : Données annexes relatives aux bilans isoquartz.
	N° 7 : La Ferrolyse : description des différents stades.

INTRODUCTION

Le "grand groupe" des planosols fut introduit dans la classification des sols de l'USDA en 1938. Le terme s'est généralisé depuis, notamment suite à son utilisation au plus haut niveau taxonomique dans la légende de la carte mondiale des sols FAO/UNESCO.

Le mot planosol sert à désigner des sols à horizon E albique reposant sans transition sur un horizon peu ou pas perméable, des caractères d'hydromorphie devant apparaître dans une partie au moins de l'horizon E.

En ce qui concerne la formation des planosols, il nous paraît tout à fait essentiel de bien distinguer trois cas :

1. L'horizon peu perméable résulte d'une illuviation d'argile importante au sein du profil. Le planosol correspond alors au stade ultime de sols lessivés dégradés (BEGON et JAMAGNE, 1972). Pour ces sols nous avons proposé le terme de "planosols secondaires" (car secondaires à un autre processus pédologique préalable) (BAIZE, 1977).

2. Dès l'origine, préexiste un matériau hétérogène à deux couches. La forte différenciation texturale et le caractère brutal et horizontal du contact entre horizons A et B ne sont pas essentiellement pédogénétiques. Il s'agit là des "planosols lithomorphes" (FAVROT et LEGROS, 1972).

3. Les sols se sont directement différenciés à partir d'un matériau plus ou moins argileux, homogène. Une certaine illuviation d'argile n'est pas exclue mais elle n'est pas la cause principale de la forte différenciation texturale. Nous avons proposé de les dénommer "planosols d'altération directe" ou "planosols primaires". Ce sont ces sols qui posent le plus de questions aux pédologues et pour lesquels les mécanismes et les processus sont encore mal connus.

Dans une mise au point très complète, DUDAL (1971) indique que les planosols occupent principalement la zone de forêt-steppe qui fait transition entre les climats semi-arides et humides. Il signale cependant que l'on peut les trouver aussi dans d'autres milieux, tempérés, boréaux et tropicaux. DUCHAUFOUR (1972) considère pour sa part que les planosols caractérisent les climats de type méditerranéen et tropical à saisons très contrastées. La caractéristique écologique la plus souvent signalée par les différents auteurs comme associée à l'existence de planosols est l'alternance de saisons très sèches et de périodes très pluvieuses.

Même si l'on se limite aux "planosols primaires", on ne peut qu'être frappé par la variabilité des morphologies et des pH d'une part et par les différentes parentés des planosols avec d'autres types de sols. Nous nous limiterons à citer quelques exemples : planosols vertiques à caractères isohumiques en Uruguay (ROSSIGNOL, 1981) ; planosols à horizon B_t noir de Colombie qui pourraient constituer un faciès de convergence par différentes voies à partir de vertisols, de sols isohumiques ou de solonetz (FAIVRE, 1977) ; sols gris planiques vertiques d'Ethiopie résultant de la transformation de sols rouges fersiallitiques (RAUNET, 1977) ; planosols fersiallitiques acides de Bulgarie (TRASHLIEV, NINOV et al., 1975)...

La seule constante dans tous les planosols semble bien être une "saturation hydrique temporaire" (MORRAS, 1978) qu'elle soit plutôt d'origine climatique ou plus liée au caractère imperméable de la roche-mère.

La morphologie planosolique des "planosols primaires" semble donc résulter d'un phénomène de convergence : il est toujours fait mention d'un appauvrissement en fer et surtout en argile des horizons superficiels, mais il n'est pas sûr que le même processus pédologique soit en cause dans tous les cas.

°
° °
°

C'est grâce au développement des travaux de cartographie que des sols planosoliques ont été décrits dans le Bassin Parisien. Les plus typiques d'entre eux (ceux qui méritent le mieux l'appellation de planosols) ont été rencontrés sur des matériaux sédimentaires argileux du Tertiaire (BEGON, HARDY et al., 1976 - Noyonnais) ou du Crétacé (BAIZE, 1976 - Champagne humide ; ISAMBERT, 1982 - Perche). Il est certain qu'il en existe également sur matériaux argileux du Lias en bordure du Morvan.

En ce qui concerne tous ces planosols, on ne peut pas faire appel à l'existence d'un climat particulier à saisons contrastées. En première approximation, deux facteurs de leur formation paraissent devoir être invoqués en priorité :

- le caractère imperméable des roches-mères ;
- des positions topographiques sur pentes faibles ou modérées.

Le travail présenté ici consiste en l'étude approfondie des planosols particulièrement acides développés à partir des sédiments argileux du Crétacé inférieur en Champagne humide méridionale.

°
° °
°

Quelles qu'aient pu être les difficultés rencontrées pour la réalisation de cette monographie, une certaine démarche logique s'est toujours imposée à nous depuis plus de dix ans. Elle se retrouve aujourd'hui dans le plan de ce mémoire et préside, pour l'essentiel, à la succession des chapitres :

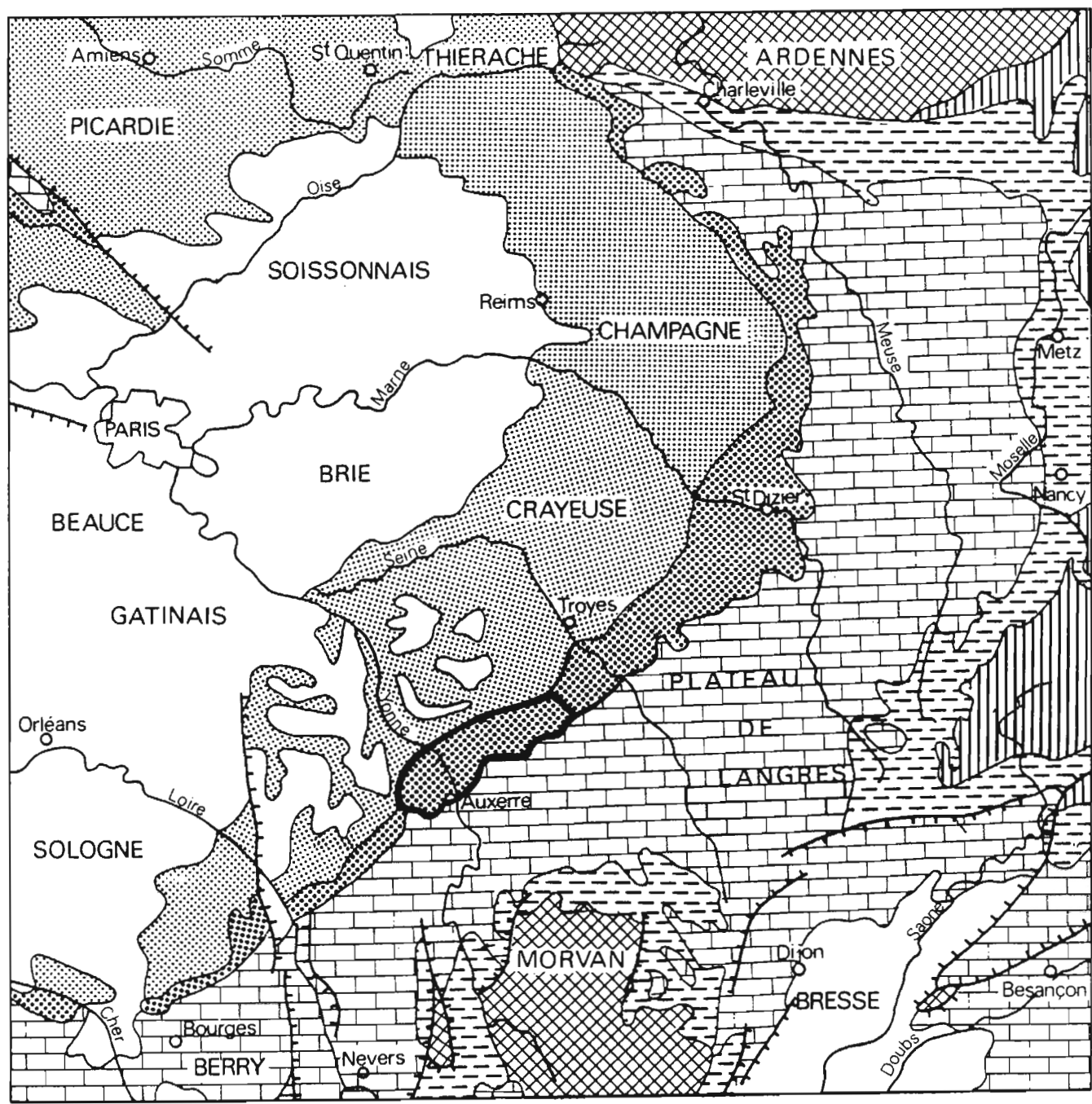
- constat de la morphologie planosolique généralisée des sols de cette petite région naturelle et des variations de certains caractères secondaires ;
- sélection de sept stations types choisies pour leurs profils bien représentatifs des différents "faciès" de planosols ;
- exploitation maximale des données analytiques courantes accumulées lors de la cartographie à échelle moyenne ;
- vérification, grâce à différents arguments, du caractère autochtone des horizons de surface et de leur parenté avec les horizons profonds ;
- connaissance précise de la dynamique de l'eau sur deux sites ;
- réalisation d'analyses physico-chimiques approfondies sur des échantillons sélectionnés pour leur intérêt tout particulier.

Des conclusions partielles sont proposées à la fin de chacun des principaux chapitres.

Une synthèse finale tentera, à partir de l'ensemble des données rassemblées ou acquises, une reconstitution causale des phénomènes observés dans un milieu de pédogénèse suffisamment original et complexe pour ne pas avoir livré encore toutes les réponses aux questions posées...

CHAPITRE I

La Champagne humide



0 50 100 150 Km
Echelle: 1/2 500 000

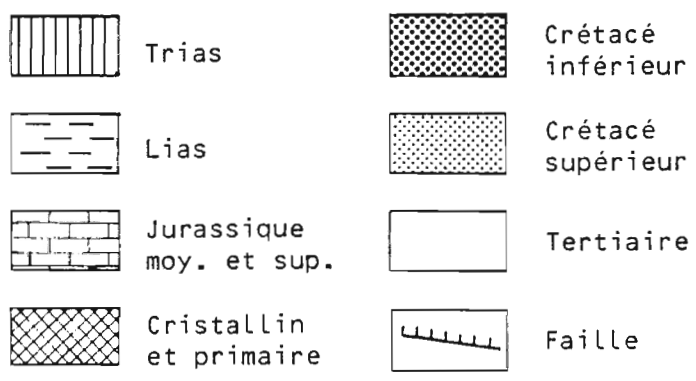
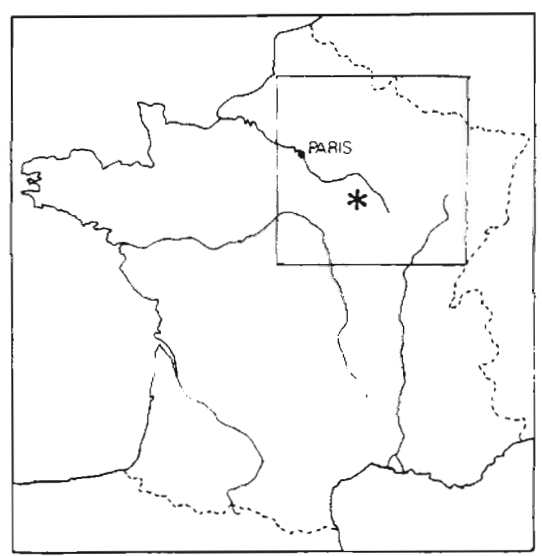


FIGURE 1 : CARTE GEOLOGIQUE DE L'EST DU BASSIN PARISIEN.
Localisation du secteur étudié.



1. APERCU GENERAL

La Champagne humide est une région naturelle qui correspond strictement aux affleurements des couches du Crétacé inférieur.

Le travail qui est présenté aujourd'hui constitue l'aboutissement d'études qui débutèrent en 1969 au cours de la cartographie à échelle moyenne (1/50.000 et 1/100.000) d'une partie seulement de cette région (BAIZE, 1976, 1976, 1977, coupures I.G.N. à 1/50.000 : Chablis, Saint-Florentin, Chaource et Auxerre).

Il ne concerne donc que le secteur délimité sur la figure 2 lequel peut être subdivisé en :

- Champagne humide auboise ;
- Champagne humide icaunaise (= de l'Yonne) ;
- Puisaye auxerroise.

Dans la suite de ce travail, nous continuerons à dénommer globalement "Champagne humide" l'ensemble de ce secteur malgré la relative inadéquation de ce terme.



Le Crétacé inférieur connaît de rapides variations lithologiques tant verticales que latérales, mais les sédiments argileux dominent. Il s'agit donc, avant tout, de matériaux peu perméables et peu résistants à l'érosion.

C'est pourquoi la Champagne humide et son prolongement vers l'ouest forme une plaine de faible altitude (120 à 230 m, sauf exception), modérément vallonnée, sillonnée par un réseau hydrographique superficiel fort dense et très hiérarchisé. Ces reliefs peu accentués se raccordent en pente douce avec les grandes vallées (Armanche, Armançon, Serein, Yonne).

Dans cette région d'habitat dispersé, les sols à excès d'eau sont la règle et la tendance naturelle est à une acidité marquée. Aussi constate-t-on la dominance de vastes massifs forestiers et des prairies permanentes.

2. LITHOLOGIE

La stratigraphie de détail du Crétacé inférieur est très mal connue des géologues eux-mêmes. Aux très nombreux changements lithologiques verticaux à l'intérieur d'une même étage comme d'un étage à l'autre, viennent s'ajouter de rapides modifications latérales de faciès, affectant surtout l'Albien. En outre, un certain nombre de failles, difficiles à déceler sur le terrain, compliquent encore l'étude fine du secteur.

Malgré cela, il s'avère que la quasi-totalité des assises géologiques sont des matériaux argileux présentant un large éventail tant sur le plan pétrographique que sur le plan granulométrique.

PROFIL	PROFONDEUR ECHANTILLON EN CM	MATERIAU GEOLOGIQUE	Argile %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	K ₂ O %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	TiO ₂ %	CaCO ₃ %
FLOGNY	130 - 140	Aptien n°5	48,7	62,9	18,86	6,05	3,10	0,95	0,62	0,19	0,95	3,5
MONTERCY	95 - 115	"sables verts" peu glauconieux n°6	8,5	94,6	3,21	3,42	1,30	0,40	0,22	0,04	0,20	0
HERY	140 - 155	"sables verts" glauconieux n°6	23,7	75,1	6,10	9,54	2,76	1,21	0,32	0,05	0,33	0
LA VILLOTTE	55 - 75	argiles albiennes n°7	39,3	70,0	12,85	6,52	1,87	0,83	0,24	0,31	0,63	0
PONTIGNY	70 - 85	argiles glauconieuses et calcaires	42,1	70,6	13,41	5,79	2,14	1,24	0,71	0,09	0,87	0
	115 - 125	albo-cénomaniennes n°11	32,8	54,5	9,26	4,53	1,72	0,99	0,70	0,08	0,67	26,5
REBOURSEAUX	125 - 140	argiles cénomaniennes n°12	52,1	69,4	13,23	5,89	1,19	0,78	0,56	0,16	0,92	0
CORMES (PERCHE)	115 - 130	glauconite cénomaniennes	23,5	61,9	8,60	12,31	4,79	2,16	0,77	0,07	0,45	0
VASSY (TERRE PLAINE)	55 - 90	argiles toarciennes	41,8	-	19,28	6,00	3,52	1,18	0,48	0,24	-	0
SAUSSEY (Auxois)	90 - 130	argiles rhétiennes	48,0	64,0	15,88	5,88	4,96	1,26	0,18	0,13	0,93	0

Champagne humide

TABLEAU 1 : COMPOSITION CHIMIQUE (EN OXYDES) DE 9 ROCHES-MERES
DE PLANOSOLS DU BASSIN DE PARIS.

Les numéros des matériaux géologiques renvoient à la figure 3

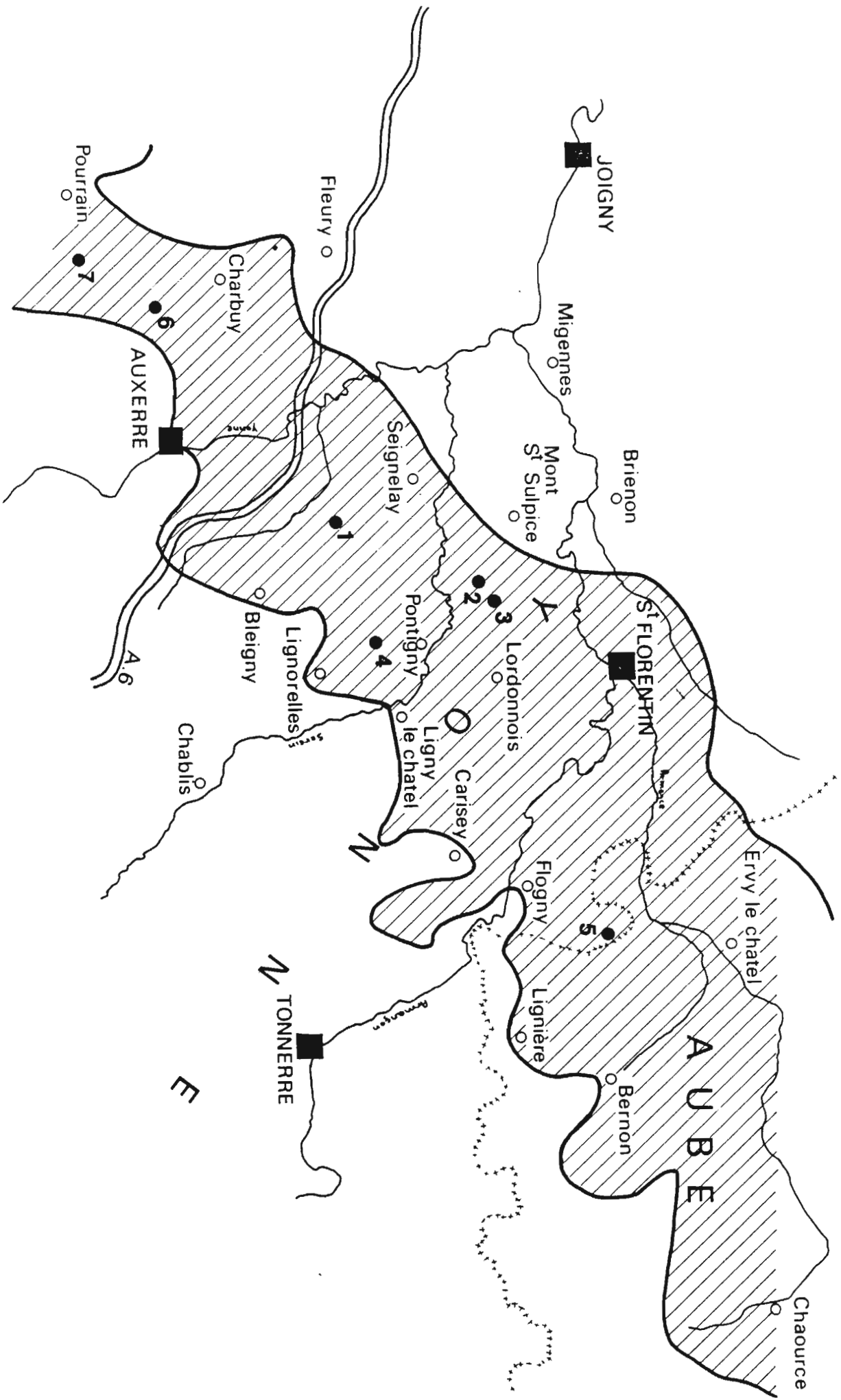


FIGURE 2 : LA CHAMPAGNE HUMIDE : LE SECTEUR ETUDIE.

EMPLACEMENT DES SEPT PRINCIPAUX PROFILS :

- 1 = Héry ; 2 = Pontigny ; 3 = Rebourseaux ; 4 = Nationale 77 ;
- 5 = Flogny ; 6 = Montmercy ; 7 = La Villotte.

Après avoir cartographié plus de 50.000 hectares en Champagne humide nous proposons les schémas lithologiques de la figure 3.

A. LES MATERIAUX GEOLOGIQUES ARGILEUX.

Du point de vue lithologique, on peut distinguer :

- des marnes ;
- des argiles calcaires ;
- des argiles calcaires glauconieuses ;
- des argiles glauconieuses non calcaires ;
- des argiles non calcaires et non glauconieuses.

Du point de vue granulométrique l'étude détaillée a été faite (chapitre III). Si l'on veut se limiter à un classement simple, utilisable par exemple sur le terrain, on peut dégager quatre catégories :

- des argiles lourdes ;
- des argiles à "squelette" limoneux ;
- des argiles à "squelette" sableux fin important ;
- des argiles sableuses.

De plus, deux matériaux géologiques qui ne sont pas très argileux à l'origine, le deviennent rapidement sous l'influence d'une altération assez modérée. Il s'agit des marnes après décarbonatation (même incomplète) et des "sables verts" de l'Albien inférieur après "argilisation" des grains de glauconie.

C'est toujours à partir de ces matériaux argileux que se développent les planosols objets de cette thèse.

B. LES MATERIAUX GEOLOGIQUES SABLEUX.

Dans le Crétacé inférieur, il n'existe que deux niveaux purement sableux : l'Albien moyen et des intercalations localisées à l'intérieur du Barrémien inférieur (niveaux 9 et 4a du schéma). Nombre de sols qui présentent des horizons sableux à leur partie supérieure (sur une épaisseur de 40 à 110 cm) ne sont pas des sols développés sur matériaux sableux mais résultent d'une évolution planosolique de matériaux argilo-sableux.

- Les sables quartzeux de l'Albien moyen ("sables de Puisaye" ou "de Frécambault") constituent un niveau continu, épais de 20 m, depuis Pourrain à l'ouest jusqu'à Saint-Florentin et Lordonnois à l'est. Sur la rive droite de l'Armançon, cette couche disparaît et il ne subsiste plus, dans l'Aube, que quelques veines sableuses de peu d'importance.

Les fractions de 200 à 500 et de 1000 à 2000 μm dominent largement tandis que le taux d'argile n'excède pas 6 %. La couleur ocre-rouille assez vive est due à des oxydes de fer.

- Les lentilles sableuses irrégulières du Barrémien supérieur sont constituées d'un sable quartzeux très fin (fractions granulométriques dominantes : 50 à 100 et 100 à 200 μm) passant même parfois insensiblement aux limons grossiers (20 à 50 μm).

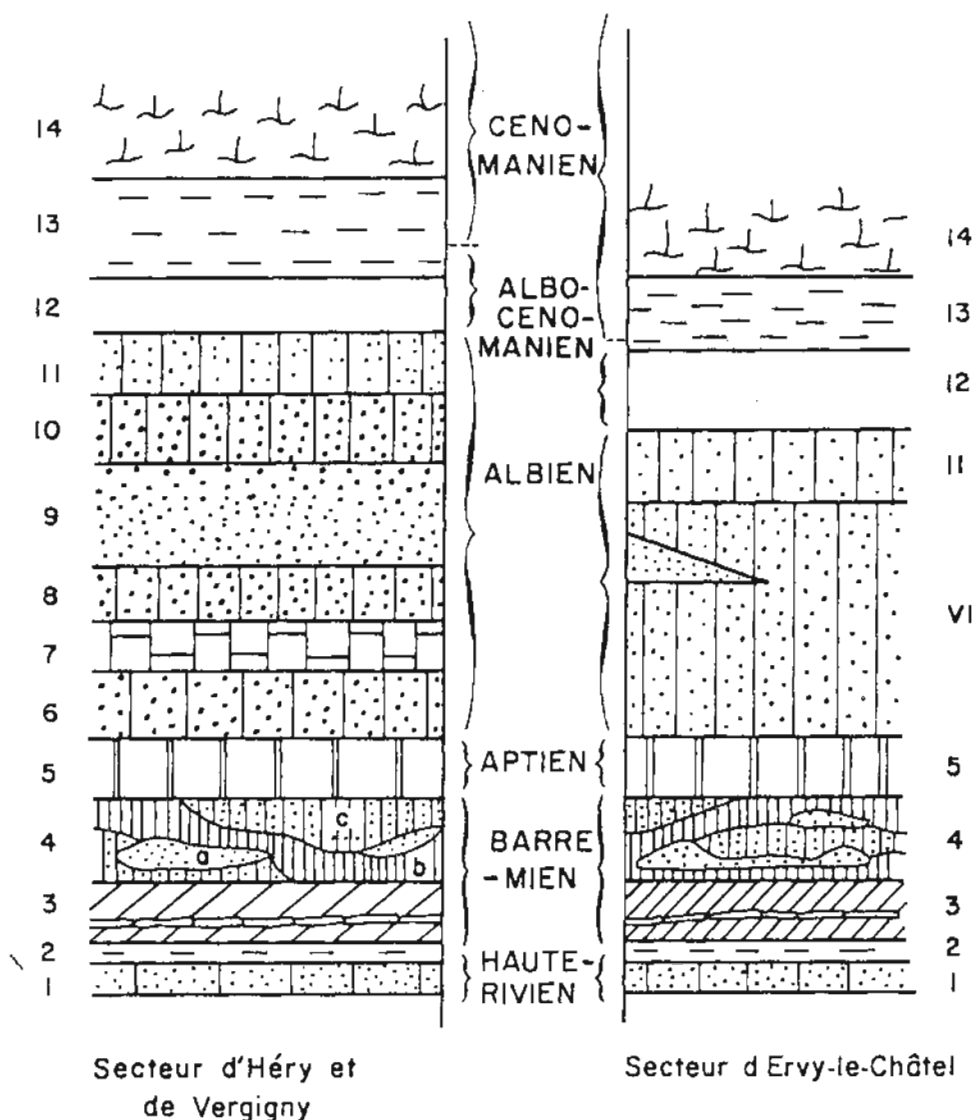


FIGURE 3 : LITHOLOGIE SCHEMATIQUE DU CRETACE INFÉRIEUR.

- 1 : Calcaire roux à squelette quartzeux.
- 2 : Marnes et marno-calcaires.
- 3 : Argiles calcaires à bancs de lumachelles.
- 4 : a. Sables fins à très fins.
b. Argiles bariolées pures.
c. Argiles bariolées sableuses ou finement sableuses.
- 5 : Argiles grises faiblement calcaires, lourdes ou finement sableuses.
- 6 : "Sables verts" altérés en argiles sableuses glauconieuses.
- 7 : Argiles grises finement sableuses.
- 8 : Argiles sableuses glauconieuses.
- 9 : Sables quartzeux purs, moyens.
- 10 : Argiles sableuses glauconieuses.
- 11 : Argiles calcaires finement sableuses, glauconieuses.
- 12 : Argiles brunes calcaires.
- 13 : Marnes.
- 14 : Craie marneuse assez dure.
- VI : Complexe d'argiles sableuses souvent glauconieuses.

Les sols qui s'y développent sont très acides sous forêts : peu différenciés sous feuillus mais à nette évolution podzolique sous résineux.

C. LES FORMATIONS SUPERFICIELLES LIMONEUSES.

a) "LIMON" ANCIEN DE CHAMPAGNE HUMIDE :

ce "limon" de couverture, épais de 1,50 m à 3 m environ, revouvre divers étages du Crétacé inférieur (Barrémien supérieur, Aptien, Albien) ainsi que des niveaux d'alluvions anciennes ("grève") situés sur la rive droite de l'Armançon de 5 à 40 m au-dessus de la vallée actuelle.

Ce matériau a dû recouvrir, à une époque assez lointaine, la quasi-totalité de la Champagne humide. Depuis lors, cette couverture a été déblayée par l'érosion au passage des vallées, des vallons et de leurs affluents. Sur la rive gauche de l'Armançon il n'en reste aujourd'hui que des surfaces réduites, localisées strictement aux affleurements en position plane du Barrémien supérieur. Sur la rive droite et jusqu'à Chaource, elle a été mieux conservée et occupe des superficies importantes, sur pente faible ou nulle, dont une bonne partie est demeurée sous forêt.

Les sols qui s'y sont développés sont soit des *sols lessivés dégradés hydromorphes*, soit des *sols lessivés hydromorphes* qui ont peu ou n'ont pas été affectés par la dégradation et cela soit par suite d'un défrichement ancien ayant bloqué leur évolution, soit en relation avec l'existence d'un substratum moins perméable ayant occasionné une hydromorphie moins intense.

La totalité du matériau ayant été le siège des processus de lessivage de l'argile, nous ne connaissons pas la granulométrie initiale du matériau original. Cependant la cartographie et les analyses ont mis en évidence l'existence de deux pôles granulométriques : un pôle nettement plus sableux s'opposant à un pôle plus limoneux. Pour chiffrer ces différences nous présentons dans le tableau ci-dessous les "squelettes granulométriques". Les quatre fractions Limon fin (2 à 20 µm), Limon grossier (20 à 50 µm), Sable fin (50 à 200 µm) et Sable grossier (200 à 2000 µm) y sont exprimées en pourcentage de leur somme.

"SQUELETTE GRANULOMETRIQUE"	LF	LG	SF	SG
Matériau plus limoneux (moyenne)	30 à 48 % (40,8 %)	30 à 42 % (36,8 %)	11 à 23 % (17,3 %)	1 à 8 % (5,1 %)
Matériau plus sableux (moyenne)	20 à 37 % (27,6 %)	19 à 35 % (28,1 %)	25 à 43 % (32,0 %)	8 à 18 % (12,2 %)

Les deux sous-types de matériaux se répartissent irrégulièrement et apparemment au hasard mais il est probable cependant que ces différences proviennent de l'influence des substratums crétacés (niveaux plus ou moins sableux) au moment du dépôt de ce matériau de couverture.

b) "LIMON" DE TERRASSE DE L'ARMANCE :

Ce matériau se localise, sur les deux rives de l'Armanche, en une position géomorphologique de terrasse faiblement inclinée qui se distingue assez bien des collines environnantes dont la pente est plus marquée et du fond même de la vallée, parfaitement plat, occupé par des matériaux argileux lourds très différents. Sa texture est effectivement toujours limoneuse. Le taux d'argile demeure faible, inférieur à 20 %, tandis que les sables fins sont présents en grande quantité. Epais le plus souvent de 50 cm à 1,50 m, ce "limon" de terrasse recouvre différents niveaux crétacés et divers lambeaux d'alluvions anciennes. A Soumaintrain, sous l'influence d'un substratum albien sableux, sa texture est nettement limono-sableuse.

"Squelette granulométrique"	LF	LG	SF	SG
Pôle le plus limoneux	43 %	36 %	14 %	7 %
Pôle limoneux assez sableux	30 %	32 %	25 %	13 %
Pôle limono-sableux (Soumaintrain)	24 %	20 %	42 %	14 %

La mise en place par colluvionnement latéral des matériaux limoneux, notamment des horizons superficiels tronqués des sols développés sur "limon" ancien de Champagne humide, est la plus probable. D'autres types de remaniements ne sont pas non plus totalement à exclure.

Le "limon" de terrasse porte des sols peu différenciés et qui semblent peu évolués. L'hydromorphie y est le processus dominant.

3. CLIMAT

(Voir aussi chapitre IV page 98)

Les données climatiques dont nous disposons sont assez incomplètes sauf en ce qui concerne la station d'Auxerre-Saint-Georges. Celle-ci est bien située à l'intérieur de la région qui nous intéresse mais à proximité immédiate de la vallée de l'Yonne qui constitue un axe climatique particulier (dorsale relativement chaude et relativement sèche).

A. TEMPERATURES.

Les moyennes annuelles restent toujours très voisines de 10° 5 (Auxerre = 10° 7, Lordonnois = 10° 4).

Auxerre (1951 - 1970)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Températures moyennes en°C	2,5	3,4	6,9	10,0	13,5	16,8	18,6	18,0	15,9	11,5	6,3	3,4	10,7
Moyenne des températures minimales quotidiennes en°C	- 0,3	- 0,1	2,4	5,0	8,1	11,4	13,0	12,7	10,9	7,1	3,2	0,7	6,2
Moyenne des températures maximales quotidiennes en°C	5,4	7,1	11,5	15,2	19,0	22,2	24,2	23,4	21,2	16,6	9,4	6,1	15,1
Nombre moyen de jours avec gelée (sous abri)	15	13	10	3						0,9	7	13	63
Durée moyenne de l'insolation en heures	58	88	149	186	226	232	252	219	184	136	62	52	1838

TABLEAU 2 : AUXERRE, TEMPERATURES ET INSOLATION .

B. PRECIPITATIONS.

	Précipitations moyennes mensuelles													Période considérée
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	
Auxerre	47	53	51	42	71	53	45	60	52	50	56	53	633	1962 - 1979
Lordonnois	53	57	54	47	71	55	43	74	56	48	67	63	688	1962 - 1979
Chablis	67	59	49	49	78	67	50	69	65	55	58	72	731	1956 - 1970
Tonnerre	68	61	55	48	69	62	57	70	65	57	58	76	747	1956 - 1970
Ervy-le-Ch.	54	69	66	43	70	67	53	76	56	61	67	65	747	1969 - 1981
Chaource(*)	63	63	64	48	68	58	58	73	62	62	61	76	766	1964 - 1981

* Station des Loges-Margueron.

TABLEAU 3 : PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES DANS SIX STATIONS.

Le tableau ci-dessus montre nettement que la pluviosité croît régulièrement d'ouest en est. On constate en outre que les précipitations sont réparties assez régulièrement tout au long de l'année avec un léger fléchissement en mars, avril et juillet et des maxima en juin, août et décembre.

Auxerre (1951 - 1970)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Précipitations moyennes en mm.	53	51	42	42	63	68	44	56	56	43	49	54	625
Nombre moyen de jours de pluie (> à 0,1 mm).	16	15	14	13	14	13	11	13	12	12	15	16	163
Nombre moyen de jours													
- de brouillard.....	8	6	3	2	2	3	1	3	6	10	8	8	60
- d'orage.....	0,1	0,6	0,6	2	4	5	4	4	1,5	0,7	0,3	0,2	23
- de neige.....	6	6	3	1							1,6	4	22

TABLEAU 4 : AUXERRE, STATISTIQUES SUR 20 ANS.

On voit qu'il pleut 163 jours par an à Auxerre, répartis régulièrement sur les 12 mois. On remarque également que les brouillards sont fréquents en automne et en hiver, que les jours d'orage sont peu nombreux de même que les jours de neige. Ajoutons que la grêle est rare (1,6 jour en moyenne par an) et qu'elle tombe surtout en février, avril et mai.

C. BILANS HYDRIQUES. (cf. aussi chapitre IV, p. 105).

Dans notre thèse de 3ème cycle (BAIZE, 1971) nous avons établi un bilan hydrique pour la station d'Auxerre en utilisant les précipitations moyennes mensuelles calculées sur la période la plus longue possible (70 ans), de façon à avoir l'idée la plus juste quant au bilan de l'eau à une échelle de temps plus pé-dologique.

D'après ce bilan (Méthode TURC, 1961), un déficit en eau apparaît d'avril à septembre, l'hiver étant la période où le drainage est maximum. Le déficit en eau est de 95 mm étalé de juin à septembre, l'excès d'eau = drainage vaut 125 mm de décembre à mars.

Mais, la station d'Auxerre est connue comme située sur un axe particuliè-rement sec et chaud. Le climat de la Champagne humide, et notamment des sec-teurs forestiers, est à la fois plus frais et surtout plus arrosé.

Faute de données plus significatives sur une période suffisamment longue, nous présentons un bilan hydrique réalisé avec les précipitations moyennes mensuelles de la station de Ligny-le-Châtel-Lordonnois (1962 - 1981) (tableau 5).

D'après ce bilan, il existe un déficit en eau de juin à septembre tandis que le drainage naturel intervient de décembre à mars. Selon l'importance attribuée à la réserve du sol, le déficit peut atteindre 125 ou 65 mm et l'excès d'eau 126 ou 66 mm.

Ligny-le-Châtel Lordonnois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
E.T.P. Auxerre	9	15	40	71	99	111	118	101	73	42	17	10	706
P. (1962 - 1981)	56	58	58	44	71	62	45	72	54	54	65	68	707
P. - E.T.P.	+ 47	+ 43	+ 18	- 27	- 28	- 49	- 73	- 29	- 19	+ 12	+ 48	+ 58	
Réserve 100 mm													
Excès d'eau	47	43	18									18	126
Déficit						4	73	29	19				125
Réserve 160 mm													
Excès d'eau	5	43	18										66
Déficit							17	29	19				65

Tableau 5 : Bilan hydrique (Turc) à Ligny-le-Châtel-Lordonnois.
(faute de mesures de températures et d'insolation, nous avons du utiliser l'E.T.P. d'Auxerre, probablement plus forte que celle de la Champagne humide).

4. VEGETATION ET CULTURES

A. VEGETATION NATURELLE.

(par Jean-Marie ROYER, extrait de la notice de la carte pédologique de Tonnerre à 1/100.000).

La Champagne humide présente une flore souvent hygrophile et silicicole de caractère atlantique (du moins au sud de l'Armançon). Les espèces médio-européennes et subméditerranéennes sont pratiquement absentes, alors que les taxons atlantiques venus de Sologne par la Puisaye sont encore bien représentés : *Peucedanum gallicum*, *Erica cinerea*, *Genista anglica*, *Osmunda regalis*, *Juncus squarrosus*, *Potamogeton polygonifolius*, *Carex laevigata*, etc... Au delà de l'Armançon, la disparition brutale de ces espèces indique le passage au domaine médioeuropéen.

Deux grands types forestiers peuvent être distingués :

- sur sols acides, la chênaie sessiliflore relevant de Quercion sessiliflora ;
- sur sols neutres ou peu acides, la chênaie-charmaie mésotrophe relevant du Carpinion.

Ces deux groupements sont souvent en mosaïque.

La chênaie sessiliflore est représentée dans ce secteur par deux associations différentes : à l'ouest le Peucedano-Quercetum (groupement atlantique existant en Puisaye, Sologne), à l'est le Fago-Quercetum (groupement médioeuropéen : Belgique, Vosges, etc...). Voici leurs principaux caractères :

	Peucedano-Quercetum	Fago-Quercetum
Strate arborescente...	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Quercus sessiliflora} \\ \textit{Q. robur} \text{ et hybrides} \\ \textit{Betula pluries} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Quercus sessiliflora} \\ \textit{Fagus (rare)}, \\ \textit{Betula pluries} \end{array} \right.$
Strate arbustive.....	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Quercus}, \textit{Mespilus} \\ \textit{germanica}, \textit{Frangula} \\ \textit{alnus}, \\ \textit{Pyrus cordata}, \textit{Ilex}, \\ \textit{Castanea}, \textit{Sorbus torminalis}, \\ \textit{Rubus}, \textit{Betula}. \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Quercus}, \textit{Fagus}, \textit{Carpinus}, \\ \textit{Sorbus torminalis}, \textit{Ilex}, \\ \textit{Frangula alnus}, \textit{Rubus}, \\ \textit{Mespilus germanica}. \end{array} \right.$
Strate herbacée.....	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Molinia coerulea} \\ \textit{Peucedanum gallicum}, \\ \textit{Deschampsia flexuosa}, \\ \textit{Pteridium aquilinum}, \\ \textit{Melampyrum pratense}. \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \textit{Molinia}, \\ \textit{Vaccinium myrtillus}, \\ \textit{Deschampsia flexuosa}, \\ \textit{Pteridium aquilinum}, \\ \textit{Melampyrum pratense}. \end{array} \right.$

La chênaie-charmaie mésotrophe est très répandue. Dans la strate arborescente on note *Quercus sessiliflora*, *Q. robur*, *Tilia cordata*, *Prunus avium* ; les arbustes sont peu variés (*Rubus*, *Crataegus*). La strate herbacée est clairsemée, plus pauvre que dans le Scillo-Carpinetum ; il manque les calcicoles, alors qu'apparaissent des acidiphiles comme *Lonicera periclymenum*, *Viola riviniana*, *Pteridium aquilinum*. Sont fréquents : *Athyrium filix-femina*, *Luzula vernalis*, *Anemone nemorosa*, *Carex sylvatica*, *Primula elatior*, *Ficaria*, etc...

En plus de ces trois associations dominantes, il faut noter la présence d'un groupement atlantique stationnel : l'aulnaie à sphaigne (Pontigny, Bleigny), rare forêt hygrophile à préserver. Outre *Alnus glutinosa* et divers sphagnum, on y rencontre *Osmunda regalis*, *Blechnum spicant*, *Juncus squarrosus*, *Carex laevigata*.

Nous n'avons que peu d'indications sur les autres groupements naturels d'ailleurs peu développés et souvent détruits (landes, pelouses). Toutefois, les prairies occupent de très vastes superficies, surtout au niveau des vallées (Armançe, Armançon, Serein). Il semble exister deux grands types de végétation prairiale, souvent imbriqués : prairies des zones humides (avec *Caltha palustris*, *Scorzonera humilis*, *Bromus racemosus*, *Silvaus pratensis*, etc...) et prairies plus sèches à graminées dominantes.

B. SYLVICULTURE.

En Champagne humide le taux de boisement est élevé : 34 % en moyenne avec des valeurs locales de 50 à 65 % de la surface totale des communes.

Les principaux massifs forestiers sont du type chênaie à charmes traitée en taillis sous futaie. Dans la futaie, le chêne, rouvre ou pédonculé, constitue l'essentiel de la réserve. L'orme, le frêne et le châtaignier y sont aussi représentés mais le hêtre est pratiquement absent (exception : forêt domaniale de Pontigny, partie ouest). Le taillis se compose de charme (25 %), de chêne (15 %), de tremble (15 %), d'aulne (15 %), de bouleau (15 %), de châtaignier (5 %) et de robinier (5 %). Le pin sylvestre, issu de semis naturels, est assez fréquent. Quelques enrésinements en plein se localisent à d'anciennes terres cultivées. Ils ont fait appel aux pins (sylvestre et laricio de Calabre) au sapin et à l'épicéa.

C. CULTURES.

Le tableau ci-dessous, dressé par calcul de moyennes sur 3 ou 4 communes caractéristiques, permet de fixer les idées par quelques chiffres et de comparer la Champagne humide avec les régions naturelles voisines.

Chiffres de 1970 en % de la Surface Agricole Utilisée (SAU)							
REGION NATURELLE	SOUS REGION	SURFACE TOUJOURS EN HERBE	TOTAL CEREALES	CULTURES FOURRAGERES	COLZA	BETTERAVE INDUSTRIELLE	MAIS GRAIN
Champagne joviniennne		16	60	14	1	6	6
Champagne humide	Auxerrois	56	27	12	0	0	1
	Environs de Flogny	47	34	13	2	1	6
	Environs de Chaource	62	23	11	0	0	1
Plateaux jurassiques	Auxerrois	7	64	13	13	0	4
	Tonnerrois	5	67	16	10	0	1
	Barrois	6	66	14	6	0	0
	Châtillonnais	11	68	6	10	5	6

Cette région naturelle se caractérise donc surtout par l'importance des prairies permanentes (40 à 60 % de la SAU) auxquelles il faut ajouter des cultures fourragères (trèfles, graminées diverses = 12 à 18 % de la SAU). L'élevage est orienté presque exclusivement vers les produits laitiers : lait et fromages (Chaource, Saint-Florentin, Soumaintrain, Bernon).

Les sols cultivés souffrent pour la plupart d'un excès d'eau depuis la fin de l'automne jusqu'à tard au printemps. Toute une série de problèmes en découle : difficultés de travail du sol, de semis, de levée, d'enracinement, de récolte. L'assainissement se présente donc comme une nécessité et des programmes de drainage commencent à se multiplier.

Outre le blé et l'orge largement représentés, le maïs a tendance à se répandre malgré les aléas d'origine climatique.

Les sols sableux, autrefois consacrés au maraichage ou laissés en prés sont valorisés de nos jours par l'exploitation en pépinières d'arbres forestiers et de peupliers (Lordonnois, Chéu, Jaulges, Pontigny).

5. PEDOLOGIE GENERALE

La cartographie à échelle moyenne nous avait permis de dégager un certain nombre de données pédologiques générales (BAIZE, Feuille de Tonnerre, 1976) dont nous rappellerons ici les principaux éléments.

Selon la végétation, les matériaux sableux portent soit des sols podzoliques et des podzols, soit des sols acides peu différenciés que nous avons apparentés, faute de mieux, à des sols bruns acides à mull-moder.

La mise en culture a fait subir d'importantes modifications à ces sols sableux qui ont alors été classés en sols bruns de culture.

Les sols développés sur les "limons" anciens de Champagne humide sont typiquement des sols lessivés dégradés à dégradation diffuse, sauf lorsque ces limons reposent sur un substratum de "grève" ancienne. Dans ce cas les sols ont seulement atteint le stade de sol lessivé hydromorphe.

Partout où le "limon" de Champagne humide n'a pas été conservé (ou bien n'a jamais existé), les divers matériaux argileux de la série stratigraphique ont servi directement de roches-mères aux sols actuels selon deux modalités bien différentes.

- En position de pente et, plus généralement, en toutes situations ayant subi ou subissant encore l'érosion : les roches argileuses, faiblement altérées, ont donné naissance à des sols bruns calcaires ou à des sols bruns plus ou moins désaturés, argileux, à endo-hydromorphie variable.

- En position de plateau, relativement abritée de l'érosion, sous l'influence combinée d'une forte acidité et d'une hydromorphie saisonnière, se sont différenciés des sols planosoliques (= planosols). Il s'agit de sols très appauvris en argile et en fer à leur partie supérieure et qui présentent des horizons profonds argileux de type (B). La différenciation texturale est forte, le contact est brutal, le plus souvent sans transition. Le profil pédologique peut être résumé par la succession d'horizons A₁/A₂g/(B)gd/(B)/C.

On voit donc que, selon la composition initiale du "squelette" quartzeux des diverses roches-mères, les horizons superficiels appauvris en argile des sols planosoliques présenteront des textures très différentes. A toute une gamme de matériaux argileux de composition granulométrique variée, correspond un éventail continu de textures des horizons A₁ et A_{2g} depuis le sable moyen jusqu'au limon "doux".

Pour les besoins de la carte des sols à 1/100.000, nous avons été amenés à distinguer :

- des sols planosoliques à horizons superficiels sableux développés sur les affleurements des niveaux n° 4c, 6, 8 et 10 (voir figure 3, page 10) ;
- des sols planosoliques à horizons superficiels limono-sableux développés à l'affleurement des niveaux n° 4c, 5, 7 et 11 ;
- des sols planosoliques à horizons de surface limoneux, développés sur les niveaux n° 4b, 5 et 12.

	Argile < 2 μ m	Limons totaux (2 à 50 μ m)
Horizons sableux	5 à 15 %	10 à 25 %
Horizons limono-sableux	10 à 20 %	30 à 45 %
Horizons limoneux	15 à 25 %	45 à 65 %

La figure 4 illustre les filiations pédogénétiques des sols développés dans des matériaux argileux et évoluant sous végétation "naturelle" ou permanente.

Si l'on part des "sables verts" (sables quartzeux et glauconieux de l'Albien inférieur), le premier stade est celui de sol brun mésotrophe argilo-sableux. Une altération relativement modérée permet aux grains de glauconie (50 à 200 μ m) de s'exfolier et de se transformer en argile verdâtre ①. Par différenciation ② et ③, on passe aux stades des sols planosoliques "jeunes", puis évolués avec souvent un début de podzolisation superficielle ("micro-podzol" voir p. 26). Le stade de podzol secondaire n'est atteint qu'exceptionnellement. En effet, la podzolisation accentuée ④ n'est possible qu'à l'occasion de la coïncidence entre la dégradation complète de la végétation par l'homme et l'existence de sols très appauvris sur une grande épaisseur (plus de 60 cm).

Si l'on part d'argiles calcaires ou de marnes (Barrémien inférieur, Aptien ou Albo-cénomaniens), la première phase d'altération ⑤ mène au stade de sol brun calcaire. La deuxième phase est la décarbonatation ⑥ qui conduit au stade de sol brun mésotrophe ou sol brun à caractères vertiques. Le stade final est atteint avec les sols planosoliques à horizons de surface limoneux ou limono-sableux.

L'évolution des matériaux argilo-sableux non glauconieux (Barrémien supérieur) est identique à celle des "sables verts", à la phase ① près. La phase ④ de podzolisation n'a jamais été rencontrée mais elle est possible théoriquement.

L'évolution des argiles géologiques non calcaires (Barrémien supérieur, Albien inférieur et supérieur) est analogue à celle des argiles calcaires mais, évidemment, elle débute directement au stade de sol brun mésotrophe et il n'existe pas d'horizons C calcaires.

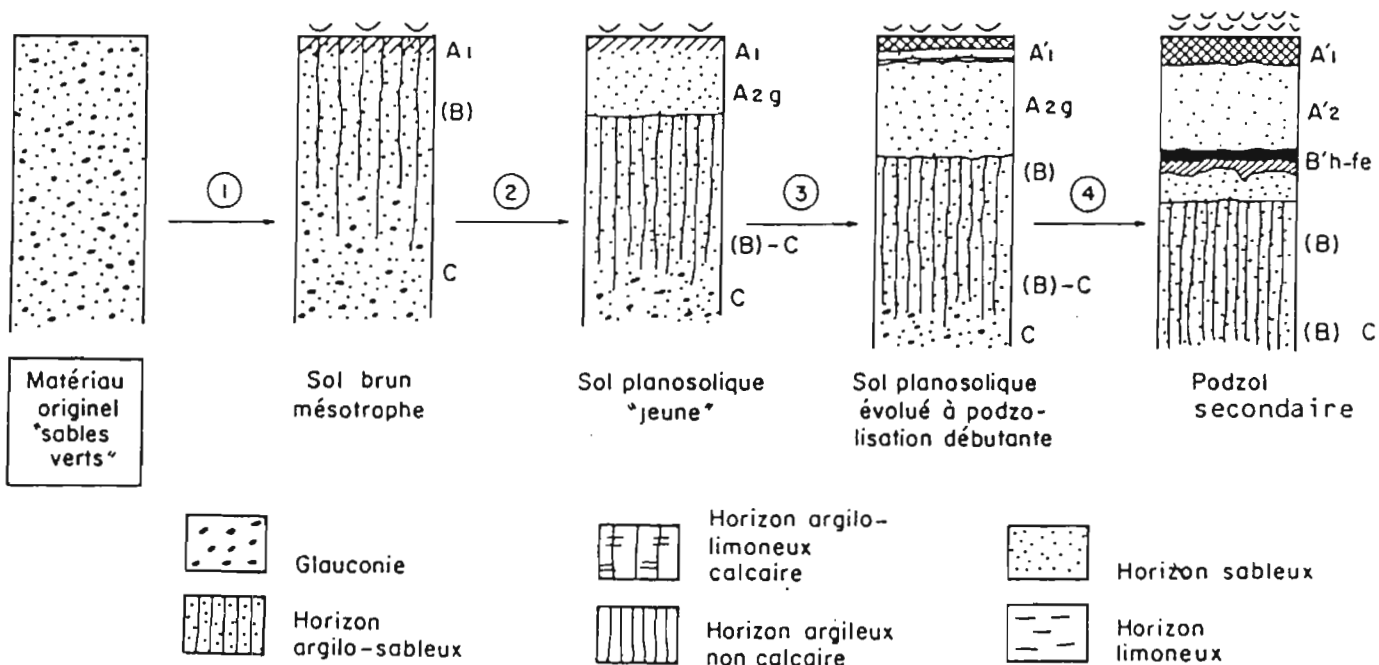
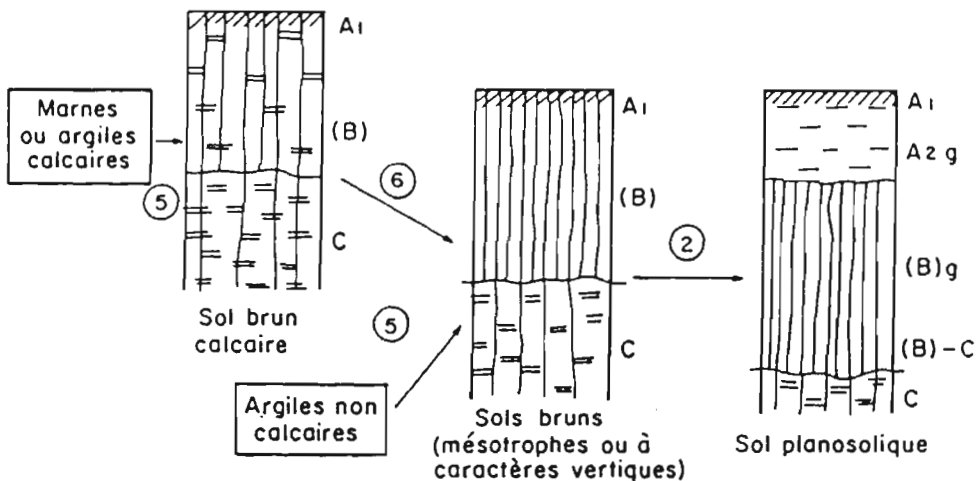


FIGURE 4 : FILIATION DES SOLS DEVELOPPES DANS LES MATERIAUX ARGILEUX.

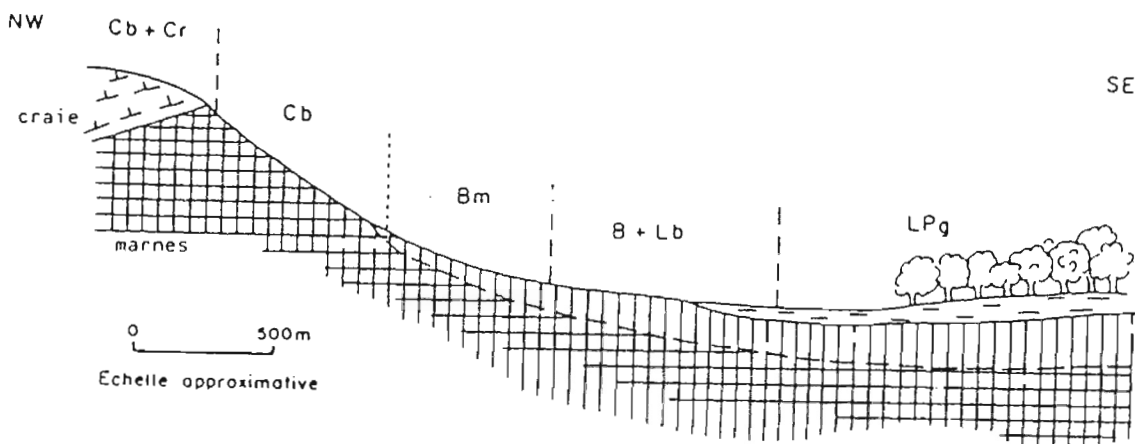


FIGURE 5 : DISTRIBUTION SCHEMATIQUE DES SOLS DEVELOPPES SUR MARNES ALBO-CENOMANIENNES (secteur de Mont-Saint-Sulpice).

Cr = rendzine ; Cb = sol brun calcaire ; Bm = sol brun modal ; Lb = sol brun lessivé (apparemment) ; LPg = planosol.

CHAPITRE II

Presentation des sols

1. MACROMORPHOLOGIE

Quelle que soit la constitution granulométrique ou minéralogique des matériaux dont ils sont issus, les planosols de Champagne humide montrent toujours les mêmes successions d'horizons, à des nuances près :

A₁ ou A_p A_{2g} (B)_d (B) (B)-C C

La désignation des horizons argileux de moyenne profondeur pose problème. Dès la phase de prospection cartographique, nous les avons considérés comme des horizons B d'altération et non comme résultant d'une illuviation.

C'est pourquoi nous utiliserons la notation internationale B entre parenthèses = (B) (DUCHAUFOUR, 1977).

Cette hypothèse sera soumise, tout au long de ce mémoire, à l'épreuve d'un certain nombre d'arguments de natures différentes. Lors de la synthèse générale (chapitre VII) une conclusion devra être apportée sur ce point.

Outre la même succession des horizons, deux propriétés fondamentales caractérisent les sols que nous présentons dans cette étude. Ce sont :

- LA FORTE DIFFERENCIATION TEXTURALE ;
- LE PASSAGE BRUTAL ET SUB-HORIZONTAL DES HORIZONS A₂ AUX HORIZONS (B) = CARACTERE PLANIQUE.

Cela nous autorise à parler de planosols, au sens morphologique du terme.

Les variantes portent principalement sur :

- la nature de l'humus ;
- la présence éventuelle d'un micropodzol à la surface ;
- l'épaisseur totale des horizons appauvris (20 à 90 cm mais le plus souvent 35 à 45 cm) ;
- l'intensité et le mode d'expression de l'hydromorphie au sein des horizons A ;
- la morphologie et l'importance de la "dégradation" au sommet des horizons argileux ;
- l'existence ou non d'un "ventre" apparent d'argile.

A. LES HUMUS.

Le tableau 6 présente les rapports C/N pour les horizons de surface des 29 profils décrits sous forêt durant la cartographie systématique et les études ultérieures. Y ont été réunis des jugements portés sur le terrain et des données analytiques obtenues au laboratoire. Les uns et les autres ne concordent pas forcément.

Sans que rien ne soit très systématique, on remarque cependant :

- que, pour des pH > 5, les C/N sont < 18 ;
- qu'à la présence d'une végétation riche en robiniers correspondent

PROFIL N°	LOCALISATION	HORIZON	PROFONDEUR EN CM	VEGETATION	C %	C/N	PH EAU	SABLES TOTAUX %	REMARQUES DIVERSES
F. 5979	SeigneLay (sud)	A1 A2	0 - 3 3 - 25	F. chênes, chataigniers.	5,56 0,74	22 17	3,9 4,3	60 59	Couche F de 4 cm.
F. 5887	Ft Mont-Saint-Sulpice	A1	0 - 4	TSF. chênes, charmes, chataigniers, aubépines	4,17	19	4,3	37	Mull.
F. 5527	Hauterive	A1	0 - 10	T. robiniers, frênes.	1,48	13	4,4	66	Mull, litière mince. Ancienne culture probablement.
F. 5729	Ft domaniale Pontigny	Σ	0 - 5	Plantation pins, fougères.	4,68	34	3,9	78	Moder ; micropodzol : A'2 gris et B' h-fe violacé.
F. 5722	Ft domaniale Pontigny	A12	0 - 25	F. chênes.	1,21	19	4,6	22	Horizon A1 inexistant. Moder à couche F = 2 cm.
F. 5719	Ft domaniale Pontigny	Σ	0 - 10	T. hêtres, charmes, chênes, fougères.	3,66	24	4,0	82	Ancienne coupe à blanc. Moder. Micropodzol. Couche F = 3 cm. A'2 discontinu 0 à 2 cm, B' h-fe violacé.
F. 5718	Ft domaniale Pontigny	A1	0 - 5	F. chênes, hêtres.	1,82	19	4,7	22	Mull-moder oligotrophe.
F. 5593	Ft domaniale Pontigny	A12	8 - 15	F. chênes, hêtres. T. hêtres.	2,44	20	4,2	65	Litière (hêtres) épaisse.
F. 5403	Ft Mont-Saint-Sulpice	A1	0 - 15	F. chênes.	1,62	15	4,8	46	Mull acide.
F. 5048	Lordonnois (sud)	A1	0 - 18	F. chênes + molinie.	1,99	18	5,6	66	Mull hydromorphe.
F. 3360	Flogny (nord-est)	A2	5 - 30	F. chênes.	0,67	17	4,7	24	Mull.
F. 3345	La Chapelle-Vieille-Forêt	A2	5 - 30	F. chênes, hêtres.	0,72	29	4,3	20	Moder.
C. 180	Villeneuve-St-Salves	A2	6 - 25	TSF. chênes, chataigniers, robiniers.	2,03	18	5,6	67	Mull.
C. 239	Ft Thureau du Bar	A2	5 - 30	F. chênes.	0,96	25	4,6	46	Mull-moder peu épais.
C. 240	Ft Thureau du Bar	A2	10 - 40	F. mixte + fougères.	0,81	19	4,5	25	Moder mince ; A1 brun-violacé.
C. 245	Villeneuve-St-Salves Bois Lélou.	A21	2 - 8	TSF. feuillus.	2,74	16	5,1	33	Mull ; A1 de 2 cm.
C. 246	Ft Thureau du Bar	Σ	0 - 6	TSF. feuillus + qq pins + qq callunes.	7,60	22	3,9	39	Moder-mor, couches F + H = 5 cm. Micropodzol : A'1, A'2 et B' h-fe décelables.

Σ : ensemble de plusieurs sous-horizons T. : Taillis F. : futaie TSF. : Taillis sous futaie.

TABLEAU 6 : (début)

PROFIL N°	LOCALISATION	HORIZON	PROFONDEUR EN cm	VEGETATION	C %	C/N	PH EAU	SABLES TOTAUX %	REMARQUES DIVERSES
A. 472	Turgy (Les merles)	Σ	0 - 9	TSF. chênes + qq pins, callune, molinie.	3,17	28	4,2	47	Moder épais, L = 3 cm (mousses) couche F = 5 cm. Micropodzol : A'1, A'2 et B'h-fe violacé bien distincts.
A. 452	Vallières	A19	0 - 5	Clairière bois feuillus joncs, callune.	2,60	17	5,1	46	Mull hydromorphe.
A. 26	Marolles (bois aux vaches)	A1 A21	0 - 5 5 - 23	F. chênes.	5,35 1,25	19 17	4,3 4,6	21 21	Mull-moder
A. 291	Ervy (La Garenne)	A1	0 - 18	F. chênes, lierre.	1,60	10	5,4	29	Mull.
A. 654	Courtault (la Tuilerie)	A0H-A'1 A'2 B'h+fe	0 - 4 4 - 7 7 - 11	T. chênes, pins, charmes, robiniers.	17,12 1,37 1,34	31 27 21	4,3 4,2 4,1	84 82	Couche F + H = 1,5 cm. Mor. Micropodzol.
A. 135	Ervy (Bois du Parc)	A1 A2	0 - 3 3 - 40	F. chênes.	3,82 0,65	13 15	4,3 4,4	49 52	Moder. Litière épaisse, couche F = 3 cm.
A. 138	Ervy (Bois du Parc)	A1	0 - 16	TSF. charmes, robiniers, chênes.	1,80	9	4,4	44	A1 brun-violacé. Mull.
LA VILLOTTE	Bois de la Bondonnerie	A219	15 - 30	F. chênes, clairière herbeuse.	0,66	10	4,9	59	A1 remanié par l'homme.
HERY	Plants d'Héry	A1 A219	0 - 5 10 - 20	TSF. chênes, bouleaux, molinie.	8,02 1,76	20 18	3,9 4,3	58 65	Moder sec. Couches L + F = 5 cm. A1 gris violacé.
PONTIGNY	Ft domaniale Pontigny	A1 A219	0 - 5 12 - 22	F. chênes.	6,14 0,87	18 15	4,0 4,5	39 41	Moder sec. Couches L + F = 4 cm. A1 gris-violacé à B'fe distinct.
FLOGNY	Communaux de La Chapelle-Vieille-forêt	A1	0 - 3	F. chênes + T. charmes, chênes, pins.	8,42	22	4,3	16	Xéro-mull.
REBOURSEAUX	Ft domaniale Pontigny	A1 A21	0 - 4 10 - 24	F. chênes + T. chênes et hêtres.	8,03 0,63	17 15	4,3 4,7	25	Litière + petite couche F. Mull-moder ou moder mulleux.

Σ : ensemble de plusieurs sous-horizons T. : taillis F. : futaie TSF. : Taillis sous futaie.

TABLEAU 6 (FIN) : RAPPORTS C/N, CARBONE ET DIVERSES DONNEES CONCERNANT LES HUMUS DE 29 PLANOSOLS DECRITS SOUS FORETS.

- des C/N bas, inférieurs à 18 (sauf présence de résineux) ;
- qu'à l'opposé, l'abondance des pins, fougères aigles, callunes, semble déterminer des C/N élevés (> 25) ;
- que les micropodzols se développent plus volontiers sur des matériaux plus sableux car plus pauvres.

On constate donc que les planosols de Champagne humide présentent toutes sortes d'humus "secs" ou hydromorphes, des mull, des mull-moder, des moder ou des moder-mor. La nature actuelle de l'humus est naturellement étroitement liée à la végétation, celle-ci n'étant pas indifférente à la nature du sol, mais n'en étant pas non plus totalement dépendante.

Dans cette région, comme partout ailleurs, l'action de l'homme sur la végétation naturelle et notamment l'introduction d'essences résineuses ou de taillis comme le robinier ou le châtaignier, ont très fortement modifié et perturbé les écosystèmes forestiers (humus, hydromorphie, etc...). Nombre d'introductions récentes provoquent en premier lieu des modifications dans les types d'humus qui anticipent sur l'évolution à long terme du sol. Dans de tels paysages floristiques, les humus et leurs caractères types ne peuvent être clairement corrélés avec l'évolution du sol dans sa globalité. Certaines indications sont cependant très significatives de l'évolution actuelle ou à terme, par exemple le caractère hygrophile ou hydromorphe d'un type d'humus.

B. LA MICROPODZOLISATION.

\ Nous avons réalisé en 1971 une petite étude de la micropodzolisation en forêt de Pontigny. Trois microprofils prélevés alors (sur six) étaient développés dans les horizons supérieurs des planosols qui nous occupent aujourd'hui. Nous y avons ajouté le profil A 654 décrit en 1975 sur le territoire de la commune de Courtaoult (Aube) (figure 6).

Forêt de Pontigny n° 1 :

Végétation : pins sylvestres épars de 60-90 ans plantés sur ados de deux mètres de large ; taillis de châtaigniers, chênes, bourdaines ; tapis de fougères aigles ; mousses (*Dicranum scoparium*) et quelques touffes de molinie.

Morphologie : + 7 à + 5 cm A₀L
Tapis de mousses, aiguilles de pins, feuilles de châtaigniers et de fougères. Limite inférieure très nette et régulière.

+ 5 à 0 cm A₀F
F₁ noir, très fibreux et F₂ brun-rouge plus affiné. Limite inférieure régulière et très nette.

0 à 1-2 cm A₁'A₂'
Ensemble gris cendré avec quelques taches plus claires à grains de quartz nus.

2 à 5 cm B_h-fe'
Brun-ocre, légèrement induré localement. Limite inférieure irrégulière assez nette.

> 5 cm A₂g
Sableux, jaune, panaché.

Forêt de Pontigny

Forêt de Pontigny

Forêt de Pontigny

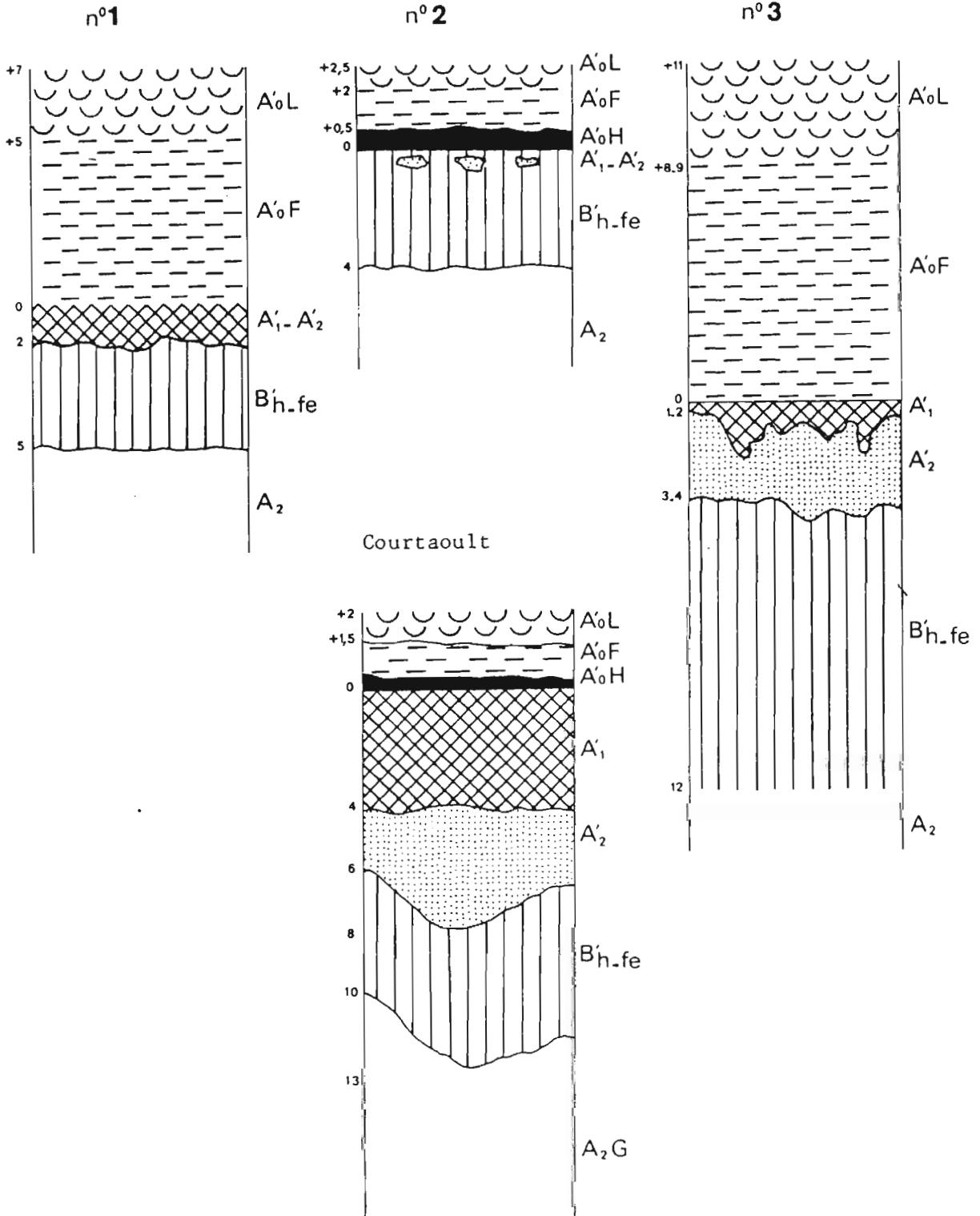


FIGURE 6 : MORPHOLOGIE DE QUATRE MICROPODZOLS.

Analyses :

	Carbone organique %	Azote %	C/N	Matière organique %	Fer libre Deb %	Fer total HCL %	Fer Libre Fer total	pH
A ₀ L	44,4	10,5	42	88,8				
A ₀ F ₁	42,6	14,3	29	85,2				
A ₀ F ₂	39,0	11,5	33	78,0				
A ₁ 'A ₂ '	2,4	1,05	23	4,8	0,08	0,18	0,44	3,1
B _h -fe'	1,5	0,64	23	3,0	0,33	0,49	0,62	3,3
A ₂ g	1,1	0,34	32	2,2	0,33	0,38	0,82	4,1

Forêt de Pontigny n° 2 (à 40 m du n° 1)

Végétation : bosquet de chataigniers avec hêtres, chênes et pins sylvestres à proximité. Fougères rares, chevrefeuille, canche flexueuse, mousses.

Morphologie : + 2,5 à + 2 cm A₀L
Mousses, feuilles de hêtres, chênes et surtout chataigniers. Quelques rares aiguilles de pins.

+ 2 à + 1 cm A₀F
Fibreux, très noir. Limite inférieure régulière très nette.

+ 1 à 0 cm A₀H
Epaisseur variable. Limite inférieure régulière très nette.

0 à 4 cm A₁'A₂'B'
Hétérogène. Limite inférieure très peu nette. A la limite avec A₀H début de formation de A₁'A₂' à grains de quartz nus, et taches très irrégulières. Début de formation de B', bien induré mais à limites peu nettes et très irrégulières.

> 4 cm A₂g
Sableux, jaune, panaché.

Analyses :

	Carbone organique %	Azote %	C/N	Matière organique %	Fer libre Deb %	Fer total HCL %	Fer Libre Fer total	pH
A ₀ L	47,4	13,0	37	94,8				
A ₀ F	32,4	12,0	27	64,8				
A ₀ H	25,2	10,5	24	50,4				
A ₁ 'A ₂ 'B'	2,4	1,2	21	4,8	0,26 0,29	0,42 0,43	0,62 0,67	3,2
A ₂ g					0,32	0,49	0,65	

Forêt de Pontigny n° 3 :

Végétation : pins sylvestres de 30 ans, fougères aigle très abondantes, molinie rare, mousses.

Morphologie :

- + 11 à + 9-8 cm A₀L
Mousses, aiguilles de pins, débris de fougères. Limite inférieure assez régulière très nette.
- + 9-8 à 0 cm A₀F
Brun-noir à roux, très fibreux. A la base, début de A₀H foncé. Limite inférieure très nette et régulière.
- 0 à 1-2 cm A₁'
Non prélevable. Limite inférieure très irrégulière, nette.
- 1-2 à 3-4 cm A₂'
Relativement blanchi, à grains de quartz nus. Limite inférieure nette.
- 3-4 à 12 cm B'_{h-fe}
Brun-rouge à brun noir à taches plus jaunes. Légèrement induré. Limite inférieure diffuse.
- > 12 cm A₂g
Sableux, jaune, panaché.

Analyses :

	Carbone organique %	Azote %	C/N	Matière organique %	Fer libre Deb %	Fer total HCl %	Fer libre Fer total	pH
A ₀ L	42,6	12,7	33	85,2				
A ₀ F	37,8	10,6	35	75,6				
A ₂ '	2,2	0,5	41	4,3	0,10 0,06	0,18 0,16	0,56 0,37	3,0
B' _{h-fe}	1,9	0,6	29	3,7	0,17 0,22	0,31 0,31	0,55 0,55	3,4
A ₂ g					0,12	0,21	0,57	

Profil A. 654 Courtaoult :

Végétation : bois de pins sylvestres, quelques chênes, ancien taillis de charmes et de robiniers.

Morphologie :

- + 2 à + 1,5 cm A₀L
- + 1,5 à + 0,5 cm A₀F
- + 0,5 à 4 cm A₀H-A₁'
Noir, grumeleux, prélevés ensemble.
- 4 à 6-8 cm A₂'
Beige violacé, localement beige-blanchi, sableux, structure particulière. Limite inférieure nette, irrégulière.
- 6-8 à 10-13 cm B'_{h-fe}
Brun-rouille à structure nette polyédrique émousée de 25 mm, friable.

10-13 à 45 cm A₂G
 Horizon engorgé ; verdâtre et rouille ; sableux ; structure polyédrique de 30 mm peu nette ; friable ; taches rouilles abondantes ; zones boueuses vertes à forte odeur (gley).

Analyses :

	Carbone organique %	Azote %	C/N	Fer libre Deb %	Fer total HF %	Fer Libre Fer total	pH
A ₀ H-A ₁ '	17,12	5,50	31,1				4,3
A ₂ '	1,37	0,51	26,8	0,20	0,54	0,37	4,2
B _h -fe'	1,34	0,65	20,6	0,55	0,90	0,61	4,1
A ₂ G	0,23			0,38	0,86	0,44	4,8

On notera que des micropodzols se développent actuellement aussi bien à la partie supérieure des sols profonds uniformément sableux (sur Albien moyen ou Barrémien supérieur) qu'au sein des horizons A₂ des planosols les plus sableux (4 exemples présentés ci-dessus).

D'autre part, tous les planosols ne montrent pas de podzolisation superficielle. La micropodzolisation n'est donc pas une conséquence inéluctable du processus de planosolisation mais il est vrai que, dans certaines circonstances favorables, notamment sous l'influence d'une végétation résineuse, la podzolisation secondaire profite de l'existence d'horizons très désaturés et très appauvris en argile et en minéraux altérables pour s'installer à la partie supérieure des solums.

C. LA COULEUR DES HORIZONS A₂.

Dans la légende de la Carte Mondiale des Sols de la FAO, les planosols sont définis comme des sols ayant un horizon E "albique" (1975). L'horizon E "albique" est lui même caractérisé comme devant présenter "des valeurs de la couleur de 4 (ou davantage) à l'état humide ou bien 5 (ou davantage) à l'état sec. Si la valeur à l'état sec est 7 (ou davantage) ou si la valeur à l'état humide est 6 (ou davantage) le chroma est 3 ou moins".

Cette définition par la couleur nous semble à la fois trop compliquée et incohérente, car elle aboutit à nommer "albique" des horizons qui, par exemple, seraient 10 YR 5/2 ou 10 YR 5/8 tout en excluant un horizon qui présenterait une couleur 10 YR 8/4.

Sur 34 horizons A₂ de planosols dont la couleur à l'état sec a été estimée selon le code Munsell, on dénombre :

PLANCHE 5 Y	1 horizon	Valeur = 8	5 horizons	Chroma = 1	1 horizon
intermédiaire	1 horizon	Valeur = 7,5	5 horizons	Chroma = 2	14 horizons
PLANCHE 2,5 Y	18 horizons	Valeur = 7	15 horizons	Chroma = 3	4 horizons
intermédiaire	1 horizon	Valeur = 6,5	6 horizons	Chroma = 4	13 horizons
PLANCHE 10 YR	13 horizon	Valeur = 6	3 horizons	Chroma = 5	2 horizons
		Valeur < 6	néant		

On constate que tous les horizons A₂ considérés ne correspondent pas aux normes de l'horizon E "albique" de la légende FAO. Cependant, aucun des 34 horizons ne présente de valeurs inférieures à 6 à l'état sec, ce qui dénote tout de même des teintes plutôt claires.

D. ASPECTS DE L'HYDROMORPHIE DANS LES HORIZONS A.

Dès les premières prospections cartographiques, les signes d'une hydromorphie superficielle intense ont été évidents. En période sèche (juin à novembre), elle s'exprimait sur le terrain par :

- un panachage plus ou moins intense associant des couleurs claires et des teintes rouille ou brunes ;
- un blanchiment par taches ou marbrures ;
- une nodulation d'importance variable.

En période humide (février, mars, avril), l'excès d'eau se marque par un état quasiment liquide, boueux, des horizons A₂ et par des colorations grises ou verdâtres correspondant à un gley peu exprimé parce que développé dans des matériaux relativement pauvres en fer.

D'un profil à l'autre, l'hydromorphie prend des intensités et des morphologies très variables. Faute d'une étude suffisamment poussée, nous ne sommes pas en mesure d'expliquer ces différences. On peut penser cependant qu'elles sont à mettre en relation avec la position topographique de détail (ruptures de pente, microvallonnements...) ou avec la nature du matériau.

Dans un certain nombre de sites, les horizons A₂ ne présentent pratiquement aucun signe d'hydromorphie. Mais le cas le plus général est celui où existent un grand nombre de petites taches ocre-rouille ou brunes dans une partie ou dans la totalité des horizons supérieurs appauvris en argile. Les profils présentant des nodules ferrugineux sont plus rares (13 profils sur 50 répertoriés), les sols les plus sableux semblant les plus favorables à la formation de niveaux denses de nodules durs et de grandes dimensions (20 à 70 mm). Signalons en outre que, dans deux sols à texture plutôt limoneuse, les nodules ferrugineux se localisent au niveau de l'horizon (B)gd.

HORIZON A _{22g}	F E R			A L U M I N I U M			M A N G A N E S E		
	total HF %	libre Deb %	libre total	total HF %	libre Tamm %	Tamm total	total HF %	libre Deb %	libre total
terre fine sans nodules	2,64	1,55	0,59	2,80	0,23	0,08	0,097	0,008	0,08
nodules	4,56	2,96	0,65	3,80	0,44	0,12	0,587	0,063	0,11

TABLEAU 7 : ANALYSES COMPAREES D'UN HORIZON A_{22g} PURIFIE DE SES NODULES FERRUGINEUX ET DES NODULES QUI EN ONT ETE EXTRAITS (profil LA VILLOTTE).

E. LA "DEGRADATION MORPHOLOGIQUE" AU SOMMET DES HORIZONS (B).

Sans préjuger de ses causes et de ses mécanismes, nous appelons "dégradation morphologique" un phénomène qui se marque sur le terrain à la fois par la couleur et par la texture. Des pellicules à la surface des agrégats ou bien des volumes plus ou moins importants se différencient à la partie supérieure d'horizons argileux :

- par une beaucoup plus faible quantité d'argile qui entraîne une moindre cohésion, une plus grande porosité et une diminution de la structuration ;
- par un blanchiment lié à une moindre teneur en fer.

Ce phénomène a été particulièrement bien étudié par JAMAGNE et ses collaborateurs dans de nombreux secteurs du Bassin Parisien. Il se rencontre aussi dans le reste de la France (Bretagne, Ardennes, Alsace, Bourgogne, Aquitaine) tout particulièrement sur matériaux limoneux dans des sols désignés désormais de façon courante sous l'appellation de sols lessivés dégradés.

En ce qui concerne les planosols de Champagne humide, la dégradation morphologique n'est pas un phénomène généralisé. En effet, elle n'a été décelée que dans 24 profils sur 47. Elle peut s'exprimer de façon très discrète ou, au contraire, très nette. Ainsi, elle a été souvent constatée lors des sondages à la tarière au cours de la cartographie systématique à 1/50.000.

Il faut bien prendre conscience que la "dégradation morphologique" est particulièrement bien visible lorsque le sol est observé à sec (car le blanchiment s'exprime au maximum à l'état sec) et lorsqu'il s'agit d'horizons argileux de teintes foncées, grises, vertes, ocre-rouille ou rougeâtres. A l'inverse, et même s'il existe une dégradation chimique des argiles, elle est difficile à voir lorsque les horizons en cause sont de colorations claires et surtout lorsqu'on les observe dans un état de grande humidité, voire à l'état boueux.

a) MORPHOLOGIE.

La morphologie de détail de la dégradation se situe entre deux pôles. Le pôle le plus discret est représenté dans le profil HERY. On constate seulement que la structuration cubique du sommet des horizons (B) s'émousse et que, à la surface des agrégats, apparaît une pellicule blanchâtre où n'existent plus que les grains de squelette (sables et limons). Ce phénomène affecte au maximum 9 cm et il s'accompagne d'un blanchiment intense de la partie la plus inférieure des horizons A₂.

Le pôle le plus spectaculaire s'exprime dans le profil REBOURSEAUX. La morphologie y est analogue à ce qu'on observe chez nombre de sols lessivés dégradés à dégradation "diffuse". La dégradation affecte des volumes de configurations complexes mais qui peuvent représenter de 20 à 60 % du volume total sur des épaisseurs supérieures à 10 cm. Ces volumes dégradés sont tout de même orientés préférentiellement car ils se prolongent en profondeur le long des faces verticales des unités structurales prismatiques. Dans le cas précis du profil de REBOURSEAUX le phénomène de dégradation est facilement observable sur environ 30 cm d'épaisseur.

Moins les matériaux sont sableux, plus le squelette granulométrique est limoneux, et plus la dégradation a tendance à affecter une plus grande épaisseur, à se développer selon une direction verticale et donc à ressembler à celle des sols lessivés développés dans des matériaux franchement limoneux.

Nous reviendrons sur cette convergence qui n'est certainement pas fortuite. Notons également que ce caractère plus "vertical" de la dégradation est partiellement contradictoire avec le concept de planosol dont la transition entre horizons A et (B) doit être, par définition, à caractère planique donc horizontal.

b) COULEURS.

Pour les 22 profils pour lesquels la couleur a été appréciée à l'état sec selon le code Munsell, voici les teintes notées pour les volumes ou taches dégradées.

PLANCHE 10 YR = 4 horizons	Valeur 8 = 9 horizons	Chroma 1 = 5 horizons
PLANCHE 2,5 Y = 8 horizons	Valeur 7,5 = 5 horizons	Chroma 1,5 = 1 horizon
PLANCHE 5 Y = 10 horizons	Valeur 7 = 7 horizons	Chroma 2 = 14 horizons
	Valeur 6 = 1 horizon	Chroma 3 = 1 horizon
		Chroma 4 = 1 horizon

Nous ne disposons que de 12 colorations appréciées à l'état humide :

PLANCHE 10 YR = 2 horizons	Valeur 7 = 2 horizons	Chroma 2 = 7 horizons
PLANCHE 2,5 Y = 6 horizons	Valeur 6 = 8 horizons	Chroma 2,5 = 1 horizon
PLANCHE 5 Y = 4 horizons	Valeur 5,5 = 1 horizon	Chroma 3 = 1 horizon
	Valeur 4,5 = 1 horizon	Chroma 4 = 3 horizons

On remarquera que la quasi-totalité des zones dégradées répondent aux critères du caractère "albique" des horizons E de la légende FAO/UNESCO.

c) GRANULOMETRIE ET AUTRES DONNEES ANALYTIQUES.

La différence texturale entre zones dégradées et matrice intacte est, le plus souvent, nette, localisée et bien délimitée, les parties les plus limoneuses ou les plus sableuses se révélant également les plus décolorées. On constate cependant que la dégradation nette et localisée ne modifie guère la granulométrie de l'horizon pris globalement (profil HERY, par exemple). Il est vrai qu'il est difficile de réaliser un prélèvement significatif dans ce type d'horizon composite.

Dans le cas des deux prélèvements sélectifs que nous avons pu réaliser (tableaux 8 et 9) les valeurs analytiques les plus révélatrices sont les teneurs en fer qui traduisent à la fois des différences de taux d'argile mais également une déferrification de ces argiles.

Inversement, des horizons où on ne distingue rien au plan morphologique semblent avoir perdu une grande quantité d'argile de façon généralisée et diffuse (profil FLOGNY, par exemple).

	pH eau	C %	F E R %			ALUMINIUM %		
			total HF	libre Deb	libre total	total HF	Tamm	Tamm total
Horizon (B)d global	4,5	0,53	7,23	3,00	0,41	4,5	0,55	0,12
Zones poudreuses blanches dégradées du (B)d	4,2	0,47	2,99	1,17	0,39	2,4	0,26	0,11

TABLEAU 8 : PROFIL HERY. Prélèvements sélectifs au sein de l'horizon (B)gd. Données analytiques comparées.

	GRANULOMETRIE					% H ₂ O	Mat. Org. %
	A %	LF %	LG %	SF %	SG %		
Zones blanches limoneuses	22,6	28,6 (40,9)	27,5 (39,3)	9,9 (14,1)	4,0 (5,7)	2,7	0,82
Zones ocres argilo-limoneuses	30,6	27,3 (43,6)	22,6 (36,1)	9,1 (14,5)	3,6 (5,7)	4,5	0,30
	pH	F E R %			CEC en m.é.	S/T %	CEC argile après corr. mat. org.
		total HCl	libre Deb	libre total			
Zones blanches limoneuses	5,3	1,41	0,96	0,68	8,0	87	28
Zones ocres argilo-limoneuses	5,5	2,55	1,47	0,58	11,8	96	37

TABLEAU 9 : Profil F. 5722 - Prélèvements sélectifs au sein de l'horizon (B)gd - Données analytiques comparées. Entre parenthèses : granulométries exprimées en % du "squelette".

F. LES HORIZONS (B).

En ce qui concerne les caractères observables sur le terrain, les horizons (B) se caractérisent toujours par :

- des textures argileuses lourdes, argileuses ou argilo-sableuses ;
- une structuration potentielle* très forte, plus fine dans la partie supérieure, mais toujours cubique et/ou prismatique ;
- la présence en grande abondance de taches ocres ou rouille tranchant avec la matrice beige, grise ou verte ;
- une assez faible humidité contrastant notamment avec l'engorgement hivernal des horizons supérieurs.

En outre, on note parfois, sur certain profils, et peut être grâce à des conditions d'observation favorables, d'autres caractères qui semblent donc beaucoup plus exceptionnels :

- faces de glissement obliques (caractères vertiques) ;
- revêtements argileux rougeâtres ou brunâtres ;
- revêtements gris.

a) LES TACHES OCRES OU ROUILLE.

Ces taches occupent de 10 à 60 % des surfaces des agrégats et correspondent à des volumes. On pense aussitôt à des ségrégations de fer consécutives à des excès d'eau saisonniers, cette impression étant renforcée par l'observation, dans certains sols, de revêtements noirs.

Mais, le plus souvent, les horizons (B) ne donnent pas l'impression d'être très hydromorphes et l'on pressent que les taches ocres ou rouille résultent plus d'une altération locale intense que d'une redistribution : dans ces volumes, l'altération des minéraux primaires libérerait plus de fer.

* En utilisant ce terme, nous voulons signifier que cette structuration très forte se manifeste à l'état sec (lors de prélèvements en période sèche ou bien après dessèchement d'un profil à l'air libre) mais qu'elle est beaucoup moins nette lorsque le sol est observé dans un état d'humidité proche de la saturation, ce qui est le cas le plus général pour ces horizons argileux relativement profonds.

N'oublions pas que toutes les roches-mères de Champagne humide sont riches en fer, tout spécialement celles qui renferment de la glauconie en grains.

Les teintes sont toujours (à l'état sec comme à l'état humide) :

10	YR	}	6/6 ou 6/8 ou 5/6 ou 5/8
	ou		
7,5	YR		
	ou		
	5		
	YR		

parfois : 5 YR ou 7,5 YR 4/8

Les colorations de ces taches ont tendance à être plus vives, plus rouges, dans la partie supérieure des horizons (B) que dans la partie inférieure (5 YR au lieu de 7,5 YR ou bien 7,5 YR au lieu de 10 YR). Que la cause en soit l'hydromorphie ou l'altération, ce fait est l'indice que cette cause s'y exprime plus intensément.

b) LES FACES DE GLISSEMENTS.

Il n'est pas étonnant de constater la présence de caractères vertiques au sein d'horizons argileux contenant une bonne proportion de smectites. Ces caractères s'expriment mieux lorsque les profils sont observés en périodes humides (janvier à mai). Les agrégats présentent alors des faces nettes, lisses, luisantes ; dans certains cas, de grosses faces luisantes obliques ont été décrites (profil HERY, avril 1974).

c) LES REVETEMENTS.

Sur 43 profils convenablement décrits, 15 seulement ont permis de déceler des revêtements sur les faces d'agrégats des horizons (B). Selon les cas, ces revêtements sont nets ou, au contraire, difficilement détectables sur des agrégats dont la matrice, ne l'oublions pas, est déjà très argileuse. Ils peuvent être nombreux ou rares ; leurs teintes peuvent être rouille, rougeâtres, gris, vert-noirâtre ou brunâtres. Certains sont certainement argileux et ferrugineux, d'autres sont peut-être surtout organiques.

Pour s'en tenir à ce qui est sûr, on peut distinguer trois cas :

1. Certains profils de sols très glauconieux présentent de fins revêtements gris ou noirâtres sur les faces des agrégats prismatiques.

2. La plupart des sols sur argiles albo-cénomaniennes (à squelette limoneux dominant) montrent des revêtements argileux rougeâtres, d'abondance très variable entre 50 et 90 cm de profondeur. On notera que ces ferri-argilanes ne sont facilement décelables qu'à sec, après dessèchement du profil ou des échantillons prélevés. Ils sont pratiquement invisibles sur le terrain à l'état humide.

3. Un cas, fort intéressant, a été observé seulement dans le profil de REBOURSEAUX. Il s'agit de gros revêtements gris (5 Y 6/2), nettement argileux, décrits sur les faces de gros prismes, en profondeur (125 à 140 cm), qui présentent beaucoup de parenté avec les "revêtements d'illuviation secondaire" (JAMAGNE, 1973) et pourraient donc être mis en relation avec la "dégradation morphologique" laquelle se trouve, justement, très développée dans ce profil. Grâce à l'épaisseur de ces revêtements (> à 2 mm), un échantillon sélectif a pu être prélevé, puis analysé (tableau 10). L'interprétation de ce trait pédologique comme d'origine illuviale est confortée par sa structure feuilletée parallèlement aux faces des prismes.

	GRANULOMETRIE %					Carbone %	C.E.C. Horizon m.é./100 g	Densité apparente
	A	LF	LG	SF	SG			
Revêtements gris	51,2	21,8	16,4	8,1	2,5	0,9	24,7	-
Horizon (B)-C global	52,1	20,9	16,9	7,3	2,8	1,1	23,6	1,73
	FER %			ALUMINIUM %				
	total HF	libre Deb	Libre Total	total HF	libre Tamm	Tamm total		
Revêtements gris	2,31	0,51	22	6,5	0,34	5		
Horizon (B)-C global	4,06	2,34	58	6,5	0,43	7		

TABLEAU 10 : COMPARAISON ENTRE LES REVETEMENTS ARGILEUX GRIS ET L'HORIZON ENCAISSANT.

Au vu des résultats granulométriques, il apparaît que les revêtements gris ne se distinguent en rien de la matrice, à tel point que l'on peut douter de leur caractère illuvial. Par contre, la déferrification est indiscutable pour les revêtements où l'on dose presque deux fois moins de fer total et 4,6 fois moins de fer libre que dans l'horizon pris globalement.

Pour déterminer avec certitude s'il s'agit d'illuviation secondaire ou seulement d'une réorganisation en place des parois des agrégats, l'examen micromorphologique s'avère indispensable.

G. LES HORIZONS C.

Ces horizons correspondent aux sédiments crétacés peu altérés et n'ayant pas acquis de structuration pédologique.

Sur le terrain, il existe trois ou quatre critères de reconnaissance :

1. Dans le cas des faciès géologiques calcaires (niveaux n° 5 = Aptien et n° 11 = Albien supérieur, cf. figure 3) les horizons C ne sont pas décarbonatés et présentent souvent à leur partie supérieure un horizon d'accumulation Cca. Le carbonate secondaire prend la forme de pellicules ou de pseudomycelium sur les faces d'agrégats ou bien vient combler des tubules.

2. Le passage des horizons (B) aux horizons C (souvent progressif) est marqué par la disparition de la structuration. Les horizons C ne possèdent qu'une structure potentielle prismatique grossière.

Dans le profil PONTIGNY, on observe que les faces des gros prismes des horizons C (calcaires) sont tapissées par tout un réseau de très fines racines. Celles-ci sont très certainement capables d'alimenter la végétation forestière en calcium, mais on remarquera que cette remontée biologique du Ca⁺⁺ n'a pas empêché l'acidification des horizons supérieurs (pH de 4,0 à 4,8) et même un début d'évolution podzolique dans l'horizon A₁.

3. En toutes saisons, les horizons C sont caractérisés par une apparence sécheresse. En première analyse, il ne semble pas que les eaux de pluies atteignent ces niveaux profonds et les nappes phréatiques paraissent exclues.

4. Les sédiments géologiques argileux deviennent nettement reconnaissables dans les horizons C, car ceux-ci présentent à la fois des colorations noirâtres, ardoise ou brunâtres et un toucher onctueux, savonneux ou caoutchouteux très caractéristique. Quant aux "sables verts", c'est seulement au niveau des horizons C qu'ils méritent leur nom et qu'ils montrent une texture sableuse (ou sablo-argileuse). Les grains de glauconie, vert-épinard, y sont bien visibles car bien individualisés.

H. LES ELEMENTS GROSSIERS APPAREMMENT ALLOCHTONES.

Il n'est pas rare de trouver dans certains planosols des éléments grossiers qui semblent allochtones et qui paraissent donc remettre en cause l'autochtonie de certains horizons. Sur 49 profils de Champagne humide où ce caractère a été convenablement noté, on peut décompter 22 cas où il existe dans le profil de tels éléments grossiers.

a) LES PETITS SILEX BLANCS.

Ce sont des graviers siliceux ayant l'aspect de silex. Toujours peu nombreux (moins de 5 % et le plus souvent moins de 2 % de la terre totale), ils se rencontrent en plus grande abondance dans les horizons de surface mais il en existe aussi en profondeur dans les horizons argileux. Les sols où on les rencontre sont très strictement localisés aux niveaux albo-cénomaniens qui affleurent à l'est de la butte crayeuse de Mont-Saint-Sulpice. En fait, rien ne prouve qu'il s'agisse d'éléments déplacés : ces accidents siliceux peuvent n'avoir subi aucun remaniement et faire partie du sédiment originel.

b) LES CAILLOUX DE GRES FERRUGINEUX.

Ces grès à ciment ferrugineux, très durs, présentent une teinte violette très caractéristique. Ces cailloux proviennent certainement d'un banc continu observable en plusieurs carrières au sein des sables de Frécambault (Albien moyen). Les planosols qui en contiennent à l'heure actuelle se situent en position plus basse, topographiquement et stratigraphiquement, que les affleurements actuels des bancs de grès.

Les grès ferrugineux sont, le plus souvent, plus nombreux dans les horizons A₁ et A₂ que dans les horizons (B), mais cela n'est pas une règle absolue et l'inverse s'observe aussi parfois.

L'hypothèse d'une formation en place de ces cailloux par nodulation semble exclue. On voit mal pourquoi cette nodulation se produirait dans des horizons argileux où l'eau ne circule guère, en outre la morphologie très tranchée et très régulière des cailloux semble exclure une induration en cours. Enfin le squelette quartzeux de ces éléments gréseux est beaucoup plus grossier que celui des horizons qui les englobent (voir tableau 11).

On notera également que ces cailloux présentent des formes nettement émoussées. C'est là l'indice d'un transport plus probablement que le signe d'une altération, d'une "fusion" in situ.

La mise en place de ces cailloux ferrugineux (dont l'abondance est parfois grande, notamment aux environs du profil HERY) peut résulter d'une "descente sur place", mais il faudrait invoquer l'érosion de plusieurs mètres de sédiments. Il est plus simple de faire appel à des colluvionnements qui auraient pu intervenir sur des distances de l'ordre de 500 à 1500 m et des dénivelées de 10 à 20 m.

Nous dirons, pour conclure, que des remaniements à moyenne distance ont sans doute eu lieu dans la région de Sougères, attestés par les cailloux de grès. Mais ces remaniements ne sont pas forcément contemporains ou postérieurs à la pédogénèse ; ils peuvent tout aussi bien lui avoir été antérieurs. La véritable roche-mère de ces planosols pourrait avoir été une argile géologique (ou un "sable vert") préalablement remaniée au cours d'une phase plus ou moins ancienne du Quaternaire. Dans ce dernier cas de figure, la présence de cailloux allochtones n'implique pas que les horizons de surface proviennent d'apports latéraux.

	GRANULOMETRIE exprimée en % du "squelette"							FER total HF %
	LF	LG	SF1	SF2	SG1	SG2	SG3	
Horizon A21g terre fine	14,9	12,6	37,4	26,9	7,4	0,5	0,3	1,46
Cailloux de grès ferrugineux *	1,0	3,8	7,1	13,5	16,7	18,3	39,6	23,47
Horizon A22g terre fine	14,1	13,0	37,1	28,1	6,8	0,5	0,6	1,97

* granulométrie après attaque par HCl.

TABLEAU 11 : PROFIL HERY. Comparaison entre les cailloux de grès ferrugineux et les horizons dans lesquels on les trouve. Granulométrie et fer total.

I. RECAPITULATION - SELECTION DE SEPT PROFILS TYPES.

Dans cette étude macro-morphologique, établie grâce à une cartographie préalable à moyenne échelle et à partir d'une collection d'une quarantaine de profils, se dégagent quelques points essentiels qui seront repris de façon plus détaillée et plus analytique dans les chapitres suivants.

1. les humus sont de types divers et ne semblent pas être liés à la pédogénèse planosolique.

2. Une micro-podzolisation peut s'installer à la partie supérieure des planosols les plus sableux et les plus acides.

3. Les horizons A₂ manifestent les signes d'une hydromorphie intense (panachage, taches rouille, nodulation, gley fugace). Beaucoup d'entre eux répondent aux normes de l'horizon E "albique" de la FAO mais pas tous, certains étant trop riches en fer.

4. Des nappes "hypodermiques" ont été constatées de janvier à avril dans les horizons A, circulant au contact du plancher imperméable constitué par les horizons (B) argileux.

5. Il existe souvent (mais pas toujours) des signes morphologiques de dégradation au contact entre horizons A et (B). Sans jamais être vraiment glossique, cette dégradation a tendance à se développer plus verticalement lorsque les sols sont à "squelette" granulométrique limoneux. Les volumes atteints par la dégradation sont appauvris en argile et en fer et perdent consécutivement leur structuration et leur coloration.

6. Les horizons (B) argileux ou argilo-sableux présentent de belles structures potentielles cubiques et prismatiques, fines vers leur partie supérieure, plus grossières vers le bas. Dans un certain nombre de cas, on observe des revêtements argileux de diverses couleurs. Même lorsqu'ils paraissent très typiques (ce qui est tout de même exceptionnel), ces ferri-argilanes ne sont pas très nombreux et ne semblent pas représenter un volume de matière important. Une certaine illuviation existerait (principalement dans le cas des sols les moins sableux et les plus limoneux), mais elle ne pourrait pas être rendue responsable de la forte différenciation texturale constatée. Il s'agirait donc surtout d'horizons résultant de l'altération des niveaux géologiques argileux ou marneux (ou bien des "sables verts").

7. Il existe parfois des éléments grossiers allochtones dans les horizons de surface (et, plus rarement, dans les horizons profonds). Leur existence ne prouve pas forcément l'hétérogénéité des profils.

8. Ces profils, que l'on peut schématiser par la superposition $A_2/(B)/C$, n'ont pas d'existence reconnue dans la classification CPCS de 1967, mais leur morphologie et leur fonctionnement correspondent parfaitement au concept de planosol.



Parmi une soixantaine de profils décrits lors de la cartographie à moyenne échelle, nous en avons sélectionné sept, représentatifs des diverses roches-mères et des différents degrés d'évolution vers la planosolisation.

La figure 2, page 8 permet de localiser ces sept profils :

- HERY (C. 238)

caractéristique des planosols très évolués et très acides sur "sables verts" (niveau géologique n° 6, figure 3), constitués essentiellement de quartz et de glauconie en grains. Modèle idéal pour observer l'argilisation de la glauconie, ce profil a fait l'objet d'un bilan isoquartz approfondi.

- MONTMERCY (A. 3568)

représente au contraire un stade très "jeune" de planosolisation sur "sables verts". L'argilisation des horizons (B) y est peu poussée, en partie parce que la roche-mère y est moins riche en glauconie (20 % dans l'horizon C au lieu de 35 % par exemple à Héry).

- PONTIGNY (F. 5867)

particulièrement intéressant car très évolué et développé cependant dans un niveau argileux et calcaire de l'Albien supérieur (niveau n° 11). Sur une épaisseur de 1,20 m sont rassemblés les effets de nombreux processus pédologiques :

- décarbonatation et accumulation de calcaire secondaire ;
- altération et structuration de type brunification avec argilisation des grains de glauconie ;
- appauvrissement superficiel et planosolisation ;
- hydromorphie temporaire superficielle ;
- dégradation morphologique ;
- début d'évolution podzolique dans l'horizon A₁.

Les chênes produits dans cette parcelle de la Forêt domaniale de Pontigny fourniraient les plus belles grumes du département de l'Yonne.

- REBOURSEAUX (F. 5906)

est d'un grand intérêt théorique. Il représente le pôle le plus limoneux parmi les planosols étudiés (niveau n° 12). Il présente un certain nombre de traits macro-morphologiques qui le rapprochent des sols lessivés dégradés :

- couleurs grises et ocre-rouille ;
- présence de revêtements argileux rougeâtres entre 60 et 80 cm ;
- "dégradation morphologique" très nette avec tendance marquée au développement vertical le long des faces d'agrégats ;
- présence, en profondeur, d'épais revêtements argileux gris qui rappellent tout à fait les revêtements d'illuviation secondaire déferriés (JAMAGNE, 1973).

Malgré ces analogies frappantes, nous restons persuadés qu'il s'agit bien d'un planosol d'altération qui montre cependant des caractères intergrades vers les sols éluvio-illuviaux.

- FLOGNY (F. 3387)

est représentatif des sols développés au sein des argiles lourdes calcaires de l'Aptien (niveau n° 5), non glauconieuses mais riches en fer. Il se distingue nettement des autres planosols :

- par son aspect "jeune" ;
- par son profil "ramassé" (horizons A de 25 cm seulement) ;
- par la texture limono-argileuse de l'A₂ ;
- par son humus (xéromull) ;
- par la composition de sa fraction argile (illite + kaolinite).

- NATIONALE 77 (F. 5801)

a été sélectionné comme spécimen de planosols développés sur les argiles continentales du Barrémien supérieur (niveau n° 4, ni calcaire ni glauconieux). Il se situe sous friche et paraît avoir hérité des ferri-argilanes rubéfiés et fragmentés d'une évolution polycyclique très ancienne (crétacée ?).

- LA VILLOTTE (A. 7500)

développé dans une argile verdâtre, finement sableuse (niveau n° 7) n'a pas été étudié de façon très approfondie. Il présente, dans les horizons A₂, des nodules ferrugineux, durs, centimétriques, qui ont pu être séparés et analysés.

2. ELEMENTS DE MICROMORPHOLOGIE

Nous n'avons pu disposer que d'une trentaine de lames minces de petit format pour étudier à la loupe binoculaire polarisante 21 horizons issus de 5 profils de planosols (Héry, Pontigny, Rebourseaux, Nationale 77 et Mont-Saint-Sulpice).

Les grossissements utilisés ont été volontairement limités à x 50.

Le lecteur intéressé trouvera les descriptions détaillées en annexes (annexe n° 2).

Les points qui nous ont paru les plus importants figurent regroupés dans les tableaux ci-joints (tableaux 12, 13 et 14).

A. PROFIL HERY

Grains de glauconie :

à mesure que l'on monte dans le profil, on suit la disparition progressive, par fragmentation et par altération (exsudation du fer) des grains de glauconie. Ceux-ci fournissent le plasma verdâtre des horizons (B).

Fer :

les imprégnations par le fer touchent les horizons A et (B) et prennent leur extension maximales en A₂ et en (B)d, horizons les plus affectés par les engorgements (nappe hypodermique). On notera cependant que ce profil, qui est particulièrement riche en fer, présente des imprégnations assez modérées en comparaison des autres profils.

Dégradation :

dans l'horizon (B)d, des plages nettement appauvries en plasma correspondent aux volumes dégradés. Elles se situent en bordure d'agrégats ou en liaison avec des chenaux (confirmation des constatations macromorphologiques). A noter les contours nets et réguliers des zones atteintes, significatifs d'un véritable "front de dégradation" (figure 7, 2).

Porosité :

les horizons A montrent une porosité particulière : pas de fissures, quelques cavités d'origine biologique mais surtout beaucoup de vides d'entassement des grains de squelette. En (B) il n'apparaît plus de vides d'entassement mais des cavités et des fissures qui délimitent ainsi des sous-agrégats.

Redistributions d'argile :

les figures les plus nettes, quoique peu nombreuses et de petites dimensions, se rencontrent en A₂ et en (B)d (zones non dégradées). Dans les horizons (B) et C, on observe des concentrations purement argileuses, verdâtres en lumière "naturelle", associées à des fissures, mais peu hyalines et peu distinctes du fond matriciel. A notre avis, il s'agirait essentiellement de petites réorganisations du plasma verdâtre au sein même des horizons et en aucune manière des signes d'une illuviation verticale d'argile.

HORIZONS	ZONES	SQUELETTE DES GRAINS DE GLAUCONITE	PLASMA		DISTRIBUTION RELATIVE	IMPRÉGNATIONS PAR LE FER	VIDES INTRAPÉDIQUES	TRAITS PÉDOLOGIQUES ARGILEUX		LITHORELIEUX DE GRÉS FERRUGINEUX
			ABONDANCE	COULEUR EN LN				ASSEMBLAGE PLASMIQUE	Beaux ferri- argilanes hya- lins striés sur vides	
A21		très rares	néant	-	Granulaire	rare locales	Quelques ca- vités, aucune fissure,	néant	néant	oui
	non im- prégnées		très peu abondant	brun- nâtre	Silasepique	néant	nombreux vides d'entassement	néant	néant	oui
A22	impré- gnées	Très rares	décelable	jaune ou brun	Squel- vosépique	oui diffuses		néant	quelques petits mais typiques	
	de- gradées	peu abondants	un peu	jaune verdâtre	Vo-squel- sépique	néant	d'entassement et décollement	néant	néant	oui
(B)0	non dé- gradées	assez abondants	abondant que le squelette	jaune verdâtre rouille	Ma- et Omni- sépique	oui jusqu'à nodules	nombreuses cavités et fissures	néant	assez nombreux, jaune-doré à rouille	
		abondants	aussi abondant que le squelette	vert- jaune, jaune à brun- rouille	Vo-Squel- Ma- à Omni-sépique	diffuses et irrégulières		peu nombreux, peu nets, associés à des vides, fissu- res, chenaux.	néant	non
(B)C		abondants	abondant	peu dis- tinct de la glau- conite	Vo-Squel- sépique très net	quelques zones très impré- gnées en place	quelques ca- vités, rares fissures	néant	néant	non
		abondants	assez peu abondant, irrégulier	brun	Vo-Squel- sépique assez net	rare concen- trations de fer	assez non- breuses cavi- tés et fissu- res. Chenaux	néant	néant	non
C1		assez abondants que le quartz	assez abondant, irrégulier	brun	Vo-Squel- sépique assez net	rare concen- trations de fer	grosses cavi- tés et fissu- res. Chenaux	un très gros typique, dis- loqué	néant	non
		assez abondants quartz	assez abondant, irrégulier	brun- nâtre	Squel- et ma- sépique	rare concen- trations de fer	grosses fissures	jaune-grisâtre associées à fis- sures	néant	non
C2	β	abondants 100-200 μ m	peu abondant, localisé	gris ou gris- jaune verdâtre	Vo-Squel- et Ma- sépique	néant	quelques cavités	gris en LN	néant	non
	α									

TABLEAU 12 : PROFIL HERY.

EXAMENS MICROMORPHOLOGIQUES - TABLEAU SYNOPTIQUE.

B. PROFIL PONTIGNY

Grains de glauconie :

abondants quoique déjà altérés en (B)-C, ils ont tendance à se transformer en plasma verdâtre peu organisé en (B)d pour ensuite disparaître complètement au sein des horizons A.

Imprégnations par le fer :

elles affectent des proportions importantes de la surface des lames (et donc des volumes des agrégats) aussi bien en A qu'en (B). Ce sont là des signes du déplacement suivi de concentration du fer (et du manganèse) consécutifs aux alternances d'oxydation et de réduction. Rappelons qu'une grande part du fer provient des ciments des grains de glauconie en cours d'altération.

Zones "dégradées" :

en (B)d, il est loisible d'observer certains volumes touchés par la "dégradation morphologique". Ce phénomène se traduit par la quasi-disparition de tout plasma aussi bien ferreux qu'argileux et par l'absence de traits pédologiques.

Redistributions d'argile :

les seuls traits pédologiques que l'on peut interpréter comme indices de redistribution d'argile sont situés dans des zones imprégnées de fer (et comme "fossilisées" par lui) et uniquement en (B)d et en A_{2g} (surtout).

C. PROFIL MONT-SAINT-SULPICE

Fer :

tous les horizons présentent des imprégnations de fer dans la matrice et des ferranes ou ferri-manganés se manifestent dans les niveaux les plus profonds.

La "dégradation" :

est observable en (B)d, se traduisant comme toujours par une quasi-disparition du plasma.

Redistribution d'argile :

on peut en observer des signes en (B)d et (B)-C mais les argilanes sont peu nombreux, peu nets et peu contrastés. Le volume de matière ainsi déplacé puis "alluvionné" est certainement très petit, surtout en comparaison de la quantité d'argile contenu dans ces mêmes horizons.

D. PROFIL NATIONALE 77

Imprégnations par le fer :

seule la nodulation visible dans l'horizon A_{2g} paraît liée à une pédogénèse actuelle. En (B)d et (B)-C, l'imprégnation de certaines zones du fond matriciel est très intense, rouille foncée en lumière "naturelle" et assez bien délimitée. Elle nous semble devoir être mise en relation avec une pédogénèse très ancienne (pédo-reliques) car la roche-mère est une argile sableuse bariolée du Barrémien supérieur continental. Il en est de même des débris épars de ferri-argilanes rouges.

PROFIL	HORIZON	ZONES	SQUELETTE = FRACTION GROSSIERE	PLASMA = FRACTION FINE	DISTRIBUTION RELATIVE	TRAITS PEDOLOGIQUES	REMARQUES		
PONTIGNY	A ₁		Quartz anguleux 10 à 50 µm	Humique, brun, non biréfringent	agglomérée		micropodzol		
		A _{2g}		Quartz anguleux 30 - 50 µm et 300 - 600 µm	Argileux, rare, finement et faiblement Vo-Squel-sépique. Argilo-ferrique, rouille.		Modules à contours tranchés + ferri-argilanes assez nombreux, assez épais, non fonctionnels.		
	(B)gd		zones "dégradées"	Quartz anguleux 30 - 50 µm et 300 - 600 µm + rares grains de glauconie verts	Rare, incolore, finement, fai- blement Vo-Squel-sépique.				
			zones plasmiques		Argileux, verdâtre, 20 à 30 % nettement Vo-Squel- et vaguement Ins- et Ma- sépique.		Petits argilanes gris, mal sépa- rés, de fentes, cavités, grains.		
	(B)-C	zones ferru- gineuses		Ferri-argileux, brun-noir.		Ferri-argilanes peu épais, striés, de fentes, peu abondants. Modules opaques, tranchés, arrondis.			
		zones verdâtres		Argileux, 30-50 %, verdâtre, très nettement Vo-Squel-et fine- ment et nettement Mo-Ma-sépique.					
	MONT SAINT SULPICE	A _{22g}	zones claires	Quartz anguleux de la taille SF et LG, quelques grains glauco- nie brun-rouille.	Presque absent, très finement Vo-Squel-sépique.				
			zones rouille		Peu abondant, brun-rouille, fer- ri-argileux, nettement Vo- squel-sépique.	Porphyrique	néant		
		(B)gd	zones "dégradées"		Presque absent, très finement Vo-Squel-sépique.				
			zones grises	Quartz anguleux de la taille SF et LG, quelques grains glauco- nie brun-rouille.	Argileux, peu coloré, 40 à 50 % nettement Vo-Squel-Ma-sépique.		Argilanes striés, de fentes, peu tranchés.		
(B)-C	zones rouille		Ferri-argileux, 30 à 40 %, brun- rouille, nettement Vo-Squel- sépique.		Porphyrique	Ferranes et ferri-argilanes de fissures et agrégats + ferri- argilanes striés, peu tranchés, épais, peu nets.			
	zones grises	Glauconie très rare.	Argileux, 20-50 %, gris-brunâtre, nettement Vo-squel et localement Mo-Ma-sépique net.			Quelques argilanes minces, de fissures, peu distincts de Vo- sépique gris en LM.			
		zones rouille		Argilo-ferrique, 50 à 60 %, orange, Vo-Squel-Mo-Ma-sépique.	Porphyrique	Quelques ferri-argilanes, minces de fentes, passant à ferri- manganés.			

TABLEAU 13 : PROFILS PONTIGNY, MONT-SAINT-SULPICE.

PROFIL	HORIZON	ZONES	SQUELETTE = FRACTION GROSSIERE	PLASMA = FRACTION FINE	DISTRIBUTION RELATIVE	TRAITS PEDOLOGIQUES	REMARQUES	
NATIONALE 77	A ₂ g		Quartz exclusif 450 - 600 µm 200 et 20 µm	Peu abondant, argilo-humique.	agglomérée	Nodules ferrugineux à contours nets nombreux, 0,2 et 2 mm.		
	(B)gd	zones dégradées	Quartz exclusif 300 - 600 µm 90 - 150 et 30 µm	Absent, silasépique.	Porphyrique	néant		
		zones grises						
		zones rouille						
	(B)-C		zones grises	Quartz exclusif 300 - 600 µm 90 - 150 et 30 µm	Argileux, gris-jaunâtre en LN, nettement Vo-squel-Ma-sépique. Argilo-ferrique, 70 à 100 % (papules), brun-rouille à rouille en LN. Argileux, gris-verdâtre 50 à 60 %, finement Vo-Squel-Insépique. Ferri-argileux, brun-rouille foncé à noir en LN.	Porphyrique	Assez nombreux argilanes fins, jaunes, de fissures et cavités, limites peu nettes et peu de contraste avec le fond matriciel	débris de ferri-argilanes très anciens.
			zones rouille					

TABLEAU 13 : (SUITE)

PROFIL NATIONALE 77

EXAMENS MICROMORPHOLOGIQUES - TABLEAU SYNOPTIQUE.

Certains aspects laissent même à penser qu'il y a actuellement déferrification des zones rouille.

"Dégradation" :

en (B)d, faciès habituel avec disparition du plasma.

Redistributions d'argile :

rien de net, rien qui puisse correspondre à un phénomène contemporain.

E. PROFIL REBOURSEUX

Fer :

sa redistribution est perceptible à tous les niveaux : imprégnations diffuses du fond matriciel, nodules à contours nets, manganes, ferranes, etc...

Redistributions d'argile :

les argilanes typiques n'existent qu'en A₂₂, de petite taille et en petit nombre. Ils sont absents des horizons (B). Sur le terrain, pourtant, des revêtements d'argile ont été décrits sur les faces d'agrégats de l'horizon (B)₁ (55-70 cm). L'examen micromorphologique met donc en évidence des redistributions d'argile au sein des horizons A₂, lesquelles sont certainement à mettre en relation avec la circulation des nappes hypodermiques. L'hypothèse d'une importante illuviation verticale de A vers (B) semble devoir être écartée.

F. CONCLUSIONS

Les petites lames dont nous disposons ne permettent pas toujours une étude parfaite, notamment des limites extérieures des agrégats, souvent rognées lors de la préparation. En outre, il est toujours un peu périlleux de décrire tout un horizon à partir d'une ou de deux lames taillées dans un seul agrégat.

Cependant, les observations conduites sur 5 profils issus de matériaux assez différents, nous permettent d'aboutir à un constat général en ce qui concerne la redistribution de l'argile au sein des solums : dans les horizons argileux les argilanes et ferri-argilanes, témoins habituels des processus d'illuviation d'argile (figure 7, 7), font presque totalement défaut.

Lorsqu'on en observe quelques-uns, il s'agit vraisemblablement de néocutanes de diffusion ou de tension. Quoiqu'il en soit, leur importance est sans commune mesure avec la différenciation texturale des profils. D'autant que les rares cutanes d'illuviation typiques s'observent à l'intérieur des horizons A_{2g} et (B)d et non pas dans les horizons les plus argileux.

En outre, l'observation de lames minces a permis de visualiser, à une autre échelle, des faits déjà notés sur le terrain :

- transformation des grains de glauconie en argile granulométrique : "argilisation" (figure 7, 4, 5 et 6) ;
- cutanes de tension et assemblage plasmique vo-sépique le long des fissures correspondant aux faces verticales ;
- imprégnations par le fer et nodulation équivalant aux taches rouilles d'hydromorphie ou d'altération (figure 7, 1 et 3) ;
- "dégradation morphologique" au sommet des horizons (B) (figure 7, 2

HORIZONS	ZONES	PLASMA	DISTRIBUTION RELATIVE	TRAITS PEDOLOGIQUES	COMMENTAIRES
A ₂₂ ^g	Imprégnées de fer Non imprégnées	Présent, brun foncé en LN, juste décelable, jaune doré en LP. INS-sépi-que à tendance VO. Presque invisible, finement VO-sépique.		Nombreux ferri-argilanes, nets, jaune-doré en LP, de chenaux et de chambres, associés à de nombreux ferri-manganés. Nombreux ferri-argilanes orangés de petits chenaux, très nets, striés, peu hyalins. Un grano-tubule et quelques orthotubules.	Grande activité faunique (tubules et chambres). Imprégnations importantes par le fer. Abondance des petits ferri-argilanes, indices de redistributions d'argile au sein de l'horizon A ₂ .
(B) ₁	Imprégnées de fer Non imprégnées	Abondant, brun ou brun-noir en LN, argilo-ferrugineux, INS - MA - VO - sépique. Abondant, jaune-clair en LN, bien visible en LP, jaune-clair, argileux, INS - MA - VO - SQUEL - sépique. Nombreux filaments plasmiques.	Tendance porphyrique	Quelques petits nodules ferrugineux de formes irrégulières. Quelques rares petits ferri-argilanes orangés de chenaux, peu nets, peu contrastés. Quelques manganés de vides ou de grains. 2 grands traits = anciens ferri-argilanes orangés en LN, désagrégés et dispersés, non fonctionnels. Rares traits purement argileux, jaune-clair en LN, peu hyalins et peu contrastés, liés à des chenaux.	Cutanes argileux pratiquement absents mais réorganisation partielle du plasma en faisceaux de filaments, notamment autour des vides. Imprégnations importantes par le fer.
(B)-C (95 - 105 cm)	Imprégnées de fer Non imprégnées	Plasma ferrugineux bien visible brun-noir en LN. En LP, plasma argileux, jaune-clair finement mais nettement VO - SQUEL-sépique. Pratiquement incolore en LN. Jaune clair en LP. INS - MA - VO - SQUEL-sépique.	Porphyrique	Assez nombreux petits manganés de grains ou de petites fissures. néant. Lithoreliques ou nodules ferrugineux (1,5 à 10 mm) à contours très nets et formes émoussées ou arrondies.	Absence de cutanes argileux. Réorganisation partielle du plasma sous forme de faisceaux de filaments, surtout le long des microfissures ou au contact des plus gros grains.
(B)-C (125 - 140 cm)	Imprégnées de fer Non imprégnées	Coloré en jaune-brun ou en brun-noir par le fer. INS - MA - VO - SQUEL-sépique finement mais nettement. Presque invisible en LN car incolore En LP jaune très clair. Tendance à former des faisceaux de filaments liés à des fissures ou à des gros grains. INS - MA - VO - SQUEL - sépique à tendance omnisépique.	Porphyrique ✓	Nombreux nodules ferrugineux à contours nets mais irréguliers à tendance générale ovoïde (0,5 à 4 mm). Très nombreux manganés noirs, fins, de chenaux ou de chambres. Petits ferri-argilanes de microfissures. néant. Lithoreliques : graviers de chailles.	Absence de redistribution d'argile (pas d'argilane visible) mais réorganisation partielle du plasma et active redistribution des sesquioxydes (manganés ferranés, nodules ferrugineux).

TABLEAU 14 : PROFIL REBOURSEAU.
EXAMENS MICROMORPHOLOGIQUES - TABLEAU SYNOPTIQUE.

Les planosols de Champagne humide présentent donc les signes d'une hydromorphie superficielle prononcée et une dégradation morphologique plus ou moins intense, localisée au sommet des horizons (B) ; mais leur forte différenciation texturale ne résulte pas d'une illuviation d'argile.

Nous nous trouvons donc, malgré un certain nombre d'analogies, en présence de sols sensiblement différents des sols lessivés dégradés décrits principalement par JAMAGNE (1969, 1970, 1972, 1973) ou BEGON (1972, 1979).

Nous nous situons bien dans le domaine des planosols primaires auxquels se sont intéressés, notamment, DUDAL (1973) et BRINKMAN (1969, 1973).

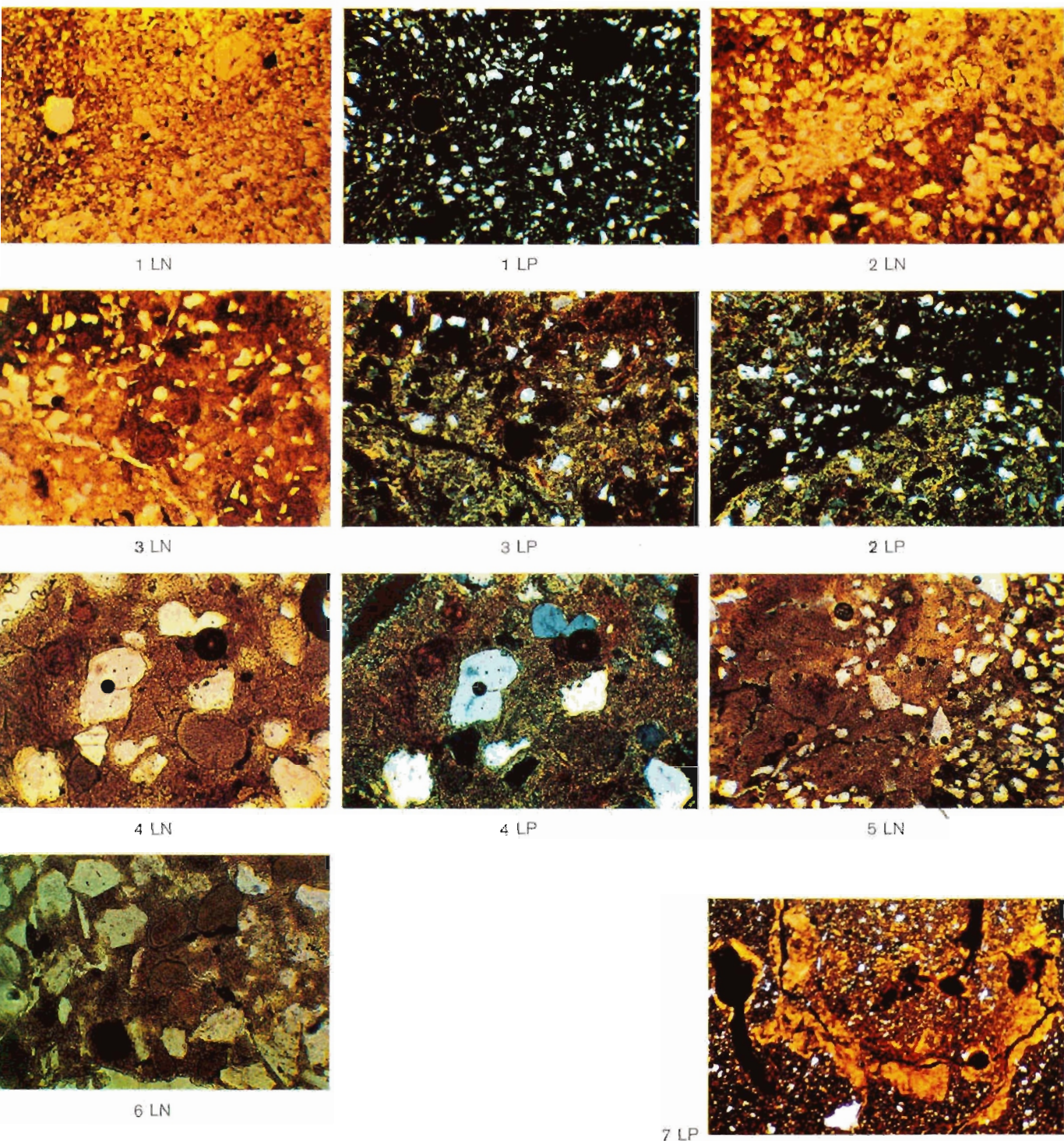


FIGURE 7

1. Mont Saint-Sulpice ; horizon A_2g ; $\times 35$. Présence de plasma argileux et même d'argilanes comme fossilisés par du fer.
2. Héry ; horizon (B)d ; $\times 35$. Travées "dégradées", appauvries en fer et en plasma argileux.
3. Héry ; horizon (B)d ; $\times 35$. Matrice : différents aspects du plasma.
4. Héry ; horizon (B)d ; $\times 100$. Rapports entre les grains de glauconie en cours de désagrégation et le plasma verdâtre.
5. Héry ; horizon (B)d ; $\times 35$. Concentrations de plasma verdâtre.
6. Héry ; horizon (B)C ; $\times 100$. Fragmentation des grains de glauconie ("argilisation").
7. A titre de comparaison : $\times 35$; horizon B_2t : Ferri-argilanes typiques dans un matériau argileux ("terres d'Aubues" des plateaux de Bourgogne).

3. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MINERALOGIQUE COURANTE

La réalisation préalable d'une carte des sols à 1/50.000 nous a permis de disposer, au départ, de nombreuses analyses courantes physico-chimiques (toutes réalisées au laboratoire I.N.R.A. d'ARRAS) et de quelques diffractogrammes d'argile (effectués à VERSAILLES, au laboratoire des sols). Nous allons passer en revue tous ces éléments et tenter d'en tirer le parti maximum.

Ce "fonds" d'analyses présente de nombreuses imperfections :

- il concerne fréquemment des profils prélevés assez sommairement (trois ou quatre horizons seulement pour chaque sol) ;
- les résultats s'étalent sur 14 années et certaines méthodes analytiques ont changé (par exemple le fer total extrait par HCl avant de l'être par HF) ;
- les méthodes traditionnelles ne sont pas les meilleures (comme l'évaluation de la capacité d'échange à pH 7) ;
- si certaines analyses ont été faites systématiquement (pH eau, fer, capacité d'échange) beaucoup d'autres ne sont disponibles qu'exceptionnellement : aluminium, composition de la fraction $< 2 \mu\text{m}$.

En revanche, cette masse de données a l'avantage d'avoir été recueillie suite à la caractérisation d'une soixantaine de profils dispersés sur tout le territoire considéré et couvrant toute la gamme des planosols.

En conséquence, tout enseignement qui se dégagera de cet examen ne devra rien à la nature particulière d'un profil sélectionné comme "typique", mais correspondra bien à une réalité générale.

A. ETUDE DES FRACTIONS "ARGILE" ($< 2 \mu\text{m}$).

- Proportion des argiles les plus fines

La proportion des particules $< 0,2 \mu\text{m}$ a été évaluée par la méthode de sédimentation habituelle en granulométrie. On se trouve aux limites théoriques et pratiques de cette méthode, cependant les résultats des trois profils concordent et sont vraisemblables (tableau 15).

Deux faits se dégagent clairement de ces résultats chiffrés : d'une part une proportion maximale des argiles fines dans les horizons (B), d'autre part une nette augmentation des argiles grossières dans les horizons A.

Le premier fait peut correspondre à une argilisation maximale des minéraux les plus fragiles et notamment des grains de glauconie et/ou à une accumulation absolue par lessivage. Quant au deuxième, il indique très certainement une accumulation relative des argiles les plus grossières, preuve que le phénomène de planosolisation, quelle que soit sa nature exacte, affecte principalement les argiles les plus fines.

		en % de la terre fine		en % de l'argile totale	
		< 0,2 μm	0,2 - 2 μm	< 0,2 μm	0,2 - 2 μm
<u>HERY</u>	A ₂₁	6,4	4,4	59	41
	A _{22g}	7,3	4,7	61	39
	(B)	39,7	8,8	82	18
	(B)-C	25,2	6,9	78	22
	C ₁	16,9	7,2	70	30
<u>PONTIGNY</u>	A _{21g}	9,6	5,3	64	36
	A _{22g}	13,6	6,1	69	31
	(B)	34,2	12,2	74	26
	(B)-C	28,2	14,2	67	33
	C ₁	20,7	10,0	67	33
<u>REBOURSEAUX</u>	A ₂₁	7,8	6,0	57	43
	A _{22g}	11,0	7,8	60	40
	(B)	30,7	8,7	78	22
	(B)-C	35,1	7,4	83	17
	(B)-C	36,5	11,6	76	24

TABLEAU 15 :

PROPORTIONS DES ARGILES FINES ET DES
ARGILES GROSSIERES DANS TROIS PROFILS.

- Diffractogrammes aux rayons X

Les sept principaux profils ont pu être étudiés au laboratoire des sols de Versailles et le lecteur trouvera un certain nombre de diagrammes en annexes.

Le tableau 16 rassemble les données recueillies pour ces profils en ce qui concerne les minéraux à équidistances fixes (hauteur et netteté des pics).

Quartz :

il est très nettement visible dans les horizons A₂ de cinq profils. Pour les deux autres, Flogny et Nationale 77, nous ne disposons pas de diagrammes assez prolongés vers les grands angles pour juger de la présence du quartz. On peut en déceler également des traces dans les horizons (B) de Rebourseaux, La Villotte et Flogny (1982).

Lépidocrocite :

des pics petits mais bien nets s'observent à Héry (horizons A₂, (B) et C₁) à Pontigny (B)₁ et à Flogny (B)_{gd}. Grâce à d'autres diagrammes on reconnaît aussi sa présence à Héry (B)₂, C₂ et C₄ et à Flogny A_{2g} et (B)₁.

Goethite :

dans le tableau 16 elle n'apparaît que sous forme de traces dans l'horizon (B) de La Villotte. Mais on la décèle aussi très bien à Flogny dans tous les horizons (B) (diagrammes 1982). Cela correspond à la fois avec les taux élevés de Fe₂O₃ trouvés à l'analyse chimique et avec les % importants de fer extraits par le réactif de Mehra-Jackson (voir chapitre VI, p. 243).

PROFIL	HORIZON	Quartz	Lepido- crocite	Goe- thite	Kao- linite	Minéraux à 10 Å		
						N	EG	chauff.
HERY (1978)	A ₂₂	•	•		•	•• L	••	••••
	(B)1		•		Tr	•• L	••	••••
	C ₁		•		Tr	•• L	••	••••
	C ₄	?			•	•••	•	••••
PONTIGNY	A ₂₁	•			•••	•• L	•••	••••
	(B)1		•		•••	•• L	•• §	••••
	(B)2				•••	•• L	•• §	••••
	C ₂				••	•• L	••	••••
REBOURSEAUX	A ₂₂	•			•	• §	• §	•• §
	(B)1	•			•	• §	• §	•• §
	(B)-C	•			•	Tr §	• §	•• §
FLOGNY (1974)	A ₂₉				••••	••	••	-
	A(B)		•		•••	••	••	-
	(B)1		Tr		••••	••	••	-
	(B)2	?			••••	••	•••	-
	C ₂	?			••	••	•••	-
MONTMERCY	A ₂₉	•			•	•	•	••
	(B)				•	•	•	••••
	C		Tr		Tr	••	••	•••
LA VILLOTE	A ₂₁₉	•			••	•	•	••
	(B)	•		Tr	••••	••	•	••••
NATIONALE 77 (prétraite- ment au citrate)	A ₂₉	-			•••	Tr L	•	-
	(B)gd	-			•••	Tr L	•	-
	(B)-C	-			•••	• L	•	-
	C	-			•••	••	•	-
Tr = trace		L = pic intégré à un autre						
? = peut-être ?		§ = pic massif, épaté						

TABLEAU 16 : DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X.
HAUTEUR ET NETTETE DES PICS.

PROFIL/ HORIZON	A R G I L E S - M q			Argile-K
		Traitement à l'éthylène-glycol	Chauffage à °C	
HERY (1978) A ₂₂₉	10,3-17 § ●●● 12,7	12,2-17,1 ● §	300° 10,3-14,6 Tr 10,3	
(B) ₁	10,3-17 § ●●● 12,7	12,8-20,5 ● §	" 10,3-14,6 Tr 10,3	
C ₁	10,3-15 § ●●● 12,1	12,8-20,5 ● §	" 10,3-14,3 Tr 10,3	
C ₄	10,3-17 § ●● 14,7	12,2-20,5 ● §	" néant	
PONTIGNY A ₂₁₉	14,5 ●●● §	17,0 ●●●● §	400° néant	
(B) ₁	14,7 ●●●● §	16,7 ●●● §	" néant	
(B) ₂	14,7 ●●●● §	17,0 ●●●● §	" néant	
C ₂	14,8 ●●●● §	16,7 ●●●● §	" néant	
REBOURSEAUX (1977) A ₂₂₉	11,4-20,5 ● 14,7	13,8-17,7 Tr §	400° 10,3-15,5 10,3	
(B) ₁	11,4-20,5 ● § 14,7	12,8-21 §	" 10,3-14,7 10,3	
(B)-C	11,4-20,5 ●● § 15,8	13,1-21 § 18,0	" 10,3-12,8 10,3	
FLOGNY (1974) A ₂₉	11,4-15,5 ●● 14,3	13,9-14,7 ●	400° 10,5-19,0 11,9	10,3-14,7 ● §
A(B)	11,4-15,5 ●● 14,3	11,4-17,1 ● 14,7	-	10,3-17,1 §
(B) ₁	11,4-15,8 ●● § 14,6	11,4-17,1 ● § 14,3	-	10,3-17,0 §
(B) ₂	11,4-16,0 ●● § 15,3	11,4-17,1 ● § 14,3	-	10,3-14,7 ●
C ₂	10,5-14,7 ●	11,4-17,1 Tr §	-	10,3-14,7 Tr
FLOGNY (1982) (B) ₁	10,9-16,6 ●● § 14,3	11,4-19,0 ● §	450° ≠ néant	
(B) ₂	10,7-16,6 ●● § 14,3	11,4-18,3 ● § 16,6	" ≠ néant	
(B)-C	10,7-16,6 ●● § 14,3	11,4-18,3 ● § 17,1	" ≠ néant	
MONTMERCY A ₂₉	11,4-17,7 Tr § 14,7	12,8-20,5 Tr §	400° 10,3-14,7 10,3	
(B)	10,3-17,7 ● § 14,7	12,8-20,5 ● § 16,6	" 10,3-15,1 10,3	
C	12,8-17,1 ● 14,7	12,8-20,5 Tr § 17,7	" 10,3-13,7 10,3	
LA VILLOTTE A ₂₁₉	12,5-18,3 Tr § 14,7	14,3 Tr	400° 10,5-15,5 12,8	
(B)	10,9-19,7 ● § 14,7	12,8-20,5 Tr § 16,7	" ≠ néant	
NATIONALE 77 (*) A ₂₉	11,4-20,5 ●● § 13,5	10,6-20,5 ● § 15,1	-	10,8-20,5 12,4
(B)gd	11,4-20,5 ●● § 14,1	11,4-20,5 ●● § 15,5	-	10,7-20,5 11,3
(B)-C	11,4-20,5 ●●●● 13,5 §	11,4-20,5 ●●● 15,8 §	-	10,7-20,5 11,4
C	11,4-20,5 ●●● 14,3 §	11,4-20,5 ●● § 17,1	-	10,3-15,3 10,3

(*) (Pré-traitement au citrate)

TABLEAU 17 : MINÉRAUX > 10 Å.

Hauteur et netteté des pics (ronds noirs); § = pic massif, très élargi à la base.

11,4 - 20,5 = valeurs extrêmes et point culminant des pics larges.
17,1

Kaolinite :

elle existe dans les sept profils mais en quantité sans doute très variable. Presque absente à Héry et Montmercy (deux sols développés à partir des "sables verts" glauconieux), elle semble abondante sinon dominante à Flogny, Pontigny et Nationale 77.

Phyllites micacées :

elles sont toujours présentes sans qu'on puisse savoir avec certitude s'il s'agit d'illites ou de glauconite (ou les deux à la fois).

Minéraux > 10 Å (tableau 17) :

sur argiles magnésiennes sans traitement ni chauffage, on observe toujours sur les diagrammes des pics massifs qui ont tendance cependant à former un maximum aux alentours de 14 Å. Principale exception : Héry dont le maximum, peu net, se situe plutôt vers 12 Å. Signalons que seules les argiles de Pontigny présentent de véritables pics bien nets, même si leur base reste encore très élargie.

Après traitement à l'éthylène-glycol, toutes les argiles gonflent plus ou moins (surtout Pontigny, Rebourseaux (B)-C, Flogny (B)₂ et (B)-C, Montmercy (B) et C, La Villotte (B) et Nationale 77 C) sauf Flogny A_{2g} et La Villotte A_{21g}.

Après chauffage à 300, 400 ou 450°C, on peut distinguer trois cas :

- retour complet à 10 Å = Pontigny.
- retour imparfait à 10 Å suite à l'existence de "cales" d'hydroxydes interfoliaires (minéraux hydroxy-alumineux) = Héry, Rebourseaux, Montmercy,
- résidu important entre 10 et 14 Å correspondant à des minéraux fortement hydroxy-aluminisés = La Villotte et Flogny, horizons A_{2g}.

HERY

réseaux mal organisés 10-14 Å, plus ou moins gonflants, à cales d'aluminium hydroxylé = intergrades gonflants ou smectites hydroxy-alumineuses.

PONTIGNY et LA VILLOTTE (B)

smectites assez bien organisées, de transformation (sans doute à partir de la glauconite).

REBOURSEAUX, MONTMERCY, NATIONALE 77 et FLOGNY /horizons (B)/
smectites mal organisées hydroxy-alumineuses.

FLOGNY et LA VILLOTTE (horizons A_{2g})

vermiculites hydroxy-alumineuses.

- Composition chimique (tableau 18)**HERY - MONTMERCY**

ces deux sols sont développés dans les "sables verts" très riches en glauconie. Les teneurs en Fe₂O₃ sont donc très élevées avec cependant une diminution dans les horizons A. S'agit-il de déferrification des argiles ou d'une variation dans les proportions de minéraux différents ? A noter aussi les faibles teneurs en Al₂O₃ en relation avec la présence presque exclusive de glauconite plus ou moins "ouverte".

FLOGNY

c'est le sol dont les argiles sont les plus riches en aluminium suite à la présence de kaolinite en abondance.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	perte au feu
HERY (argiles-Ba)									
A ₂₁	51,3	14,60	14,55	3,03	1,34	< 0,07	0,14	1,22	13,71
A ₂₂	50,8	14,10	16,45	3,50	1,42	< 0,07	0,14	1,14	12,39
(B)1	48,7	14,99	18,73	4,10	1,95	< 0,07	0,05	0,34	11,11
(B)2	49,4	14,93	17,59	4,44	2,06	< 0,07	0,05	0,33	11,17
C ₁	50,2	13,93	17,93	5,09	2,20	< 0,07	0,05	0,31	10,26
C ₁ grains de glauconie 100 - 200 μm	49,9	10,40	19,40	5,75	2,70	0,80	0,14	0,13	11,60
PONTIGNY (argiles-Mg)									
A ₂₁	53,8	18,20	6,66	2,32	3,24	0,12	0,17	1,03	14,48
(B)1	47,7	19,39	8,80	2,86	3,63	0,12	0,20	0,58	16,66
(B)2	48,5	18,36	7,97	2,76	4,41	0,12	0,13	0,56	17,20
C ₂	46,3	21,03	8,24	2,91	3,64	1,03	0,17	0,52	16,16
REBOURSEAUX (argiles-Mg)									
A ₂₁	53,8	19,21	7,26	2,66	1,15	0,34	0,14	1,42	13,99
A ₂₂	51,4	22,05	8,14	2,85	1,35	0,24	0,03	1,22	12,65
A/(B)	51,7	22,06	8,56	2,79	1,40	0,20	0,07	1,01	12,18
(B)1	51,0	23,09	9,17	2,51	1,49	0,15	0,01	0,79	11,81
(B)2	50,3	23,38	9,12	2,19	1,42	0,13	0,03	0,75	12,68
(B)-C	51,0	23,62	8,84	1,95	1,34	0,12	0,03	0,78	12,29
(B)-C	53,9	22,46	7,84	1,66	1,30	0,12	0,03	0,75	11,88
FLOGNY (argiles-Ba)									
A _{2g}	46,1	27,31	8,88	2,89	0,97	< 0,07	0,22	1,35	12,20
(B)1	45,2	27,86	9,92	3,01	1,12	< 0,07	0,18	0,80	11,88
(B)2	45,1	28,28	9,67	3,21	1,19	< 0,07	0,20	0,77	11,51
C ₂	45,7	27,90	9,74	4,26	1,43	< 0,07	0,22	0,74	9,96
MONTMERCY (argiles-Ba)									
A ₂	48,9	17,97	15,01	3,16	1,19	< 0,05	0,13	0,97	12,60
A ₃	44,8	19,59	16,69	3,70	1,45	< 0,05	0,13	0,76	12,83
(B)	44,9	17,88	18,06	3,71	1,71	< 0,05	0,07	0,44	13,16
C	47,6	14,89	17,96	4,88	2,05	< 0,05	0,07	0,38	12,15

TABLEAU 18 : COMPOSITION CHIMIQUE DES FRACTIONS "ARGILES" (< 2 μm). Valeurs exprimées en % de la somme des 8 oxydes + la perte au feu.

A noter le contraste entre HERY et FLOGNY, notamment en ce qui concerne l'aluminium.

	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ / Al ₂ O ₃	K ₂ O/Al ₂ O ₃	K ₂ O / SiO ₂ x 100
HERY				
A ₂₁	6,0	0,64	0,22	3,7
A ₂₂	6,1	0,74	0,27	4,3
(B) ₁	5,5	0,80	0,30	5,3
(B) ₂	5,6	0,75	0,32	5,7
C ₁	6,1	0,82	0,39	6,4
PONTIGNY				
A ₂₁	5,0	0,23	0,14	2,7
(B) ₁	4,2	0,29	0,16	3,8
(B) ₂	4,5	0,28	0,16	3,6
C ₂	3,7	0,25	0,15	4,0
REBOURSEAUX				
A ₂₁	4,8	0,24	0,15	3,1
A ₂₂	4,0	0,24	0,14	3,5
A/(B)	4,0	0,25	0,14	3,4
(B) ₁	3,8	0,25	0,12	3,1
(B) ₂	3,7	0,25	0,10	2,8
(B)-C	3,7	0,24	0,09	2,4
(B)-C	4,1	0,22	0,08	2,0
FLOGNY				
A _{2g}	2,9	0,21	0,11	4,0
(B) ₁	2,8	0,23	0,12	4,2
(B) ₂	2,7	0,22	0,12	4,5
C ₂	2,8	0,22	0,17	5,9
MONTMERCY				
A ₂	4,6	0,53	0,19	4,1
A ₃	3,9	0,54	0,20	5,2
(B)	4,3	0,64	0,22	5,2
C	5,4	0,77	0,35	6,5
HERY-C Glauconite pure				
	8,2	1,19	0,60	7,2

TABLEAU 19 : COMPOSITION CHIMIQUE DES FRACTIONS
"ARGILE" (< 2 µm).
RAPPORTS MOLECULAIRES.

PONTIGNY

les argiles de Pontigny sont nettement moins riches en fer que celles des sols développés sur "sables verts" c'est donc que la roche-mère (Albien supérieur) est moins glauconieuse.

REBOURSEAUX

les argiles de ce sol sont les plus riches en SiO_2 et Al_2O_3 y est abondant. On ne note pas, à la différence des autres profils, de gradient régulier de composition de C vers A_2 (sauf pour K_2O mais il y a croissance). Au contraire, il semble y avoir une double évolution, de C vers (B) et de (B) vers A_2 , les minéraux argileux des horizons (B) étant les plus riches en Al, Fe et Mg et les plus pauvres en silice.

Tous les échantillons issus des cinq sols présentent une forte ou très forte teneur en fer (6,6 à 18,7 %) alors que les grains de glauconie n'ont pas été reconnus au sein des profils de Flogny et Rebourseaux.

On observe une décroissance nette et régulière des taux de K_2O et MgO lorsqu'on passe des argiles des horizons C vers celles des horizons A_2 .

Pour le fer, la décroissance générale semble se nuancer d'une augmentation localisée à l'horizon (B) situé le plus haut dans le profil.

Un certain accroissement de la silice dans les horizons superficiels pourrait résulter d'une accumulation, relative ou absolue, de quartz très fin.

Enfin, on constate une augmentation régulière de TiO_2 de C vers A_2 . Ce phénomène est régulier et prend une grande ampleur relative.

- Conclusion

de cette étude, il se dégage quatre grandes idées :

- dans les horizons de surface, il y a accumulation relative des argiles les plus grossières ;
- il apparaît peu de différences entre les fractions $< 2 \mu\text{m}$ des horizons A et celles des horizons (B) ou C ;
- depuis le bas des profils vers le haut, on constate cependant :
 - une ouverture progressive des feuillets des argiles micacées corrélativement à la perte de K, Mg et Fe (surtout nette pour les sols glauconieux) ;
 - une certaine aluminisation des feuillets dans les horizons A de Flogny, Nationale 77, Montmercy et La Villotte ;
 - une accumulation résiduelle de quartz, de kaolinite et de minéraux titanés dans les horizons supérieurs.
- Les constitutions minéralogiques des différents planosols sont variées. La planosolisation ne serait donc pas liée plus particulièrement à un certain type de minéraux phylliteux. Celle-ci, cependant semble beaucoup plus toucher les minéraux 2/1 que la kaolinite. Car ceux-ci seraient beaucoup plus altérables et/ou de dimensions beaucoup plus petites et/ou de CEC plus élevées.

Une étude plus fine des argiles s'avère cependant nécessaire pour mieux discerner les différences d'un horizon à l'autre. Celles-ci risquent en effet de toucher préférentiellement les particules les plus fines, or les diffractogrammes réalisés sur la fraction $< 2 \mu\text{m}$ globale privilégient toujours les argiles les plus grossières, mieux cristallisées. Une séparation granulométrique supplémentaire devra être effectuée à l'aide d'une ultra-centrifugeuse Sharples (chapitre VI).

B. COMPLEXE ABSORBANT ET pH

- Capacité d'échange (T) à pH 7

(méthode de METSON, saturation par l'acétate d'ammonium).

La capacité d'échange d'un horizon, telle qu'elle est déterminée traditionnellement à pH 7, correspond à la fois à des charges permanentes (dues aux substitutions dans les réseaux phylliteux) et à des charges variables qui apparaissent à ce pH, liées principalement à des composés organiques et à des hydroxypolymères d'aluminium.

Le tableau 20 présente les valeurs de T pour 28 sols sous forêt et 10 sous culture, classées selon les types d'horizons et par familles lithologiques (cf. p. 10).

$$1. - \quad T_{A_2} < T_{(B)d} < T_{(B)}$$

Cela n'a rien d'étonnant puisque les horizons A_2 sont très appauvris en argile et que, généralement, les horizons (B) "dégradés" contiennent moins d'argile que les (B) sous-jacents.

$$2. - \quad T_{A_1} > T_{A_2}$$

Là encore, rien de surprenant, la matière organique, beaucoup plus abondante en A_1 qu'en A_2 jouant un rôle prépondérant.

3. - Certaines familles lithologiques présentent des valeurs de T plus faibles que les autres faciès. C'est le cas de la famille 10 (sols sur argiles sableuses glauconieuses de l'Albien supérieur) pour tous les types d'horizons. La cause en est certainement que cette famille est, au point de vue granulométrique, la plus sableuse et corrélativement la moins argileuse dans les horizons (B) comme dans les horizons A. En ce qui concerne les horizons (B), la famille n° 4 (sols sur argiles sableuses ou non du Barrémien supérieur) se particularise par de faibles valeurs de T dues sans doute à la faible CEC des minéraux argileux que l'on y rencontre.

- Capacité d'échange cationique (CEC) des fractions $< 2 \mu\text{m}$ - Estimations à partir de T après correction de la matière organique.

La valeur de T de chaque horizon est rapporté à 100 g de $< 2 \mu\text{m}$ par une règle de trois de façon à tenter d'apprécier la CEC de la fraction "argile".

Cette estimation assez grossière repose d'abord sur la validité de la correction liée à la capacité d'échange imputable aux matières organiques.

Il est certain que, selon le type d'humus rencontré dans chaque profil, la matière organique possède une CEC intrinsèque spécifique, impossible à déterminer avec nos analyses courantes.

Pour simplifier nous avons systématiquement appliqué une correction de 200 m.é./100 g de matières organiques (soit 334 m.é./100 g de carbone). On remarquera que le choix (très contestable) de ce correctif revêt une grande importance pour les horizons A₁ et dans une moindre mesure pour les horizons A₂ mais perd toute influence sur les valeurs des horizons profonds qui contiennent généralement moins de 0,3 % de carbone (tableau 21).

Les résultats figurent sur la partie droite du tableau 20 (ils ne concernent que les sols prélevés sous forêt).

1) On s'aperçoit tout d'abord que

$$CEC_A < CEC_{(B)_d} < CEC_{(B)} \text{ et } C$$

et ce phénomène est systématique et très prononcé. Nous y reviendrons.

famille lithologique N°		Valeur de T à pH 7 (Méthode de Metson) en mē/100 g					Valeurs de la CEC de l'argile après correction de la M.O. à raison de 200 mē pour 100 g (forêt seulement)			
		A ₁	A ₂	(B) _d	(B)	C	A ₁ et A ₂	(B) _d	(B)	C
12	moyen. nb.ech.	/	8,0 10	13,1 5	20,5 12	/	29 8	39 5	45 12	/
11	moyen. nb.ech.	12,0 1	7,9 6	13,7 3	19,9 7	12,3 4	21 6	38 3	48 7	39 4
10	moyen. nb.ech.	7,2 2	3,6 10	8,0 3	12,9 9	/	9 9	23 4	36 8	/
7	moyen. nb.ech.	8,8 1	4,7 6	10,8 3	17,5 5	/	16 6	31 3	39 5	/
6 + 8	moyen. nb.ech.	15,8 2	5,1 6	15,2 1	15,3 6	11,6 3	10 7	42 1	40 6	64 3
5	moyen. nb.ech.	9,3 2	5,8 9	10,0 5	15,5 10	10,7 3	10 11	25 5	28 10	21 3
4	moyen. nb.ech.	11,6 2	5,5 8	13,4 1	13,2 8	13,1 2	9 6	29 1	29 8	39 2
Σ	minimum	5,8	0,5	5,5	9,2	5,5	0	16	21	20
	maximum	18,1	12,0	15,2	24,2	16,2	39	42	56	67
	moyenne	10,9	5,8	11,9	16,3	11,8	14	31	38	41
	nb.ech.	10	55	21	57	12	53	22	56	12

TABLEAU 20 : VALEURS BRUTES DE T ET ESTIMATIONS DE LA CEC DE L'ARGILE SELON LE TYPE D'HORIZON ET LA FAMILLE LITHOLOGIQUE.

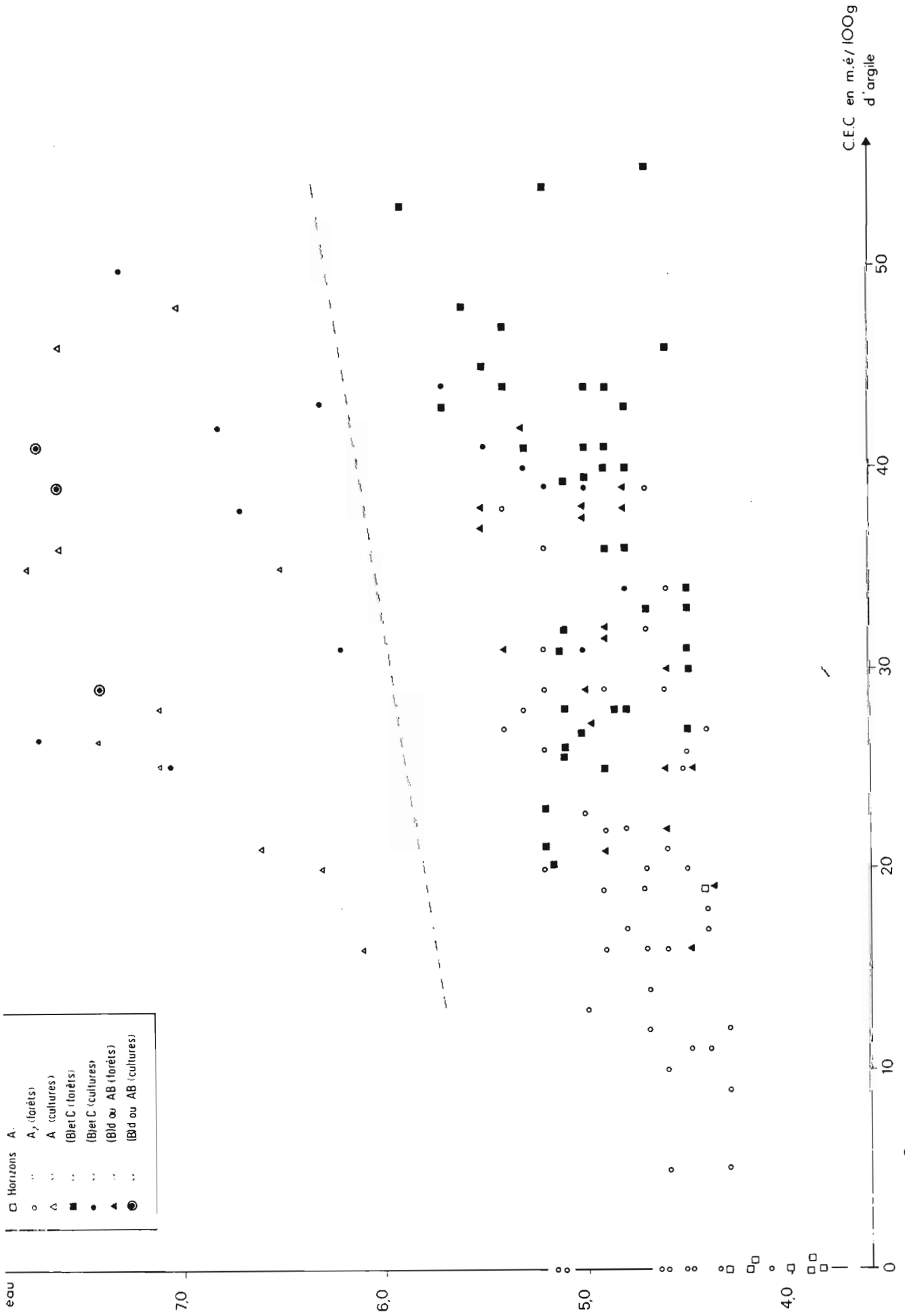


FIGURE 8 : RELATION ENTRE LE pH EAU ET LA CEC ESTIMÉE DE LA FRACTION "ARGILE". Tous les horizons situés au-dessus de la ligne tiretée sont issus de sols cultivés.

2) Si l'on s'intéresse seulement aux horizons (B), on constate que les familles lithologiques n° 4 (sols sur argiles sableuses ou non du Barrémien supérieur) et n° 5 (sols sur argiles limoneuses calcaires de l'Aptien) présentent des CEC moyennes inférieures à 30 tandis qu'à l'opposé les familles n° 11 et 12 (argiles de l'Albien supérieur et de l'Albo-Cénomaniens) ont des valeurs supérieures à 40. Ces chiffres reflètent certainement la nature des minéraux phylliteux : abondance de la kaolinite et des illites dans le premier cas et abondance d'édifices gonflants dans le deuxième cas.

La figure 8 montre la relation entre le pH eau et la CEC pour 100 g d'argile ainsi estimée. On constate, pour les sols sous forêts, un alignement très net des points caractérisant un fort abaissement de la CEC de la fraction argile à mesure que l'on passe des horizons profonds C ou (B) aux horizons superficiels A₂ ou A₁ et donc également parallèlement à la diminution des pH.

La figure 9 isole 6 profils à titre d'exemple. 5 d'entre eux manifestent une réduction très importante (jusqu'à l'annulation) de la CEC en même temps que les pH s'abaissent mais le sixième montre que la décroissance de la CEC peut se faire à pH constant.

On notera aussi que l'abaissement de la CEC n'a pratiquement pas lieu dans les sols actuellement sous cultures ou bien qu'il se manifeste seulement de façon atténuée.

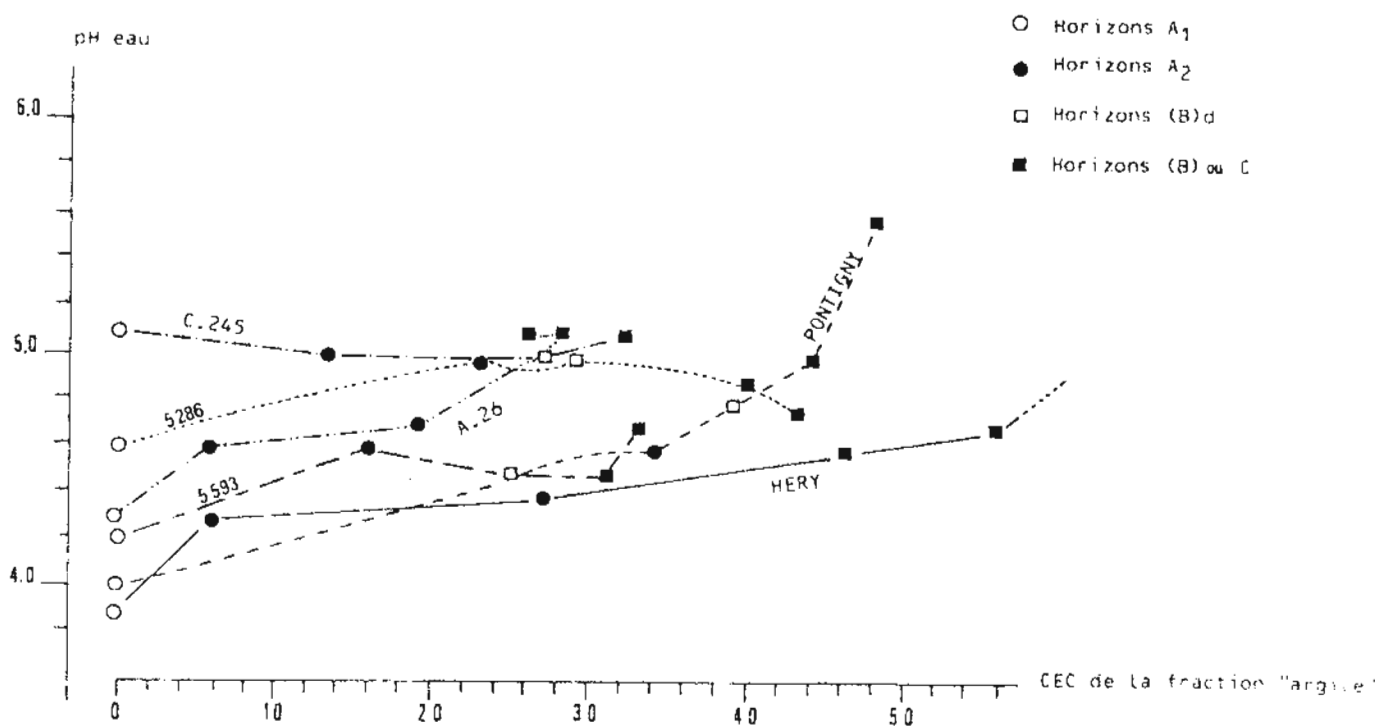


FIGURE 9 : RELATION ENTRE LE pH EAU ET LA CEC ESTIMÉE DE LA FRACTION "ARGILE". EXEMPLE DE 6 PROFILS.

Un certain nombre d'explications peuvent être avancées :

1. cet abaissement de la CEC est un artéfact de calcul : la correction de la matière organique est très surestimée. Il est possible que les valeurs nulles soient dues effectivement à des corrections excessives. Mais le tableau 21 permet de faire les remarques suivantes :

- pour le profil REBOURSEAUX, au vu des dosages directs (par détermination du baryum préalablement fixé sur le complexe) la correction de 344 m.é./100 g de carbone semble correcte ;
- pour les profils A. 26, et PONTIGNY, l'abaissement persiste même avec des corrections faibles de 172 m.é./100 g de carbone soit environ 100 m.é./100 g de matières organiques valeur proposée par DUCHAUFOUR (1970) pour des matières organiques peu humifiées (tourbes et mors).

2. La diminution de la CEC de la fraction argile est liée à la présence de quartz inférieur à 2 μ m. Cette hypothèse est vraisemblable mais ne peut suffire à expliquer l'ampleur du phénomène.

3. Cet abaissement est bien réel. Il dénote la présence dans les horizons A d'argiles à faible capacité d'échange, soit qu'il y ait

- accumulation relative de kaolinite (par exemple) suite au départ préférentiel d'autres espèces à plus forte CEC ;
- ou bien transformation des minéraux argileux originels avec ouverture des feuillets des illites et installation en positions interfoliaires d'hydroxydes d'aluminium non échangeables.

On notera que cet abaissement ne se manifeste pas dans les sols actuellement mis en culture et qui présentent de ce fait des pH très supérieurs à 5,5.

- pH eau (27 profils situés sous forêt ; 122 horizons)

Horizons A ₁	pH de 3,9 à 5,1	médiane : 4,2	(12 échantillons)
Horizons A ₂	pH de 4,1 à 5,4	médiane : 4,6	(42 échantillons)
Horizons (B) _d	pH de 4,5 à 5,5	médiane : 4,8	(19 échantillons)
Horizons (B)	pH de 4,3 à 6,5	médiane : 5,1	(36 échantillons)

Horizons (B)-C et C non calcaires : acides (4,9 à 5,5) ou neutres (7,1 à 7,6)
 Horizons C calcaires : pH alcalin 7,9 à 8,6.

- Valeurs de $V = \frac{S}{T} \times 100$ - Relations avec le pH eau -

la figure 10 présente la relation entre V et le pH H₂O selon les 5 grands types d'horizons. Elle ne concerne que les sols développés sous forêt et les horizons C carbonatés ont été exclus.

Les points s'alignent à peu près selon une droite. Pour les horizons pauvres en matières organiques :

quand V	<	18	le pH vaut entre 4,3 et 4,7
quand V	entre	18 et 40	le pH vaut entre 4,3 et 5,2
quand V	entre	40 et 70	le pH vaut entre 4,6 et 5,2
quand V	entre	70 et 100	le pH vaut entre 4,9 et 5,6
quand V	>	100	le pH vaut entre 5,4 et 7,1

	Estimation de la CEC de la fraction argile selon le correctif de la M.O. utilisé. x mé/100 g de carbone.					Mesures directes et indirectes (Arras)	
	344	258	172	86	0	①	②
HERY							
A ₁	0	13	52	90	128	-	-
A ₂₁	5	18	32	46	60	44	-
A ₂₂	27	32	36	40	45	37	42
(B)	46	46	47	47	48	46	42
* (B)-c	56	56	56	57	57	48	38
* C ₁	67	67	68	68	68	41	36
C ₂	62	62	63	63	63	45	-
PONTIGNY							
A ₁	0	0	9	40	71	-	-
A ₂₁	25	29	34	39	44	54	-
A ₂₂	34	36	38	40	42	-	-
(B)d	39	39	40	41	42	-	-
(B)	44	44	45	45	45	47	-
(B)-c	48	48	48	49	49	46	-
C ₁	46	46	46	47	47	-	-
** C ₂	35	36	36	37	37	57	-
FLOGNY							
A _{2g}	15	19	23	27	31	33	45
A(B)	21	23	25	27	29	-	-
(B) ₁	25	26	26	27	27	36	54
(B) ₂	26	26	27	27	27	36	48
(B)-c	25	26	26	27	27	-	-
C ₁	22	22	22	23	23	-	-
C ₂	21	21	22	22	22	26	34
C ₃	20	20	20	21	21	-	-
REBOURSEAUX							
A ₂₁	32	38	42	46	49	26	-
A ₂₂	39	40	41	43	44	37	31
A/(B)	38	38	38	39	39	37	-
(B)	41	42	42	42	43	47	49
(B)	47	47	48	48	48	61	-
(B)-c	44	45	45	45	45	60	-
(B)-c	45	45	45	45	45	59	55
A. 26							
A ₁	0	0	16	44	73	-	-
A ₂₁	5	11	19	26	34	-	-
A ₂₂	19	22	24	27	29	-	-
(B) ₁	28	28	29	29	30	-	-
(B) ₂	26	26	26	27	27	-	-

* valeurs surestimées suite à sous-estimation du taux d'argile (pseudo-sables) ;

** valeur sous-estimée suite à la présence de CO₃Ca.

① Dosage direct du baryum sur argile-Ba⁺⁺.

② Estimation indirecte : différence de Mg entre argiles-Mg⁺⁺ et argiles-Ba⁺⁺

TABLEAU 21 : ESTIMATION DE LA CEC DE LA FRACTION ARGILE A PARTIR DE T (pH 7). Influence du correctif utilisé et comparaison avec d'autres méthodes d'approche.

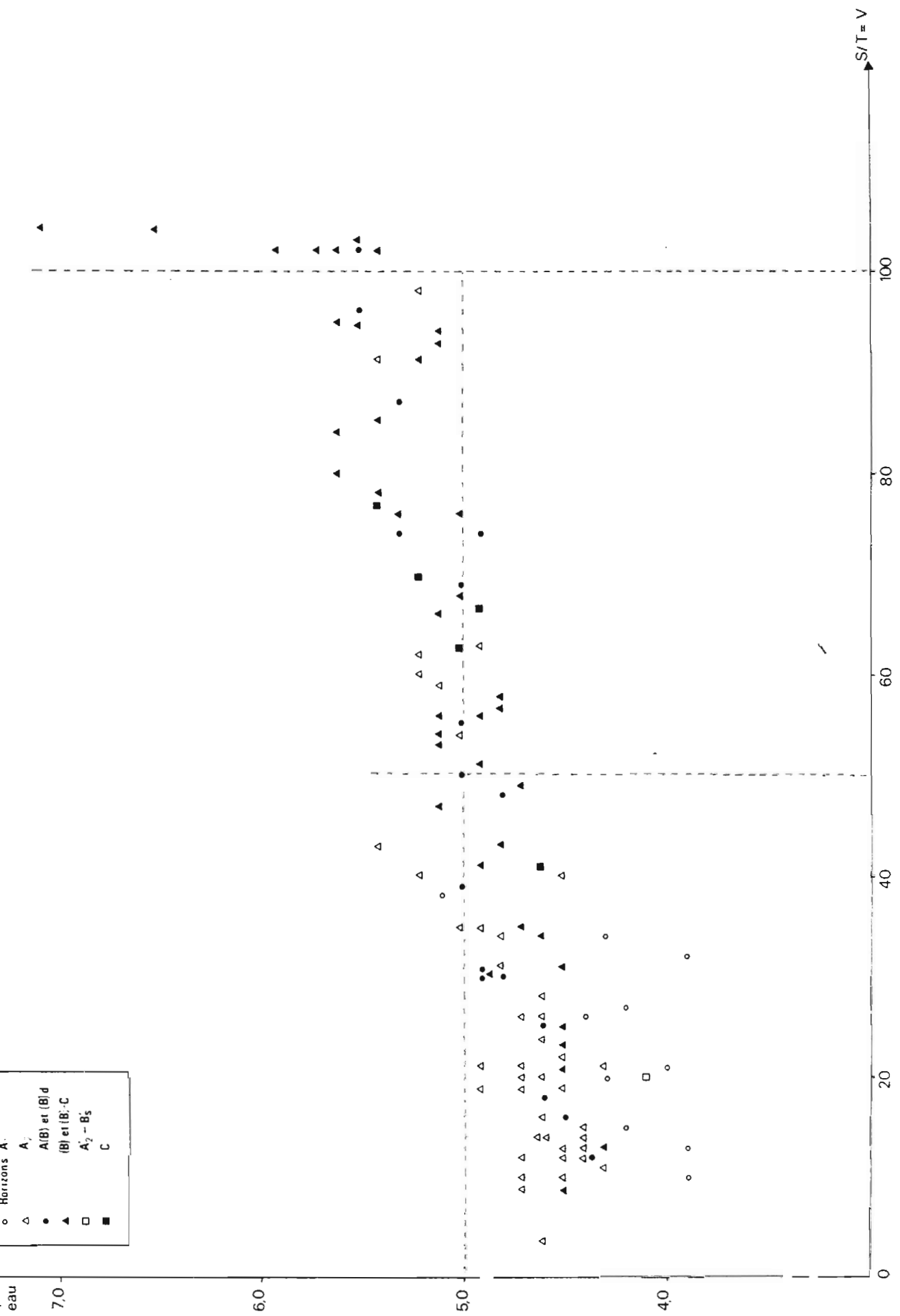


FIGURE 10 : RELATIONS ENTRE V = S/T ET LE pH EAU SELON CINQ TYPES D'HORIZONS.

On remarque également que les 7 horizons dont le pH H₂O est inférieur à 4,3 sont des horizons humifères : 6 horizons A₁ et un horizon A₂-B's podzolique (influence des acides organiques).

Sur 53 horizons A₁ ou A₂

46 valeurs de V < 44

5 valeurs de V entre 44 et 65

2 valeurs de V entre 90 et 100

pour 43 d'entre eux le pH H₂O est inférieur à 5,0

pour 2 d'entre eux le pH H₂O est égal à 5,0

pour 8 d'entre eux le pH H₂O est entre 5,0 et 5,4.

Les horizons (B)d et (B) s'échelonnent régulièrement entre V = 8 et V = 100 selon que l'on a affaire à une roche-mère acide ou carbonatée. Quant aux horizons C de matériaux acides leur pH H₂O varie entre 4,6 et 5,4 tandis que V se situe entre 40 et 80.

- Bases échangeables - valeurs absolues et rapportées à S

Chacun des 4 cations échangeables présente, en valeurs absolues, des teneurs croissantes avec la profondeur, d'où l'augmentation régulière des valeurs de S et de V.

Dans pratiquement tous les cas : Ca⁺⁺ > Mg⁺⁺ > K⁺ > Na⁺

Lorsqu'on considère le rapport Ca⁺⁺/S on constate que pour les horizons saturés, ce rapport vaut entre 80 et 92 %. Lorsque les horizons ont un S/T supérieur à 40 %, Ca⁺⁺ représente encore de 66 à 90 % de S. Quand le calcium échangeable constitue moins de 60 % de la somme des bases échangeables, c'est que S/T ≤ 30 %. Corrélativement, lorsque le taux de saturation est bas, inférieur à 40 %, le magnésium et le potassium prennent de l'importance (Mg⁺⁺/S > 30 % et K⁺/S > 10 %).

Les tableaux 22, 23 présentent les résultats analytiques des bases échangeables classés par types d'horizons et par familles lithologiques :

- en valeurs absolues (tableau 22) ;

- rapportés aux taux d'argile : $\frac{Mg^{++} \times 100}{\% \text{ argile}}$ et $\frac{K^+ \times 100}{\% \text{ argile}}$ (tableau 23)

Premièrement les horizons A₂ manifestent nettement un appauvrissement en cations par rapport aux horizons (B), cet appauvrissement touchant beaucoup plus Mg⁺⁺ que K⁺.

Deuxièmement, la remontée biologique se marque très nettement dans les horizons A₁ (seuls les sols sous forêt sont traités ici) surtout pour Mg⁺⁺ et K⁺.

Enfin, certaines familles lithologiques paraissent plus riches en bases échangeables : c'est le cas des familles n° 11 et 12 pour les 4 cations. Il peut s'agir à la fois d'une richesse naturelle dès l'origine mais aussi ce peut être la conséquence d'une désaturation faible (famille 12). Inversement, les familles lithologiques 4, 6, 7 et 10 sont nettement plus pauvres en bases que la moyenne, soit qu'il s'agisse de matériaux plus pauvres initialement (non calcaires, non glauconieux, à faible valeur de T) comme la famille n° 4 soit qu'il s'agisse de sols très désaturés et très appauvris en argile comme ceux de la famille 10 qui ont subi une pédogénèse très "soustractive".

	HORIZONS	Valeur minimale	Valeur maximale	moyenne générale	Nombre d'horizons pris en compte	Familles présentant les moyennes les plus fortes		Familles présentant les moyennes les plus faibles			
Ca ⁺⁺	A	0	5,4	1,3	56	11	12	4	6	7	10
	(B)	0,08	23,3	8,0	57	11	12	4	6	7	10
Mg ⁺⁺	A ₁₁ A ₁₂	0,19	1,47	0,52	14	-		-			
	A ₂	0,01	1,41	0,33	38	12		4	7	10	
	(B)	0,76	4,20	2,20	41	5	7	12	6	10	11
K ⁺	A ₁₁ A ₁₂	0,07	0,55	0,24	15	-		-			
	A ₂	0,01	0,23	0,10	42	11	12	4	5	10	
	(B)	0,08	0,76	0,30	56	6	11	4	5	10	
Na ⁺	A	0,005	0,18	0,04	56	11	12	6	7	10	
	(B)	0,03	0,60	0,20	56	12		7	10		

TABLEAU 22 : CATIONS ECHANGEABLES.
VALEURS ABSOLUES EXPRIMEES EN mé/100 g.

Mg ⁺⁺	famille	horizon	nombre	moyenne	
4	A ₂	A ₂	4	0,99	--
	(B)	(B)	3	4,46	
5	A ₂	A ₂	8	1,87	
	(B)	(B)	12	4,50	
6 - 8	A ₂	A ₂	6	2,11	
	(B)	(B)	8	5,60	
7	A ₂	A ₂	5	3,06	++
	(B)	(B)	6	5,99	++
10	A ₂	A ₂	9	1,04	--
	(B)	(B)	6	2,26	--
11	A ₂	A ₂	5	2,79	
	(B)	(B)	10	3,54	--
12	A ₂	A ₂	6	4,46	++
	(B)	(B)	11	6,23	++

K ⁺	famille	horizon	nombre	moyenne	
4	A ₂	A ₂	4	0,30	-
	(B)	(B)	3	0,47	--
5	A ₂	A ₂	8	0,38	-
	(B)	(B)	12	0,42	--
6 - 8	A ₂	A ₂	6	0,84	
	(B)	(B)	8	1,27	++
7	A ₂	A ₂	5	0,95	+
	(B)	(B)	6	0,96	++
10	A ₂	A ₂	9	0,50	
	(B)	(B)	6	0,47	--
11	A ₂	A ₂	5	0,96	+
	(B)	(B)	10	1,09	++
12	A ₂	A ₂	6	0,63	
	(B)	(B)	11	0,56	

TABLEAU 23 : RAPPORTS $\frac{\text{Mg}^{++}}{\% \text{ argile}} \times 100$ et $\frac{\text{K}^{+}}{\% \text{ argile}} \times 100$ SELON LES TYPES D'HORIZONS

ET LES FAMILLES LITHOLOGIQUES.

Colonne de droite : situation de la famille par rapport à la moyenne générale.

C. LE FER- Fer total (fer élément en %)

Pour la mise en solution du fer, le laboratoire d'Arras a été amené à changer d'extracteur : HCl utilisé jusqu'en 1973 a laissé la place à HF. Il est vraisemblable que ce deuxième acide est beaucoup plus capable d'extraire la totalité du fer des réseaux que HCl utilisé précédemment. Les résultats d'analyse que nous allons discuter ne sont donc pas homogènes car nos prélèvements se sont échelonnés de 1969 à 1981.

Logiquement, le taux de fer total dépend :

- de la teneur en fer de la fraction "argile" ;
 - du taux d'argile de l'horizon ;
 - de la présence éventuelle de minéraux ferrifères abondants (minéraux lourds) ;
 - d'une éventuelle accumulation d'oxydes ou hydroxydes, relative ou absolue, sous la forme d'imprégnations diffuses ou de nodules ;
 - de l'altération éventuelle de cailloux de grès ferrugineux lorsque ceux-ci sont présents en abondance (23,5 % de Fe dans un échantillon de grès).
- Sur le tableau 24 on constate naturellement que les A₂ sont nettement plus pauvres en fer que les horizons (B). Certaines familles lithologiques sont nettement plus riches que les autres notamment la famille n° 6-8, la plus riche en glauconie en grains.
 - On remarque cependant que les valeurs du fer total rapportées aux taux d'argile granulométrique présentent une valeur plus élevée dans les horizons A₂ que dans les horizons (B). Et ce sont à nouveau les familles les plus riches en glauconie qui accusent les rapports fer total/argile les plus forts (familles n° 6-8, 7 et 10).
 - Les figures 11 montrent que les valeurs maximales du rapport fer total/argile se situent toujours dans les horizons A. C'est sans doute le signe d'une accumulation relative du fer, cet élément ayant été soustrait moins vite que les minéraux argileux. Cette accumulation relative se manifeste sous la forme de nodules ou par des imprégnations de la matrice par des oxydes, bien visibles lors des examens micromorphologiques (p. 41).

- Fer "libre" (fer élément en %)

Il a été dosé par la méthode DEB et il ne semble pas que le laboratoire d'Arras ait changé de méthode au cours des années.

- En valeurs absolues, les taux du fer "libre" des A₂ sont inférieurs à ceux des horizons (B). Les familles lithologiques n° 4 et 5 paraissent particulièrement riches en fer "libre" dans les A₂ et les familles n° 5, 6-8 et 7 très riches dans les (B). Enfin la famille n° 11 est la plus pauvre pour tous les types d'horizons.
- Au sein d'un même profil, les maximums en valeur absolue sont toujours atteints dans les horizons (B)_d ou (B) le plus proche de la surface (tableau 25) c'est-à-dire dans un horizon non encore appauvri en argile et soumis déjà à une altération notable. Pour des teneurs en argile du même ordre ou même plus élevées, les teneurs en fer "libre" des horizons (B)-C et C manifestent une très nette diminu-

tion. Il semble donc y avoir là un "indice d'altération" valable au moins pour comparer entre eux les horizons argileux.

		Fer total Valeurs absolues		$\frac{10 \times \text{Total}}{\% \text{ argile}}$		Fer "libre" Valeurs absolues		$\frac{10 \times \text{"libre"}}{\% \text{ argile}}$		"Libre"/total	
		Nb.	moyenne	Nb.	moyenne	Nb.	moyenne	Nb.	moyenne	Nb.	moyenne
4	A	9	1,77	9	1,15	10	1,38	10	0,92	9	0,75
	(B)	7	3,43	8	0,81	7	2,03	9	0,60	8	0,60
5	A	14	2,08	14	1,23	13	1,46	13	0,86	13	0,70
	(B)	11	3,91	14	0,74	10	2,47	13	0,46	13	0,62
6 - 8	A	31	1,52	32	1,61	26	0,93	26	0,90	26	0,61
	(B)	12	5,93	12	1,59	7	2,46	11	0,68	8	0,44
7	A	10	1,44	10	1,16	8	0,92	8	0,75	8	0,62
	(B)	4	4,90	4	1,13	2	2,54	2	0,59	2	0,52
10	A	9	1,13	9	1,08	9	0,78	9	0,75	9	0,70
	(B)	5	2,81	5	0,95	5	1,55	5	0,52	5	0,55
11	A	7	1,40	7	0,85	7	0,69	7	0,43	7	0,50
	(B)	7	3,32	9	0,79	7	1,19	9	0,24	7	0,36
12	A	5	1,86	5	1,08	5	1,09	5	0,64	5	0,59
	(B)	7	3,51	7	0,77	7	1,91	7	0,42	7	0,55

TABLEAU 24 : FER TOTAL ET FER "LIBRE" - VALEURS MOYENNES DES HORIZONS A ET (B) SELON LES FAMILLES LITHOLOGIQUES.

- Lorsque on rapporte les taux de fer DEB aux taux d'argile granulométrique (tableau 25) on observe à nouveau un renversement de la situation : les horizons A apparaissent comme relativement plus riches que les horizons (B). Les figures 11 montrent bien que ce rapport prend ses valeurs maximales dans les horizons A₂ ou, plus rarement, dans les horizons A₁.
- Quant au rapport fer libre/fer total il est généralement considéré comme bien représentatif du degré d'altération puisqu'il rapporte au stock total le fer sorti des réseaux des silicates et présent sous différentes formes (cristallisée ou amorphe, libre ou complexée). Le tableau 25 permet de suivre l'augmentation régulière de ce véritable "indice d'altération" de bas en haut des profils (sauf à REBOURSEAUX où le gradient n'est pas net). Les sols les plus riches en grains de glauconie (HERY, PONTIGNY, MONTMERCY) sont ceux pour lesquels le rapport fer DEB/fer HF est le plus faible en C et (B) : une faible quantité de fer a été extraite d'un gros stock de fer constitutif des réseaux cristallins. A FLOGNY, les fortes valeurs du rapport en (B) sont à mettre en relation avec l'abondance de goethite héritée de la sédimentation. Mais cette valeur augmente encore dans l'horizon A ce qui dénote un

PROFIL	HORIZON	Argile granulo. %	Fer total HF %	Fer "Libre" Deb %	Fer HF argile x 10	Fer Deb argile x 100	Fer Deb Fer HF %
NATIONALE 77	Ap	13,7	1,82	1,55	1,33	1,13	0,85
	A _{2g}	16,8	1,89	1,50	1,13	0,89	0,79
	(B)d	43,2	3,56	2,78	0,82	0,64	0,78
	(B)	45,7	2,82	1,64	0,62	0,36	0,58
LA VILLOTTE	A _{21g}	11,0	2,07	1,29	1,88	1,17	0,62
	A _{22g}	12,9	2,64	1,55	2,05	1,20	0,59
	(B)d	28,5	4,43	2,41	1,55	0,85	0,54
	(B)	39,3	4,99	2,19	1,27	0,56	0,44
MONTMERCY	Ap	5,6	1,38	1,04	2,46	1,86	0,75
	A _{2g}	5,2	1,08	0,58	2,08	1,12	0,54
	A ₃	10,0	1,99	1,01	1,99	1,01	0,51
	(B)	18,3	3,23	1,55	1,77	0,85	0,48
	C	8,5 *	2,39	0,68	2,81	0,80	0,28
FLOGNY	A _{2g}	26,2	2,72	1,47	1,04	0,56	0,54
	(B) ₁	61,2	4,64	2,29	0,76	0,37	0,49
	(B) ₂	57,3	4,52	2,12	0,79	0,37	0,47
REBOURSEAUX	A ₂₁	14,0	1,50	0,84	1,07	0,60	0,56
	A _{22g}	19,0	2,11	1,13	1,11	0,59	0,54
	A/(B)	32,3	2,99	1,60	0,93	0,50	0,54
	(B) ₁	41,7	3,70	1,69	0,89	0,41	0,46
	(B) ₂	44,4	3,57	1,72	0,80	0,39	0,48
	(B)-C	47,6	3,87	2,11	0,81	0,44	0,55
PONTIGNY	(B)-C	52,1	4,06	2,34	0,78	0,45	0,58
	A ₁	16,8	0,93	0,38	0,55	0,23	0,41
	A _{21g}	15,9	1,30	0,55	0,82	0,35	0,42
	A _{22g}	19,9	1,97	0,72	0,99	0,36	0,37
	(B)d	33,5	3,34	0,98	1,00	0,29	0,29
	(B)	46,6	4,40	0,98	0,94	0,21	0,22
	(B)-C	42,1	4,05	0,78	0,96	0,19	0,19
	C ₁	34,2 *	3,21	0,59	0,94	0,17	0,18
C ₂ Ca	32,8 *	3,17	0,46	0,97	0,14	0,15	
HERY	A ₁	14,1	1,46	0,84	1,04	0,60	0,58
	A ₂₁	11,0	1,46	0,84	1,33	0,76	0,58
	A _{22g}	12,1	1,97	1,10	1,63	0,91	0,56
	(B)d	46,4	7,23	3,00	1,56	0,65	0,41
	(B)	47,9	7,29	2,34	1,52	0,49	0,32
	(B)-C	33,4 *	6,33	1,50	1,90	0,45	0,24
	C ₁	23,7 *	6,67	1,15	2,81	0,49	0,17
	C ₂	20,8 *	5,13	1,02	2,47	0,49	0,20

* Présence de glauconie en grains ; argile granulométrique < argile minéralogique

TABLEAU 25 :
FER TOTAL ET FER "LIBRE"
7 PRINCIPAUX PROFILS. ANALYSES COURANTES.

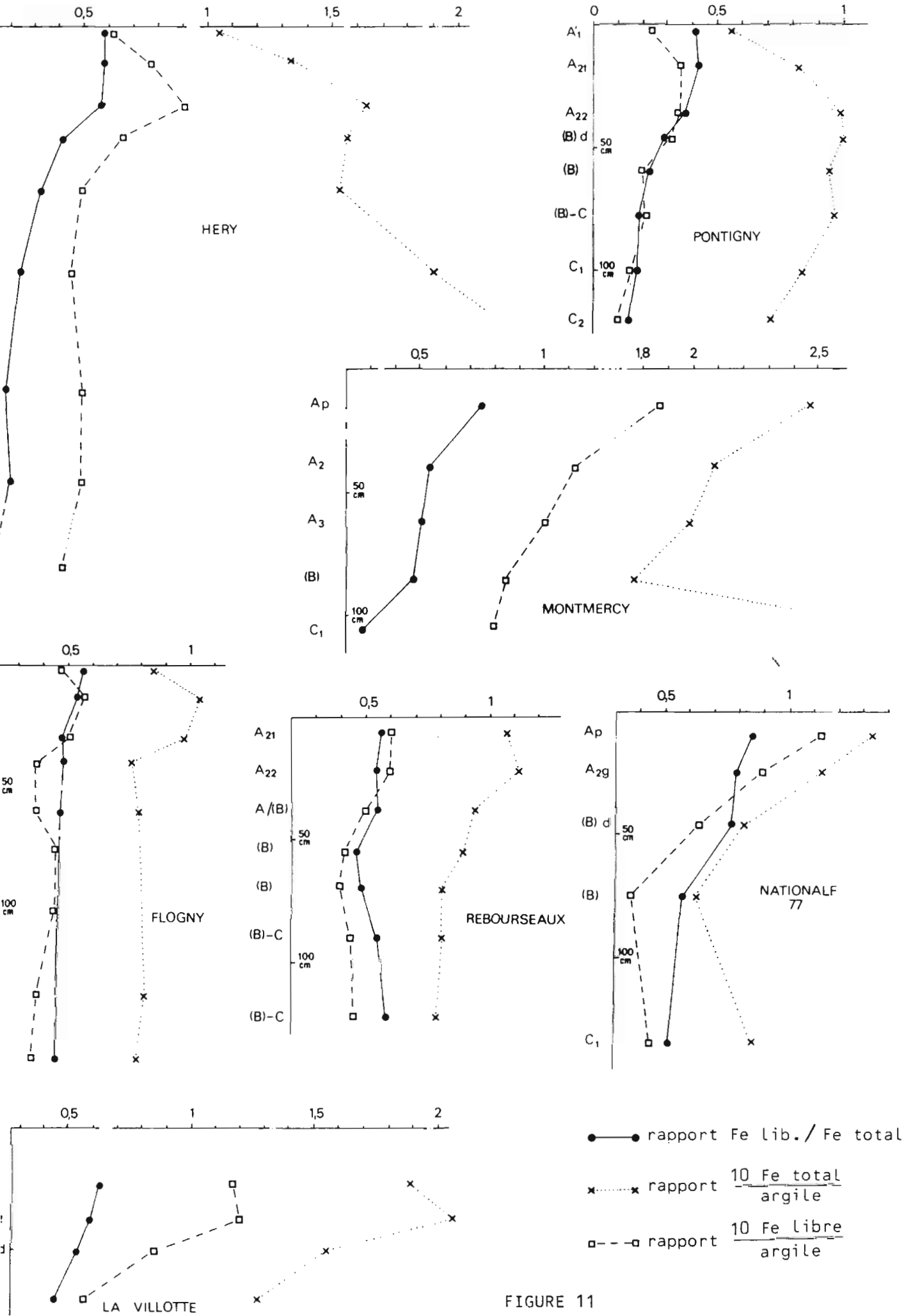
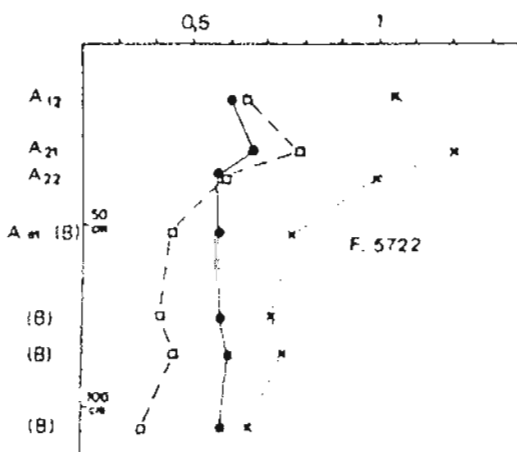
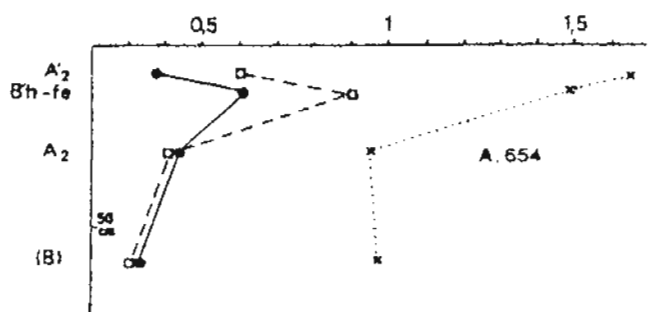
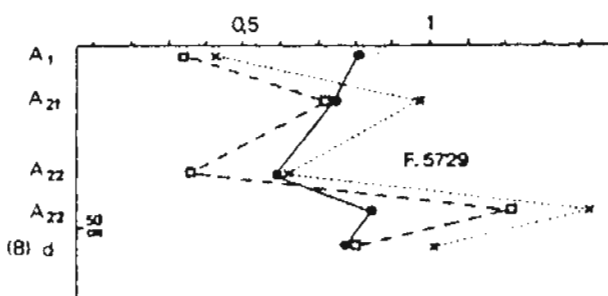
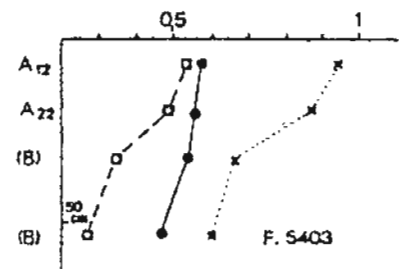
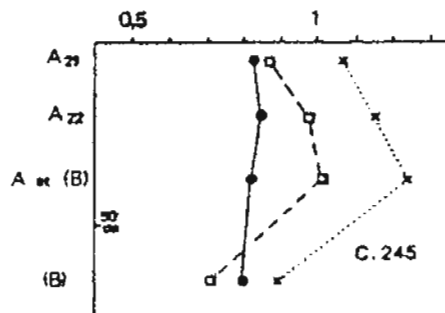
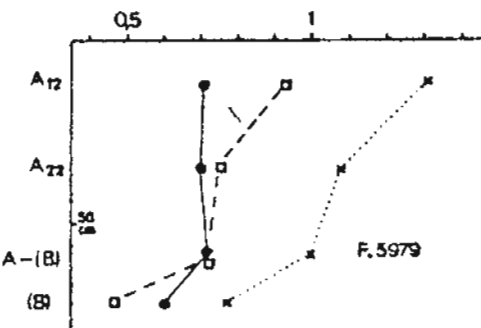
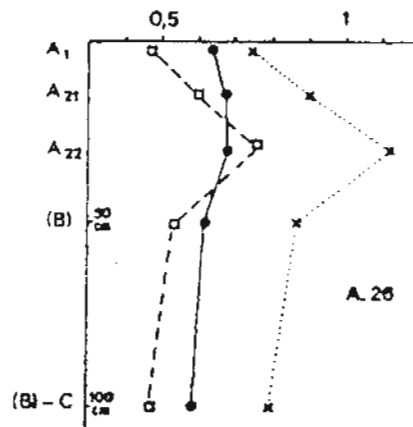
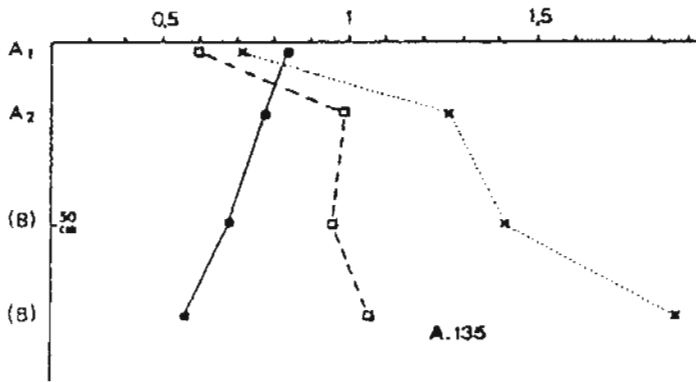
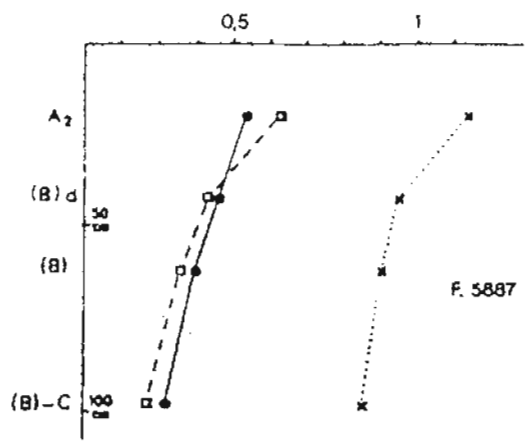
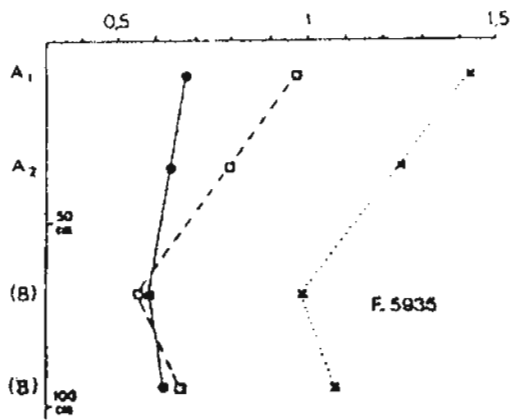


FIGURE 11



— rapport Fe libre / Fe total
 rapport $\frac{10 \text{ Fe total}}{\text{argile}}$
 - - - rapport $\frac{10 \text{ Fe libre}}{\text{argile}}$

FIGURE 11 : Fer "libre" et fer total en fonction de la profondeur pour 17 profils.

degré d'altération toujours plus poussé.

On peut faire la même remarque pour le profil NATIONALE 77, en ajoutant que ce sol s'est développé dans un sédiment continental : une paleo-altération crétacée a précédé l'altération contemporaine, d'où les rapports fer libre/fer total observés actuellement.

Les profils supplémentaires présentés sur la figure 11 montrent également la valeur maximale de ce rapport dans leurs horizons A.

D. L'ALUMINIUM

- Aluminium total et aluminium "libre" (tableau 26)

Les valeurs de l'aluminium total (extrait par HF et exprimé en Al et non en Al_2O_3) regroupent :

- l'aluminium des réseaux cristallins des argiles ;
- l'aluminium des minéraux des limons et des sables (feldspaths, micas, minéraux lourds alumineux...) ;
- diverses formes d'aluminium amorphe, complexé, ou plus ou moins cristallisé sous formes d'oxydes ;
- de l'aluminium échangeable fixé sur le complexe absorbant.

Si l'on rapporte cette valeur brute au taux d'argile granulométrique sous la forme

$$\frac{\% \text{ d'aluminium total} \times 10}{\% \text{ d'argile granulo.}}$$

on obtient des valeurs qui varient pour les 6 profils entre 0,97 et 2,31. Dans certains cas (MONTMERCY C, PONTIGNY C_1 et C_2 , HERY (B)-C, C_1 et C_2) il est certain qu'il existe une discordance entre l'argile granulométrique et l'argile minéralogique suite à l'existence de grains de glauconie non désagrégés : le rapport AL HF/argile est donc trop élevé.

Cette remarque étant faite, on peut noter :

- que le profil HERY est particulièrement pauvre en aluminium tandis que FLOGNY est spécialement riche (Kaolinite) ;
- que, dans tous les cas, les horizons A présentent un rapport Al HF/argile beaucoup plus élevé que celui des horizons (B). Deux explications sont possibles qui peuvent avoir joué simultanément :
 - o minéraux argileux de nature différente, plus riches en aluminium dans leur réseau ou en positions interfoliaires ;
 - o accumulation relative de minéraux peu altérables, relativement riches en aluminium (muscovite, orthose).

En ce qui concerne les dosages de l'aluminium dit "libre" obtenus au laboratoire d'Arras (méthode de Tamm adaptée) les valeurs absolues sont faibles : 1,0 à 5,6 pour mille d'aluminium. Le réactif de Tamm (acide oxalique + oxalate d'ammonium) extrait essentiellement des formes amorphes.

Les rapports Al Tamm/Al HF s'étagent largement entre 1,8 et 12,2 %. Les différents profils ne sont guère comparables entre eux : HERY, profil le plus pauvre en aluminium total, est celui pour lequel le rapport Al libre/Al total est le plus élevé. Inversement, FLOGNY, le plus riche en Al total, présente le plus faible rapport Tamm/HF.

PROFIL	HORIZON	Argile granulo. %	Al total HF %	Al "libre" Tamm ‰	Al HF argile x 10	Al Tamm argile x 100	Tamm HF %
NATIONALE 77	Ap	13,7	-	1,44	-	1,05	-
	A ₂ g	16,8	-	1,18	-	0,70	-
	(B)d	43,2	-	2,70	-	0,63	-
	(B)	45,7	-	3,20	-	0,70	-
LA VILLOTTE	A ₂ 1g	11,0	2,40	2,00	2,18	1,82	8,3
	A ₂ 2g	12,9	2,80	2,30	2,17	1,78	8,2
	(B)d	28,5	5,00	4,30	1,75	1,51	8,6
	(B)	39,3	6,50	4,40	1,65	1,12	6,7
MONTMERCY	Ap	5,6	1,20	1,0	2,14	1,79	8,3
	A ₂ g	5,2	1,20	1,0	2,31	1,92	8,3
	A ₃	10,0	2,10	1,6	2,10	1,60	7,6
	(B)	18,3	2,70	2,2	1,48	1,20	8,1
	C	8,5 *	1,70	0,9	2,00	1,06	5,3
FLOGNY	A ₂ g	26,2	5,50	2,9	2,10	1,11	5,3
	(B) ₁	61,2	11,20	4,9	1,83	0,80	4,4
	(B) ₂	57,3	11,20	4,4	1,95	0,77	3,9
REBOURSEAUX	A ₂ 1	14,0	3,0	2,3	2,14	1,64	7,7
	A ₂ 2g	19,0	4,3	2,7	2,26	1,42	6,3
	A/(B)	32,3	5,3	4,1	1,64	1,27	7,7
	(B) ₁	41,7	6,5	4,9	1,56	1,18	7,5
	(B) ₂	44,4	6,7	5,3	1,51	1,19	7,9
	(B)-C	47,6	6,4	5,6	1,34	1,18	8,8
	(B)-C	52,1	6,5	4,3	1,25	0,83	6,6
PONTIGNY	A ₁	16,8	2,4	1,7	1,43	1,01	7,1
	A ₂ 1g	15,9	2,9	2,0	1,82	1,26	6,9
	A ₂ 2g	19,9	3,8	2,5	1,91	1,26	6,6
	(B)d	33,5	5,6	2,9	1,67	0,87	5,2
	(B)	46,6	7,2	3,6	1,55	0,77	5,0
	(B)-C	42,1	7,1	2,6	1,69	0,62	3,7
	C ₁	34,2 *	5,8	1,7	1,70	0,50	2,9
	C ₂ Ca	32,8 *	4,9	0,9	1,40	0,27	1,8
HERY	A ₁	14,1	1,50	1,6	1,06	1,13	10,7
	A ₂ 1	11,0	1,50	1,5	1,36	1,36	10,0
	A ₂ 2g	12,1	1,70	2,0	1,40	1,65	11,8
	(B)d	46,4	4,50	5,5	0,97	1,19	12,2
	(B)	47,9	5,10	5,6	1,06	1,17	11,0
	(B)-C	33,4 *	4,40	4,2	1,32	1,26	9,5
	C ₁	23,7 *	3,70	3,4	1,56	1,43	9,2
	C ₂	20,8 *	3,30	2,8	1,59	1,35	8,5

* Présence de glauconie en grains ; argile granulométrique < argile minéralogique

TABLEAU 26 :
ALUMINIUM TOTAL ET ALUMINIUM "LIBRE"
ANALYSES COURANTES.

Si l'on s'intéresse donc à chaque profil pris isolément, on constate que le maximum d'Aluminium libre, en valeur absolue, se situe dans les niveaux les plus supérieurs des horizons (B) (horizons "dégradés" ou non). Ces horizons sont justement ceux :

- qui ont le plus grand réservoir d'aluminium total ;
- qui connaîtraient déjà une forte altération.

Quant aux rapports Al Tamm/Al HF ils sont nettement plus élevés dans les horizons A₂ et (B)d et plus faibles en (B) et C, ce qui semble bien correspondre à un degré d'altération croissant à mesure que l'on se rapproche de la surface. Le profil REBOURSEAU fait deux fois exception.

Rapporté au taux d'argile granulométrique et exprimé sous la forme

$$\frac{\% \text{ d'Aluminium Tamm} \times 100}{\% \text{ d'argile granulométrique}}$$

l'aluminium "libre" est maximal dans les horizons A₂ et (B)d et il diminue lorsqu'on descend dans les profils, et cela est valable pour les 7 profils pour lesquels nous avons des analyses.

- Aluminium échangeable (Méthode JACKSON) (tableau 27)

Les chiffres obtenus, exprimés en valeur absolue, dépendent du type d'horizons et du profil considérés. Ce sont les horizons les plus proches du contact planique qui contiennent de l'aluminium échangeable en plus grande abondance : (B)₁ de FLOGNY, (B)d et (B)₁ de REBOURSEAU, A₂₂, (B)d et (B)₁ de PONTIGNY, (B) et (B)C d'HERY.

Le rapport $\text{Al}^{+++}/\text{S} + \text{Al}^{+++}$, lui, prend ses valeurs maximales (> 60 %) dans tous les horizons A₂ des 4 profils, dans l'horizon A₁ de PONTIGNY et dans le (B) d'HERY. En effet, ces horizons A₂ appauvris en argile et pauvres en matières organiques connaissent une désaturation en bases très prononcée, la valeur de S est très faible et l'aluminium échangeable joue le rôle dominant.

En revanche, dans les horizons (B), l' Al^{+++} échangeable assez abondant coexiste avec des quantités importantes de cations alcalino-terreux, principalement Ca^{++} et Mg^{++} .

E. RECAPITULATION - PREMIERE SYNTHÈSE

- o Au sein des horizons A₂, il semble qu'il y ait accumulation relative des argiles les plus grossières : la planosolisation, quelle que soit son mécanisme exact, affecte surtout les particules argileuses les plus fines.
- o Il y a peu de différences entre les fractions < 2 μm des différents horizons. Seule quasi-certitude : l'accumulation relative et résiduelle de quartz, kaolinite et minéraux titanés dans les horizons A.
- o Une méthode approximative d'estimation de la CEC des fractions "argile" à partir de T fait apparaître systématiquement un abaissement au sein des horizons A. Cela pourrait résulter de la localisation, en position interfoliaire, de "cales" alumineuses, bloquant un certain nombre de sites d'échange.

PROFIL	HORIZON	milliéquivalents/100 g			$\frac{Al^{+++}}{S+Al^{+++}}$	$\frac{Al^{+++}}{T}$	$\frac{S+Al^{+++}}{T}$
		T	S	Al ⁺⁺⁺ échang.	%	%	%
FLOGNY	A ₂₉	8,1	1,60	4,6	74	57	77
	(B) ₁	16,7	9,43	9,0	49	54	110
	(B) ₂	15,5	14,36	4,1	22	26	119
REBOURSEAUX	A ₂₁	6,9	0,826	3,4	80	49	61
	A ₂₂₉	8,4	2,19	3,3	60	39	65
	A/(B)	12,7	6,40	4,2	40	33	83
	(B) ₁	17,8	13,58	4,3	24	24	100
	(B) ₂	21,3	16,65	3,4	16	16	94
	(B)-C	21,5	18,22	2,7	13	13	97
	(B)-C	23,6	22,45	1,8	7	8	103
PONTIGNY	A ₁	12,0	2,46	4,0	62	33	54
	A ₂₁₉	7,0	1,35	4,8	78	69	88
	A ₂₂₉	8,4	2,04	5,6	73	67	91
	(B)d	14,0	6,67	6,4	49	46	93
	(B)	21,2	16,03	5,6	26	26	102
	(B)-C	20,7	21,27	1,2	5	6	109
	C ₁	16,2	-	0,1	-	1	-
	C ₂ Ca	12,3	-	0,2	-	2	-
HERY	A ₁	18,1	5,88	1,6	21	9	41
	A ₂₁	6,6	0,75	3,2	81	48	60
	A ₂₂₉	5,4	0,74	2,8	79	52	66
	(B)	23,0	7,84	15,0	66	65	99
	(B)-C	19,2	9,42	8,9	49	46	95
	C ₁	16,2	10,83	4,9	31	30	97
	C ₂	13,2	10,18	1,7	14	13	90

TABLEAU 27 :

L'ALUMINIUM ECHANGEABLE (ANALYSE COURANTE) ET
SON ROLE DANS LE COMPLEXE ABSORBANT.
T et S SONT DETERMINES A pH 7.

- Les planosols de Champagne humide présentent des pH eau acides ou très acides lorsqu'ils sont demeurés sous forêt. Tous les horizons A et la plupart des (B), (B)-C et C sont au-dessous du seuil de pH = 5,5. Les plus acides sont les horizons A₁ humifères à tendance podzolique (HERY, PONTIGNY..., pH voisins de 4,0).
- Les valeurs de S/T sont toujours inférieures à 65 % dans les horizons A et s'échelonnent très largement de 8 à 100 % dans les horizons (B).
- Les teneurs en fer total, rapportées aux taux d'argile, laissent à penser qu'il existe une accumulation relative de fer dans les horizons de surface. De plus, les maximums du fer total se rencontrent le plus souvent en (B)d ou (B)₁ (MONTMERCY, NATIONALE 77, FLOGNY, PONTIGNY, HERY). On ne voit pas comment ces horizons pourraient être plus riches en fer total que les roches-mères dont ils sont issus. Il faut donc à nouveau faire appel à une certaine accumulation absolue de fer dans les horizons (B) les plus superficiels.

- Les rapports fer libre/fer total indiquent nettement une altération croissante de bas en haut des profils, il en va de même pour les rapports Al Tamm/Al HF.
- Ce sont les horizons les plus proches du contact textural planique qui contiennent le plus d'aluminium échangeable (horizons A₂₂, (B)_d ou (B)₁) et c'est dans les horizons A₂ que Al⁺⁺⁺ semble jouer un rôle essentiel par rapport aux autres cations.

°
° °
°

Il existe donc un gradient majeur entre

- des horizons C peu acides (voire calcaires), peu désaturés ou saturés, peu altérés et sans aluminium libre ;
- des horizons (B) acides, plus ou moins désaturés, de plus en plus altérés, contenant d'importantes quantités d'aluminium échangeable et "libre" ;
- et des horizons A très acides (protons organiques et Al⁺⁺⁺), très désaturés et très altérés.

Il ne semble pas y avoir d'altération intense des minéraux argileux, mais seulement ouverture des feuillettes des argiles micacées parallèlement au départ du potassium. Les minéraux phylliteux 2/1 semblent touchés préférentiellement par la planosolisation sans qu'il soit possible, à ce stade de l'étude, de déterminer s'ils ont subi une dissolution congruente ou s'ils ont été évacués en suspension (verticalement ou latéralement).

Le fer, provenant des réseaux cristallins suite à une certaine altération, se comporte de façon particulière puisqu'il semble s'accumuler dans les profils sous des formes "libres".

Les planosols de Champagne humide feraient partie du "milieu pédogéochimique aluminisé" défini par des valeurs de S/T inférieures à 50 % (PEDRO et SCHERER, 1974). Comme il ne s'agit à l'évidence pas de sols ayant évolué sous l'influence du processus de podzolisation, on peut s'attendre à certaines similitudes avec les sols lessivés "dégradés" (JAMAGNE, 1973 ; PEDRO, JAMAGNE et BEGON, 1974). Enfin, toujours d'après PEDRO, de telles conditions physico-chimiques sous climat tempéré impliquent vraisemblablement des transformations importantes des minéraux phylliteux 2/1, l'existence d'intergrades alumineux voire, éventuellement, l'apparition de chlorites secondaires. Nous venons de voir que seule la formation de feuillettes à "cales" alumineuses était envisagée en fonction des données que nous avons passées en revue.

CHAPITRE III

Etude granulométrique

Le pédologue se heurte souvent, lors de ses interprétations pédogénétiques, au problème de savoir si les différents horizons d'un sol qu'il étudie sont issus de l'évolution du même matériau ou bien s'ils résultent d'une superposition initiale de couches distinctes. Ce problème est particulièrement important en ce qui concerne la compréhension des sols à morphologie planosolique : la forte différenciation texturale résulte-t-elle de l'existence d'une roche-mère complexe comme pour les planosols "lithomorphes" (FAVROT et LEGROS, 1972) ou bien est-ce l'aboutissement de l'action prolongée d'une pédogénèse spécifique in situ ?

Cette question nous a paru être un préalable indispensable à tout l'exposé analytique qui servira ensuite de support et d'argument aux interprétations.

Dans les pages qui vont suivre, nous rappellerons seulement les principaux faits établis et les conclusions majeures qui ont pu être dégagées d'une étude granulométrique approfondie, laquelle a donné lieu à une publication récente (BAIZE, 1980). Les méthodes et les résultats y ont été exposés très complètement, accompagnés de nombreuses figures. Le lecteur intéressé est prié de s'y reporter.

°
° °
°

Dans cette étude granulométrique nous avons cherché à obtenir une confirmation définitive s'appuyant sur toutes les données recueillies sur le terrain au cours de la cartographie systématique et des études ultérieures, à savoir :

- 55 profils "de routine" pour lesquels ont été prélevés et analysés de 2 à 6 horizons ;
- 49 horizons de surface prélevés seuls (horizons A_1 , A_2 ou A_p) ;
- 7 profils étudiés de façon beaucoup plus complète.

Soit au total 111 sites différents localisés sur divers faciès géologiques du Crétacé inférieur dont les profils ont été reconnus sur le terrain comme ayant une morphologie de planosols.

Toutes les analyses granulométriques ayant été réalisées avec la même méthode dans le même laboratoire, les valeurs étaient légitimement comparables entre elles.

Outre la manière habituelle incluant la fraction argile, les résultats ont souvent été présentés et discutés sous la forme de "squelettes granulométriques" où les limons et les sables sont exprimés en % de leur somme. Ainsi, la fraction granulométrique argile a été exclue des comparaisons car c'est la plus mobile et la plus altérable.

°
° °
°

Signification des notations :

A = argile (0 à 2 μm) ; LF = limons fins (2 à 20 μm) ; LG = limons grossiers (20 à 50 μm) ; SF 1 = sables fins (50 à 100 μm) ; SF 2 = sables fins (100 à 200 μm) ; SG 1 = sables grossiers (200 à 500 μm = 0,2 à 0,5 mm) ; SG 2 = sables grossiers (0,5 à 1 mm) ; SG 3 = sables grossiers (1 à 2 mm) ; LT = limons totaux (2 à 50 μm) ; ST = sables totaux (50 à 2000 μm).

1. ETUDE PREALABLE DE 111 HORIZONS A DE PLANOSOLS

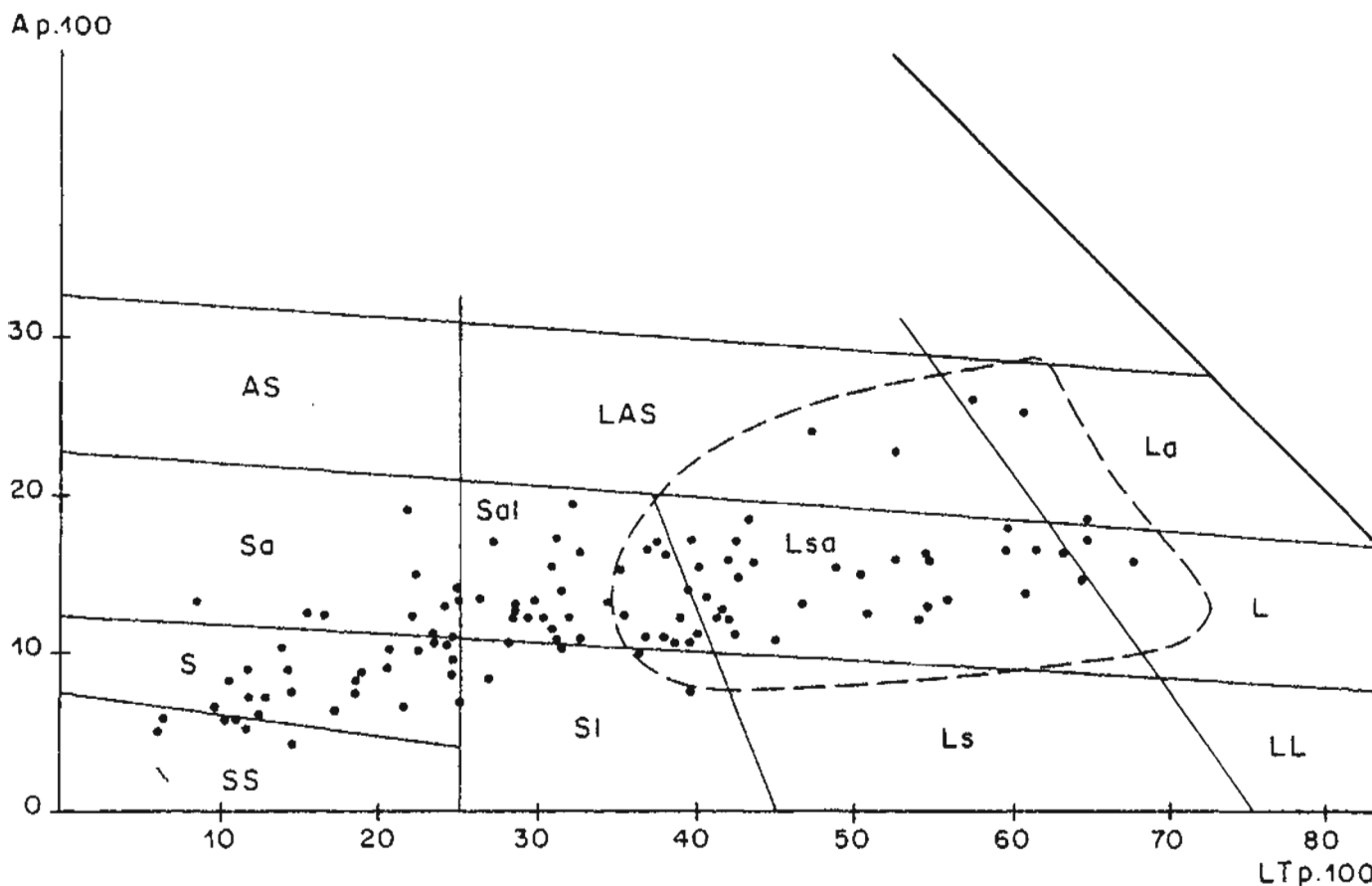


FIGURE 12 : TEXTURE DES 111 HORIZONS A DE PLANOSOLS - TRIANGLE GEPPA 1966 - (en tirets est figuré le contour du "nuage" des horizons A des sols lessivés dégradés sur "limons anciens").

On constate l'extrême dispersion des textures depuis celles qui sont franchement limoneuses jusqu'aux plus sableuses. Ce "nuage" de points comparé (sur un diagramme de textures) à celui des horizons A des sols lessivés dégradés typiques développés sur les "limons" anciens de Champagne humide montre que les deux populations se recoupent partiellement. Mais il est évident que les horizons de planosols sont très souvent beaucoup plus sableux.

On constate également que les textures ont tendance à s'aligner selon une droite $\text{argile} = 1/5 \text{ limons totaux} + 6$. Apparemment, plus il y a de limons dans le matériau et plus il reste d'argile dans les horizons A.

Pour la population considérée, les taux d'argile s'échelonnent de 4 à 26 %, ceux des limons totaux de 6 à 68 % et ceux des sables totaux de 16 à 89 %. Statistiquement limons fins et limons grossiers s'équilibrent tandis que la répartition des sables est tout à fait aléatoire, les sables fins étant le plus souvent plus abondants que les sables grossiers.

La très large dispersion des textures (et des "squelettes") de ces 111 échantillons de surface montre qu'il ne peut pas s'agir d'une couverture allochtone unique.

2. TYPOLOGIE GRANULOMETRIQUE DES DIVERS FACIES LITHOLOGIQUES.

Pour établir cette typologie, les horizons profonds (B)-C ou C ont été utilisés. Nous avons classé les 55 profils dont nous disposons selon les 8 faciès lithologiques susceptibles de former des planosols dans la région, à savoir les niveaux n° 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11 et 12 de la figure 3 (page 10). Ce classement a été réalisé en fonction de caractères de terrain comme la couleur, la présence de calcaire ou de glauconie, la texture, etc... ainsi que par des raisonnements stratigraphiques classiques. Ainsi le niveau n° 10 d'argiles sableuses à glauconie ne se distingue du n° 8 que par sa position au-dessus des "sables de Puisaye" = niveau n° 9.

Nous avons ainsi pu constater que chaque niveau présente des caractéristiques granulométriques à peu près constantes sauf les "sables et argiles panachés" du Barrémien supérieur (= niveau n° 4) connus dans la littérature géologique pour leur hétérogénéité et la soudaineté de leurs variations de faciès. Au strict point de vue granulométrique, on a pu opérer des regroupements (par exemple 6 + 8) et des subdivisions (famille 6 + 8 en α , β et γ selon la grosseur de la fraction sableuse dominante. Finalement nous avons pu classer les 55 profils en 7 catégories granulométriques distinctes (figure 13).

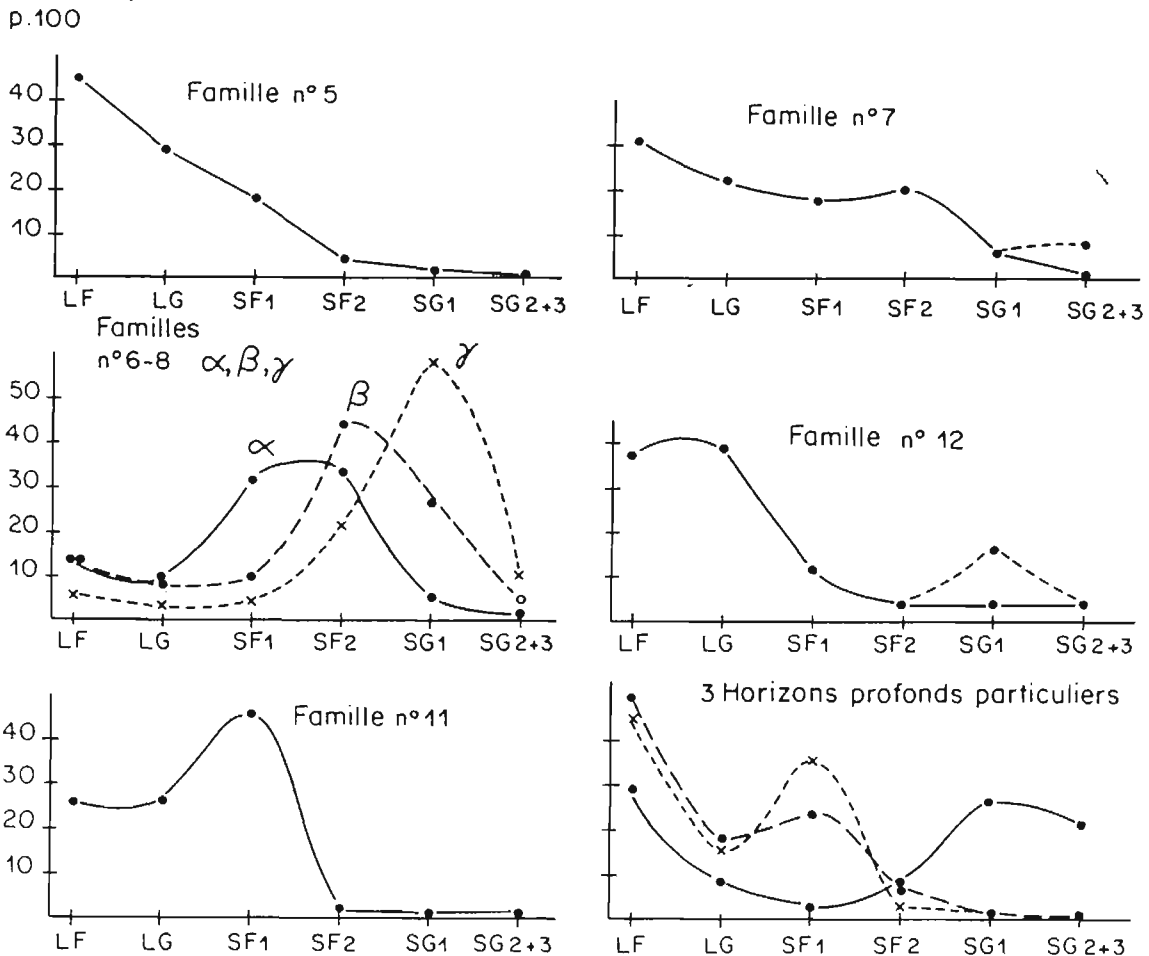


FIGURE 13 : "SQUELETES GRANULOMETRIQUES" DES SEPT FAMILLES ET DE TROIS HORIZONS PROFONDS PARTICULIERS.

3. COMPARAISONS DES "SQUELETTES GRANULOMETRIQUES"
AU SEIN DES PROFILS.

A. APPROCHE QUALITATIVE, APPLICATION AUX 55 PROFILS (couples ou triplets d'horizons).

Pour chacun des 55 profils, ont été sélectionnés un horizon A et un ou deux horizons argileux : un horizon (B) le plus proche possible du contact textural et un horizon (B) ou (B)-C le plus profond possible. Cette sélection nous a conduit à considérer :

- 17 couples A / (B) et
- 38 "triplets" A / (B) / (B)-C.

L'idée était de tester l'homogénéité originelle des profils en comparant les horizons A d'une part et les horizons (B) d'autre part en ce qui concerne les données granulométriques exprimées en % du "squelette". Nous avons insisté sur les difficultés auxquelles on risquait de se heurter dans une telle démarche : difficultés d'ordre méthodologique (précision des analyses et artefacts de préparation) et difficultés pédologiques (existence de glauconie en grains, existence d'argiles minéralogiques dans la fraction limon fin, microdivision des micas, éventuellement micro-division des quartz).

A l'examen des 55 histogrammes concernant les couples A / (B) on constate que 49 profils présentent une analogie tout à fait probante. Pour quatre profils, il y a des "interversions" entre les fractions sableuses les plus grossières (peut-être erreurs de tamisage) qui ne semblent pas mettre en cause l'homogénéité initiale des profils en question. Restent un cas douteux et un cas nettement hétérogène (figure 14).

En ce qui concerne les comparaisons au sein des couples A / (B)-C, on a constaté que deux nouveaux profils s'avèrent hétérogènes. Nous en avons déduit qu'il existait, au sein de ces deux profils, une discontinuité lithologique intervenant au sein des horizons (B) mais sans rapport avec la formation des horizons A.

B. APPROCHE QUANTITATIVE, APPLICATION AUX 55 PROFILS (couples ou triplets d'horizons).

L'approche purement qualitative nous a paru insuffisante. C'est pour quoi nous avons cherché à quantifier les comparaisons entre horizons A et (B). Ceci revenait à poser la question : chaque horizon A est-il granulométriquement plus "proche" de son horizon (B) respectif que des divers horizons des autres profils ?

Trois indices ont été calculés, correspondant aux écarts en % constatés entre les six fractions granulométriques de deux échantillons. Soit e_{1f} , e_{1g} , e_{sf1} , e_{sf2} , e_{sg1} et e_{sg2+3} les écarts de % en valeurs absolues,

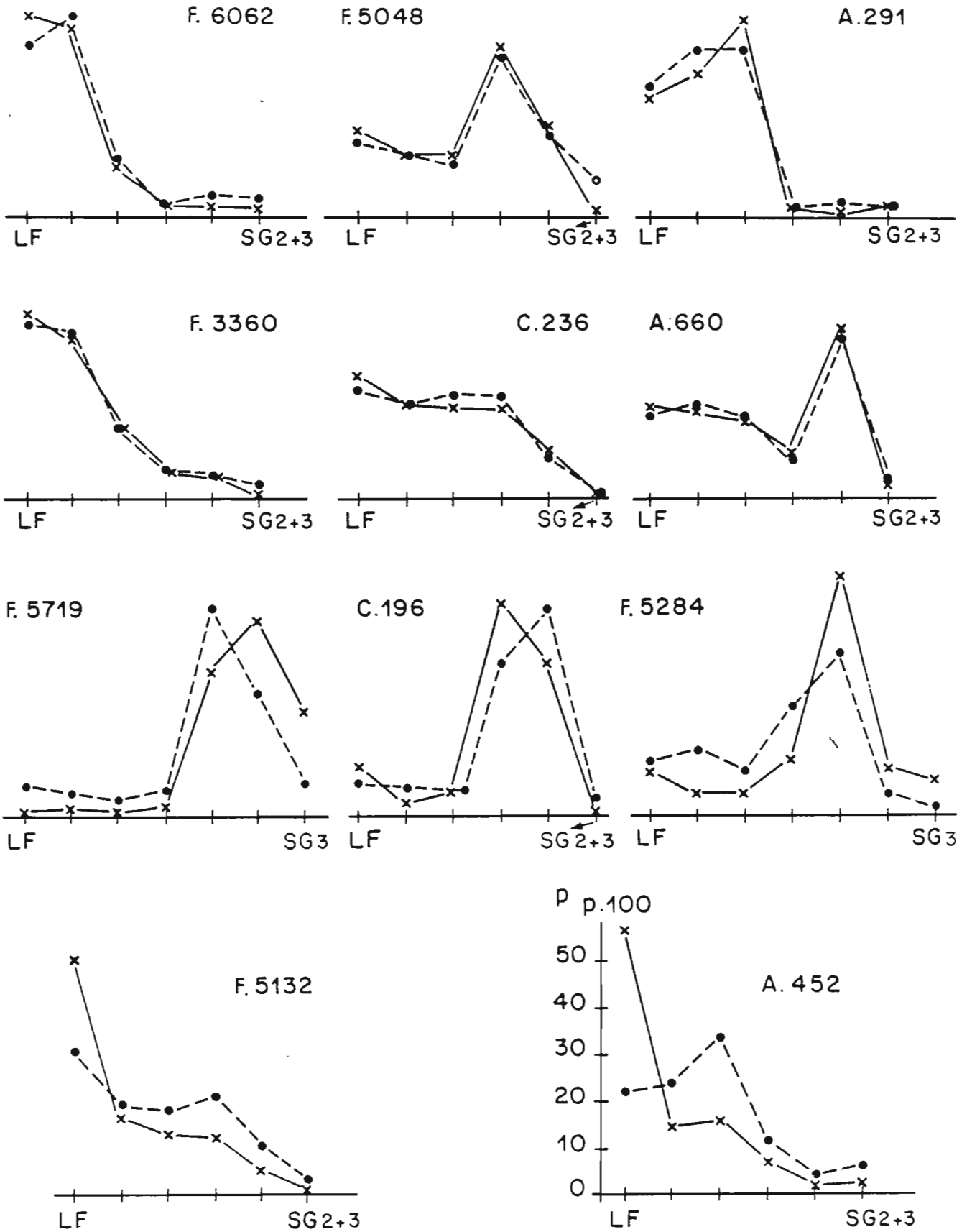


FIGURE 14 : COMPARAISON DES HISTOGRAMMES DE "SQUELETTE" DES HORIZONS A (points) et B (croix) : 6 profils sensiblement homogènes provenant de diverses familles granulométriques ; 3 cas "d'interversion de sables" ; un cas douteux : F. 5132 ; un profil nettement hétérogène : A. 452.

$$\text{l'écart brut } E_b = \sum_{lf}^{sg2+3} e_x$$

Cette somme est facile à calculer, mais il faut remarquer qu'elle a tendance à exagérer les différences puisque $LF + LG + \dots + SG2+3 = 100$: toute différence "en moins" sur une fraction est nécessairement compensée par la même différence "en plus" sur une ou plusieurs des autres fractions. Ses valeurs limites sont 0 et 200.

Mais il est logique de ne prendre en compte que les valeurs d'écart qui outrepassent l'erreur d'analyse maximum admise = erreur absolue maximum admise = EAMA.

Nous avons alors défini un indice corrigé E_c

$$E_c = \sum_{lf}^{sg2+3} (valeurs\ positives\ de\ e_x - EAMA_x)$$

dont la valeur minimale est zéro. On peut aussi utiliser un autre indice corrigé :

$$E'_c = \sum_{lf}^{sg2+3} e_x - \sum_{lf}^{sg2+3} EAMA_x$$

lequel peut prendre des valeurs négatives lorsque les écarts en % sont très inférieurs aux EAMA.

Une quarantaine de profils présentent des indices E très faibles que nous avons interprétés comme le signe d'une grande homogénéité granulométrique des profils considérés. En revanche, le doute subsistait pour les autres car nous manquions, en effet, de points de repère pour ces indices nouvellement utilisés. Aus nous avons choisi de tester deux profils dont l'écart E entre horizons A et (B) présentait une valeur apparemment assez élevée et nous avons calculé le même écart E entre chacun des 4 horizons et un horizon pris au hasard dans les 54 autres profils.

Nous avons constaté que les horizons A et (B) de ces deux profils testés étaient beaucoup plus "proches" entre eux que des horizons des autres profils. Et ceci malgré les risques d'erreurs analytiques et des difficultés comme celles liées à l'existence de grains de glauconie.

L'étude quantitative est donc venue confirmer les premières appréciations qualitatives, elle a permis en effet de distinguer :

- 50 profils homogènes ;
- 4 profils douteux ;
- 1 profil hétérogène.

C. APPROCHE QUANTITATIVE, APPLICATION AUX SEPT PRINCIPAUX PROFILS (horizons consécutifs).

Cette étude a constitué un moyen d'établir une comparaison verticale complète de tous les horizons A, (B) et C et non plus seulement entre un représentant des horizons appauvris et un spécimen d'horizon argileux. Nous nous sommes limités à l'examen des écarts calculés entre les "squelettes" de deux horizons consécutifs (tableau n° 28).

N° DU PROFIL	HORIZON	PROFONDEUR EN cm	E _b	E _c	E' _c	N° DU PROFIL	HORIZON	PROFONDEUR EN cm	E _b	E _c	E' _c
F 5867	A ₁	0 - 5				A 3568	A _p	0 - 30			
	A _{21g}	12 - 22	4,4	0	- 11,6		A _{2g}	30 - 53	14,1	4,2	+ 1,1
	A _{22g}	30 - 42	3,2	0	- 12,8		A _{3g}	53 - 70	7,6	0,2	- 4,4
	(B)gd	42 - 48	5,9	0	- 10,2		(B)	70 - 95	7,9	1,9	- 4,1
	(B)	50 - 70	11,3	0,7	- 4,7		C	95 - 115	19,0	10,3	+ 8,0
	(B)-C	70 - 85	5,7	0	- 10,3	A 7300	A _{21g}	15 - 30			
	C ₁	85 - 110	13,2	2,5	- 2,8		A _{22g}	30 - 45	12,3	4,3	- 3,7
	C _{2Ca}	115 - 125	7,3	0	- 8,7		(B)gd	45 - 55	12,8	5,3	- 5,2
	C ₃	150 - 165	16,5	5,3	+ 2,5		(B)	55 - 75	10,7	1,2	- 7,3
F 3387	A ₁	0 - 4				F 5801	A _p	0 - 20			
	A _{2g}	4 - 25	3,1	0	- 10,9		A _{2g}	20 - 30	10,4	0,7	- 3,6
	A(B)	25 - 35	5,2	0	- 8,8		(B)gd	38 - 55	8,8	0	- 7,2
	(B)	35 - 45	19,6	8,8	+ 5,6		(B)	55 - 90	10,4	1,5	- 5,6
	(B)	50 - 60	5,9	0,7	- 8,1		C ₁	130 - 140	9,5	2,5	- 4,5
	(B)-C	70 - 80	6,0	0	- 8,0		C ₂	150 - 160	12,3	0,2	- 5,7
	C ₁ *	95 - 105	23,6	14,1	+ 9,6						
	C ₂ *	130 - 140	4,9	0	- 11,1	C 238	A ₁	0 - 5			
	C ₃ *	155 - 165	15,2	4,6	- 0,8		A ₂₁	10 - 20	9,5	1,5	- 6,5
					A _{22g}		25 - 40	3,8	0	- 12,2	
					(B)gd		43 - 50	16,7	3,7	+ 0,7	
F 5906	A ₂₁	4 - 30	3,1	0	- 11,9	(B)	60 - 75	15,1	6,2	+ 0,1	
	A _{22g}	30 - 40	9,7	0,7	- 4,3	(B)-C	90 - 110	18,7	6,0	+ 3,7	
	A/(B)	40 - 55	5,6	0	- 8,4	C ₁	140 - 155	31,1	19,2	+ 16,1	
	(B)	55 - 72	8,1	1,3	- 5,9	C ₂	180 - 190	83,6	71,2	+ 65,6	
	(B)-C	72 - 90	4,1	0	- 10,9	C ₄	350 - 370	82,0	66,7	+ 67,0	
	(B)-C	90 - 110	9,0	2,1	- 5,0						
	(B)-C	120 - 140									

* Analyses granulométriques réalisées sans décarbonatation.

TABLEAU 28 : ECARTS BRUTS ET ECARTS CORRIGES ENTRE DEUX HORIZONS CONSECUTIFS. CAS DES PRINCIPAUX PROFILS.

ECART ENTRE...	PROFONDEUR EN cm de L'HORIZON COMPARE	ECART BRUT
A ₁ et A ₂₁	10 à 20	9,5
A ₁ et A _{22g}	25 à 40	9,9
A ₁ et (B) gd	43 à 50	15,4
A ₁ et (B)	60 à 75	29,1
A ₁ et (B) c	90 à 110	47,4
A ₁ et C ₁	140 à 155	40,3
A ₁ et C ₂	180 à 190	90,1
A ₁ et C ₄	350 à 370	153,7

TABLEAU 29 :

PROFIL C. 238 - HERY

Ecarts bruts entre l'horizon A₁ et les huit autres horizons. Mise en évidence d'une "dérive" granulométrique.

Pour 6 profils, les écarts calculés sont très faibles et l'homogénéité initiale ne paraît pas faire de doute : ce sont les profils F 5867-PONTIGNY, F 3387-FLOGNY, F 5906-REBOURSEAUX, A 3568-MONTMERCY, A 7300-LA VILLOTTE, F 5801-NATIONALE 77.

En ce qui concerne le profil C 238-HERY, les chiffres sont moins probants. Les horizons A apparaissent comme très homogènes, mais il n'en va plus tout à fait de même pour les horizons (B). Quant aux horizons C, les pourcentages granulométriques changent notablement. On passe en effet d'un sable fin dominant (jusqu'à 155 cm) à un sable beaucoup plus grossier en profondeur. La "dérive" granulométrique peut être illustrée par le tableau n° 29, dérive lente mais continue jusqu'à l'horizon (B)-C puis brutale au-delà.

Nous pensons que, pour les quatre horizons (B) du profil HERY, les écarts granulométriques ne sont pas le signe d'une hétérogénéité sédimentaire flagrante mais reflètent surtout la désagrégation croissante des grains de glauconie. Pour trancher définitivement ce point, il faudrait pouvoir raisonner sur des minéraux "stables" comme le quartz ou les feldspaths. Quant aux horizons C₁ et C₃, leur différence ne peut être expliquée que par un changement notable dans la sédimentation. Conséquence importante de ce constat : aucun de ces deux horizons C ne devra servir d'horizon de référence lors d'un bilan de matière (voir chapitre VI).

En conclusion, l'étude détaillée qui porte sur tous les horizons confirme ce qui avait été entrevu par comparaison de simples couples A / (B). Le contraste textural actuel entre horizons A et horizons (B) ne résulte pas d'une hétérogénéité sédimentaire originelle.

4. APPAUVRISSEMENT EN ARGILE DES SOLS.

Deux indices granulométriques ont été proposés : l'Indice de Différenciation Texturale d'Horizon (IDT_h) défini comme le quotient : % d'argile de l'horizon considéré / % d'argile de l'horizon A le plus pauvre en argile du même profil et l'Indice de Différenciation Texturale maximale d'un Profil (IDT_p) défini comme le quotient : % d'argile de l'horizon (B) le plus riche en argile / % d'argile de l'horizon A le plus pauvre en argile.

S'il a été prouvé que le sol en question s'est développé dans un matériau unique et homogène, cet indice permet de mesurer l'appauvrissement en argile de la même façon qu'il peut servir à quantifier l'illuviation dans le cas des sols lessivés.

Nous disposons d'une population de 62 profils (pour la Champagne humide). Mais des réserves doivent être faites en ce qui concerne son homogénéité : tous les IDT_p ne pouvant être comparés.

Il n'empêche que 80 % des valeurs d'IDT_p se situent entre 2,4 et 5,2 et que la médiane est de 3,3 (figure 15).

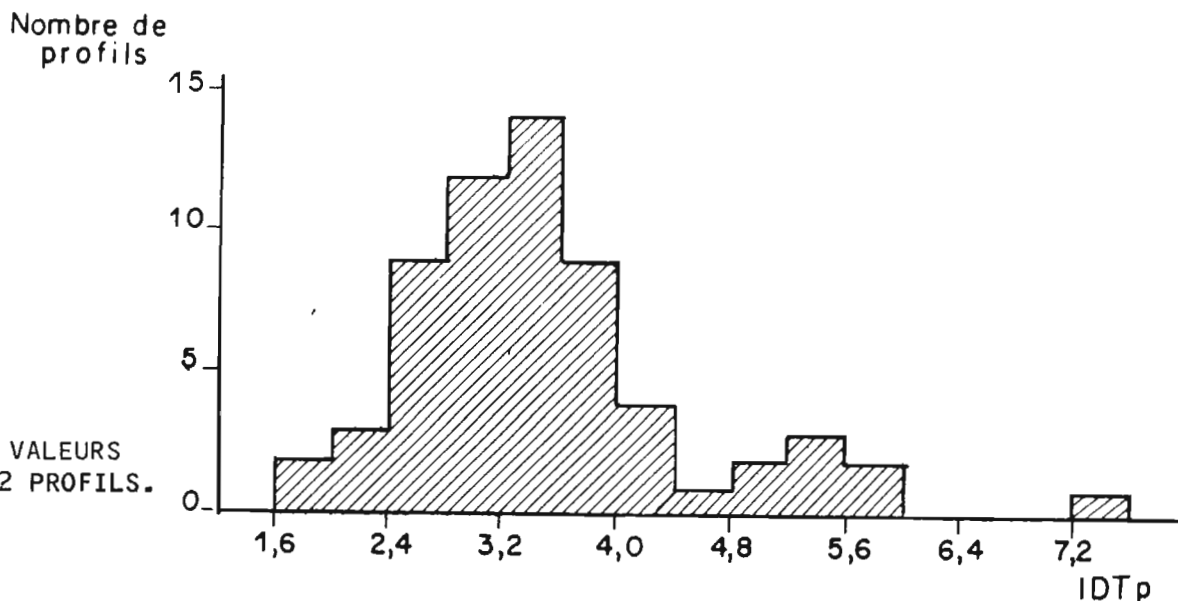


FIGURE 15 :
HISTOGRAMME DES VALEURS
DE L'IDT_p DES 62 PROFILS.

Des IDT_p de l'ordre de 1,6 à 3,0 sont comparables aux chiffres rencontrés chez les sols à illuviation d'argile : sols bruns lessivés, lessivés, lessivés acides, lessivés dégradés, etc... En revanche, des valeurs de 3,5, 4,0, 4,5 et supérieures semblent se rapporter à un tout autre domaine que celui de l'illuviation et seraient, à notre avis, caractéristiques des planosols d'altération.

Une petite étude graphique précise que IDT_p est maximal quand la teneur en limons totaux est minimale dans le matériau. L'appauvrissement est donc d'autant plus intense que le matériau est plus sableux.

On peut interpréter ce fait comme résultant des caractéristiques physiques liées à la composition granulométrique :

- caractère plus imperméable des matériaux argilo-sableux, induisant des stagnations superficielles et une tendance aux écoulements latéraux ;
- corrélativement, caractère plus filtrant des horizons A les plus sableux, permettant des flux d'eau latéraux plus importants et plus rapides.

L'appauvrissement (au sens large) des horizons A est un fait manifeste et mesurable. L'homogénéité initiale des matériaux originels ayant été établie, nous savons qu'il résulte d'une évolution pédologique. Trois hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cet appauvrissement :

- migration verticale de l'argile et accumulation en profondeur sous une forme peu visible (illuviation avec Bt "dynamique") ;
- évacuation des fractions inférieures à 2 micromètres hors du profil par lessivage latéral ;
- altération et destruction chimique des minéraux phylliteux.

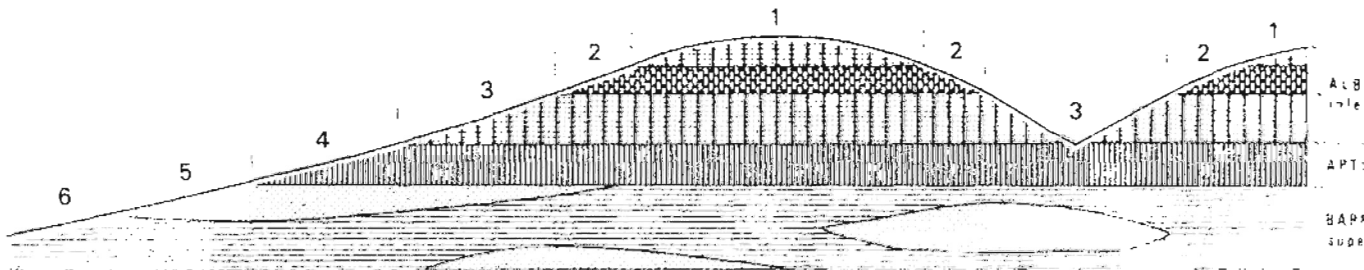
Une simple analyse des données granulométriques ne peut pas fournir de réponse à ces questions. D'autres approches sont nécessaires, notamment la réalisation de bilans minéralogiques suivis de raisonnements isoquartz (cf. chapitre V).

5. ARGUMENTS TIRES DE CARTOGRAPHIES
A DIFFERENTES ECHELLES.

A. MOYENNE ECHELLE.

Lors de la cartographie à 1/50.000 de la Champagne humide icaunaise (BAIZE, 1974) l'extrême hétérogénéité texturale des horizons superficiels nous avait frappé. En effet, ces horizons présentent des granulométries qui changent sur le terrain en quelques dizaines de mètres et varient depuis le sable moyen jusqu'au limon doux en passant par le sable limoneux et le limon sableux.

L'hypothèse d'une couverture limoneuse homogène d'origine lointaine se trouvait donc exclue. Mais en outre, les variations de la granulométrie des horizons A ne pouvaient être expliquées qu'en liaison étroite avec les changements de faciès lithologique des divers niveaux argileux venant successivement à l'affleurement. La figure montre schématiquement la succession des textures rencontrées le long d'un transect à travers les niveaux de l'Albien inférieur, de l'Aptien et du Barrémien supérieur. Les variations rapides de faciès du Crétacé inférieur sont donc seules responsables des différences granulométriques observées.



Textures des horizons A ₂ :	Matériaux géologiques :
1 et 3 = sableuses moyennes	argiles sableuses glauconieuses
2 = sablo-limoneuses	argiles grises finement sableuses
4 = limoneuses	argiles jaunes faiblement calcaires
5 = sableuses fines	argiles sableuses bariolées
6 = limono-sableuses	argiles bariolées finement sableuses

FIGURE 16 : LA TEXTURE DES HORIZONS A₂ EST ETROITEMENT LIEE AUX FACIES LITHOLOGIQUES DES DIVERSES COUCHES ARGILEUSES VENANT SUCCESSIVEMENT A L'AFFLEUREMENT (présentation schématique, pentes très exagérées).

B. ETUDE D'UN SECTEUR-TEST A GRANDE ECHELLE.

Cette étude a été menée sur un secteur forestier de 95 hectares environ, situé à mi-chemin d'Héry et de Sougères. L'objectif était d'étudier dans le détail la répartition spatiale des textures dans un paysage peu vallonné (surface structurale) et dans une zone qui avait paru assez homogène lors de la prospection générale à 1/50 000. Les niveaux géologiques venant à l'affleurement à cet endroit sont les niveaux glauconieux n° 6 et n° 7.

L'étude a été menée en trois temps : cartographie à la tarière à raison de 58 sondages pour les 95 hectares ; prélèvements de 17 échantillons d'horizons A₂ ; prélèvements en 7 points d'horizons A₂ et (B). En outre le profil HERY - C. 238 (étudié très en détail) se situe au centre de ce secteur.

Tous les sondages, à de rares exceptions près (voisines des talwegs), ont révélé un type de profil identique, à savoir la succession :

A₁ / A₂₁ / A_{22g} / (B)gd / (B) / (B)-C.

Les textures des horizons de surface ont paru varier du sable pur assez grossier jusqu'à une texture franchement limoneuse. Il a semblé également qu'il y avait une bonne corrélation entre la texture de surface et celle des horizons argileux profonds :

- horizons A sableux sur horizons (B) argilo-sableux ;
- horizons A sablo-limoneux ou limono-sableux sur argiles finement sableuses ;
- horizons A limoneux sur argiles lourdes.

Toutes ces constatations rejoignent exactement celles faites au cours de la cartographie générale (BAIZE, 1974, 1976).

En ce qui concerne les 22 analyses d'horizons A₂ dont nous disposons, on constate un large échelonnement en fonction principalement des teneurs en limons. Les variations granulométriques sont donc de grande amplitude et rapides dans l'espace entre deux prélèvements tout proches. Les taux de sables totaux des horizons (B) se répartissent entre 14 et 46 %. On voit ainsi que l'abondance de l'argile (36 à 57 %) masque des différences importantes en ce qui concerne limons et sables.

Pour l'étude des 8 couples A / (B) nous avons à nouveau tenté de quantifier en calculant les 120 écarts E entre les "squelettes". Quel que soit le mode de représentation des résultats, les conclusions sont les mêmes : les deux horizons A₂ et (B) d'un même site de prélèvement manifestent des écarts bruts assez faibles, plus faibles que la plupart des écarts calculés entre deux horizons de deux profils différents. Mais cette règle n'est pas absolue. Ainsi les deux horizons les plus "proches" au plan granulométrique sont issus de deux profils différents mais ce sont, tous deux, des horizons A₂. Nous avons proposé l'interprétation suivante. Dans ce petit secteur, toutes les roches-mères contiennent une quantité plus ou moins grande de glauconie en grains. Dans les horizons A₂, il ne reste plus de "pseudo-sables" glauconieux, alors qu'il en subsiste encore au sein des horizons (B). C'est ce qui expliquerait l'impossibilité pour un horizon A₂ de présenter exactement le même spectre granulométrique que son horizon (B) sous-jacent. Et ceci permettrait donc aux horizons A₂ de deux profils assez semblables d'être plus "proches" entre eux que de leurs horizons (B) respectifs.

Nous avons remarqué que les deux horizons A₂ qui se rapprochent le plus par leurs pourcentages granulométriques sont relativement éloignés dans l'espace. Aussi avons nous resitué géométriquement les profils les uns par rapport aux autres (figure 17).

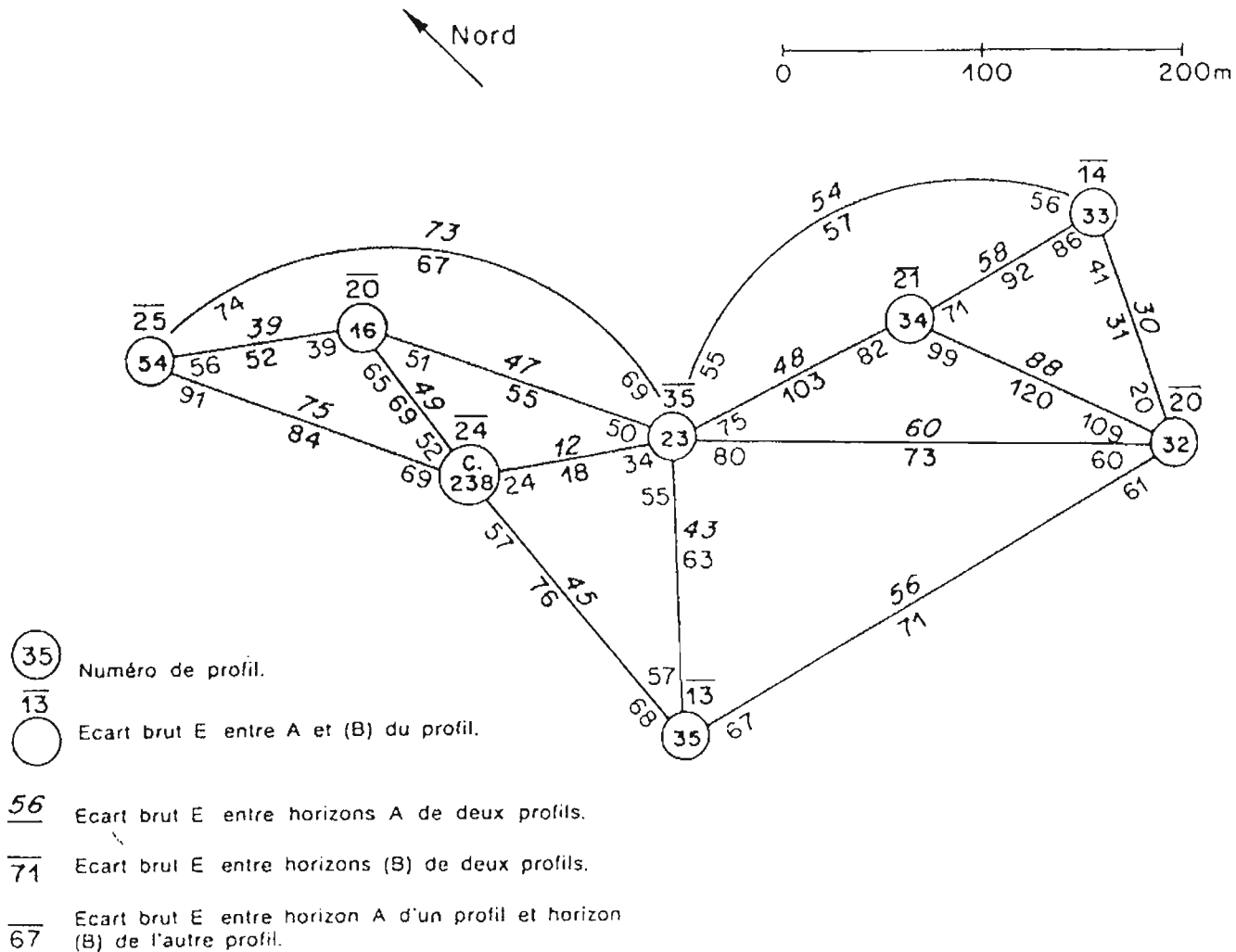


FIGURE 17 : ECARTS BRUTS ET SITUATION SPATIALE RELATIVE DES PROFILS DU SECTEUR-TEST.

Sur ce schéma, on constate que les écarts calculés au sein de chaque profil sont presque toujours très inférieurs aux écarts calculés entre ce même profil et ses voisins immédiats, qu'il s'agisse des écarts considérés entre deux horizons A₂, deux horizons (B) ou entre horizon A₂ et horizon (B).

Cette constatation nous paraît être un solide argument en faveur de l'autochtonie et de l'homogénéité initiale des sols.

En conclusion, l'étude détaillée de ce petit secteur a permis de souligner tout particulièrement deux aspects :

- la variabilité spatiale des granulométries à l'échelle hectométrique voire décamétrique ;
- les analogies étroites entre les "squelettes" des horizons A₂ et ceux des horizons (B) d'un même sol, arguments en faveur de l'autochtonie des horizons A₂ et de l'homogénéité initiale des matériaux.

6. CONCLUSIONS - DISCUSSION.

Tous les raisonnements granulométriques employés, toutes les comparaisons qualitatives et quantitatives, verticales et horizontales, tous les arguments convergent remarquablement vers la même conclusion. Les différences rapides et de fortes amplitudes d'un point à un autre contrastent avec les analogies étroites qui rapprochent les horizons d'un même profil situés de part et d'autre du contact planique.

A l'exception d'un cas d'hétérogénéité notoire et de deux ou trois sites pour lesquels une incertitude demeure, la présente étude démontre l'unicité et l'homogénéité granulométrique initiale de plus d'une cinquantaine de profils c'est-à-dire de la quasi-totalité de la population des sols considérés au départ.

La gènèse des horizons de surface, pauvres en argile, ne résulte pas de discontinuités sédimentaires originelles, qu'elles soient crétacées ou plus récentes, mais procède d'une différenciation pédologique in situ.

Il était tout à fait fondamental d'établir ce fait avant de poursuivre toute autre recherche sur les planosols de Champagne humide.

°
° °
°

On peut s'étonner cependant des résultats des comparaisons effectuées sur les "squelettes granulométriques". L'invariabilité à travers le temps des fractions limoneuses et sableuses semble contradictoire avec la présence, dans de nombreux matériaux, de grains de glauconie. L'explication en est que, au sous-chapitre 3. nous nous sommes intéressés volontairement aux horizons argileux les plus proches du contact textural planique : dans ces horizons (B), les grains de glauconie sont, pour la plupart, complètement désagrégés et ne viennent donc plus influencer sur les "squelettes granulométriques". Au taux d'argile près, les horizons A et les (B) les plus proches de la surface s'avèrent très semblables.

Mais, puisque les "squelettes" observables actuellement sont sensiblement identiques en A et en (B) c'est que la "planosolisation" n'a pas modifié notablement ceux-ci dans les horizons superficiels appauvris. On peut en déduire que sables et limons sont constitués essentiellement de minéraux résistants et que, en Champagne humide, la "planosolisation", quel que soit son mécanisme, concerne principalement la fraction argileuse inférieure à deux micromètres.

°
° °
°

L'étude des minéraux lourds de quatre profils (HERY, PONTIGNY, REBOURSEAUX, FLOGNY ; voir annexes n° 4) vient corroborer la thèse de l'homogénéité initiale de ces profils et permet de souligner le caractère crétacé de leurs horizons A et (B). C'est là un argument de plus pour rejeter l'hypothèse d'une couverture éolienne d'origine lointaine.

CHAPITRE IV

Etude du fonctionnement hydrique

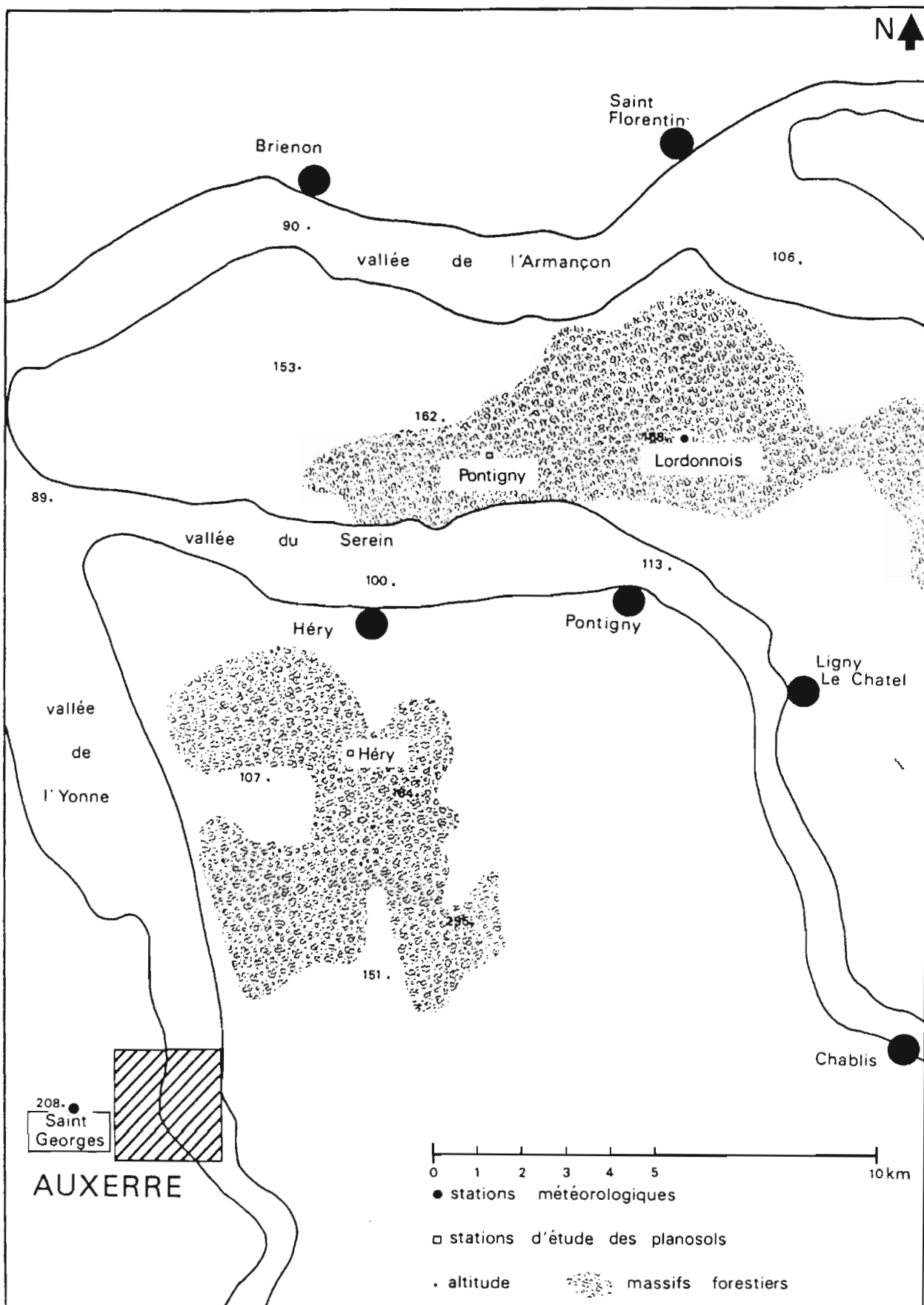


Figure 18 : Localisation des deux stations météorologiques et des deux sites d'étude des planosols.

1. INTRODUCTION

A. OBJECTIFS

L'étude du fonctionnement hydrique nous semble constituer une composante désormais essentielle de toute caractérisation approfondie d'un type de sol, même lorsqu'il ne s'agit pas d'un sol hydromorphe. Jusqu'à ce jour, peu de pédologues s'y sont attachés en France (DURAND, 1978 ; JAILLARD, 1980 ; TROUCHE, 1981).

Pour les planosols de Champagne humide, cette étude s'imposait, tant pour préciser le régime hydrique "planosolique" que pour essayer d'élucider le mécanisme exact de l'appauvrissement superficiel de ces sols.

Nous nous sommes placés volontairement sous forêt, à proximité immédiate des deux principaux profils étudiés (HERY et PONTICNY) de façon à parvenir à une connaissance convenable de la dynamique de l'eau en conditions "naturelles" dans la mesure où cela veut encore dire quelque chose en France au vingtième siècle. Ainsi, il nous sera possible de tirer des enseignements valables quant à la pédogénèse de ces sols.

Nous avons cherché à utiliser différentes méthodes indépendantes les unes des autres :

- des mesures in situ :
humidités neutroniques, tensions, densités apparentes par gammamétrie ou au densitomètre à membrane ;
- des observations qualitatives de terrain :
relevés piézométriques ;
- des déterminations de laboratoire :
humidités à pF contrôlés, densités réelles ;
- des calculs théoriques :
bilans hydriques fondés sur les précipitations et sur l'ETP calculé

Prise séparément, chacune de ces méthodes apporte des informations utiles. Mais c'est surtout en les confrontant entre elles et en combinant leurs résultats que nous sommes parvenus à des conclusions plus convaincantes et à la connaissance de faits nouveaux.

B. PLAN

Nous nous sommes heurtés à la difficulté d'exposer de façon linéaire un ensemble de résultats qui se recoupent et se confortent les uns les autres. Quel qu'ait été le plan retenu pour ce chapitre, nous n'aurions pas pu convenablement interpréter ou discuter une série d'informations sans faire référence à quelque chose dont on n'avait pas encore parlé. Ainsi, les humidités neutroniques des horizons de surface se comprennent facilement au vu des relevés piézométriques correspondants. Réciproquement, la critique des données fournies par les piézomètres profonds est fondée sur la comparaison avec les humidités neutroniques mesurées au même moment et à la même profondeur.

Le lecteur pourra contester le plan que nous avons finalement suivi ; en voici cependant la logique.

Après l'exposition des circonstances climatiques au cours des cinq années de l'étude, nous présentons immédiatement les bilans hydriques calculés. En effet, ils ont essentiellement des bases climatiques et ils sont couramment utilisés par ceux qui ne disposent d'aucune mesure de l'eau dans le sol. Nous nous sommes ainsi placés d'entrée dans la situation la plus défavorable où des calculs théoriques doivent suppléer à une absence de connaissance concrète. Nous jugerons plus tard de l'adéquation de tels bilans dans le cas de notre travail.

Ensuite nous abordons les observations piézométriques car elles vont éclairer utilement l'interprétation des données neutroniques. En outre, il s'agit, là encore, de dispositifs rustiques relativement faciles à mettre en oeuvre dont l'homme de terrain peut souvent bénéficier à moindre coût. Enfin, nous traiterons de tout ce qui concerne les mesures d'humidité en commençant par l'analyse des comptages bruts. On verra ainsi comment, sans pouvoir se référer à des humidités chiffrées, le simple constat des variations des comptages bruts au cours du temps, couplé avec les relevés piézométriques, fournit une méthode simple mais cependant riche d'enseignements pour la connaissance du régime hydrique du sol.

Tout au long de ce chapitre, nous avons volontairement réduit l'exposé aux éléments et aux résultats essentiels. Le lecteur intéressé trouvera des renseignements complémentaires en annexes.

C. DISPOSITIFS DE MESURE

La figure 18 permet de localiser les deux sites d'étude et les deux stations météorologiques de référence.

Le dispositif complet s'est constitué petit à petit selon les besoins. Il comporte :

- des pluviomètres
posés au sol, donc sous le couvert des arbres ;
- des piézomètres courts
destinés à suivre l'existence d'une nappe "hypodermique" ;
- des piézomètres profonds
destinés à caractériser une éventuelle nappe profonde située au niveau des horizons C ("sables verts" réputés aquifères) du site d'HERY ;
- des tensiomètres
(à HERY seulement) ;
- des tubes pour mesures gamma-neutroniques ;

(voir les détails de l'installation en annexes).

Malgré la lourdeur du dispositif et des contraintes inhérentes à un suivi de longue durée, nous avons tenu à prolonger l'étude sur presque cinq cycles annuels de façon à connaître des situations climatiques suffisamment variées.

D. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier ici R. DARTHOUT et G. YART sans qui cette étude n'aurait pas été possible. R. DARTHOUT a conçu le dispositif de mesure et organisé sa mise en place et il a bien voulu se charger de tous les problèmes d'étalonnage de la sonde à neutrons. Quant à G. YART, il a joué un rôle essentiel pour l'installation et la maintenance des appareils et il a assuré la sortie informatique des calculs.

2. CLIMAT DES CINQ ANNEES ETUDIEES ET CLIMAT GENERAL

A. CHOIX DE LA STATION METEOROLOGIQUE DE REFERENCE

Une étude a été effectuée pour comparer les données pluviométriques relevées effectivement à HERY et PONTIGNY et celles fournies par les deux plus proches stations météorologiques : AUXERRE-SAINT-GEORGES et LORDONNOIS (commune de LYGNY-LE-CHATEL) (voir figure 18). Ces 4 séries de valeurs ne peuvent être identiques. En effet, 20 km séparent à vol d'oiseau les deux stations. AUXERRE-SAINT-GEORGES est située sur la rive gauche de l'Yonne dont la vallée est connue pour ses passages d'orages en été et pour son microclimat plus chaud et plus sec que ses environs immédiats. LORDONNOIS est établie au coeur d'un massif forestier, sur l'interfluve entre SEREIN et ARMANCON, dans une toute autre situation climatique.

En outre, les stations météorologiques recueillent les précipitations à un mètre du sol en terrain découvert tandis que nos pluviomètres ont été installés au sol et sous couvert forestier.

Après un certain nombre de calculs (effectués pour pouvoir comparer les mêmes périodes ramenées à 10 jours), on constate que les meilleures corrélations sont entre HERY et PONTIGNY d'une part et entre AUXERRE et LORDONNOIS d'autre part (donc entre des endroits où les mesures ont été faites dans les mêmes conditions) et aussi entre PONTIGNY et LORDONNOIS (sites très proches). On s'aperçoit également que les deux sites étudiés présentent des pluviométries plus proches de celles de LORDONNOIS que de celles d'AUXERRE. C'est pourquoi, dans la suite de ce chapitre, nous présenterons dans la mesure du possible, les données climatologiques originaires de LORDONNOIS.

Lorsqu'on entre dans le détail de la comparaison PONTIGNY/LORDONNOIS, on remarque que du 1er mai au 31 octobre (période où les arbres ont leurs feuilles les quantités d'eau recueillies à PONTIGNY valent 54 % de celles récoltées à LORDONNOIS. En revanche, du 1er novembre au 30 avril (arbres dépouillés de leurs feuilles) ce rapport s'élève à 85 % en moyenne : on peut ainsi apprécier l'effet d'interception de la végétation sur les précipitations recueillies par le pluviomètre posé au sol. Notons cependant que l'eau interceptée n'est pas forcément perdue pour le sol et pour les arbres car il y a ruissellement le long des branches puis des troncs (AUSSENAC, 1970).

B. PRECIPITATIONS ANNUELLES (moyennes et fréquences) à LORDONNOIS

Moyennes (sur 19 ans (1963 à 1981) = 716 mm.

Fréquences :

moins de 550 mm = 1 (1976 = 504 mm)
 550 à 650 mm = 7
 650 à 750 mm = 4
 750 à 850 mm = 3
 850 à 950 mm = 2
 plus de 950 mm = 2 (1981 = 997 mm)

19

C. PRECIPITATIONS MENSUELLES A LORDONNOIS

mars 1962 à décembre 1981	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI	JUN.	JUL.	AOU.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
moyennes	56	58	58	44	71	62	45	72	54	54	65	68
maximums	103	151	133	84	129	172	90	142	140	136	115	145
minimums	23	6	7	16	20	5	9	3	10	2	23	5
médianes	51	43	53	46	73	50	43	75	45	44	59	65

D. PRECIPITATIONS MENSUELLES ET SAISONNIERES DES 5 ANNEES ETUDIEES (LORDONNOIS)

Le tableau 32 rassemble les précipitations mensuelles et saisonnières des années 1977 (décembre 1976 à novembre 1977) à 1981 (décembre 1980 à novembre 1981) et, pour comparaisons, les précipitations moyennes ainsi que celles d'une année très sèche (1976) et d'une année très humide (1965).

Sur 20 trimestres :

- 3 ont été extrêmement pluvieux ($P > \bar{X} + 50\%$) : l'été 1977, le printemps 1979 et l'été 1981.
- 8 ont été très pluvieux ($\bar{X} + 50\% > P > \bar{X} + 25\%$) : tous les hivers, le printemps 1978, l'été 1980 et l'automne 1981.
- 1 a été très sec ($\bar{X} - 25\% > P > \bar{X} - 50\%$) : l'été 1978.
- 1 a été extrêmement sec ($P < \bar{X} - 50\%$) : l'automne 1978.

Les circonstances météorologiques se sont donc montrées plutôt défavorables à l'étude du dessèchement des sols et, en revanche, plutôt propices à l'observation des excès d'eau.

E. PRECIPITATIONS : NOMBRE DE JOURS ET INTENSITES (voir aussi annexes)

	Zéro	Millimètres pour 24 heures de 6 h. à 6 h.									non mesuré
		0,1 à 4,9	5,0 à 9,9	10,0 à 14,9	15,0 à 19,9	20,0 à 24,9	25,0 à 29,9	30,0 à 34,9	35,0 à 39,9	40,0 à 44,9	
JANVIER	70	65	11	5	3	1					
FEVRIER	57	55	20	6	1	2					
MARS	44	81	18	10	1		1				
AVRIL	71	64	13	2							
MAI	61	70	16	6	2						
JUIN	69	56	14	2	5	1	3				
JUILLET	84	51	7	9	2			1			1
AOÛT	93	40	13	3	2	2	1			1	
SEPTEMBRE	103	40	2	3	1	1					
OCTOBRE	75	51	17	5	5	2					
NOVEMBRE	85	48	13	4							
DECEMBRE	61	62	23	8			1				
T O T A L	873	683	167	63	22	9	6	1	0	1	1

TABLEAU 30 : FREQUENCE DES HAUTEURS DES PRECIPITATIONS QUOTIDIENNES (de 6 h. à 6 h. le lendemain) A AUXERRE SUR CINQ ANS (1977 à 1981 inclus).

Le tableau 33 fait le bilan, pour la période 1977 - 1981, des précipitations ayant dépassé certains seuils d'intensité à Auxerre. Les intervalles de temps présentés correspondent à des moments quelconques car ils débutent avec des commencements d'averses. C'est pourquoi, par exemple, la plupart des périodes de 24 heures se trouvent à cheval sur deux jours. On notera également que, dans les colonnes de droite, 24, 48 et 96 heures, s'opère la fusion de plusieurs dates comme les 16 et 17 août 1977 ou les 15 et 18 février 1978.

Sur 87 événements ainsi recensés, 31 sont advenus en 1977 (année très humide), 9 en 1978, 21 en 1979, 6 en 1980 et 20 en 1981. La répartition par mois est fournie dans le tableau ci-dessous.





pour une période de	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total
30' - 1 h.	0	0	1	0	4	6	8	7	4	4	0	1	35
3 - 6 - 12 h.	0	1	1	0	1	6	5	8	4	4	0	0	30
24 - 48 - 96 h.	0	3	3	0	1	4	3	4	2	1	0	1	22
Total	0	4	5	0	6	16	16	19	10	9	0	2	87

TABLEAU 31 : REPARTITION PAR MOIS DE PLUIES AYANT DEPASSE CERTAINS SEUILS D'INTENSITE (cf. tableau 33).

Il n'apparaît donc pas de fortes intensités instantanées : en 5 ans de précipitations, le maximum tombé en 1 heure ne dépasse pas 22 mm en été et 13 mm aux autres saisons.

	H I V E R			P R I N T E M P S			E T E			A U T O M N E			Σ
	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	
1 9 6 5	53	102	6	84	84	114	100	38	53	140	14	115	903
		161		282			191			269			
1 9 7 6	41	35	53	16	33	31	10	56	3	88	68	57	491
		129		80			69			213			
MOYENNES (1962-1980)	64	56	58	56	45	71	56	46	73	54	50	66	695
		178		172			175			170			
1 9 7 7	54	56	124	50	36	76	100	72	142	10	41	88	649
		234		162			314			139			
1 9 7 8	60	82	94	133	46	56	53	38	18	24	17	23	644
		236		235			109			64			
1 9 7 9	100	43	89	112	68	86	50	20	85	22	108	77	860
		232		266			155			207			
1 9 8 0	94	59	79	91	16	60	85	90	56	24	81	57	792
		232		167			231			162			
1 9 8 1	90	103	53	96	20	86	172	44	54	59	125	40	942
		246		202			270			224			

TABLEAU 32 : PLUVIOMETRIES MENSUELLES ET SAISONNIERES A LONDONNOIS

 P saisonnière > $\bar{X} + 50\%$
 $\bar{X} + 50\%$ > P saisonnière > $\bar{X} + 25\%$
 $\bar{X} - 25\%$ > P saisonnière > $\bar{X} - 50\%$
 P saisonnière < $\bar{X} - 50\%$

date du début de la période considérée	en 30 minutes	en 1 heure	en 3 heures	en 6 heures	en 12 heures	en 24 heures	en 48 heures	en 96 heures
7 3 mai						30,5		
4 mai					23,5			
18 juin					22,8	31,1		50,4
4 juillet								
7 juillet	17,2	18,4	31,0	33,3	35,8	37,2	44,2	
8 juillet	9,6	12,0						
16 août			14,9	21,3	28,7	62,2	74,7	94,7
17 août	16,0	21,8	34,9	35,4	35,4			
26 août	11,0	11,0						
31 août	7,1							
1 octobre	7,0							
6 octobre					22,7	26,8		
8 15 février								48,7
18 février						26,1		
19 mars						28,4		
29 mars					25,8	35,3	38,5	
18 mai	10,8	11,8						
19 juin				17,6				
9 9 février				17,1		27,4		
26 mai	7,2							
3 juin	10,9	11,3						
16 juin	8,9	11,4						
11 juillet	7,6	11,2	16,6	17,1				
15 août						29,9		
25 août	8,8	9,6			23,2			
9 septembre	14,7	15,4	15,4					
14 octobre	7,2							
16 octobre	11,0	12,6						
0 22 mai	7,7							
8 juillet	8,6	9,8						
16 octobre			21,4	21,4	24,5			
1 26 mars		11,5						
2 juin	10,2	12,5	23,3	25,2	25,2			
7 juin						22,8		
9 juin								
27 juin						33,0	48,4	48,4
31 août			14,0					
21 septembre					25,9	36,4	37,5	
22 septembre	10,0	12,6	14,4	17,0				
15 décembre		10,3				26,7		

EAU 33 : Dépassements de seuils de précipitations à Auxerre pour différents intervalles de temps (en mm). Période du 1er janvier 1977 au 31 décembre 1981. Seuils de 7 mm en 30 minutes ; 9 mm en une heure ; 14 mm en 3 heures ; 17 mm en 6 heures ; 21 mm en 12 heures ; 26 mm en 24 heures ; 36 mm en 48 heures ; 48 mm en 96 heures.

F. TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
3,3	4,6	6,1	9,5	13,2	16,2	18,5	18,1	15,1	11,0	6,1	2,7	10,4

TABLEAU 34 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES : $\frac{T_n + T_x}{2}$ EN °C (1966 à 1975).G. EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE MENSUELLE

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
12	19	44	75	95	114	129	100	66	32	15	9	710

TABLEAU 35 : EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE MOYENNE MENSUELLE EN mm.
Période 1966 à 1975. Calculs de la station météorologique d'Auxerre par la méthode de Penman adaptée par Brochet et Gerbier.H. CONCLUSIONS

Avec des précipitations moyennes annuelles de 716 mm et des températures moyennes en décembre de 2,7°C et en juillet de 18,5°C, on peut parler d'un climat général tempéré de transition entre un climat atlantique et un climat plus continental.

Les précipitations moyennes sont assez régulièrement réparties au cours de l'année mais avec des jours de pluies moins nombreux en été et des pluies estivales plutôt plus fortes. Mais il faut souligner l'extrême irrégularité des précipitations d'une année à l'autre.

Les très fortes pluies (> 15 mm en 24 h.) sont peu nombreuses en moyenne (6/an) comme pour la période qui nous occupe : 39/60 mois à Auxerre).

Durant les 5 années des mesures, deux saisons seulement peuvent être considérées comme anormalement sèches : l'été et l'automne 1978.* En revanche, tous les hivers ont été particulièrement arrosés ainsi que les étés 1977, 1980, 1981 et les printemps 1978 et 1979.

* (soit 173 mm sur 6 mois consécutifs au lieu des 345 mm en moyenne).

3. BILANS HYDRIQUES DECADAIRES FONDES SUR L'ETP

L'évapotranspiration potentielle (ETP) a été calculée selon la méthode de TURC pour les 180 décades qui nous intéressent (du 1er janvier 1977 au 31 décembre 1981). On a pris en compte :

- les précipitations décadales à Lordonnois ;
- les températures moyennes décadales à Auxerre-Saint-Georges ;
- les insolationes décadales à Auxerre-Saint-Georges.

Le calcul d'un bilan hydrique nécessite l'introduction d'une certaine réserve en eau du sol (RU). Nous avons évalué celle-ci, avant toute mesure d'humidité sur le sol en place, selon la méthode de la Chambre d'Agriculture de l'Aisne (citée par JAMAGNE et al, 1977) fondée sur les textures (tableau 36).

Profond. horizon en cm	Epaisseur en dm	classe textur.	Eau utile % pond.	Dens. app.	R.U. en mm	Profond. horizon en cm	Epaisseur en dm	classe textur.	Eau utile % pond.	Dens. app.	R.U. en mm
<i>H E R Y</i>						<i>P O N T I G N Y</i>					
0 - 6	0,6	SA	9	1,30	7,0	0 - 6	0,6	LMS	11	1,35	8,9
6 - 22	1,6	SL	7	1,30	14,6	6 - 26	2,0	LMS	11	1,35	29,7
22 - 42	2,0	SL	7	1,32	18,5	26 - 42	1,6	LSA	11	1,42	25,0
42 - 52	1,0	ALO	11	1,24	13,7	42 - 49	0,7	A	12	1,40	11,8
52 - 82	3,0	ALO	11	1,32	43,6	49 - 70	2,1	ALO	11	1,43	33,0
82 - 125	4,3	AS	11	1,57	74,3	70 - 85	1,5	A	12	1,53	27,5
						85 - 112	2,7	A	12	1,57	50,9
						112 - 130	1,8	A	12	1,63	35,4
Réserve utile totale de 0 à 125 cm : 171,7						Réserve utile totale de 0 à 130 cm : 222,2					
Réserve facilement utilisable = 110 mm						Réserve facilement utilisable = 150 mm					

TABLEAU 36:

EVALUATION DE LA RESERVE UTILE ET DE LA RFU DU SOL

A HERY ET PONTIGNY EN FONCTION DES TEXTURES

ET DES PROFONDEURS RETENUES

(profondeur de la structuration pédologique)

$$RU = h \times da \times \text{eau utile}$$

h = épaisseur considérée en cm
da = densité apparente
eau utile = différence d'humidités pondérales entre la capacité au champ et le point de flétrissement.

$$RFU = 2/3 \text{ de } RU$$

Grâce à un grand nombre d'analyses réalisées au cours de la cartographie des sols de ce département, on a pu établir une bonne corrélation entre classe texturale et réserve en eau. Cette méthode est utile lorsqu'on ne dispose d'aucune mesure hydrique et quand il s'agit de matériaux identiques ou voisins de ceux qui ont ainsi été testés (limons loessiques et roches sédimentaires du bassin parisien). Elle demeure cependant très schématique car elle ne tient pas compte de la structuration ni de la porosité réelles.

Le scénario sur lequel sont établis ces bilans est le suivant :

- en période sèche, quand $ETP > P$ (précipitations), la réserve facilement utilisable ($RFU = 2/3$ de RU , voir p. 121) sert à approvisionner les plantes et s'assèche progressivement ;
- à son épuisement complet, on considère que celles-ci commencent à souffrir et évapotranspirent moins que potentiellement possible : évapotranspiration réelle = $ETR < ETP$. $ETP - ETR =$ déficit en eau pour les plantes par rapport à une production de matières végétale maximale ;
- lorsque, à l'automne, $P > ETP$, la réserve en eau du sol se reconstitue peu à peu ;
- quand la réserve est complètement reconstituée, les excès de P par rapport à ETP se transforment en excès d'eau qui devront s'écouler hors du sol.

Les bilans hydriques dont les résultats sont présentés ici (tableaux 37 et 38) sont fondés essentiellement sur l'ETP, donnée purement climatique. En outre ils n'ont subi aucune adaptation à une végétation forestière : c'est pourquoi ils restent assez théoriques (1). Dans la suite de cet exposé (p. 138) nous pourrions les confronter avec des mesures faites sur les sols en place.

Ils annoncent un déficit en eau important en 1978 (de juillet ou août à novembre), un déficit moins grand en 1979 (de juillet à septembre), un manque d'eau léger en septembre 1980 et 1981 et pas de déficit du tout en 1977.

Par cette méthode, les excès d'eau (= drainage naturel = water surplus) peuvent être situés dans le temps et estimés quantitativement :

- de début janvier à la première décennie de mai 1977 (173 mm) ;
- de début décembre 1977 à la deuxième décennie d'avril 1978 (306 mm)
- de début janvier à fin mai 1979 (217 mm) à HERY ; de début février à fin mai 1979 (177 mm) à PONTIGNY ;
- de début novembre 1979 à fin mars 1980 (282 mm) à HERY ; de la deuxième décennie de décembre 1979 à fin mars 1980 (242 mm) à PONTIGNY ;
- de fin octobre ou fin novembre au 31 décembre 1981 : 164 mm à HERY et 144 mm à PONTIGNY.

(1) AUSSENAC (1972) a tenté d'estimer l'ETR d'une futaie de feuillus (hêtres et charmes) en Lorraine au cours de la seule période de végétation. Il a obtenu des valeurs ETR/ETP (Bouchet) de 1,02 ; 1,30 et 1,28 pour trois années consécutives.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1977	E.T.P.	10	20	43	51	80	80	105	87	75	46	19	13	628
	def. HERY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	def. PONTIGNY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	E.T.P.	8	11	36	50	75	93	103	104	77	45	18	12	630
	def. HERY	0	0	0	0	0	0	24	86	52	27	5	0	193
	def. PONTIGNY	0	0	0	0	0	0	0	70	52	27	5	0	153
1979	E.T.P.	3	10	26	48	81	101	122	90	77	35	17	13	622
	def. HERY	0	0	0	0	0	0	43	12	48	0	0	0	104
	def. PONTIGNY	0	0	0	0	0	0	3	12	48	0	0	0	64
1980	E.T.P.	6	20	27	54	84	92	86	103	81	36	14	5	608
	def. HERY	0	0	0	0	0	0	0	1	58	0	0	0	59
	def. PONTIGNY	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	19
1981	E.T.P.	8	8	38	58	74	90	91	101	67	35	19	9	598
	def. HERY	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	19
	def. PONTIGNY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 37 :

E.T.P. ET DEFICIT EN EAU A HERY ET PONTIGNY.
(SOMME DES VALEURS DECAIRES CALCULEES).

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1977	HERY	46	103	7	0	17	0	0	5	0	0	0	47	225
	PONTIGNY	46	103	7	0	17	0	0	5	0	0	0	47	225
1978	HERY	75	83	96	5	0	0	0	0	0	0	0	0	259
	PONTIGNY	75	83	96	5	0	0	0	0	0	0	0	0	259
1979	HERY	27	81	84	20	5	0	0	0	0	0	28	77	322
	PONTIGNY	0	68	84	20	5	0	0	0	0	0	0	65	242
1980	HERY	53	59	65	0	0	0	0	0	0	0	0	63	241
	PONTIGNY	53	59	65	0	0	0	0	0	0	0	0	24	201
1981	HERY	95	45	59	0	0	56	0	0	0	7	21	136	419
	PONTIGNY	95	45	59	0	0	56	0	0	0	0	8	136	399

TABLEAU 38 :

BILAN HYDRIQUE. EXCES D'EAU A HERY ET PONTIGNY.
(SOMME DES VALEURS DECAIRES CALCULEES).

En ce qui concerne les périodes estivales, on notera qu'un drainage naturel a pu se produire lors de la deuxième décade d'août 1977 et qu'un important excès d'eau apparaît en juin 1981 (45 mm lors de la première décade et 11 mm au cours de la troisième décade). On remarquera également que, certaines années, le drainage naturel débute théoriquement 30 à 40 jours plus tôt à HERY qu'à PONTIGNY en conséquence de la différence de RFU (110 mm à HERY contre 150 mm à PONTIGNY). On verra dans la suite de ce chapitre que ces résultats, obtenus à partir de données presque exclusivement climatiques, ne sont pas contradictoires avec ceux acquis par humidimétrie neutronique, bien au contraire.

4. PIEZOMETRIE

A. PIEZOMETRES DE SURFACE (figure 19)

La présence d'eau dans ces piézomètres dénote l'existence d'une nappe "hypodermique" correspondant à l'apparition d'eau "libre" et donc à un engorgement des horizons A (limono-sableux ou sablo-limoneux). A HERY nous nous sommes efforcés de réaliser des relevés plus rapprochés que les mesures neutroniques (faites, rappelons-le avec un rythme moyen de une mesure tous les 20 jours). Malheureusement ce qui a pu être fait n'a pas été suffisant pour fournir mieux qu'une idée assez imprécise. Une nappe "hypodermique" (FEODOROFF et GUYON, 1966) existe chaque année en janvier, février, mars, et elle a été observée une fois fin décembre 1980, en mai 1979 et en juin 1981. Elle n'a pas été vue en avril ni durant les autres mois mais cela n'exclut pas une existence très fugace au cours de ces périodes non hivernales. Les relevés n'ont pas été assez rapprochés pour savoir avec certitude si la nappe est présente en hiver de façon continue ou non. Elle semble s'être maintenue durant trois longues périodes (voir tableau 39). Par contre, elle a duré moins de 8 jours en mai 1979, en mars 1980 et décembre 1980.

date de la première mesure	date de la dernière mesure	soit une durée de	Décade antérieure	PLUVIOMETRIES DECADEAIRES EN mm						
				JAN. 2e	JAN. 3e	FEV. 1er				
24.01.1979	14.02.1979	> 20 j.	JAN. 2e 5	JAN. 3e 21	FEV. 1er 62					
09.01.1980	14.03.1980	> 63 j.	JAN. 1er 20	JAN. 2e 1	JAN. 3e 38	FEV. 1er 50	FEV. 2e 11	FEV. 3e 18	MARS 3e 34	
01.01.1981	22.01.1981	environ 22 j.	DEC. 3e 31	JAN. 1er 46	JAN. 2e 53					

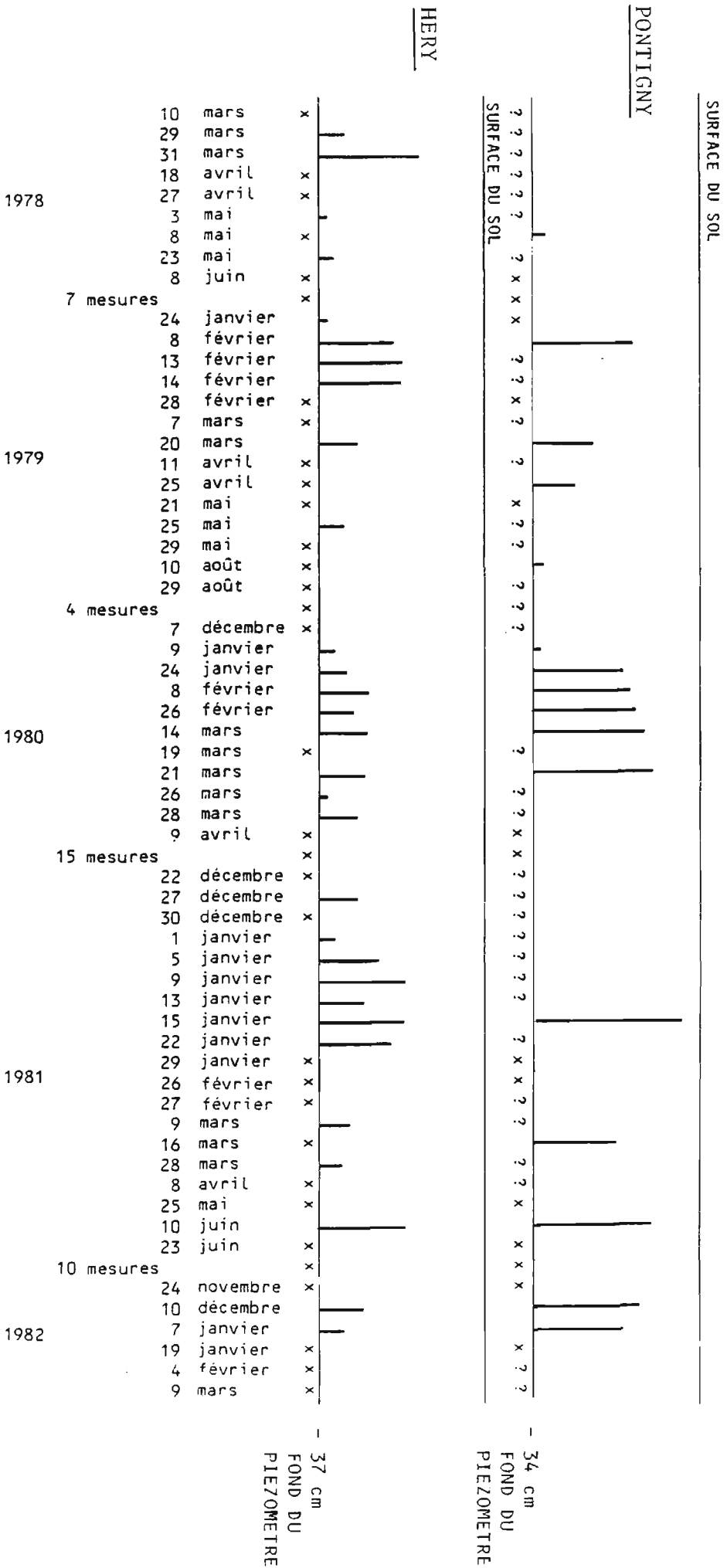
TABLEAU 39 : Périodes d'existence prolongée d'une nappe "hypodermique" à HERY. Relations avec les pluviométries décadaires.

La disparition de la nappe "hypodermique" peut être aussi éphémère que sa présence : ainsi elle a été observée le 27 décembre 1980 et le 1er janvier 1981 mais elle manquait le 30 décembre. On peut faire les mêmes remarques pour PONTIGNY que pour HERY, mais :

- une nappe existait le 25 avril 1979 ;
- par deux fois, de l'eau a été décelée en période habituellement sèche : 10 août 1979 et 10 juin 1981. A ces deux dates on a sans doute assisté à l'évacuation rapide de fortes pluies récentes (en particulier 102 mm dans la première décade de juin 1981).

FIGURE 19 : PRESENCE ET ABSENCE D'UNE NAPPE HYPODERMIQUE A HERY ET PONTIGNY. RELEVES DES PIEZOMETRES DE SURFACE.

x = piézomètre vide.
 ? = pas de relevé.



Malgré la fréquence insuffisante des relevés (surtout à PONTIGNY), les deux sites ont permis de constater trois faits importants :

- les nappes "hypodermiques" existent chaque année de fin décembre à fin mars mais de façon discontinue ;
- elles se manifestent aussi en avril et en mai, de manière beaucoup plus momentanée ;
- elles apparaissent aussi, pour des durées très courtes, en d'autres saisons afin d'évacuer de fortes averses (par exemple en juin 1981).

B. PIEZOMETRES PROFONDS

Il était tout-à-fait possible d'imaginer une nappe phréatique dans les "sables verts", roche-mère du sol d'HERY ; cette nappe éventuelle pouvant même être légèrement artésienne (en charge) comme c'est le cas dans la région, notamment à NEUILLY. C'est pourquoi un premier piézomètre profond a été installé dès février 1978.

La figure 20 présente les résultats des relevés au cours du temps. Il semble qu'une nappe ait existé à faible profondeur (à moins de 175 cm) entre le 24 janvier et le 29 mai 1979, puis entre le 9 janvier et le 6 juin 1980, puis entre le 22 décembre 1980 et le 25 mai 1981.

Mais deux faits viennent mettre en doute ces résultats. D'une part, les comptages neutroniques réalisés aux profondeurs concernées (par exemple 125 cm) ne manifestent pas l'existence synchrone d'une humidité en accroissement (figure 20). Lorsque la nappe est censée remonter plus haut que 80 cm, les comptages neutroniques bruts (voir p. 114) se maintiennent entre 20 et 70 % et lorsque les comptages atteignent 80 % et plus, la nappe a disparu (18 avril au 9 juillet 1980). D'autre part, on a très nettement l'impression que les hauteurs d'eau dans les deux piézomètres (superficiel et profond) sont assez nettement corrélées (figure 20). Par crainte d'un mauvais fonctionnement de ce piézomètre profond (circulation descendante d'eau le long du tube), nous en avons installé un autre (le 21 mars 1980).

Les résultats (portés sur la figure 21) montrent que les fluctuations indiquées par le nouveau piézomètre profond d'HERY (installation identique, à 4 m de l'ancien) ne concordent nullement avec celles du premier : non seulement les hauteurs d'eau sont complètement différentes de celles observées aux mêmes moments dans l'autre piézomètre mais ces nouvelles données sont également contradictoires avec les comptages bruts obtenus pour le niveau 165 cm qui demeurent, pour cette même période, compris entre 7 et 19 %.

Les renseignements fournis par le piézomètre profond de PONTIGNY paraissent plus cohérents. Malheureusement cette installation n'a été réalisée qu'en mars 1980. Lorsque ce piézomètre indique l'existence d'une nappe à une profondeur donnée, le comptage neutronique brut correspondant présente des valeurs élevées, supérieures à 80 voire 85 %. La corrélation est bonne (figure 22).

CONCLUSION :

Le dispositif de profondeur d'HERY fournit des résultats très probablement erronés car ceux-ci ne correspondent pas entre eux ni avec les autres données obtenues par d'autres moyens. Nous ne croyons pas à l'existence d'une nappe phréatique profonde au cours des années 1979, 1980 et 1981 et ce malgré la présence d'eau dans les piézomètres. Il est probable que, malgré les précautions prises au moment de l'installation, la nappe "hypodermique" ait pu communiquer avec la partie basale des piézomètres profonds.

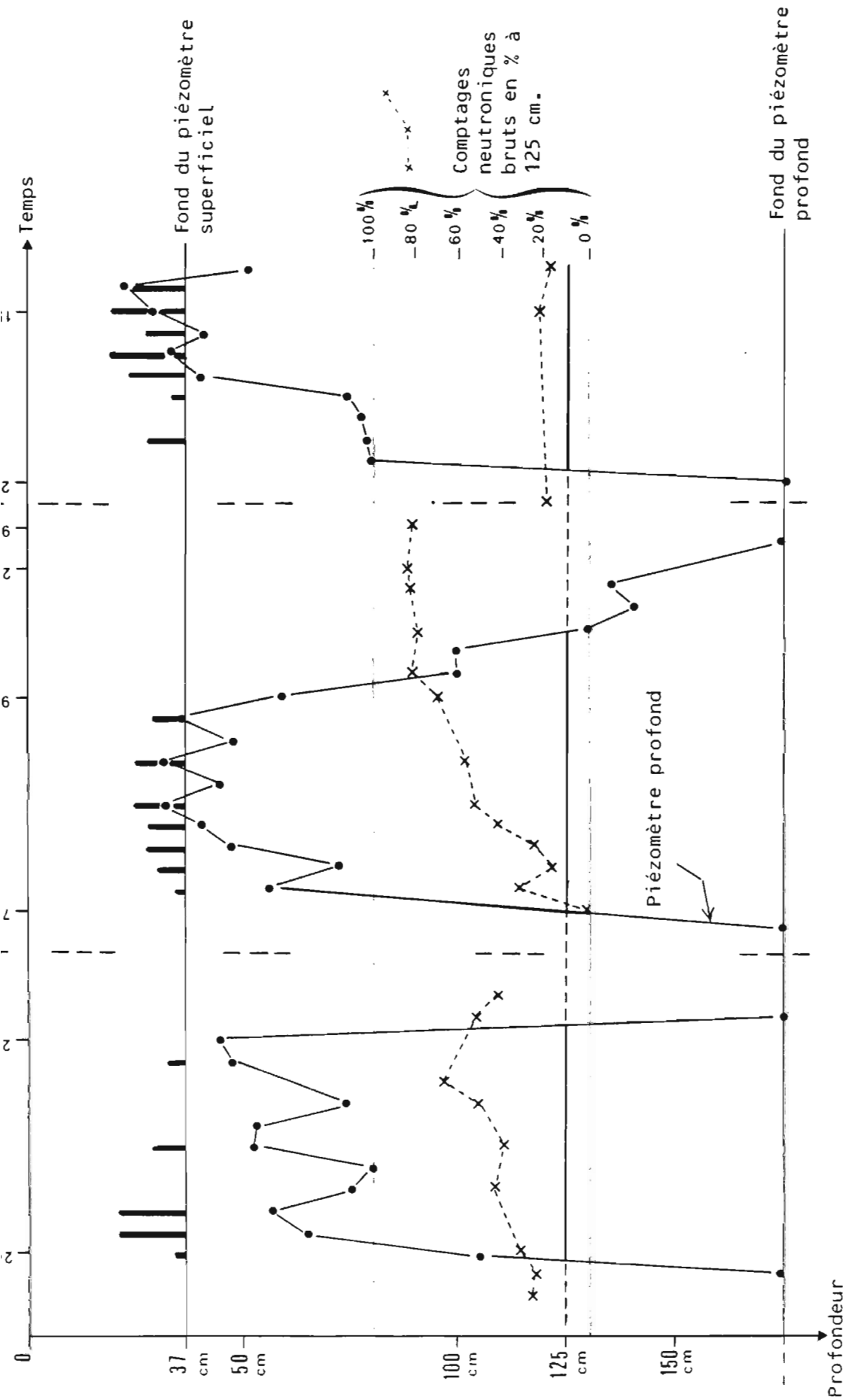


FIGURE 20 : PRESENTATION SIMULTANEE DES HAUTEURS D'EAU DANS LES PIEZOMETRES DE HERY ET DES COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS OBTENUS A 125 cm POUR LA MEME PERIODE. On notera le désaccord complet entre les résultats fournis par les deux méthodes.

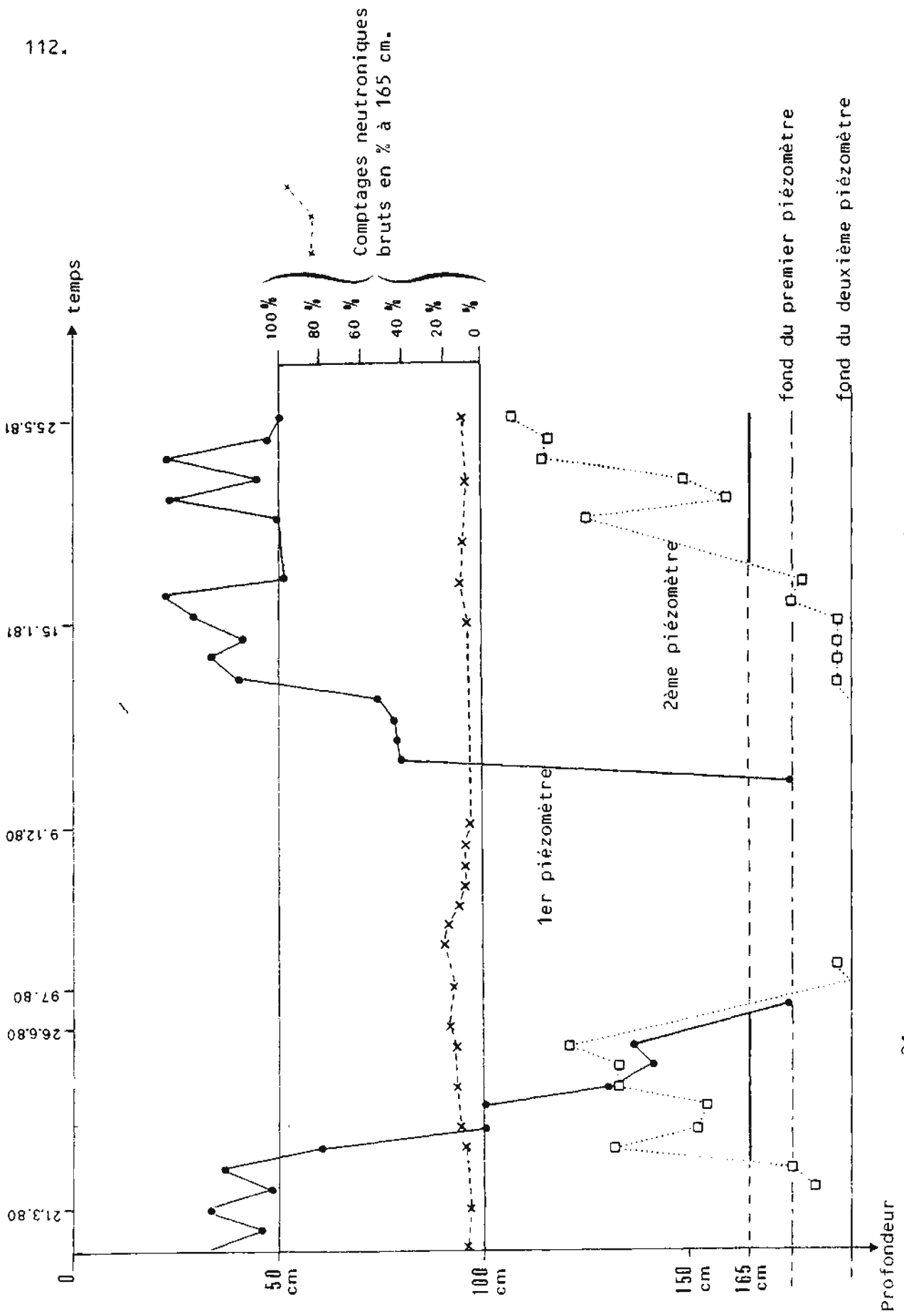


FIGURE 21 : PRESENTATION SIMULTANEE DES NIVEAUX DE L'EAU DANS LES DEUX PIEZOMETRES PROFONDS DE HERY ET DES COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS OBTENUS A 165 cm. Il y a incohérence complète entre les trois séries de mesures.

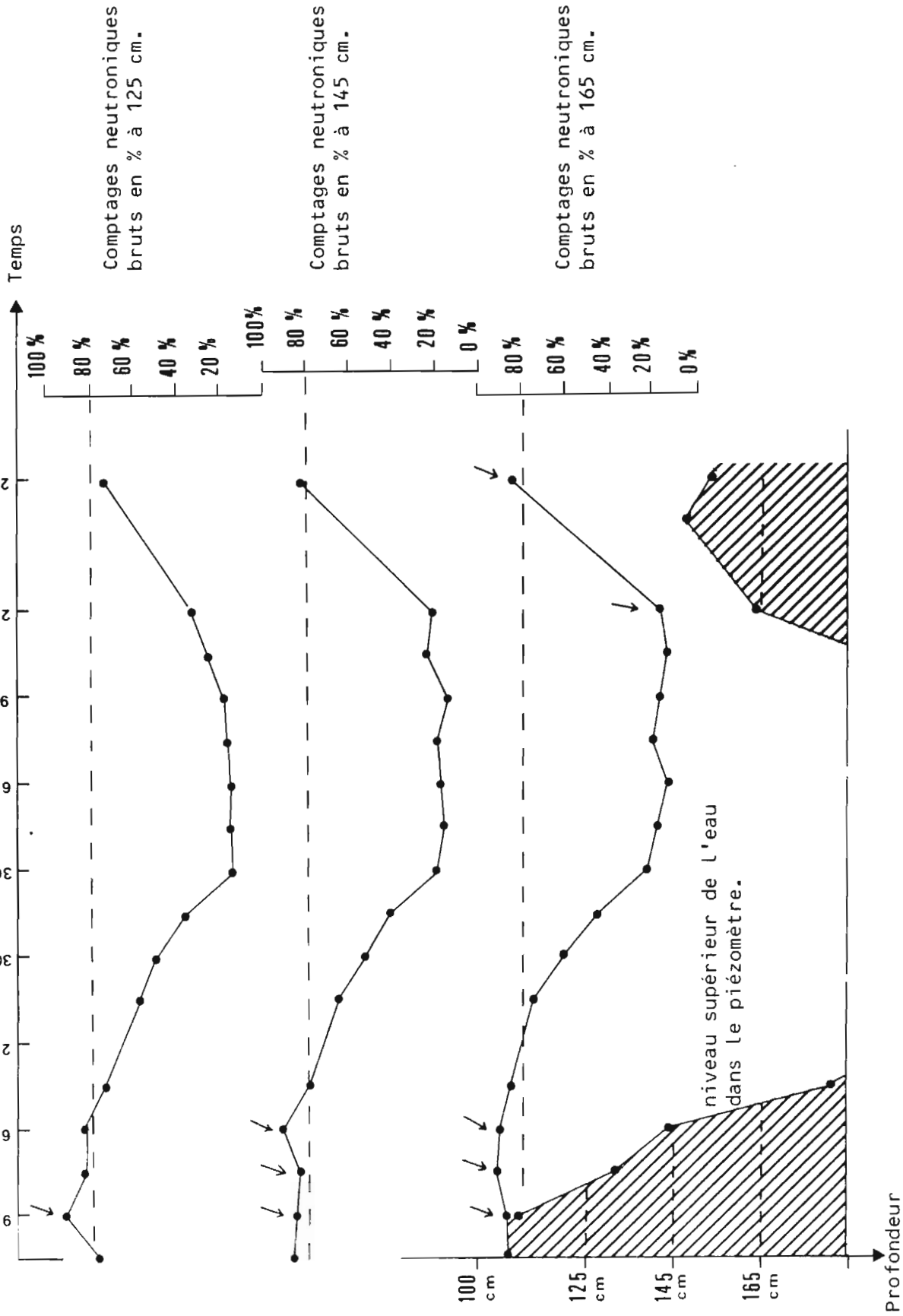


FIGURE 22 : DONNEES PIEZOMETRIQUES ET COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS A PONTIGNY. Les petites flèches indiquent les cas où les mesures neutroniques auraient été effectuées dans une éventuelle nappe phréatique. On observe un bon accord entre les deux approches.

5. HUMIDITES DETERMINEES PAR MESURES NEUTRONIQUES

A. METHODE NEUTRONIQUE : principe et étalonnage

Une sonde à neutrons rapides, introduite dans un tube d'accès fi permet de mesurer les humidités volumiques du sol à différentes profondeurs à moment donné. Sur le terrain, les mesures s'effectuent par détection puis com ge des neutrons ralentis par les atomes d'hydrogène (et d'autres, comme le fe

Pour traduire ces comptages bruts en valeurs chiffrées d'humidit il est nécessaire de procéder à un étalonnage complexe qui implique notamment mesures in situ de la densité apparente humide, d'où le couplage du dispositi neutronique avec une sonde à rayons gamma. Cet étalonnage est une opération d: cile et approximative dont le lecteur intéressé trouvera le détail en annexes p. LII).

Les comptages bruts ne représentent donc pas directement l'humidi des horizons car chaque couche possède sa "constante intrinsèque" (liée aux di atomes qui la composent et qui réagissent aux neutrons rapides) que nous consi rerons comme invariable au cours du temps. Ainsi, il ne sera pas possible de c parer les valeurs recueillies à un niveau à celles obtenues pour un autre nive En revanche, avant tout étalonnage, il est intéressant de considérer les varia tions des comptages bruts d'une même couche en fonction du temps.

Dans la suite de ce chapitre nous allons exprimer les comptages b sous une forme standard. Soit V la valeur mesurée, V_{max} la plus forte valeur tenue au cours de la série complète de mesure et V_{min} la plus faible. Chaque valeur V sera exprimée sous la forme

$$\frac{V - V_{min.} \times 100}{V_{max.} - V_{min.}}$$

Ce mode d'expression a été préféré car il permet de comparer les différents niveaux entre eux et de suivre l'évolution des humidités au cours d temps. Ainsi, on n'est plus tributaire des valeurs absolues liées aux caracté ristiques intrinsèques de chaque couche et on n'a pas à réaliser préalablement un étalonnage délicat pour passer à des humidités réelles.

En revanche cette présentation gomme l'aspect quantitatif des var tions entre les différents horizons. Par exemple, les comptages bruts à HERY - 35 cm ont oscillé à l'intérieur d'une fourchette de 322 points (soit 24,1 % d'humidité volumique) tandis que le niveau 85 cm du même profil s'est limité à intervalle de 92 points soit 7,1 % d'humidité (voir annexes).

Entre le 23 mai 1977 (première mesure) et le 7 janvier 1982 (dern mesure prise en compte) 80 mesures ont été réalisées soit en moyenne une tous 21 jours.

B. VARIATIONS DES COMPTAGES BRUTS AU COURS DU TEMPS

Les figures 23 et 24 présentent ces fluctuations pour un certain nombre de niveaux des deux sols. Les comptages bruts sont exprimés en % de leur variation totale au cours de la série de mesure et l'échelle de temps n'est pas réelle puisqu'il s'agit seulement d'un numéro d'ordre.

Le détail de l'analyse par périodes et les comparaisons avec l'ETP et les précipitations figurent en annexes (p.LIV). Nous ne développerons ici que les remarques les plus importantes.

Si l'on considère les figures 23 et 24, on peut sommairement reconnaître quatre états des horizons vis-à-vis de l'eau :

- un ETAT DESSECHE :
(moins de 30 %). La réserve en eau serait complètement épuisée ou très fortement entamée.
- un ETAT HUMECTE :
(plus de 70 %). Nous considérons cet état comme très voisin de la capacité au champ.
- un ETAT TRANSITOIRE
entre les deux précédents : REHUMECTATION ou DESSECHEMENT.
- un ETAT ENGORGE :
excès d'eau saturant tous les vides et notamment les fissures, les canalicules et toute la macroporosité. Les figures 25 et 26 montrent l'excellente corrélation entre des valeurs de comptages neutroniques bruts de plus de 80 % ou 85 % et la présence d'une nappe hypodermique décelée par les piézomètres superficiels. Seuls les niveaux 15, 25 et 35 cm des deux profils semblent manifester des engorgements temporaires. Pour ces niveaux, l'état humecté correspond à des comptages bruts de 65 à 80 % tandis que des valeurs plus élevées seraient l'indice d'un engorgement. Aucun horizon situé sous le contact planique ne semble connaître l'état engorgé distinct de l'état humecté.

Dessèchements :

les dates indiquées dans le tableau ci-après sont les dates de mesure. Les dates du début réel de dessèchement sont forcément antérieures à celles indiquées et postérieures à la mesure précédente. L'intervalle entre deux mesures est très variable, de 14 à 60 jours. Ainsi, la mesure précédente celle du 26 juillet 1979 a été faite le 21 mai. Un décalage dans le temps d'un niveau à un autre ne pourra pas apparaître faute de mesures durant cette période de plus de deux mois(*).

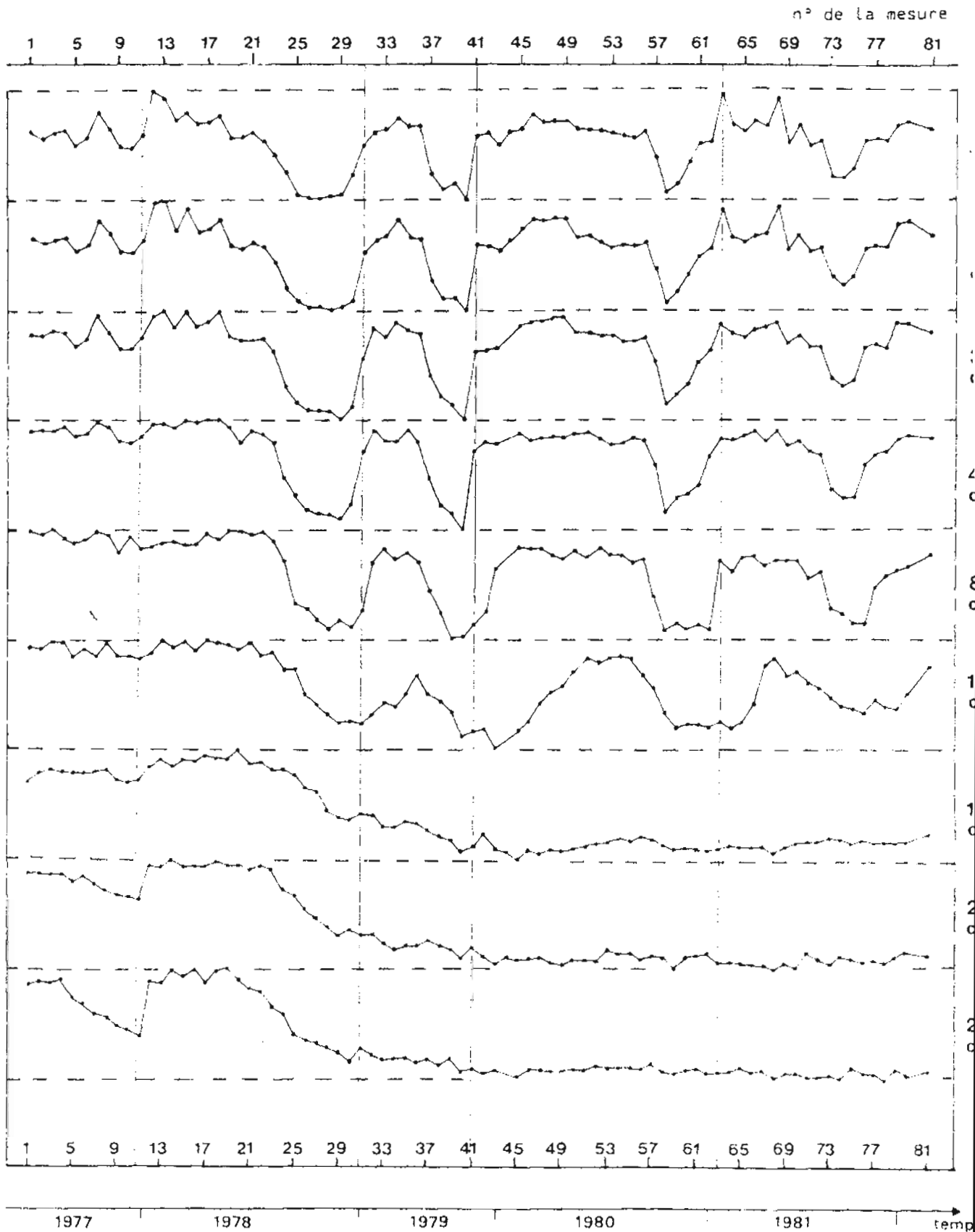


FIGURE 23 : HÉRY. Comptages neutroniques bruts à différents niveaux (exprimés en % de la variation maximale).

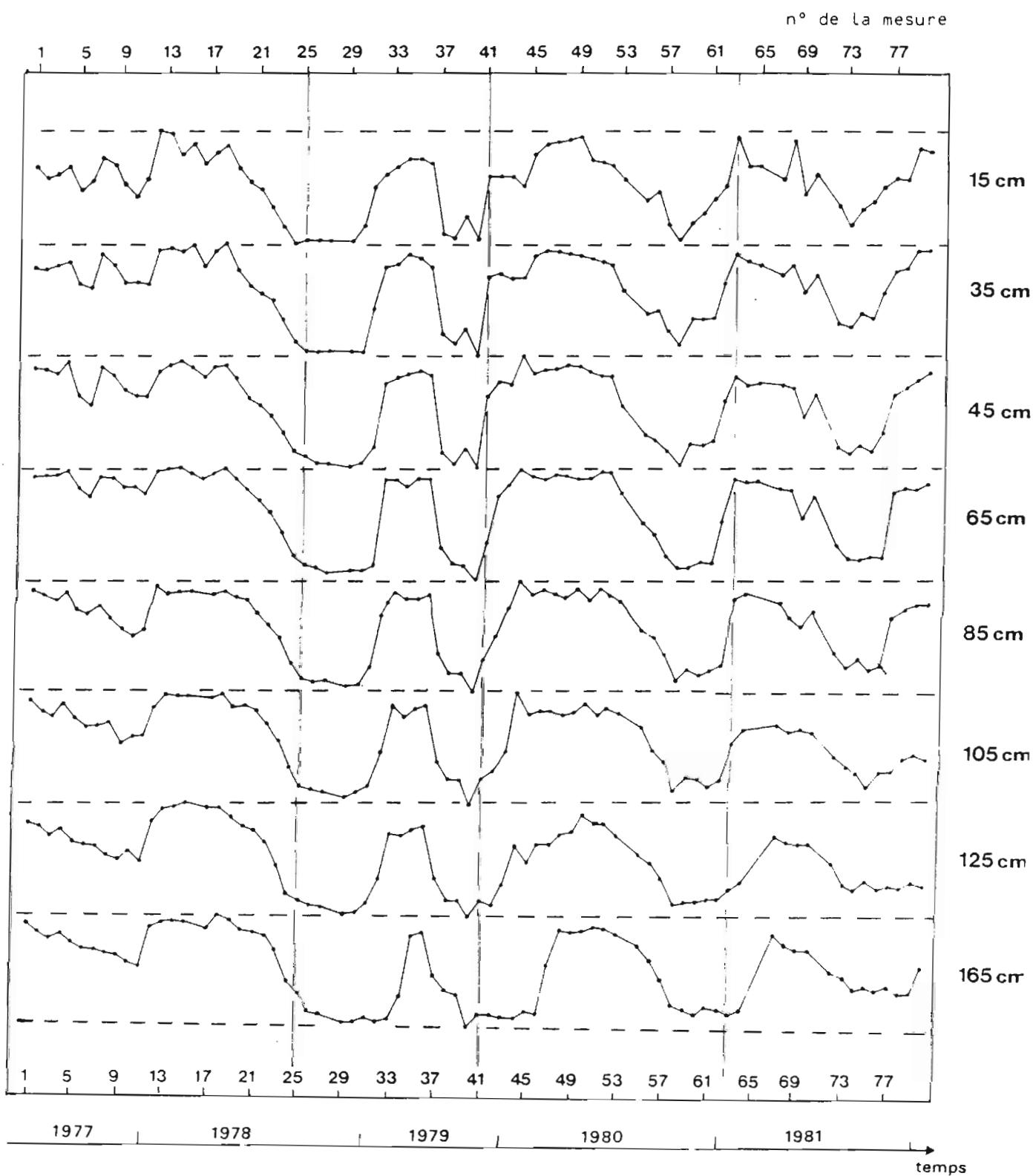


FIGURE 24 : PONTIGNY. Comptages
neutroniques bruts à différents niveaux
(exprimés en % de la variation maximale).

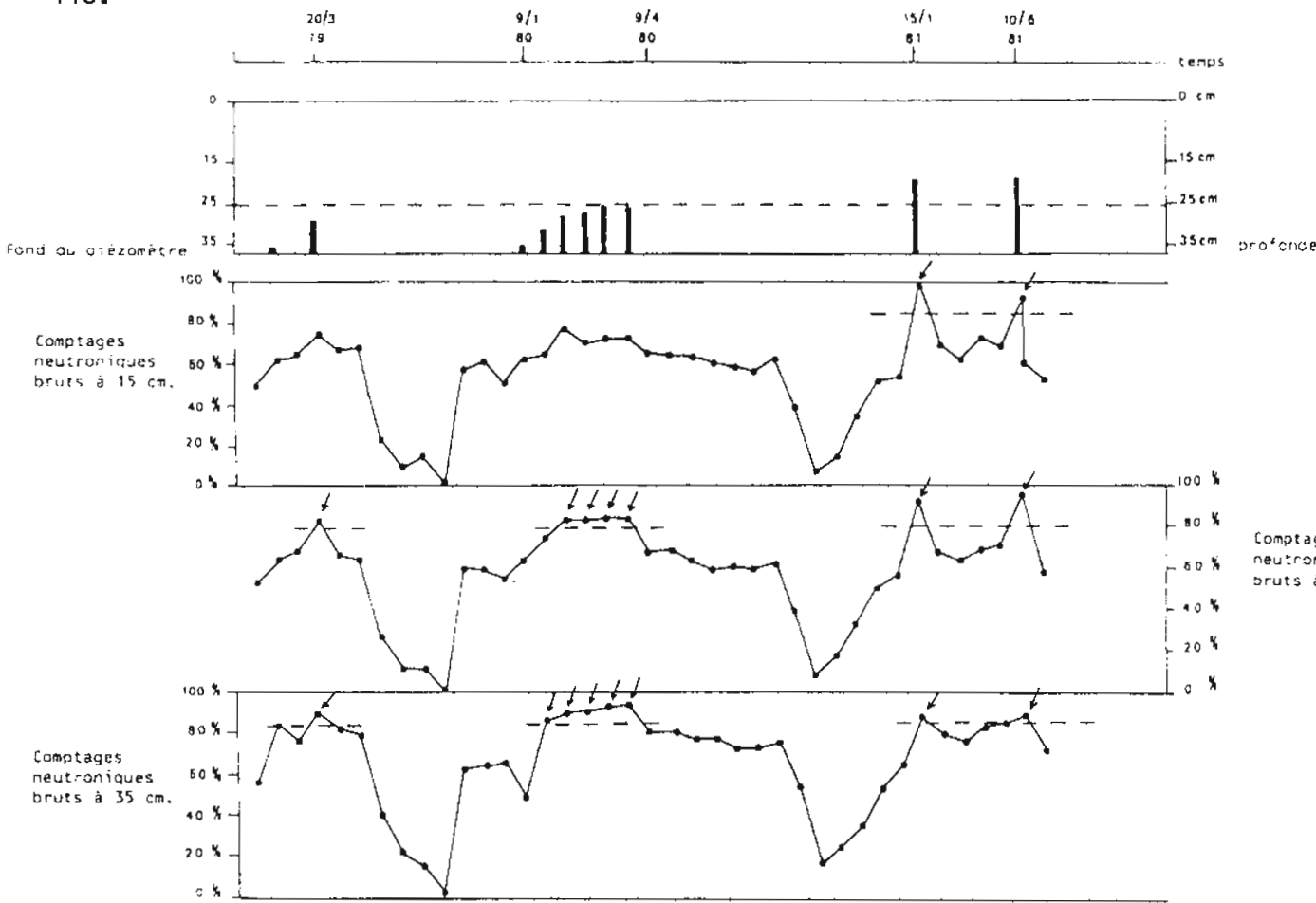


FIGURE 25 : HERY - HAUTEURS D'EAU DANS LE PIEZOMETRE SUPERFICIEL ET COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS CORRESPONDANTS. Seuls sont présentés les relevés piézométriques synchrones d'une mesure neutronique.

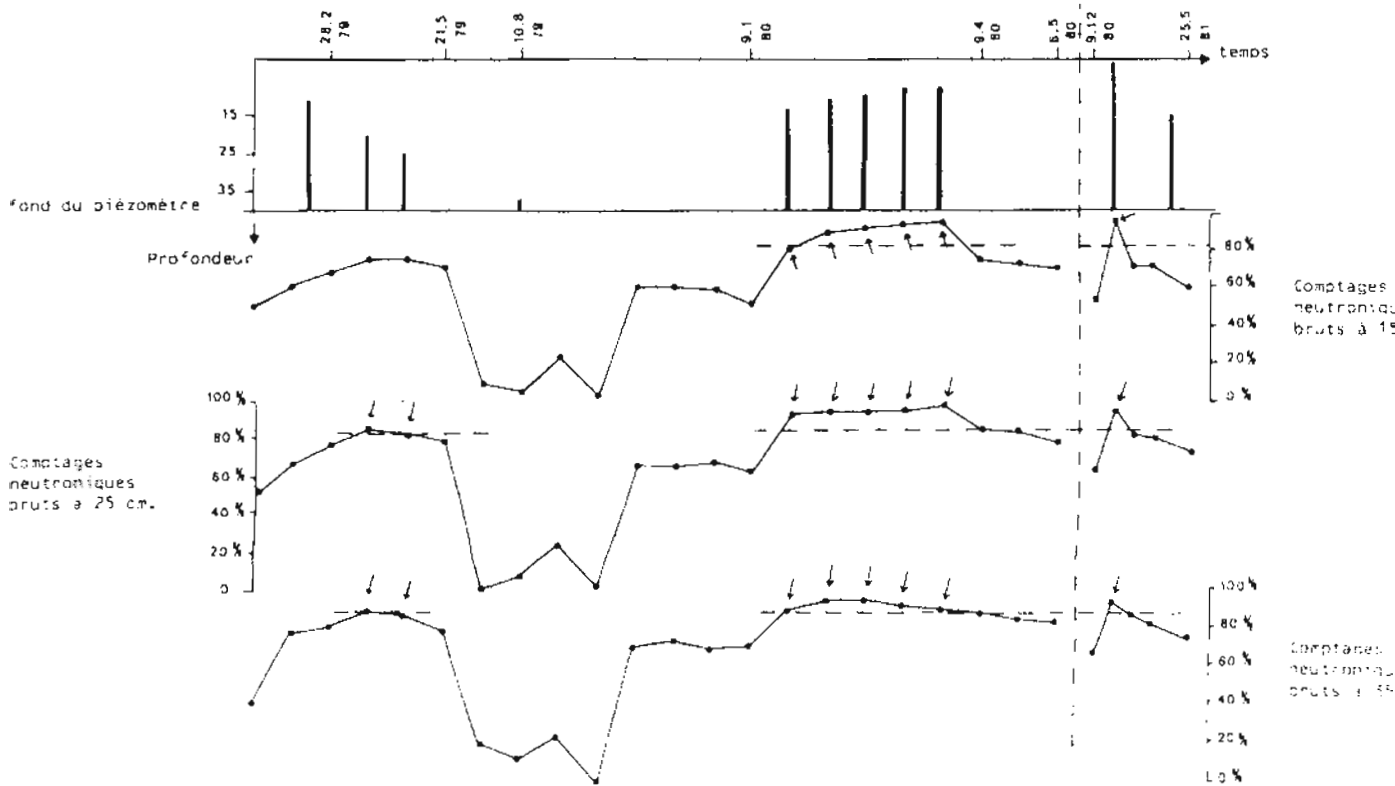


FIGURE 26 : PONTIGNY - PRESENTATION SIMULTANEE DES HAUTEURS D'EAU DANS LE PIEZOMETRE SUPERFICIEL ET DES COMPTAGES NEUTRONIQUES CORRESPONDANTS.

	1977	1978	1979	1980	1981
HERY					
- 45 cm	néant	24 août	* 26 juillet	27 août	22 juillet
- 85 cm	néant	24 août	* 26 juillet	27 août	22 juillet
- 125 cm	néant	24 août	* 26 juillet	30 juillet	23 juin
- 205 cm	6 septembre	24 août	néant	néant	néant
- 245 cm	21 juillet	3 août	néant	néant	néant
PONTIGNY					
- 35 cm	21 juillet et 21 septembre	8 juin	* 26 juillet	6 juin	23 juin
- 65 cm	21 juillet	22 juin	* 26 juillet	6 juin	23 juin
- 105 cm	21 juillet	20 juillet	* 26 juillet	9 juillet	réhum.incompl.
- 165 cm	21 juillet	3 août	* 26 juillet	9 juillet	10 juin

TABLEAU 40 : DATES DU DEBUT DU DESSECHEMENT.

HERY 1977 :

il y a dessèchement en profondeur alors qu'il n'y en a pas en surface. Nous interprétons ce fait comme un "dessèchement par le bas".

HERY 1978 :

le dessèchement à 245 cm débute plus tôt que celui des horizons moins profonds. Cela pourrait être également interprété comme un effet de "dessèchement par le bas".

HERY 1979, 80 et 81 :

en profondeur il n'y a pas de début de dessèchement car il n'y a pas eu de réhumectation hivernale.

PONTIGNY 1978 et 1980 :

le début du dessèchement est plus tardif en profondeur. Nous considérons cela comme un signe de "dessèchement par le haut". En 1981, il est plus précoce en profondeur suite à une réhumectation tardive et incomplète (idem pour HERY 1981).

Jusqu'à 1 mètre les horizons de PONTIGNY sont touchés par le dessèchement aux mois de juin ou juillet alors que les horizons équivalents d'HERY ne sont même pas touchés en 1977 et commencent à sentir les effets du dessèchement un mois ou un mois et demi plus tard. La cause principale est probablement un meilleur drainage externe du sol à PONTIGNY, lié à une pente plus forte.

La futaie de PONTIGNY est aussi plus dense et plus vigoureuse : elle est donc aussi capable d'une plus rapide utilisation des réserves en eau du sol.

Réhumectations :

	1977 - 78	1978 - 79	1979 - 80	1980 - 81	1981 - 82
HERY					
- 45 cm	néant (1)	27 décembre	7 novembre	15 janvier	24 novembre
- 85 cm	néant (1)	24 janvier	9 janvier	15 janvier	} postérieur au 7 janvier
- 125 cm	néant (1)	néant (5)	9 avril 80	25 mai 81	
- 205 cm	25 janvier (4)	néant (6)	néant (6)	néant (6)	néant (6)
- 245 cm	25 janvier (4)	néant (6)	néant (6)	néant (6)	néant (6)
PONTIGNY					
- 35 cm	23 août et 25 janvier (4)	24 janvier	7 novembre	9 décembre	5 novembre
- 65 cm	néant (2)	24 janvier	14 novembre	15 janvier	5 novembre
- 105 cm	25 janvier (4)	28 février	9 janvier	29 janvier	} postérieur au 7 janvier
- 165 cm	25 janvier (4)	25 avril	14 mars	25 mai (3)	

TABLEAU 41 : DATES DE REHUMECTATION SUPERIEURE A 70 %.

(1) = Pas de réhumectation car pas de dessèchement antérieur.

(2) = Le léger dessèchement antérieur n'est pas descendu en dessous de 70 %.

(3) = La réhumectation complète est probablement bien antérieure à cette date car, suite à une panne, aucune mesure n'a pu être réalisée entre le 29 janvier et le 25 mai.

(4) = Même remarque. Aucune mesure entre le 9 novembre 1977 et le 25 janvier 1978.

(5) = Il n'y a pas eu de réhumectation à plus de 70 % en 1978. En effet, avant que la réhumectation n'ait atteint ce seuil, le dessèchement estival est intervenu (le 25 avril 1979).

(6) = Suite au dessèchement qui débuta en août 1978, il n'y eut plus jamais réhumectation.

A PONTIGNY en 1978, 1979, 1980 et 1981, le tableau montre clairement que la réhumectation à plus de 70 % est notablement retardée à mesure que l'on se situe plus profondément dans le profil. Il semble donc bien s'agir d'une réhumectation "par le haut". Il en va de même pour le site d'HERY mais seulement pour les horizons moins profonds que 130 cm.

Les deux sols se comportent de façons différentes :

PONTIGNY se dessèche fortement, même en année humide, de juin à novembre, voire de juin à avril, selon les années et les niveaux considérés. Tous les horizons connaissent des phases de "dessèchement par le haut" et de "réhumectation par le haut" avec seulement un retard en profondeur.

HERY se dessèche plus tardivement et moins longtemps (et pas du tout en 1977). Ce profil semble présenter à la fois un "dessèchement par le haut" (= évapotranspiration) et, du moins en 1977, un "dessèchement par le bas" (= abaissement d'une nappe ou simplement drainage vers la profondeur ?). A noter que, depuis la dessiccation estivale de 1978, il n'y a pas eu de réhumectation "par le haut" des horizons les plus profonds et ce malgré des précipitations abondantes, plutôt au-dessus de la moyenne.

En effet, les eaux de pluies apportées "par le haut" depuis novembre 1978 n'ont réussi qu'à réhumecter les horizons argileux (B) du sol d'HERY sans atteindre les niveaux plus profonds*. Pour expliquer ce fait, on peut faire appel en été à une forte évapotranspiration. Mais en hiver et au printemps avant le démarrage de la végétation (fin avril), il ne peut s'agir que d'une évacuation latérale immédiate de l'excès d'eau le long du contact textural planique, les phases d'engorgement demeurant relativement fugaces. Le drainage d'hiver et du printemps est donc essentiellement un phénomène latéral.

Les deux sites reçoivent au sol des quantités d'eau très comparables. Mais trois circonstances diffèrent notablement et peuvent expliquer la différence de fonctionnement des deux sols.

1. Caractéristique pédologique :

à HERY, sous le sol proprement dit (au-delà de 130 cm de profondeur), se situe une roche-mère relativement filtrante : les "sables verts" peu ou non altérés ; à PONTIGNY, la roche-mère est une argile calcaire relativement peu perméable qui débute à un mètre de profondeur.

2. Caractéristique topographique :

à HERY, la pente maximale locale est nettement plus faible (3 %) qu'à PONTIGNY (6 %) : l'évacuation de la nappe hypodermique serait plus lente.

3. Caractéristique de la végétation :

à HERY, le taillis sous futaie est beaucoup moins dense et moins vigoureux que la futaie de chênes de PONTIGNY : l'évapotranspiration serait plus faible, le dessèchement estival moindre et plus tardif.

C. VALEURS CARACTERISTIQUES DE L'HUMIDITE ET RESERVES EN EAU

Rappel

Classiquement (HENIN, 1969 ; JAMAGNE, BETREMIEUX et al, 1977 ; SOLTNER, 1980 ; etc.), la réserve en eau utile (RU) est la quantité d'eau disponible pour les plantes. C'est la différence entre les humidités pondérales à la capacité au champ et au point de flétrissement multipliée par la densité apparente et par l'épaisseur de la couche considérée. La RU d'un sol est ainsi la somme des RU des différents horizons correspondants à l'enracinement.

Les plantes ayant d'autant plus de mal à extraire l'eau que l'on se rapproche du point de flétrissement, les agronomes, plus particulièrement pour les problèmes d'irrigation, ont introduit la notion de réserve facilement utilisable (RFU) pour tenter d'exprimer la fraction de la réserve en eau plus facilement accessible aux plantes. Habituellement et malgré la critique de cette notion par HENIN (1969), on utilise des valeurs de RFU = 1/2 ou 2/3 de RU sans qu'il y ait pour cela de raison scientifique.

Le G.E.P.P.A., dans l'exposé des travaux de sa commission de cartographie (1970-1981), a préféré la notion de capacité de stockage pour l'eau (CSE) qui exclut toute analyse des processus d'approvisionnement du sol en eau et, en

* On notera la coïncidence entre la limite de structuration pédologique des horizons (B) située à environ 130 cm et la limite annuelle d'humectation par les eaux de pluies, localisée à la même profondeur.

particulier, des remontées capillaires. Le G.E.P.P.A. propose cette définition : la CSE d'une couche est le volume maximum d'eau qu'elle retient contre les seules forces de gravité in situ. Il y a donc correspondance avec la notion de capacité au champ. Exprimée en millimètres d'eau elle est calculée en multipliant l'humidité volumique au stade de la capacité au champ par l'épaisseur de la couche en décimètres. La somme des CSE des horizons successifs donne la CSE du sol. Enfin, sont proposées des correspondances telles que $RU =$ approximativement $1/2$ de CSE et $RFU =$ approximativement $1/3$ de CSE en millimètres.

Dans un premier temps nous utiliserons sans les discuter les notions classiques de RU et RFU plutôt adaptées à l'agriculture, puis nous verrons, plus loin, si elles semblent utilisables également pour le milieu étudié : climat tempéré, taillis sous-futaie, sols planosoliques.

Passage des comptages bruts à des humidités chiffrées :

toutes les valeurs de comptages neutroniques bruts recueillies sur le terrain peuvent être transformées en humidités pondérales ou volumiques grâce aux courbes d'étalonnage obtenues en référence à des mesures gravimétriques et avec l'aide de mesures gammamétriques de densité apparente (cf. annexes n° 5 , p.LII).

Valeurs caractéristiques de l'humidité :

lorsqu'on considère l'évolution des humidités en fonction du temps (et comme cela avait été noté pour les comptages bruts), il est facile de distinguer trois valeurs caractéristiques :

- humidité à l'engorgement maximal (seulement pour les horizons situés à moins de 40 cm) ;
- humidité au dessèchement maximal ;
- humidité à la capacité au champ qui permet d'évaluer la CSE.

Le tableau 42 présente les valeurs caractéristiques obtenues pour les deux profils : humidités maximales, minimales et à la capacité au champ. Cette dernière est estimée par la méthode "des paliers" proposée par FEODOROFF et reprise par BETREMIEUX (1975). On notera que cette méthode n'a pu être utilisée ni tout-à-fait en surface ni au-delà de 105 cm, faute de paliers. Cela pourrait être dû à l'intervalle excessif entre deux mesures (20 jours en moyenne).

La figure 27 montre l'exemple du niveau 55 cm de PONTIGNY. La bande hachurée regroupe 28 mesures comprises toutes entre 41,8 et 43,4 % d'humidité avec une moyenne de 42,6. On peut raisonnablement considérer cette valeur comme représentative de la capacité au champ à ce niveau.

Quant aux humidités minimales observées, il est bien difficile de les situer par rapport à la notion traditionnelle de point de flétrissement, en l'absence de mesures de pF. Elles peuvent aussi bien être supérieures qu'inférieures à cette valeur théorique.

		HERY					PONTIGNY													
Niveau en cm	HORIZONS	humidité maximale en %		humidité minimale en %		humidité à la capacité au champ %		amplitude maximale en %		humidité maximale en %		humidité minimale en %		humidité à la capacité au champ %		amplitude maximale en %				
		pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	pond.	volum.	
15	A	32,3	42,0	11,1	14,4					21,2	27,6	31,2	42,1	5,8	7,8	30,4	42,7	9,7	13,6	
25		30,8	40,6	11,2	14,8					19,6	25,8	32,1	43,3	11,6	15,7	27,3	38,8	20,5	27,6	
35		36,4	47,3	17,8	23,2	31,9	41,5			18,6	24,1	29,8	42,4	18,6	26,4			11,2	16,0	
45	B	41,2	51,5	31,6	39,5	40,3	50,4			9,6	12,0	32,3	45,2	22,6	31,6	30,4	42,7	9,7	13,6	
55		40,4	50,5	33,0	41,2					7,4	9,3	30,6	43,5	21,3	30,2	30,0	42,6	9,3	13,3	
65		36,1	47,7	30,5	40,3	34,9	46,0			5,6	7,4	28,9	42,0	20,1	29,1			8,8	12,9	
75		32,0	44,8	26,4	37,0					5,6	7,8	26,2	39,8	18,2	27,7			8,0	12,1	
85		29,7	42,2	24,7	35,1	29,1	41,3			5,0	7,1	24,5	37,9	16,6	25,7	23,2	36,0	7,9	12,2	
105	C	21,2	34,9	16,9	27,9					4,3	7,0	23,7	37,6	16,6	26,4	22,4	35,6	7,1	11,2	
125		21,7	35,8	16,6	27,4					5,1	8,4	21,7	35,8	13,4	22,1			8,3	13,7	
145	C	20,6	34,0	14,7	24,3					5,9	9,7	18,9	31,8	11,7	19,7			7,2	12,1	
165		20,3	33,9	13,7	22,8					6,6	11,1	19,6	33,2	12,3	21,0			7,3	12,2	
185		17,7	29,7	11,6	19,4					6,1	10,3	18,7	31,7	12,9	22,0			5,8	9,7	
205		17,6	29,8	11,1	18,8					6,5	11,0									
225		19,5	32,2	12,2	20,1					7,3	12,1									
245		16,3	27,0	9,4	15,4					6,9	11,6									

TABLEAU 42: Humidités (pondérales et volumiques) maximales, minimales et à la capacité au champ (estimée par la méthode des paliers). Valeurs issues de mesures neutroniques. On notera tout particulièrement les très faibles variations d'humidité au sein des horizons (B) d'Héry. La macroporosité y est certainement très faible.

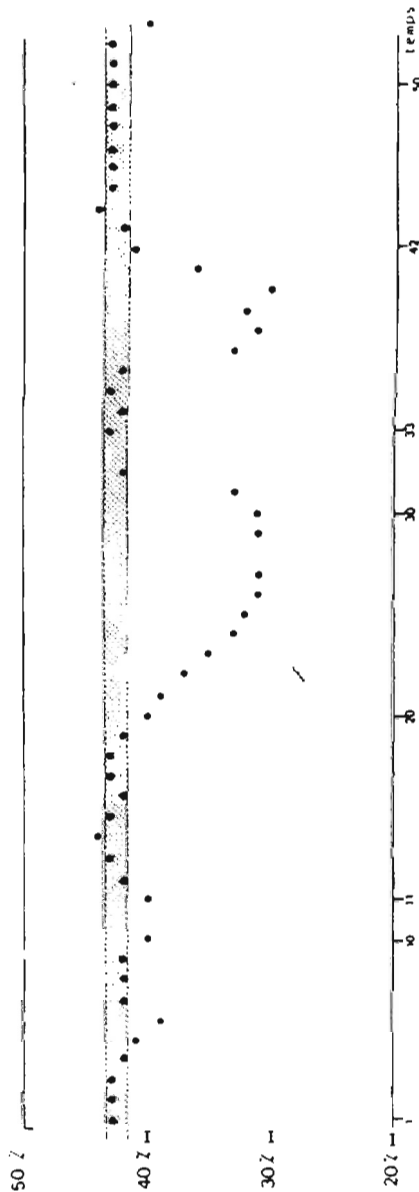


FIGURE 27 : Humidités volumiques(exprimées en %) en fonction du temps (54 premières mesures). L'exemple du niveau 55 cm de Pontigny.

Les capacités de stockage pour l'eau ont été calculées pour chaque niveau ainsi que les lames d'eau correspondant à des états d'engorgements et de dessiccations maximaux (tableaux 43 et 44).

Tranche de sol prise en compte en cm	Mesure neutronique à x cm	CAPACITE DE STOCKAGE POUR L'EAU (CSE) en mm = num. volum. x épaisseur en cm				LAMES D'EAU A DES ETATS D'ENGORGEMENT MAXIMAL				LAMES D'EAU A DES DATES DE DESSICCATIONS MAXIMALES		
		16.6.77	8.6.78	18.4.80	9.7.80	29.3.78	21.3.80	15.1.81	10.6.81	10.11.78	10.10.79	30.9.80
0 à 20	15	63,8	61,3	65,3	61,4	73,2	70,1	83,2	80,6	31,1	28,8	32,7
20 à 30	25	32,1	30,9	32,7	30,7	38,8	37,0	39,1	39,7	15,7	14,8	17,1
30 à 40	35	43,2	42,1	42,7	41,2	47,3	46,2	44,8	45,1	23,4	23,2	27,3
40 à 50	45	50,4	50,6	50,6	50,2	51,4	50,1	50,1	50,9	40,6	39,5	42,0
50 à 60	55	49,3	49,3	48,4	48,3	50,5	48,3	47,8	48,1	42,4	41,2	43,2
60 à 70	65	46,6	47,5	46,7	46,0	47,1	45,4	45,8	45,3	40,5	40,3	41,5
70 à 80	75	44,1	44,5	43,5	43,0	43,8	43,0	43,5	42,8	37,9	37,0	38,4
80 à 90	85	42,2	42,0	40,9	40,6	41,2	40,9	40,7	40,7	36,4	35,2	36,1
90 à 110	105	67,3	68,0	66,7	65,6	67,7	65,6	62,2	63,8	56,8	56,0	58,9
110 à 125	125	53,7	53,1	52,1	52,1	53,5	49,0	44,4	52,1	43,5	41,7	45,4
Σ 0 à 50		189,5	184,9	191,3	183,5	210,7	203,4	217,2	216,3	110,8	106,3	119,1
			moyenne : 187,3				moyenne : 211,9					
Σ 0 à 125	CSE DU SOL	492,7	489,3	489,6	479,1	514,5	495,6	501,6	509,1	368,3	357,7	382,6
			moyenne : 487,7									

TABLEAU 43 : HERY : CSE ET LAMES D'EAU A DIFFERENTS ETATS, EXPRIMEES en mm.

Tranche de sol prise en compte en cm	Mesure neutronique à x cm	CAPACITE DE STOCKAGE POUR L'EAU (CSE) en mm = num. volum. x épaisseur en cm				LAMES D'EAU A DES ETATS D'ENGORGEMENT MAXIMAL				LAMES D'EAU A DES DATES DE DESSICCATIONS MAXIMALES			
		8.6.78	21.5.79	6.5.80	25.5.81	25.1.78	29.3.78	8.2.80	21.3.80	15.1.81	10.11.78	10.10.79	30.9.80
0 à 20	15	62,3	65,5	65,7	58,8	84,3	76,6	78,6	82,6	83,1	17,4	17,9	20,0
20 à 30	25	36,1	37,8	37,7	36,4	42,5	42,2	42,4	43,1	42,4	16,0	15,7	17,9
30 à 40	35	38,7	39,0	40,1	38,9	41,3	42,0	42,0	41,3	41,7	26,8	26,4	28,6
40 à 50	45	42,0	42,3	42,9	42,1	42,7	43,2	43,5	43,9	42,9	31,7	31,6	32,7
50 à 60	55	42,0	42,1	43,0	41,1	42,1	43,1	43,0	42,9	43,1	31,0	30,2	32,7
60 à 70	65	40,7	40,7	42,1	40,6	41,6	41,4	41,4	41,4	41,4	30,2	29,1	31,2
70 à 80	75	37,2	37,4	38,4	37,3	37,1	37,9	37,6	38,0	37,6	28,1	27,7	29,4
80 à 90	85	35,4	35,8	36,3	35,8	36,4	35,9	37,0	37,1	36,1	26,2	25,7	27,7
90 à 110	105	71,0	71,6	72,5	69,0	71,0	73,0	72,0	71,8	65,7	54,2	52,7	56,7
110 à 130	125	68,4	66,1	68,1	65,0	67,0	71,6	63,1	66,3	52,3	44,8	44,1	48,8
Σ 0 à 50		179,1	184,6	186,4	176,2	210,8	204,0	206,5	210,9	210,1	91,9	91,6	99,2
			moyenne : 181,6				moyenne : 208,5						
Σ 0 à 130	CSE DU SOL	473,8	478,3	486,8	465,0	506,0	506,9	500,6	508,4	486,3	306,4	301,1	325,7
			moyenne : 476,0										

TABLEAU 44 : PONTIGNY : CSE ET LAMES D'EAU A DIFFERENTS ETATS, EXPRIMEES en mm.

La CSE totale du sol est obtenue par simple addition des CSE des différentes couches jusqu'à la profondeur extrême de structuration pédologique. Celle-ci est supposée, en première approximation, correspondre à la profondeur extrême d'enracinement.

Quatre dates où l'ensemble du profil semblait présenter une humidité optimale (pour déterminer la CSE : ni engorgement superficiel ni dessèchement) ont été sélectionnées. La moyenne obtenue est de :

CSE = 488 mm à HERY
(soit $RU = CSE/2 = 244$ mm et $RFU = CSE/3 = 163$ mm) ;

CSE = 476 mm à PONTIGNY
(soit $RU = 238$ mm et $RFU = 159$ mm).

D'autre part, si l'on admet que la réserve maximale effectivement utilisée (RMEU) au cours des cinq années de l'expérience est égale à la différence entre la CSE du sol et l'humidité au dessèchement maximal (10 octobre 1979), on obtient :

HERY RMEU = 488 - 358 = 130 mm

PONTIGNY RMEU = 476 - 301 = 175 mm

Enfin, il est également possible de déterminer la lame d'eau correspondant à la nappe hypodermique maximale : celle-ci est égale à la lame d'eau à l'engorgement maximal des 50 premiers centimètres moins la CSE des 50 premiers centimètres ;

soit à HERY : $211,9 - 187,3 = 24,6$ mm

et à PONTIGNY : $208,5 - 181,6 = 26,9$ mm

Seule la CSE peut être identifiée à un état physique assez bien défini. En revanche, la réserve maximale effectivement utilisée et la lame d'eau correspondant à la nappe hypodermique maximale se révèlent comme des valeurs indicatives intéressantes mais ce sont seulement des états hydriques extrêmes rencontrés au cours d'une chronique de cinq années : il est bien difficile de situer ces deux états par rapport aux notions traditionnelles.

D. BILANS VOLUMIQUES

Grâce à différentes mesures de terrain et de laboratoire, il nous a été possible de dresser une sorte de bilan des volumes aux humidités extrêmes en admettant (hypothèse simplificatrice) que la porosité totale demeurerait invariable.

Ces deux bilans sont présentés dans les tableaux 45 et 46 .
A leur lecture on constate :

- l'importance du réservoir d'eau utilisable dans les horizons A ;
- la faible réserve en eau utilisable des horizons (B) et leur forte teneur en eau "peu mobilisable" ;
- la très faible aération des horizons (B) à l'état le plus humide mais également à l'état le plus sec.

Ces bilans volumiques sont certainement contestables dans le détail car ils sont établis à partir de mesures délicates (telles celles des densités apparentes et réelles) : toutes les erreurs risquant de se cumuler. Mais ils fournissent des résultats cohérents et vraisemblables : on peut donc penser que les valeurs obtenues approchent raisonnablement la réalité.

	HORIZON A _{21g}	HORIZON A _{22g}	HORIZON (B) ₁	HORIZON (B)-C	HORIZON C ₁	
Numéro et profondeur de l'échantillon	HERY 2 10 - 20 cm	HERY 3 25 - 40 cm	HERY 5 60 - 75 cm	HERY 6 90 - 110 cm	HERY 7 140 - 155 cm	
Profondeur des mesures gamma-neutroniques	15 cm	35 cm	65 cm	105 cm	145 cm	
Densités apparentes	1,30	1,30	1,32	1,65	1,65	
						gammamétrie
		1,51	1,32	1,48		
Densité apparente retenue d_a	1,30	1,30	1,32	1,60	1,65	
Densité réelle d_r (mesure au pycnomètre)	2,57	2,63	2,60	2,62	2,63	
Porosité totale en % $\frac{d_r - d_a}{d_r}$	49,4	50,6	49,2	38,9	37,3	
Bilan volumique	Solide	50,6	49,4	50,8	61,1	62,7
	Eau maxi.	42,0	47,3	47,7	34,9	34,0
	Eau mini.	14,4	23,2	40,3	27,9	24,3
	Gaz maxi.	35,0	27,4	8,9	11,0	13,0
	Gaz mini.	7,4	3,3	1,5	4,0	3,3

TABLEAU 45 : HERY : BILAN VOLUMIQUE.

		HORIZON A ₂₁	HORIZON (B)	HORIZON C ₁
Numéro et profondeur de l'échantillon		PONTIGNY 2 12 - 15 cm	PONTIGNY 5 50 - 60 cm	PONTIGNY 8 105 - 110 cm
Profondeur des mesures neutroniques		15 cm	55 cm	105 cm
Densités apparentes	Cylindre	1,47	1,43	1,63
	Gammamétrie	1,44	1,40	1,58
		1,34	1,42	1,64
Densité apparente retenue d_a		1,44	1,42	1,63
Densité réelle d_r (mesure au pycnomètre)		2,62	2,74	2,70
Porosité totale en % $\frac{d_r - d_a}{d_r}$		45,0	48,2	39,6
Bilan volumique	Solide	55,0	51,8	60,4
	Eau maxi.	42,1	43,5	37,6
	Eau mini.	7,8	30,2	26,4
	Gaz maxi.	37,2	18,0	13,2
	Gaz mini.	2,9	4,7	2,0

TABLEAU 46 : PONTIGNY : BILAN VOLUMIQUE.

<p>6. DONNEES TENSIOMETRIQUES RELATIONS pF/HUMIDITES.</p>

(site d'HERY - travaux de R. DARTHOUT).

Rappelons que le dispositif de mesure des tensions a été mis en place en mars 1978 et que les bougies poreuses ont été installées à 46, 56, 69, 88 et 108 cm de profondeur soit dans les horizons (B)gd, (B) et (B)-C. Les données ont été recueillies, avec des interruptions suivies de remises en état, pendant les trois épisodes principaux suivants :

- mars à septembre 1978 ;
- février à août 1979 ;
- septembre à novembre 1980.

En l'absence d'enregistrement continu, nous n'avons disposé que d'un nombre restreint de mesures relativement espacées dans le temps. En outre, l'étendue de mesure des tensiomètres, limitée de 0 à 800 mbars, ne permet pas de couvrir la gamme complète de variation du potentiel matriciel de matériaux argileux en fin de période estivale, même en profondeur.

Dans ces conditions, nous nous bornerons à considérer les deux points suivants : évolution du potentiel total et courbes caractéristiques potentiel matriciel/teneurs en eau.

A. EVOLUTION DU POTENTIEL TOTAL (figure 28)

PERIODES DE DRAINAGE

les réactions des tensiomètres, et notamment celles de celui de 46 cm, sont fortement influencées par les pluies et l'existence d'une nappe hypodermique, d'où, probablement, les anomalies apparentes de certaines mesures. Par ailleurs, on constate des "ruptures" dans les profils de potentiel instantané (figure 29) dues à l'hétérogénéité du sol qui ne permettent pas d'obtenir un gradient de potentiel unique pour une date donnée, sur toute la hauteur mesurée.

Les valeurs de potentiel total restent néanmoins élevées. Elles sont comprises entre 0 et -100 mbars avec un maximum au sommet des horizons (B).

La période de drainage a débuté en 1978 avant le mois de mars, plus tardivement en 1979 puisque la réhumectation n'est pas terminée fin février ; elle se poursuit jusqu'en juin en 1978 et jusqu'à fin mai en 1979.

PERIODES DE DESSECHEMENT

le potentiel s'abaisse rapidement à partir du 10 juillet 1978 après une période d'équilibre relatif. Cependant c'est entre le 3 et le 24 août seulement qu'il y a inversion des profils de potentiel et que des flux d'eau ascendants intéressent toute l'épaisseur de sol mesurée. Faute de relevés entre le 3 et le 24 août, il n'est pas possible de donner plus de précisions quant au début du dessèchement. Signalons seulement qu'après les 17 mm de précipitations de la première

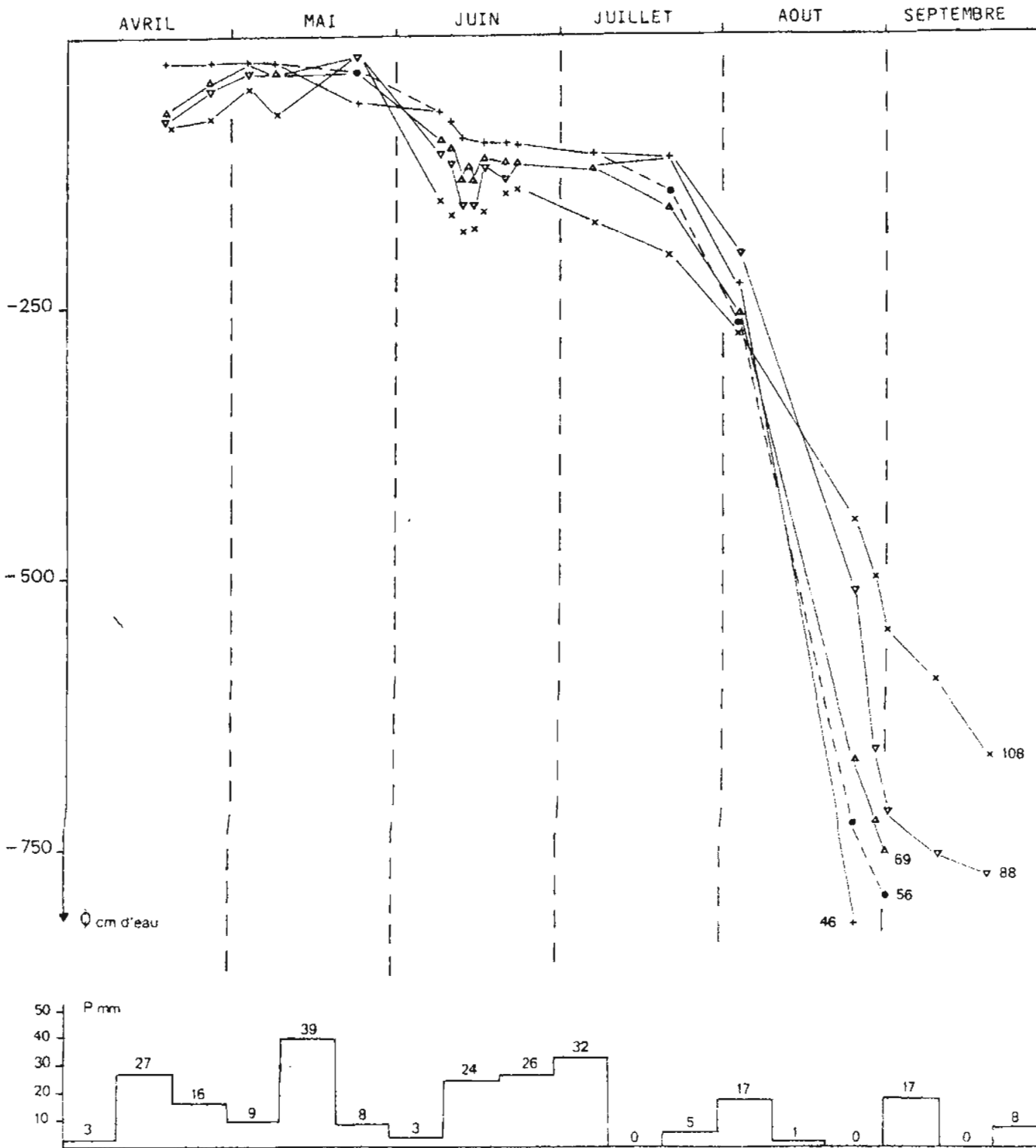


FIGURE 28 : HERY. Evolution du potentiel total sous conditions naturelles en 1978 entre 46 et 108 cm de profondeur. En dessous: précipitations décadaires à Lordonnois.

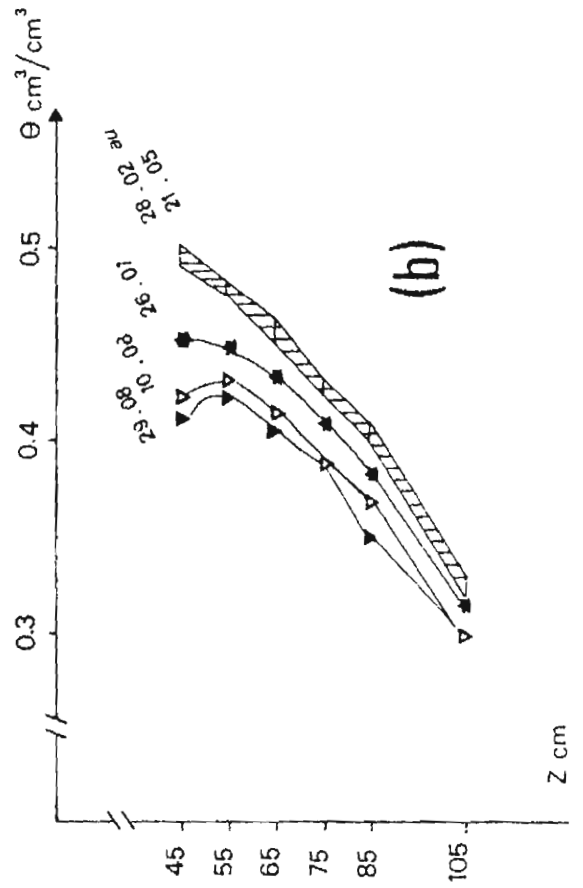
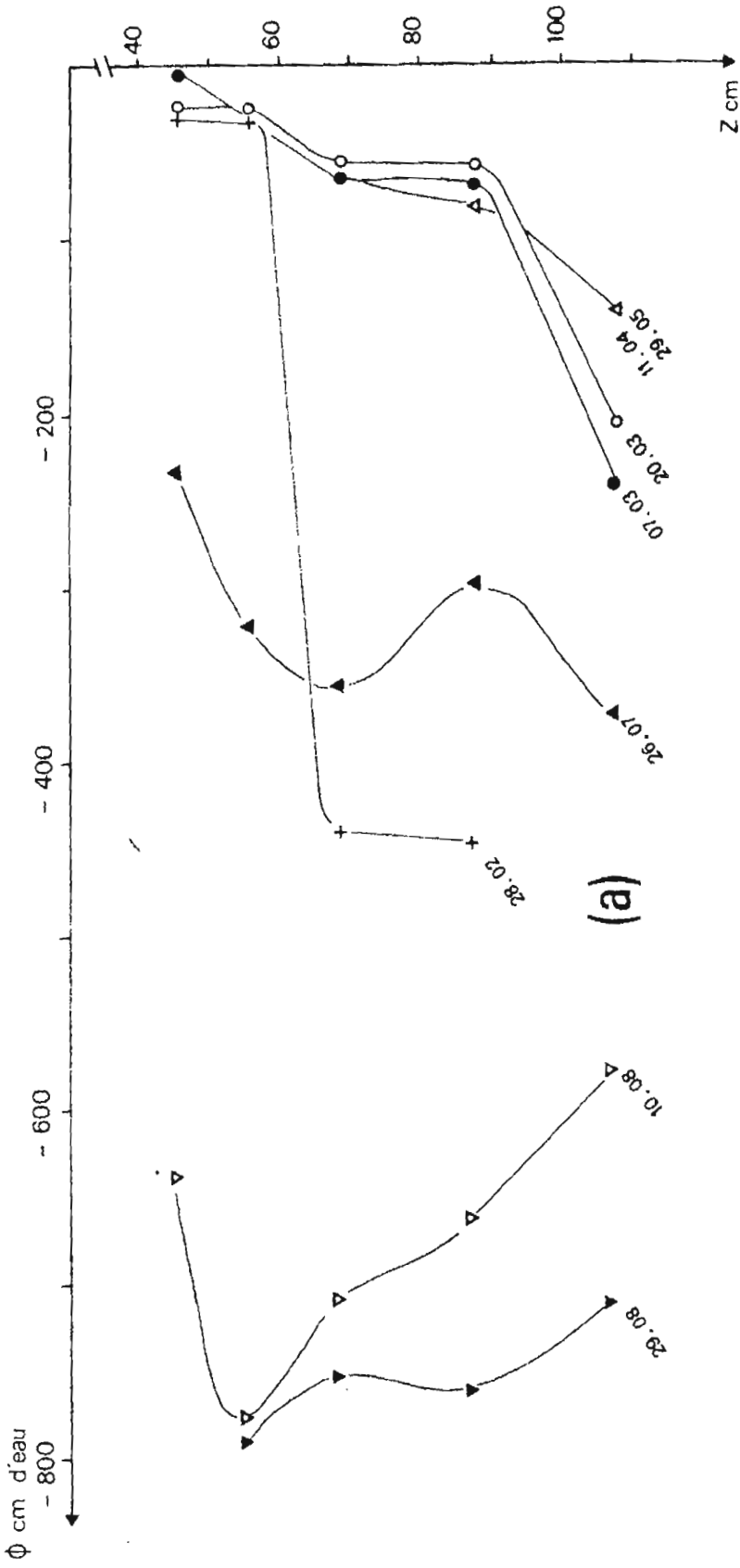


FIGURE 30: HERY, 1979

(a) Profils de potentiel instantané.
 (b) Profils hydriques correspondants.

décade, les deux décades suivantes ont été sèches (1 mm en vingt jours).

En 1979, le profil de potentiel du 10 août (figure 30) est caractéristique d'un dessèchement qui interviendrait donc à peu près au même moment que l'année précédente.

PERIODES DE REHUMECTATION

une telle phase n'a été observée partiellement qu'en 1980 entre le 30 septembre et le 28 novembre date où une intervention pour remettre le dispositif en état est demeurée inopérante.

Au cours de cet intervalle de temps (figure 31) le potentiel total est passé de -760 à -40 mbars au niveau 46 cm alors qu'il est resté relativement stable aux niveaux 88 et 108 cm.

Nous estimons que la réhumectation débuta fin septembre 1980 et qu'elle n'était pas terminée le 28 novembre en ce qui concerne les horizons profonds et ce malgré l'apport de 138 mm de pluies en octobre et novembre.

En 1979, la réhumectation des couches profondes n'est pas terminée le 28 février alors qu'une nappe hypodermique a été observée durant les semaines précédentes dans les horizons A. Une fois de plus nous constatons qu'une nappe superficielle peut apparaître en surface avant la réhumectation du sol dans toute son épaisseur.

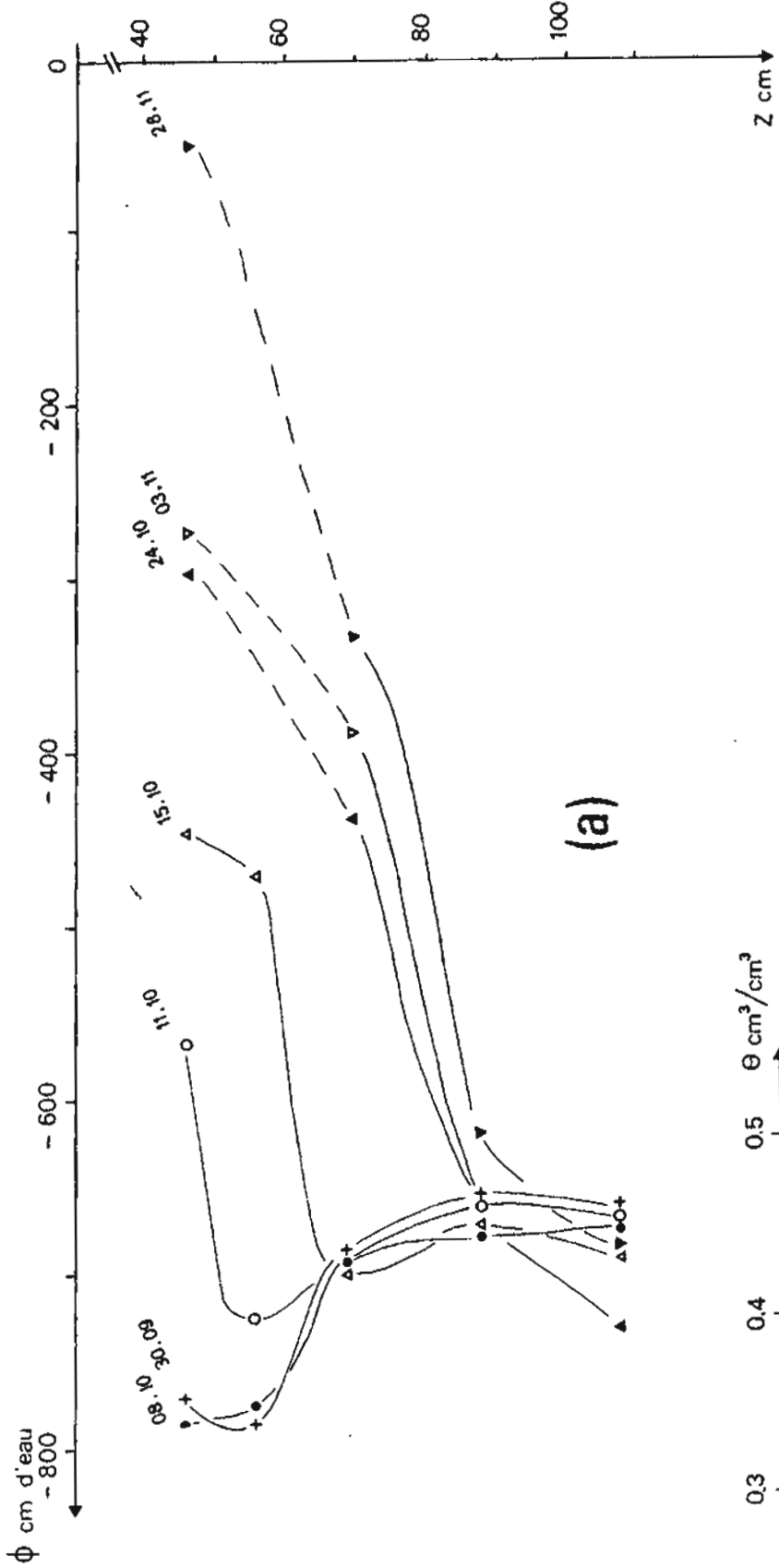
B. AUTRE ESTIMATION DE LA CAPACITE AU CHAMP A PARTIR DE DONNEES TENSIOMETRIQUES

La capacité au champ est difficile à évaluer pour un sol aussi différencié de ce type, sous végétation permanente.

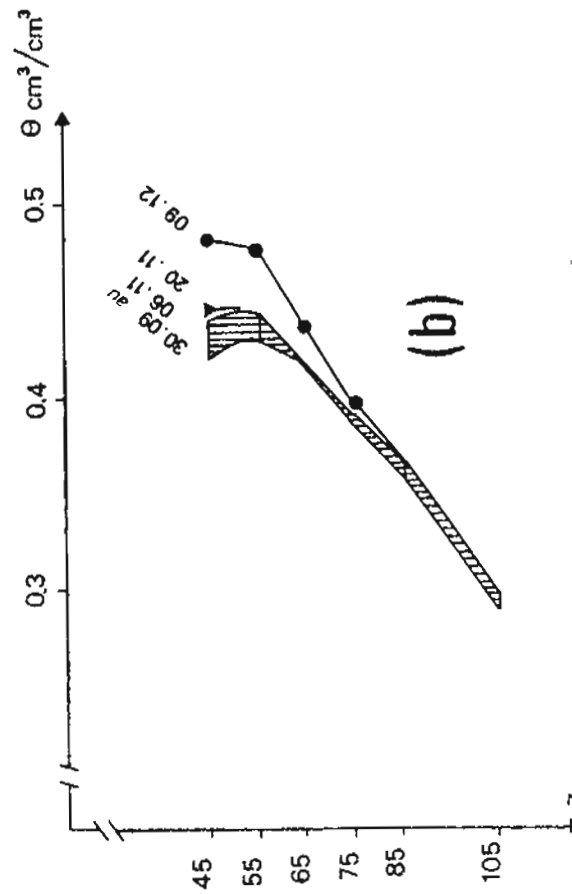
En 1978, le drainage s'interrompt vers le 10 juin. Après quoi s'installe une période d'équilibre relatif du potentiel avant le début du dessèchement rapide du mois d'août (figure 28). Malgré les faibles pluies tombées entre le 10 juin et le 3 août (50 mm pour les deux dernières décades de juin et 38 mm en juillet) le potentiel ne varie presque pas. C'est que la réserve en eau des horizons argileux (B) n'est pas utilisée par les végétaux. Dans ces conditions et à défaut de détermination plus précise, nous pouvons retenir les teneurs en eau du 22 juin et des 6 et 20 juillet comme valeurs approchées (par excès) de la capacité au champ.

Soit, en pondéral (moyenne des trois dates) :

à 45 cm	39,8 %	(40,3 % par la méthode des paliers)
à 55 cm	39,5 %	
à 65 cm	35,6 %	(34,9 % par la méthode des paliers)
à 75 cm	31,8 %	
à 85 cm	29,6 %	(29,1 % par la méthode des paliers)
à 105 cm	20,5 %	



(a)



(b)

FIGURE 31: HERY - 1980, réhumectation
(a) Profils de potentiel instantané.
(b) Profils hydriques correspondants.

C. RELATION POTENTIEL MATRICIEL/TENEURS EN EAU

Cette approche est intéressante car elle permet d'appréhender la taille des vides, de considérer quantitativement les problèmes de cession d'eau et d'envisager la circulation de l'eau saturante en fonction des domaines de contraintes où on se situe concrètement. Elle présente l'avantage majeur d'être applicable in situ, en conditions naturelles, grâce au couplage de données tensiométriques et de valeurs neutroniques d'humidités.

CARACTERISTIQUES DETERMINEES SUR LE SOL EN PLACE (figure 32) :

Les relations potentiels/teneurs en eau obtenues pour les différents niveaux montrent les faibles variations de teneurs en eau volumiques. Celles-ci n'excèdent guère 0,05 cm³/cm³. Autrement dit, lorsqu'on suit le dessèchement d'un horizon jusqu'au pF 2,8 (limite de fonctionnement des tensiomètres), les taux d'humidité correspondants, mesurés sur le terrain par humidimétrie neutronique, présentent de faibles variations. L'eau retenue dans les horizons (B) argileux du profil HERY correspond à des interstices extrêmement petits (< 1,5 µm).

CARACTERISTIQUES DETERMINEES SUR ECHANTILLONS AU LABORATOIRE (figures 32 à 35) :

des mesures de densité apparente et d'humidités pondérales ont été effectuées à différents pF (obtenus par pression d'air, de pF 1 à pF 4,45) :

- sur des cylindres de grand volume (1000 cm³, diamètre 15 cm) prélevés en place (2 mesures à chaque valeur de pF) ;
- sur des mottes extraites de ces cylindres pour les pF supérieurs ou égaux à 3,5 (volume = environ 5 cm³) ;
- sur des mottes prélevées directement dans le profil (8 à 16 mesures pour chaque valeur de pF) (volume = environ 5 cm³) ;
- sur des pâtes obtenues artificiellement par malaxage (2 mesures par valeur de pF).

Pour toutes les mesures au laboratoire sur cylindres ou sur mottes, les échantillons ont été retirés de leur contexte pédologique. Certes, ils n'ont jamais été séchés et ont donc été peu ou non perturbés. Mais le comportement d'échantillons ainsi "libérés" ne peut pas être totalement assimilé à celui d'une portion de sol en place laquelle subit notamment le poids de la colonne de sol sus-jacent.

Quant à la fabrication de pâtes, elle a totalement annulé l'arrangement naturel et "l'histoire" antérieure des matériaux. Elle permettra seulement de tracer les "courbes vierges" (TESSIER, 1980).

Un certain nombre de résultats apparaissent sur les figures 33, 34 et 35, présentés sous la forme des relations humidités pondérales/pF.

1. On remarque d'abord un assez bon accord entre les différentes méthodes non destructrices, compte-tenu des difficultés de prélèvement et de mesure.
2. On reconnaît à nouveau le caractère très "plat" des courbes obtenues sur échantillons non perturbés : à une large gamme de pF correspondent de faibles variations d'humidité. Ce résultat est tout-à-fait caractéristique des matériaux très argileux. Pour les 3 horizons, entre pF 1 et pF 2, les humidités pondérales ne varient pratiquement pas (moins de 1 %). Cela signifie qu'il n'existe pas [en (B)] ou très peu de macroporosité de la taille 15-150 µm.

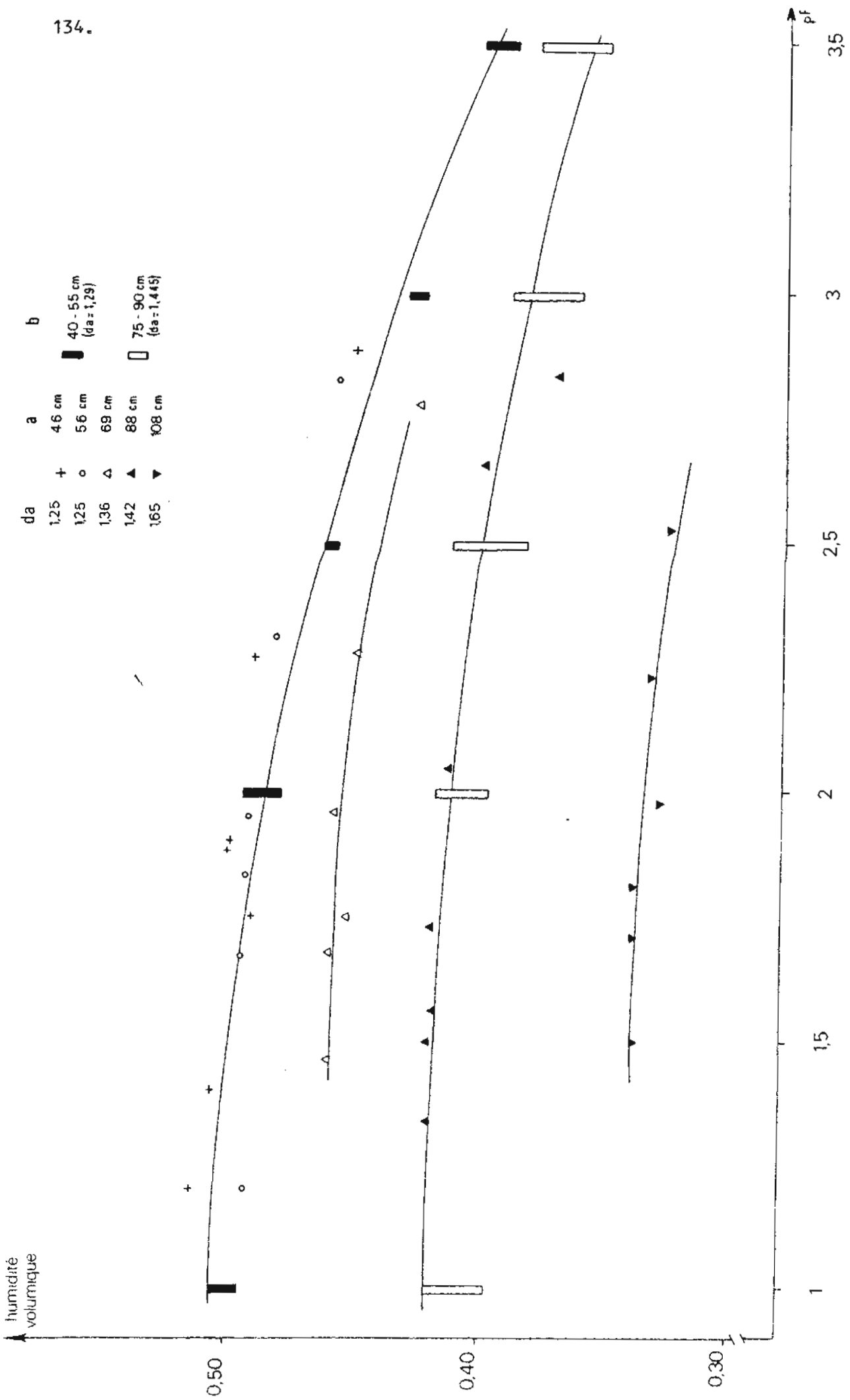
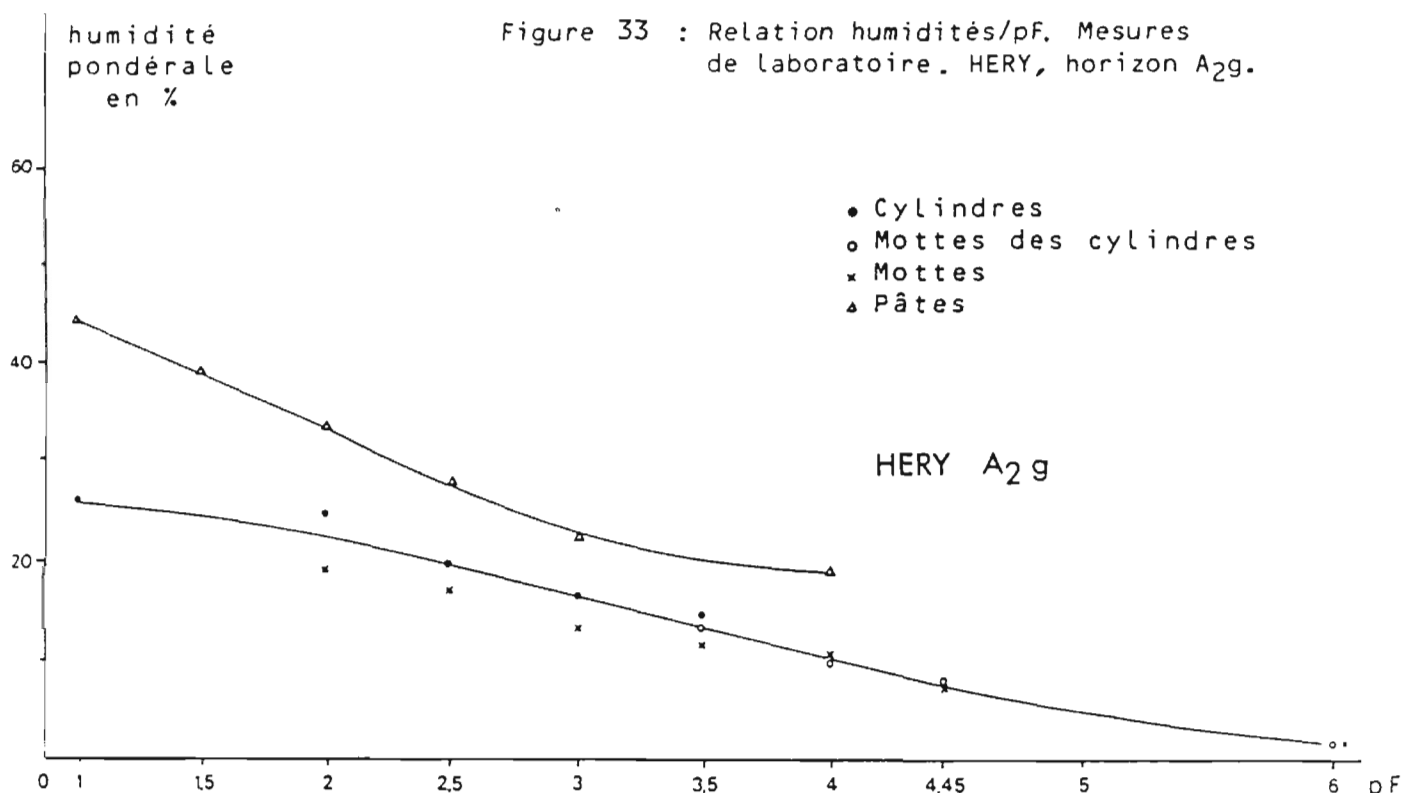
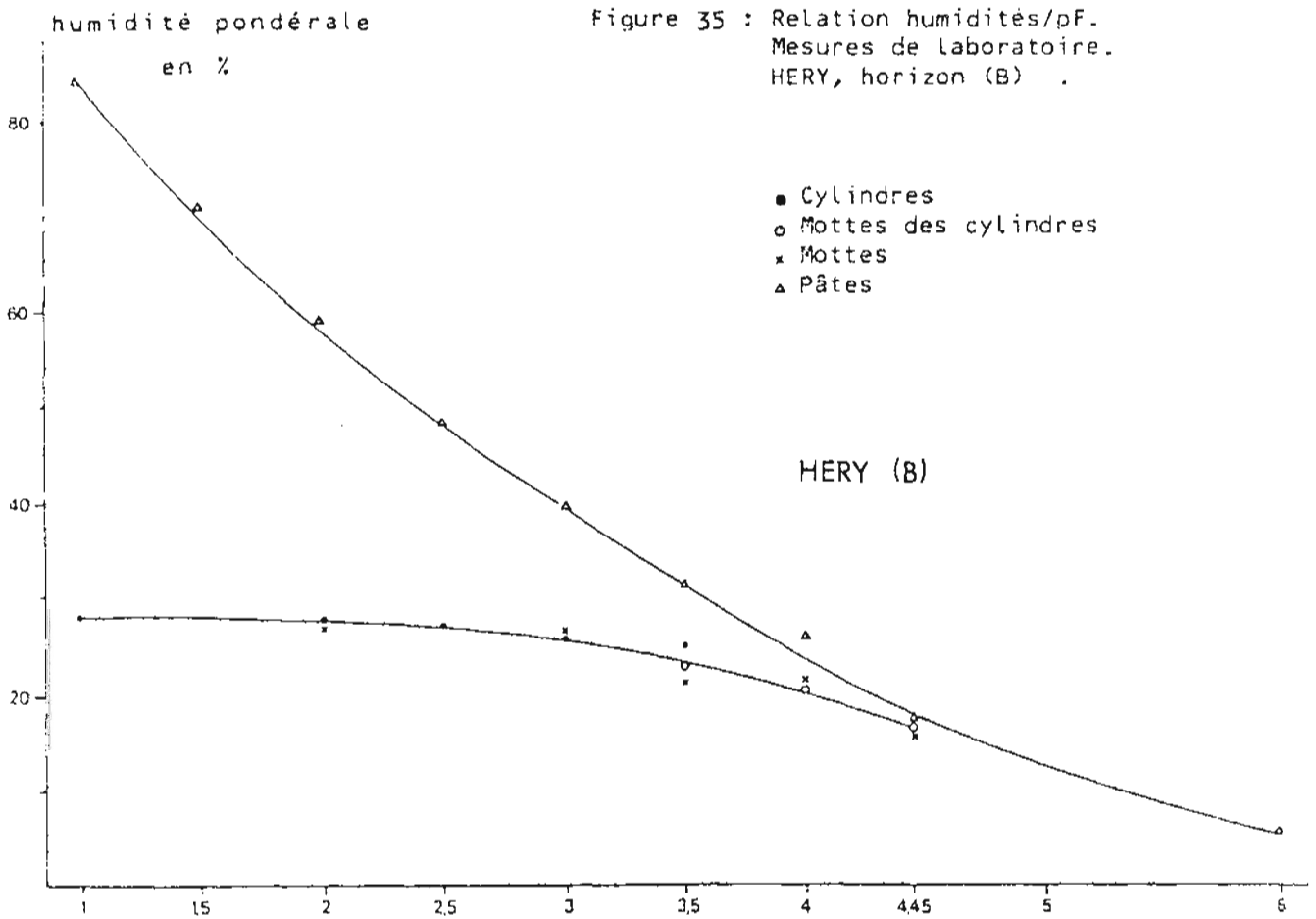
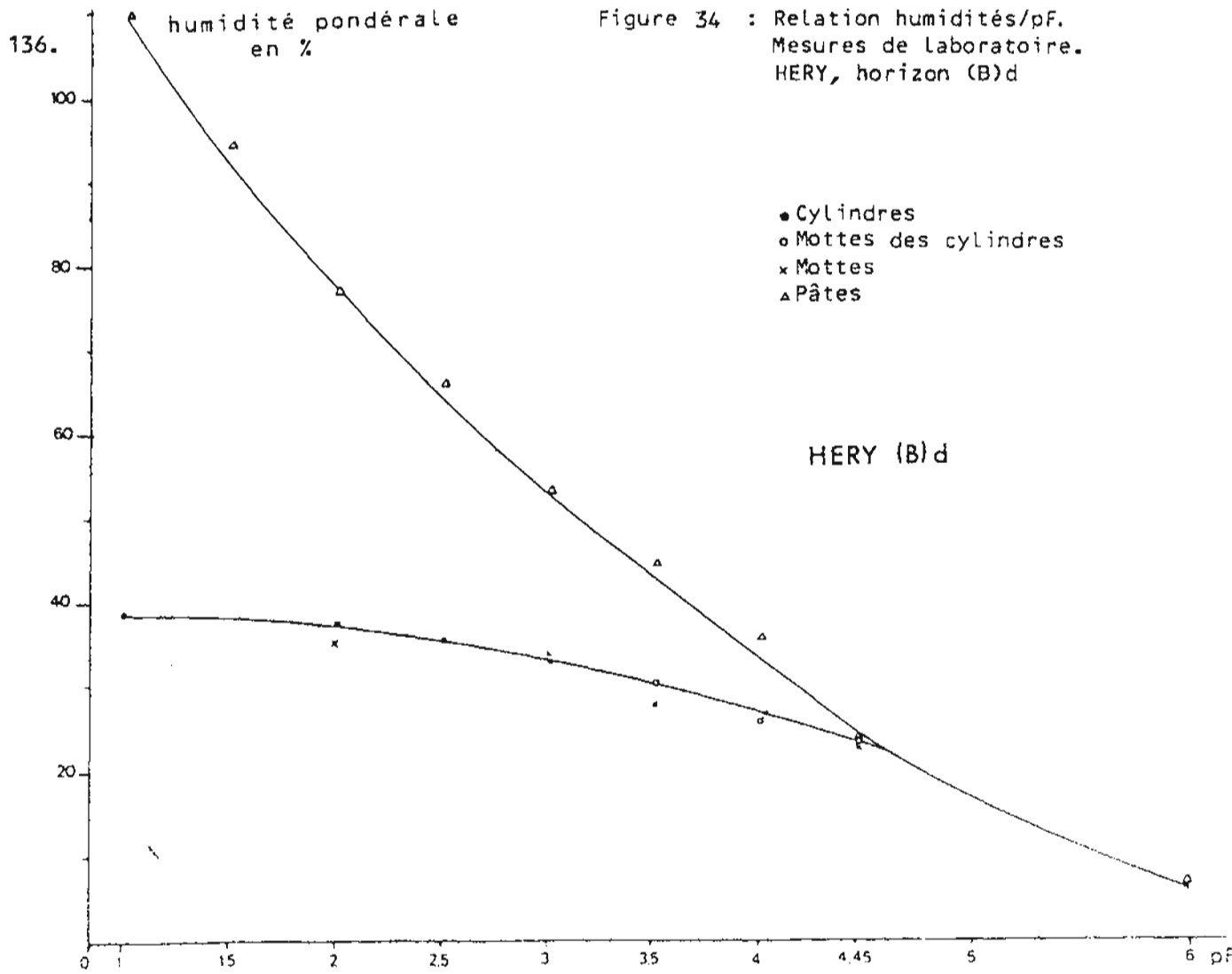


Figure 32 : Relations pf/humidités volumiques. Profil Héry.
 a - mesures in situ 1978 - Tensiomètres.
 b - mesures au laboratoire sur cylindres d'environ 1000 cm³ ("fourchettes" des deux mesures)

3. Si l'on considère les mesures entre pF 2 et pF 3,5 de l'horizon A_{2g} on constate que les mesures sur grands cylindres fournissent systématiquement des humidités plus fortes (2,5 à 5,7 % que celles effectuées sur mottes. On peut déduire de cette divergence qu'il existe une porosité relativement grossière (0,5 à 15 μm) qui est prise en compte lorsqu'on opère sur cylindres de 1000 cm³ et qui ne l'est pas lorsque les mesures s'appliquent à des mottes d'environ 5 cm³. Il s'agit donc d'une porosité inter-agrégats qui pourrait correspondre à des microfissures, des canalicules d'origine biologique ou bien à des vides d'entassement (des agrégats ou des grains de sable).
4. Pour les deux autres horizons, en revanche, on n'observe plus cet écart systématique. La conclusion est donc inverse : au sein des deux horizons argileux, il n'y a pratiquement pas de porosité inter-agrégats et ce pour la large gamme de contraintes que l'on rencontre couramment "au champ".
5. Les courbes obtenues pour les pâtes (courbes "vierges") sont d'une forme complètement différente de celles obtenues pour des agrégats. On note cependant que les deux types de courbes finissent par se confondre au-delà de pF 4,5 du moins en ce qui concerne les échantillons issus des horizons argileux ("contrainte équivalente" DE CRECY et al, 1979). On peut interpréter ce point particulier comme résultant de l'équilibre entre ce qui reste de la contrainte lithostatique originelle (décompression progressive liée à l'affleurement du matériau) et la contrainte pédologique maximale s'étant exercée sur lui (dessiccation, gel, etc...).





D'autres mesures ont pu être effectuées sur mottes, notamment les volumes (au pétrole), d'où l'estimation des densités apparentes à l'état humide à pF 2, pF 3,5 et pF 4,45. Il a été possible de tracer la figure 36. Celle-ci présente la relation porosité totale/humidité volumique aux 3 valeurs de pF et pour les échantillons issus des trois horizons.

On constate immédiatement que, pour l'horizon A_{2g}, l'humidité décroît très fortement à porosité pratiquement constante : c'est là le comportement normal d'un système rigide (texture sableuse, 12 % d'argile).

En revanche, les deux horizons (B), qui sont constitués pour plus de 35 % d'argile, présentent des pertes d'eau égales à la diminution du volume total de l'espace poral. On se trouve là en présence d'un comportement caractéristique des matériaux à dominance argileuse qui constituent des assemblages non rigides (TESSIER, 1980 ; GRIMALDI, 1981).

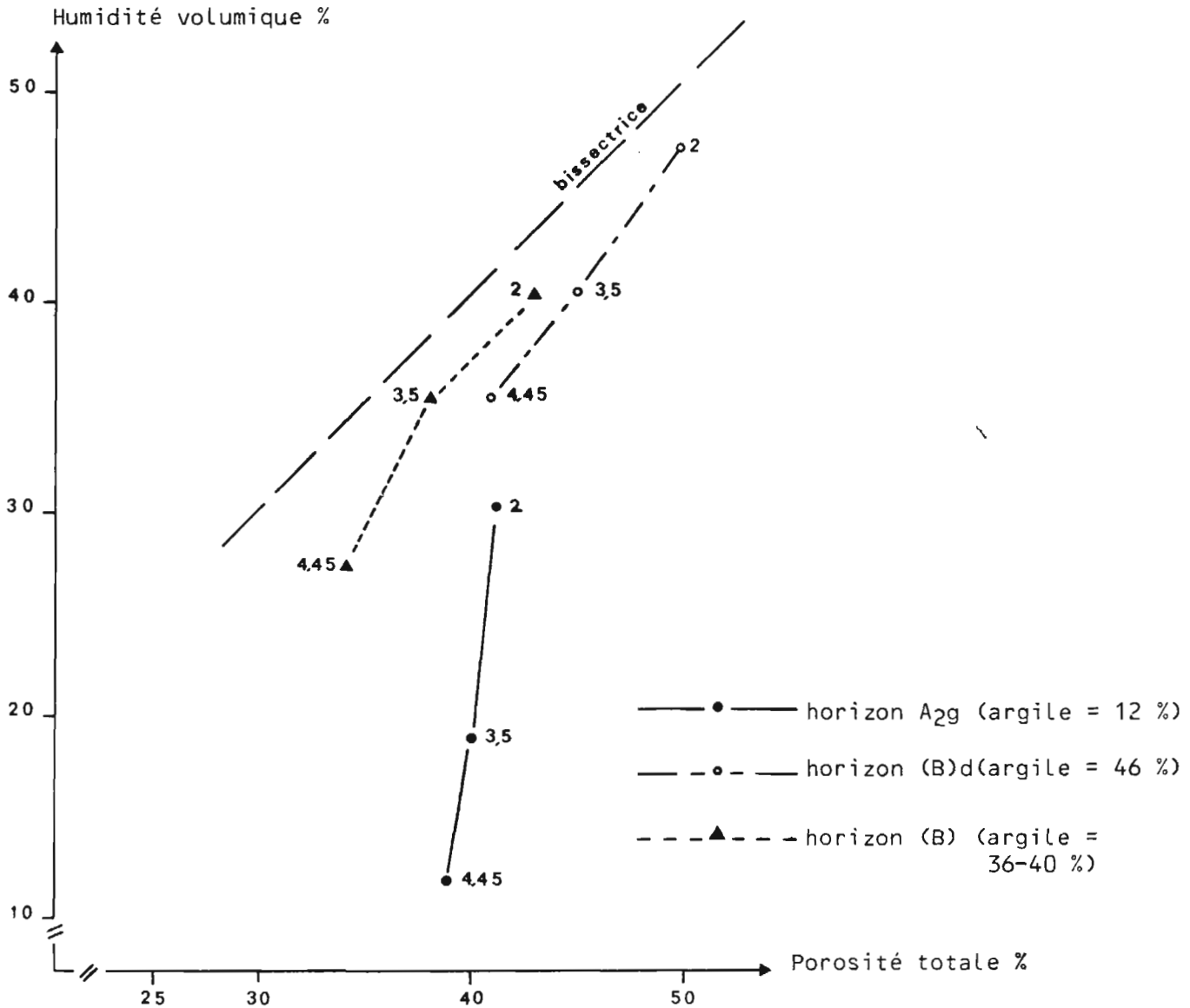


FIGURE 36 : RELATION ENTRE POROSITE TOTALE ET HUMIDITE VOLUMIQUE ETABLIE SUR MOTTES [horizons A_{2g}, (B)d et (B)], de pF 2 à pF 4,45 (réalisation en dessiccation).

Enfin, si l'on projette simplement sur les courbes des figures 33, 34 et 35 (obtenues au laboratoire) les valeurs maximales et minimales des humidités pondérales effectivement mesurées au cours des 5 années d'étude sur le terrain, on obtient une estimation approximative des pF correspondants, contraintes extrêmes qu'auraient connu les horizons durant cette période quinquennale.

Horizon	Profondeur échantillon laboratoire	Profondeur mesure neutronique	Humidités pondérales en % et pF approximatifs correspondants					
			maximum		à la capacité rétention		minimum	
A ₂	20 - 35 cm	25 cm	30,8	< 1	24	1,4	11,2	3,8
(B)d	40 - 55 cm	45 cm	41,2	< 1	40	<1	31,6	3,3
(B)	75 - 90 cm	85 cm	29,7	< 1	29	<1	24,7	3,4

On remarquera que les pF à la capacité de rétention déduits par cette méthode sont très inférieurs à ce qui est parfois publié (pF 3 pour les "terres" argileuses et pF 2 pour les "terres" sableuses). De plus, les différents horizons n'auraient jamais atteint le "point de flétrissement" au cours des cinq années.

7. COMPARAISONS ENTRE LES MESURES
ET
LES BILANS CALCULES

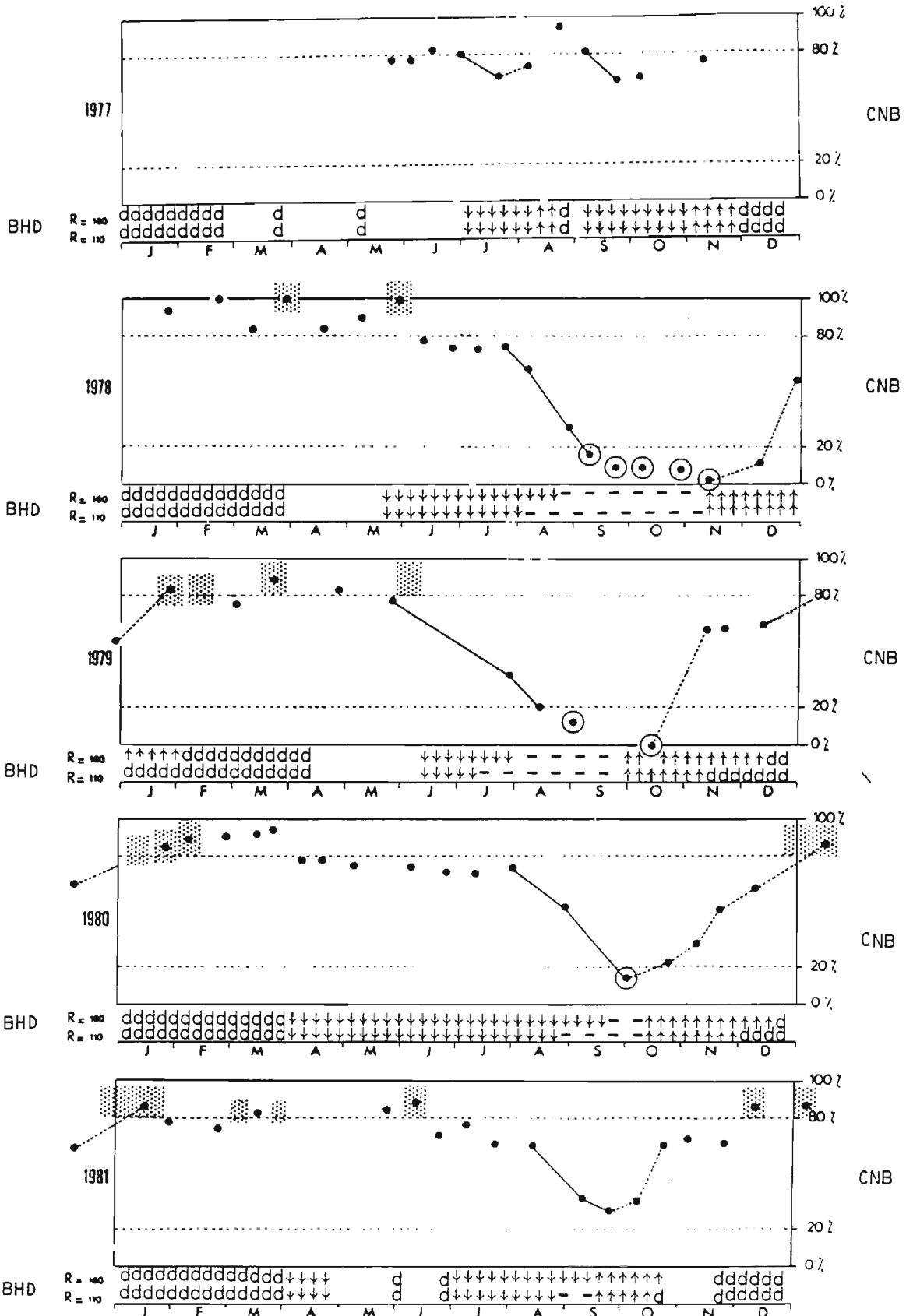
A. HUMIDITES DU SOL

La figure 37 s'efforce de présenter de façon synchrone trois sortes de données :

- les mesures neutroniques d'humidité du sol (exprimées en % des variations maximales) à 35 cm de profondeur à HERY (horizon A₂g, début des mesures en mai 1977) ;
- les bilans hydriques décennaires calculés pour des réserves en eau de 110 et 160 mm ;
- la présence d'une nappe dans le piézomètre superficiel d'HERY (installé en février 1978).

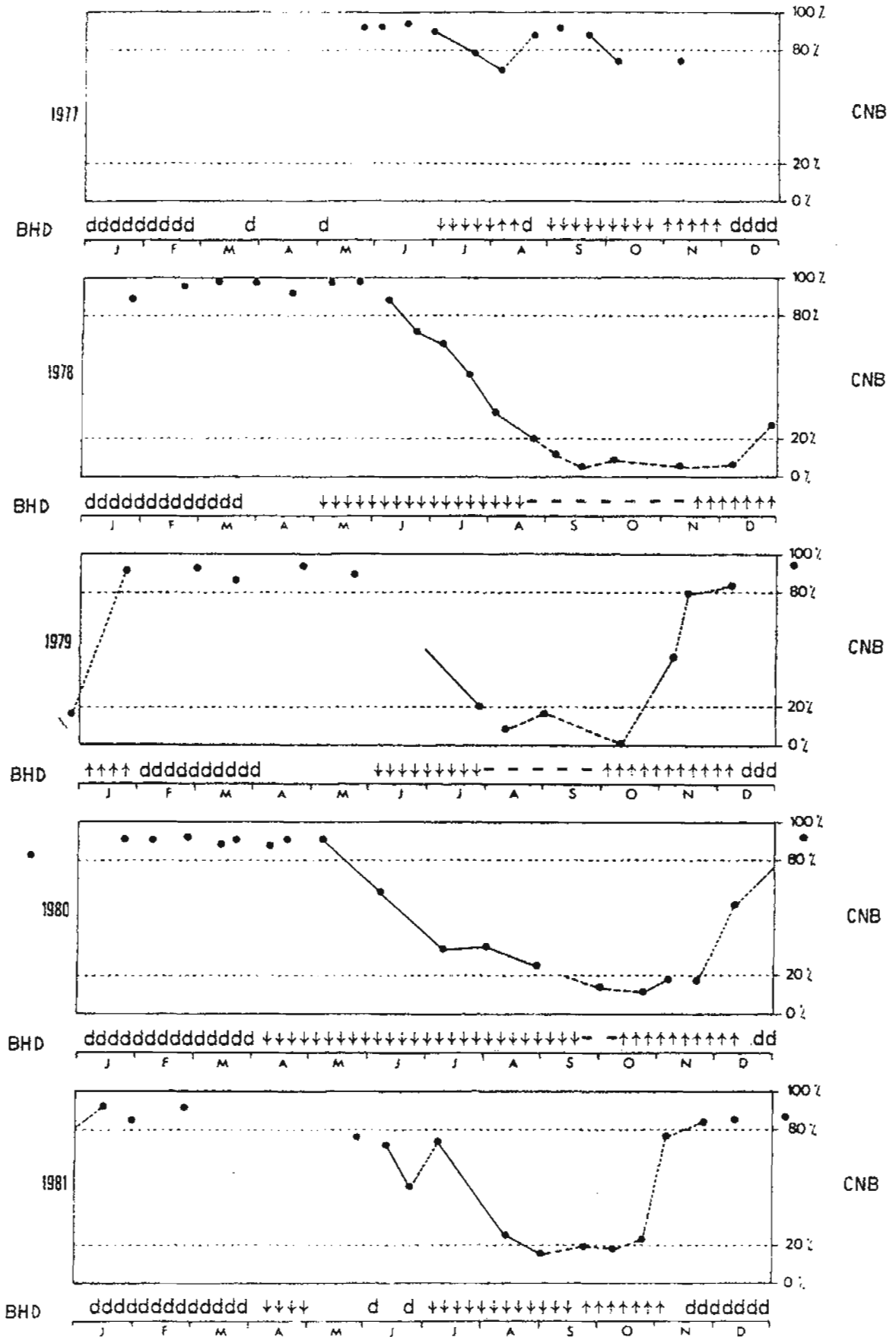
On notera que les mesures sont des opérations quasi instantanées localisées un peu au hasard dans le temps tandis que les bilans hydriques intègrent une décade entière, d'où parfois des contradictions inévitables. Par exemple, une mesure réalisée un jour manifeste un dessèchement tandis que le bilan décennaire fait apparaître un drainage suite à une très forte pluie tombée trois jours plus tard dans la même décade. En outre, le bilan hydrique prend globalement en compte toute l'épaisseur du sol sans tenir compte du décalage des phénomènes dans le temps en fonction de la profondeur.

Malgré ces réserves, la figure 37 permet de constater un assez bon accord entre la présence d'une nappe à 35 cm et l'indication d'une période de drainage par le bilan. On peut également remarquer que la concordance est encore



- ↑↑↑ ——— phase de dessèchement
- - ⊙ ——— phase de déficit en eau
- ↑↑↑ ——— phase de réhumectation
- ddd ——— phase de drainage naturel
- ——— présence d'une nappe dans le piézomètre superficiel.

FIGURE 37 :
 PRESENTATION SCHEMATIQUE DES BILANS
 HYDRIQUES DECAIDRES (BHD) ET DES
 COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS (CNB)
 DE L'HORIZON 35 cm A HERY.
 RESERVE = 160 mm ou 110 mm.



↑↑↑ ——— phase de dessèchement
 --- ——— phase de déficit en eau
 ↑↑↑ ——— phase de réhumectation
 d ——— phase de drainage

FIGURE 38 :
 PRESENTATION SCHEMATIQUE DES BILANS
 HYDRIQUES DECAIDAIRES (BHD) ET DES
 COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS (CNB) DE
 L'HORIZON 55cm A PONTIGNY.
 RESERVE = 160 mm.

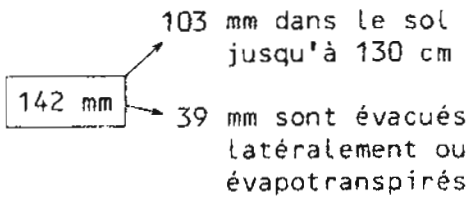
A 21g	A 22g	(B)1	(B)C	C1
solide 50,6 %	solide 49,4 %	solide 50,8 %	solide 61,1 %	solide 62,7 %
air minimum		7,4 %		
réservoir 27,6 %	réservoir 24,1 %		7,0 %	réservoir 9,7
eau minimum 14,4 %	eau minimum 23,2 %	eau minimum 40,3 %	eau minimum 27,9 %	eau minimum 24,3 %

FIGURE 38 bis : HERY - BILANS VOLUMIQUES AUX HUMIDITES EXTREMES.
PRESENTATION GRAPHIQUE POUR CINQ HORIZONS (cf. p. 125).

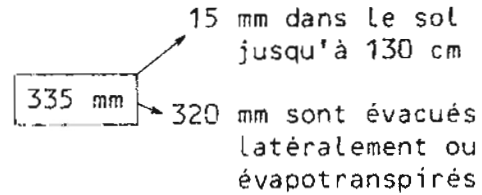
"réservoir" = eau maximum - eau minimum = air maximum - air minimum.
Dans les horizons A, ce "réservoir" est grand (> 24 %), il s'agit d'un milieu perméable à humidités variables. Dans les horizons (B), le "réservoir" est petit, de l'ordre de 7 % en volume ; les humidités varient peu ; il y a beaucoup d'eau mais peu mobilisable.
A noter les faibles valeurs du minimum d'air en A_{22g} et (B)₁ (respectivement 3,3 et 1,5 %).

SITE D'HERY : TAILLIS SOUS FÛTAIE DÉGRADÉE

HORIZONS	10 NOVEMBRE 1978 date du dessè- chement maximal lame d'eau en mm	24 JANVIER 1979 accroissement de la lame d'eau par rapport au 10/11	21 MAI 1979 accroissement de la lame d'eau par rapport au 24/1
0			
A ₁ et A ₂	70 mm	+ 68 mm	+ 3 mm
40 cm (B) et (B)C	313 mm	+ 33 mm	+ 12 mm
130 cm C ₁	107 mm	+ 2 mm	- 4 mm
170 cm C ₂₋₃	140 mm	- 2 mm	- 5 mm
230 cm PRECIPITATIONS		142 mm	335 mm



RECONSTITUTION DE LA RESERVE
DU SOL



EVACUATION LATÉRALE

TABLEAU 46 bis : BILAN DE L'EAU AU COURS D'UNE PÉRIODE DE
REHUMECTATION.

Après transformation des mesures brutes en humidités volumiques, nous avons pu calculer les quantités d'eau présentes dans le sol, exprimées sous la forme de lames d'eau en mm.

En ces périodes d'hiver et de début de printemps, l'évapotranspiration du taillis sous fûtaie peut être considérée comme négligeable. Donc, entre le 10 novembre 1978 et le 24 janvier 1979 on a assisté essentiellement à la reconstitution de la réserve du sol. Entre le 24 janvier et le 21 mai 1979, il y a eu évacuation latérale des eaux de pluies sous la forme de nappes hypodermiques temporaires.

meilleure si l'on retient 160 mm au lieu de 110 mm pour la réserve en eau. La valeur retenue page 105 (réserve = 2/3 RU) est donc vraisemblablement insuffisante.

La figure 38 est semblable à la précédente mais il s'agit, cette fois, du niveau 55 cm de PONTIGNY choisi pour représenter les horizons (B). Elle ne peut donc mettre en évidence les épisodes de drainage latéral par une nappe hypodermique. On note cependant un bon accord entre bilan calculé avec une réserve en eau estimée à 160 mm et les humidités constatées. Il semble seulement y avoir un retard entre le dessèchement effectif du niveau 55 cm et celui prévu à partir des seules données climatiques.

B. PERTES EN EAU EN PERIODES ESTIVALES

Durant l'été et le début de l'automne, et s'il n'y a pas drainage vertical ou latéral d'un flux d'eau occasionné par un orage, les pertes en eau des profils par évapotranspiration peuvent être très simplement évaluées. Les humidités volumiques mesurées à chaque niveau sont ajoutées les unes aux autres jusqu'à la profondeur limite d'enracinement. Entre une date origine où il n'y a plus de nappe hypodermique et une date de dessiccation maximale, prend place un dessèchement continu et progressif qui peut être quantifié sous la forme d'une lame d'eau perdue effectivement par le sol durant cette période.

Cette lame d'eau ainsi mesurée pour les deux profils en 1978, 1979, 1980 et 1981 sont comparées aux données fournies par les bilans décennaires calculés grâce à la formule de Turc.

Selon le scénario décrit page 106 on peut aisément déterminer une évapotranspiration réelle (ETR) réglée à la fois par l'ETP (notion purement climatique), par les précipitations (P) ainsi que par l'importance et l'état de la réserve en eau du sol. La quantité d'eau $ETR - P$ représente ce qui est puisé dans la réserve du sol par le couvert forestier au cours de la période de dessèchement considérée, toutes les précipitations étant censées être immédiatement réutilisées par la végétation.

Sur le tableau 47 on voit que les valeurs $ETR - P$ calculées avec des RFU de 110 mm à HERY et 150 mm à PONTIGNY (soit 2/3 de la réserve utile estimée à l'origine) s'accordent assez mal avec les pertes en eau effectivement mesurées dans les profils. Par contre l'accord est bien meilleur si on utilise des réserves en eau du sol respectivement de 160 et 200 mm (soit 90 % des réserves utiles estimées à l'origine).

HERY en 1978 fait toutefois une notable exception : 65 mm calculés par bilan contre 113 mm mesurés. Les précipitations ont été particulièrement faibles durant cette période (69 mm en onze décades) et n'ont peut-être pas été toutes "efficaces". Peut-être se seraient-elles partiellement évaporées sans utilité pour la végétation. L'appel aux réserves du sol aurait été plus grand en réalité que ce qu'indiquerait le bilan Turc pour cette période.

mesures n°	Période du 20/7 au 10/11/1978		Période du 21/5 au 10/10/1979		Période du 30/7 au 30/09/1980		Période du 7/7 au 08/10/1981	
	R = 110	R = 160	R = 110	R = 160	R = 110	R = 160	R = 110	R = 160
HERY								
Bilans Turc	ETR	134	331	381	125	175	223	242
	Déficit	143	104	54	59	9	19	0
	P	69	243	243	80	80	175	175
	ETR - P	<u>65</u>	<u>88</u>	<u>138</u>	<u>45</u>	<u>95</u>	<u>48</u>	<u>67</u>
Pertes en eau du profil (0-125cm) durant le dessèchement estival. Valeurs mesurées	112,9		114,1		98,9		75,0	
PONTIGNY	R = 150	R = 200	R = 150	R = 200	R = 150	R = 200	R = 150	R = 200
Bilans Turc	ETR	174	371	421	165	184	242	242
	Déficit	103	64	14	19	0	0	0
	P	69	243	243	80	80	175	175
	ETR - P	<u>105</u>	<u>128</u>	<u>178</u>	<u>85</u>	<u>104</u>	<u>67</u>	<u>67</u>
Pertes en eau du profil (0-130cm) durant le dessèchement estival. Valeurs mesurées.	102,3		177,1		82,8		81,7	

TABLEAU 47 : Comparaison entre les pertes en eau des profils en période estivale et les données des bilans Turc. ETR - P = quantité d'eau évapotranspirée prélevée sur la réserve du sol (valeur calculée).

C. CONCLUSIONS METHODOLOGIQUES

Plusieurs conclusions importantes paraissent pouvoir être tirées de ces comparaisons entre des calculs qui peuvent paraître assez théoriques comme les bilans hydriques climatiques et des mesures neutroniques et piézométriques.

Les bilans hydriques établis selon la méthode de Turc (elle-même mise au point en vue de l'irrigation des cultures) semblent utilisables valablement pour des couverts forestiers comme les nôtres (taillis sous futaie et futaie de feuillus).

Si les bilans Turc utilisent surtout des données climatiques, ils nécessitent cependant l'introduction dans les calculs d'une réserve en eau du sol. Cette valeur n'est pas facile à estimer convenablement, en particulier parce qu'elle doit tenir compte de la profondeur d'enracinement qui est délicate à déterminer notamment sous forêt.

	HERY			PONTIGNY		
	RU	RFU		RU	RFU	
page 105 Méthode de l'Aisne à partir des textures. RFU = 2RU/3	171	110		222	150	
page 125 RU = CSE/2 RFU = CSE/3	244	163		238	159	
page 125 Réserve maximum effectivement utilisée au cours des 5 années.			130			175
page 144			160 meilleur que 110			160 = bon accord
page 144			160 meilleur que 110			200 meilleur que 150

TABLEAU 48 : DIFFERENTES APPROCHES DE LA RESERVE EN EAU DES DEUX SOLS.

En outre, la notion même de réserve utile (utilisable ?, utilisée ?) est très vague, très dépendante de la nature de la végétation utilisatrice (espèces végétales, stade de végétation) et des circonstances climatiques.

Une forêt paraît capable, en cas de besoin, de consommer beaucoup plus qu'une réserve en eau "facilement utilisable", grâce à son enracinement tout à la fois permanent, plus vigoureux et plus profond (que celui d'une plante annuelle, par exemple).

8. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES
DES EAUX S'ECOULANT EN SURFACE (SITE D'HERY)

11 prélèvements d'eaux ont pu être réalisés :

- en deux points, "ruisseau" et "chemin" (voir carte figure 39), où des écoulements de surface se produisent régulièrement ;
- à 6 dates d'hiver et une d'été (2 juillet 1981).

Soit V = végétation ; L = litière ; A = horizons A ; B = horizons (B) et C = horizons C. Les eaux récoltées dans le ruisseau ont transité par V + L + A (+ éventuellement B + C). Quant à celles prélevées dans l'écoulement du chemin creux, elles ont transité seulement par V + L + A.

Le tableau 49 présente les résultats des analyses. Deux remarques s'imposent : d'une part il y a peu de différences entre "chemin" et "ruisseau" (qui ne dépendent pourtant pas exactement du même petit bassin versant), d'autre part il y a peu de variations selon les dates.

Les différences les plus nettes s'observent à propos des taux des matières en suspension. Ceux-ci atteignent des valeurs particulièrement élevées le 14 mars 1980 sans qu'on puisse rattacher ce fait à des précipitations antérieures exceptionnelles (tableau 50).

	14 FEVRIER 1979		9 JANVIER 1980		24 JANVIER 1980		8 FEVRIER 1980		14 MARS 1980		2 JUILLET 1981		4 FEVRIER 1982	
	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau	chemin	ruisseau
sur eau brute														
pH à 20°C	-	-	4,8	6,5	6,8	6,7	5,8	6,7	6,1	6,5	6,4	6,4	6,2	6,2
tévis- tivité	12.490	11.060	11.700	10.100	9.300	10.900	11.000	10.900	10.500	10.520	11.370	11.370	12.672	12.672
Matières totales en suspension mg/l	5,0	16,4	3,0	2,7	10,1	6,2	5,2	6,2	32,2	27,4	7,0	7,0	5,5	5,5
D.C.O.	34	26	25	17	20	26	30	26	20	16	29	29	11	11
sur filtrat														
Ca	11,2	11,2	4,0	9,6	10,8	8,8	7,6	8,8	7,2	8,8	8,4	8,4	9,6	9,6
Mg	1,4	1,4	5,3	5,8	1,2	1,2	1,5	1,2	3,4	2,4	2,4	2,4	1,2	1,2
Na	6,0	7,9	5,9	6,2	6,8	4,7	5,2	4,7	5,4	5,0	4,2	4,2	4,7	4,7
K	1,0	0,8	1,2	1,0	2,8	0,8	1,0	0,8	0,8	0,4	0,6	0,6	0,8	0,8
Al	0,2	0,13	0,15	0,09	0,17	0,06	0,24	0,06	0,2	0,14	0,13	0,13	0,08	0,08
Fe	0,7	0,27	0,5	0,4	2,1	0,44	0,54	0,44	0,72	0,46	0,40	0,40	0,50	0,50
SiO ₂	15,7	15,7	10,5	10,5	10,6	11,5	12,2	11,5	14,0	14,5	20,0	20,0	20,0	20,0
Cl ⁻									10,6	10,6	9,9	9,9	11,3	11,3
NO ₃ ⁻									0,2	0,2	1	1	<0,2	<0,2
SO ₄ ⁻									27,6	25,9	6,7	6,7	17,7	17,7
HCO ₃ ⁻									-	-	14,6	14,6	12,2	12,2

TABLEAU 49 : RESULTATS DES ANALYSES D'EAUX A HERY.

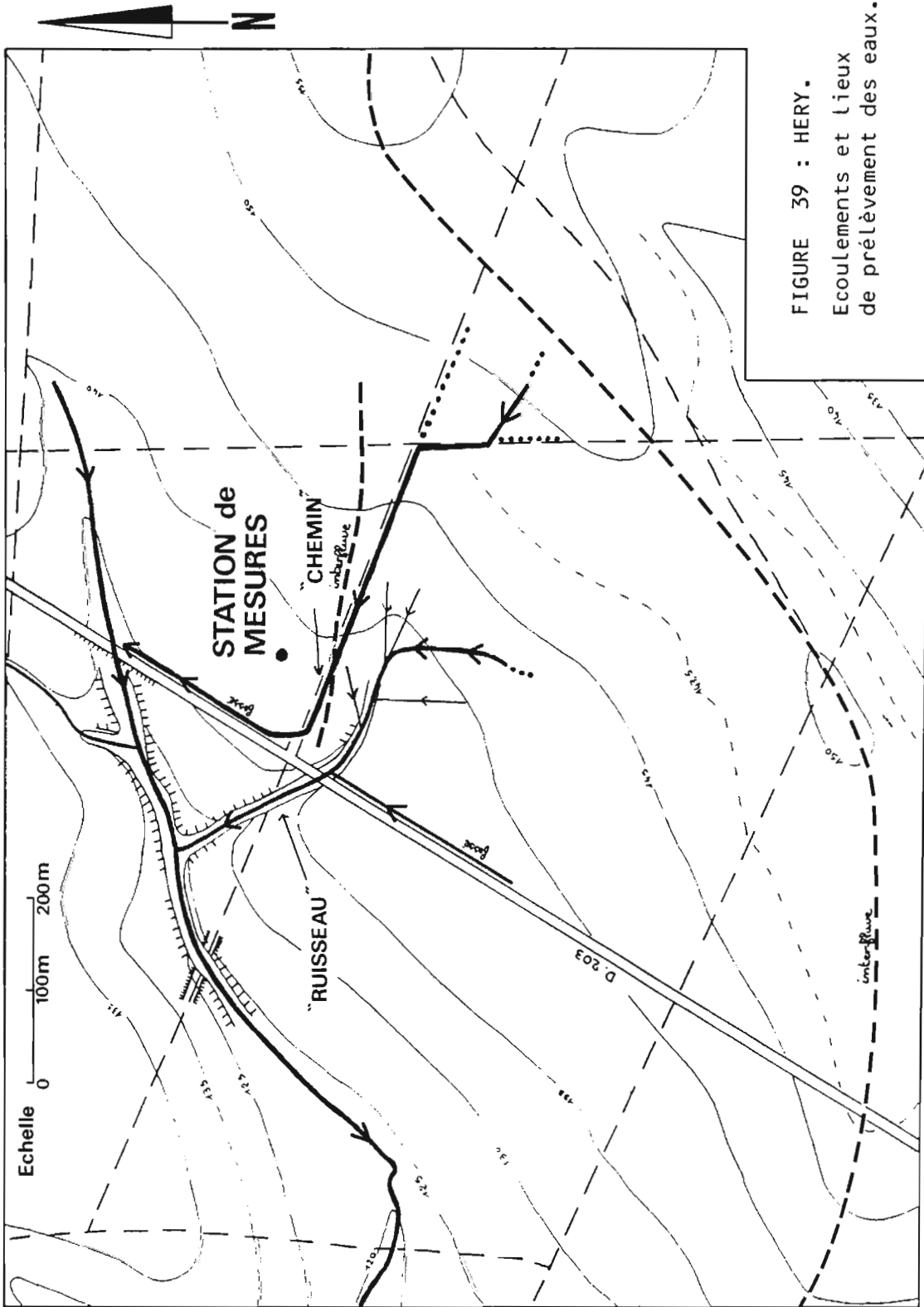


FIGURE 39 : HERY.
Ecoulements et lieux
de prélèvement des eaux.

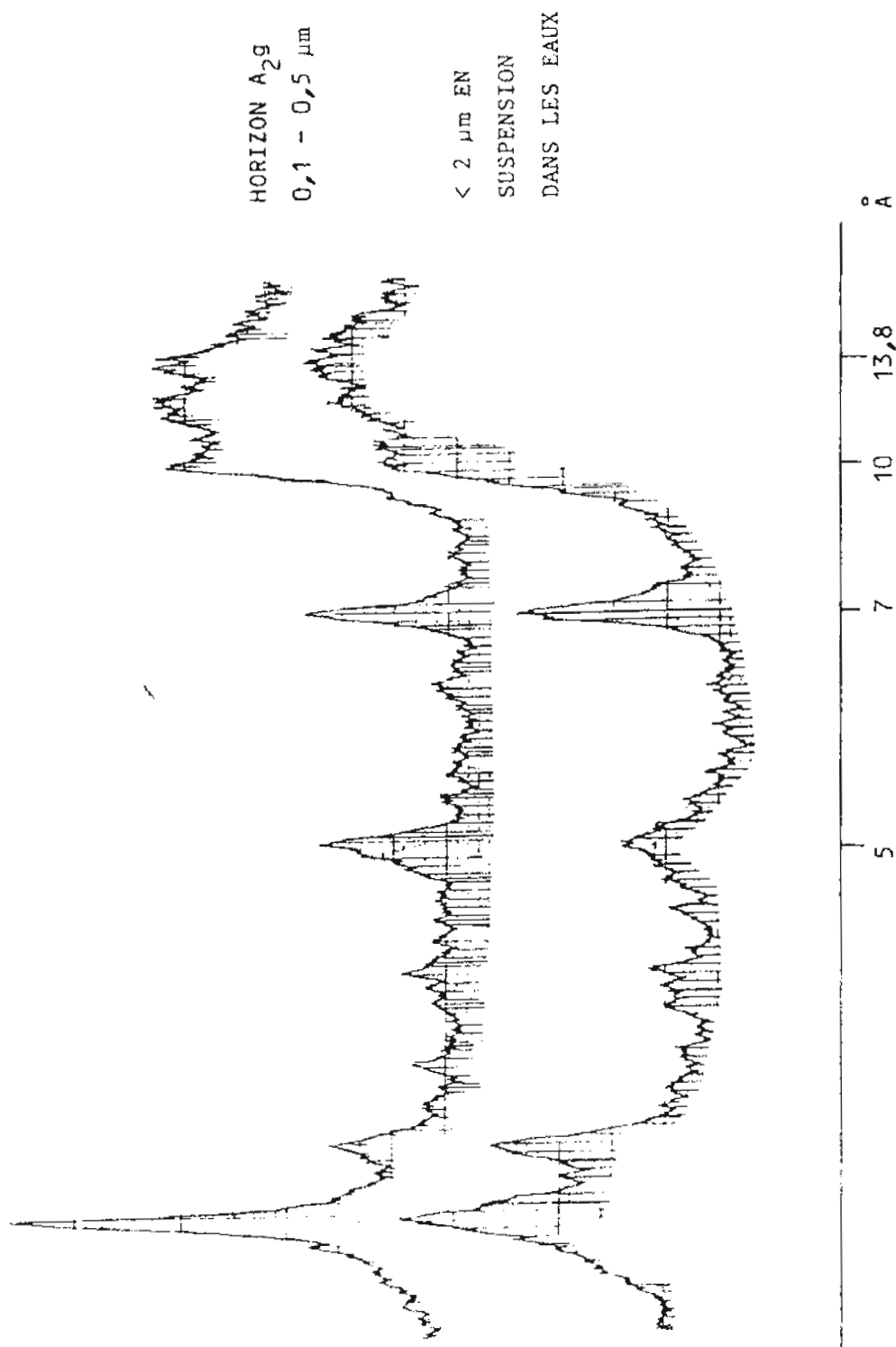


FIGURE 39 bis : HERY - COMPARAISON ENTRE ARGILES EN SUSPENSION
DANS LES EAUX ET ARGILES DE L'HORIZON A₂g (cf. p. 151).

DATE	MATIERES TOTALES EN SUSPENSION mg/l		PRECIPITATIONS EN mm			
	"CHEMIN"	"RUISSEAU"	de la veille	des deux derniers jours	des cinq derniers jours	des dix derniers jours
14.02.1979	5,0	16,4	3,3	7,4	30,2	60,7
9.01.1980	3,0	2,7	0	0	16,4	20,4
24.01.1980	10,1	-	9,1	9,1	14,2	14,2
08.02.1980	5,2	6,2	0,5	8,7	43,6	72,3
14.03.1980	32,2	27,4	7,1	10,5	22,1	46,2
02.07.1981	-	7,0	0 AUX.	0 AUX.	47,4 AUX.	61,6 AUX.
04.02.1982	-	5,5	0 AUX.	0 AUX.	tr AUX.	18,2 AUX.
Précipitations enregistrées à LORDONNOIS (sauf AUX. = AUXERRE)						

TABLEAU 50 : Matières totales en suspension dans les eaux superficielles et antécédents pluviométriques.

En ce qui concerne les éléments en solution, il s'agit d'eaux relativement peu minéralisées et de faible acidité. Ce sont là des caractères normaux pour des eaux en contact avec des sols à complexe absorbant désaturé.

La DCO paraît assez élevée : s'agit-il de fines suspensions de matières organiques ayant traversé le filtre ou de molécules organiques solubles ou pseudo-solubles ?

Le prélèvement de 60 litres d'eau, le 4 février 1982 à HERY - "ruisseau" a rendu possible une étude plus détaillée de la nature des matières en suspension.

Le tableau 51 permet de comparer la composition de cette eau avant et après filtration (à 0,45 puis 0,01 micromètre). Naturellement la turbidité s'abaisse grandement après filtration mais seuls Fe et Al disparaissent pratiquement tandis que Si diminue légèrement. On remarquera que les proportions de Si, Al et Fe retenus par le filtre sont approximativement celles des silicates phylliteux. On peut penser que les autres éléments (Ca, Na, Mg, K) sont en solution ainsi que la silice dont on notera l'abondance (7 mg/litre). La présence des éléments alcalins en solution est à mettre en relation avec le fonctionnement du cycle biogéochimique (voir aussi chapitre VI . 6^e). En ce qui concerne la silice, ce pourrait être un indice de l'altération des réseaux cristallins de certains silicates.

Teneurs en mg/l	Turbidité FTU	pH	K	Na	Mg	Ca	Mn	Fe	Al	Si	N de NO ₃ ⁻	C	
												minéral	organique
Avant filtration	4,4	6,3	1,4	5,0	1,7	6,6	0,03	0,27	0,5	8	0,3	2,3	6,1
Après filtration	0,2	-	1,4	5,0	1,65	6,3	0,03	0,02	0,0	7	-	-	-

TABLEAU 51 : Eau prélevée le 4 février 1982 à Héry - "ruisseau". Composition avant et après filtration à 0,01 micromètre.

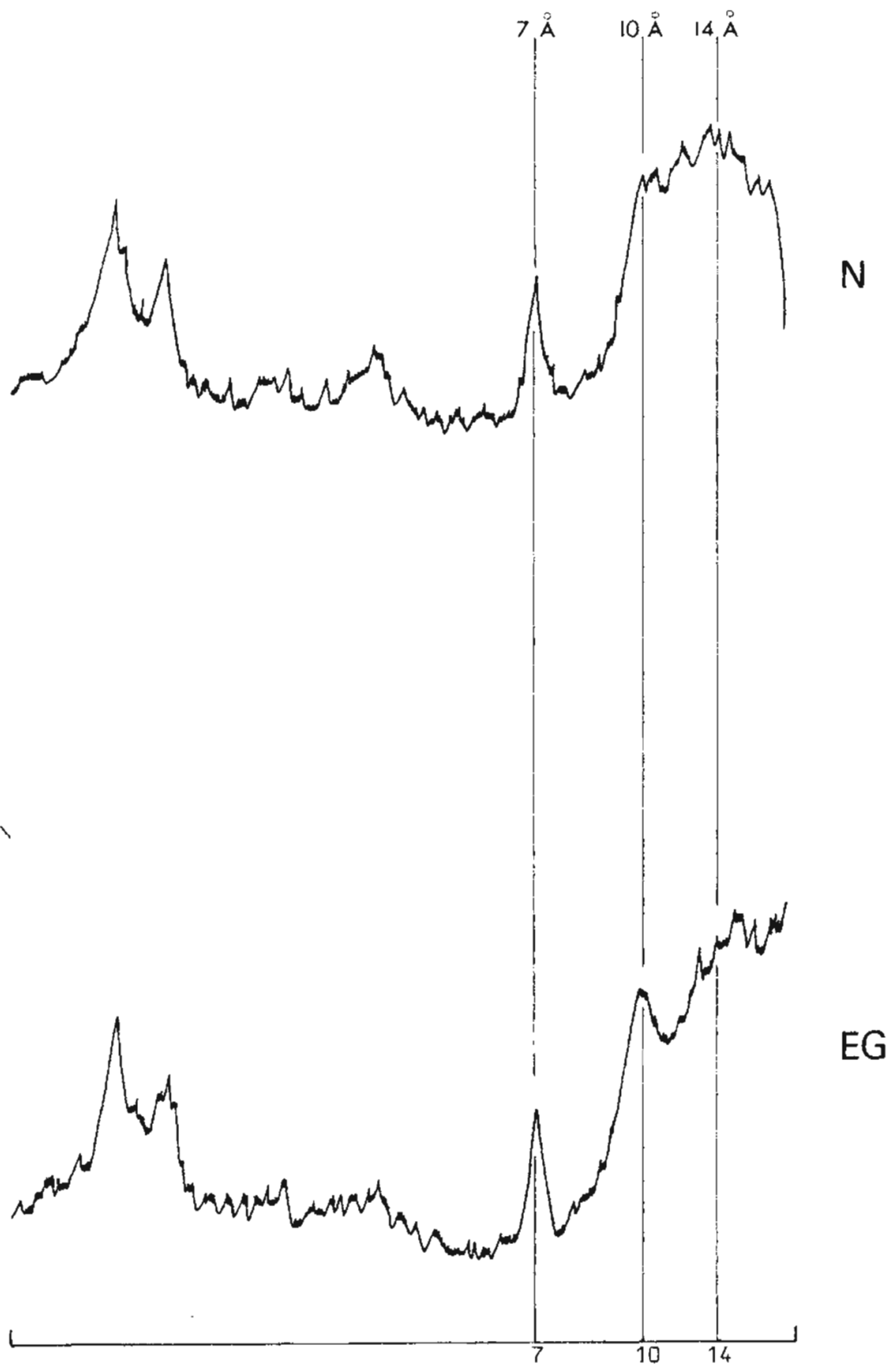


FIGURE 40 : DIFFRACTOGRAMMES DES MATIERES EN SUSPENSION DANS L'EAU D'HERY - "RUISSEAU" LE 4 FEVRIER 1982.
N = nature ; EG = traitement à l'éthylène-glycol.

Quant au centrifugat (centrifugation à 50.000 g en continu sur 50 litres) sa composition (tableau 52) correspond assez exactement à celle des argiles de taille moyenne (0,1 à 0,5 μm) des horizons A₂ (voir chapitre VI page 229).

En outre, les diffractogrammes obtenus sur ce résidu présentent les mêmes caractéristiques que ceux des argiles des horizons A : illite ou glauconite + smectites + interstratifiés + kaolinite (figure 39 bis).

EN %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	Perte au feu	Σ
Dosage brut	40,0	16,0	12,6	0,113	1,45	2,86	0,02	0,06	0,20	-	73,3
Composition avec une perte au feu = 24 %	41,1	16,4	13,0	0,12	1,49	2,94	0,02	0,06	0,21	24,0	99,34
Composition en calciné	54,6	21,8	17,2	0,15	1,98	3,90	0,03	0,08	0,27	-	100,0

TABLEAU 52 : Eau prélevée le 4 février 1982 à Héry - "ruisseau".
Analyse totale du centrifugat à 50.000 g.

9. CONCLUSIONS

A. RECAPITULATION

- Un dispositif d'étude in situ de l'eau dans le sol a permis de faire un certain nombre de mesures et d'observations sur deux sites au cours de cinq années successives.

- Durant cette période, deux saisons seulement peuvent être considérées comme anormalement sèches : l'été et l'automne 1978. En revanche, tous les hivers ont été particulièrement arrosés ainsi que les étés 1977, 1980 et 1981 et les printemps 1978 et 1979.

- Les circonstances météorologiques se sont donc montrées défavorables à l'étude du dessèchement des sols et plutôt propices à l'observation des excès d'eau.

- Des bilans hydriques, basés essentiellement sur des données climatiques, permettent d'estimer quantitativement les déficits et les excès d'eau, soit 170 à 300 mm d'excès d'eau et de 0 à 190 mm de déficit selon l'année et la station considérées.

- Le suivi d'un certain nombre de piézomètres a rencontré des difficultés d'interprétation quant aux observations faites sur piézomètres profonds. Les dispositifs superficiels ont permis de suivre l'existence des nappes "hypodermiques". Celles-ci existent de façon habituelle mais discontinuée de fin décembre à fin mars. Elles apparaissent aussi en avril et en mai mais de façon plus temporaire et il arrive qu'on puisse les observer momentanément en été, le temps d'évacuer de fortes averses.

• 80 mesures d'humidités neutroniques ont apporté nombre d'informations. Elles ont permis de suivre l'évolution au cours du temps des humidités des deux sols, de déterminer leurs valeurs caractéristiques (humidités maximales, à la capacité de rétention), de comparer ces données expérimentales aux chiffres fournis par les bilans hydriques, d'établir enfin des bilans volumiques solide/eau/gaz.

• A PONTIGNY, le sol se dessèche, même en année humide, de juin à novembre, voire de juin à avril selon les années et les niveaux considérés. Tous les horizons connaissent des phases d'assèchement "par le haut" suivies de réhumectation "par le haut" avec seulement un retard en profondeur.

A HERY, le sol se dessèche plus tardivement et moins longtemps. Ce profil semble présenter à la fois le phénomène de dessèchement "par le haut" correspondant à l'évapotranspiration du couvert forestier et celui (constaté seulement en 1977) d'un dessèchement "par le bas" des horizons situés à plus de 180 cm, lequel pourrait résulter de l'abaissement d'une nappe profonde ou simplement d'un drainage vertical.

• Une première conclusion a été tirée : en hiver et au printemps (avant le démarrage de la végétation) il y a évacuation latérale immédiate des excès d'eau, le long du "plancher" peu perméable que constitue le sommet des horizons (B), les phases d'engorgement demeurant relativement fugaces. Les drainages d'hiver et de printemps sont donc des phénomènes essentiellement latéraux.

• Les bilans volumiques font apparaître les très faibles volumes occupés par l'atmosphère du sol lors des phases d'humidité maximales (2 à 5 % pour les horizons (B) et 3 à 7 % pour les horizons A₂). Au cours de ces périodes, l'aération du sol est donc très faible et le milieu peut devenir réducteur. Aux moments les plus secs, le volume maximal de gaz (d'air) des horizons (B) demeure encore faible, surtout à HERY (8 et 11 %).

• Les relations pF/humidités établies au laboratoire sur échantillons non perturbés et sur le terrain (tensionmètres) mettent en évidence quatre faits (profil HERY) :

- la macroporosité 15-150 μm est très faible aussi bien en A qu'en (B)
- en A₂ il existe une certaine porosité inter-agrégats de dimensions comprises entre 0,5 et 15 μm qui ne se rencontre pas en (B) d ni en (B) ;
- à une large gamme de pF, correspondent de très faibles variations d'humidité ;
- entre pF 2 et pF 4,45 , l'horizon A₂ se comporte comme un système rigide à l'inverse des horizons (B) pour lesquels les pertes d'eau peuvent s'accompagner d'une diminution égale de la porosité totale (au laboratoire).

• Les eaux qui s'écoulent en surface, à proximité immédiate du site d'HERY, ont été prélevées 11 fois et analysées. Il y a toujours des matières en suspension (3 à 32 mg/litre, médiane : 6,6 mg/litre). On note aussi une quantité importante de silice dissoute : 10 à 20 mg/litre de SiO₂.

• Un prélèvement de 60 Litres opéré le 4 février 1982 a permis l'étude des matières en suspension. Celles-ci présentent une composition chimique et des diffractogrammes tout-à-fait semblables à ceux de la fraction 0,1 - 0,5 μm de l'horizon A₂ étudié par ailleurs.

B. SYNTHESE

1. Nous avons pu vérifier, par des observations et des mesures sur une longue durée, tout ce qui avait été pressenti lors de la cartographie à échelle moyenne. Les horizons A sont filtrants, ils subissent des alternances d'aération et d'engorgements et sont donc soumis selon un rythme rapide à des cycles oxydation/réduction. Les horizons (B) s'avèrent imperméables, car sans macroporosité, et présentent de faibles variations d'humidités au cours du temps.

2. Il n'y a pas d'arrivées d'eau "par en dessous". Tous les apports correspondent donc à des pluies. Une première partie est évapotranspirée par la végétation. Une (petite) partie sert à reconstituer la réserve du sol (en automne lorsque celle-ci a été entamée). La plus large part des eaux météoriques (200 à 420 mm par année civile) est évacuée rapidement sous la forme de nappes hypodermiques temporaires à circulation latérale.

3. A leur exutoire, dans les ruisseaux, ces eaux contiennent des argiles fines en suspension et de la silice en solution.

Au sein des sols, et tout particulièrement dans les horizons A₂ et au sommet des horizons (B), deux processus semblent cohabiter actuellement :

- mise en suspension stable d'argiles fines
(à mettre aussi en relation avec les petits argilanes observés dans les horizons A₂, cf. chapitre II, p. 46) ;
- altération de certains silicates.

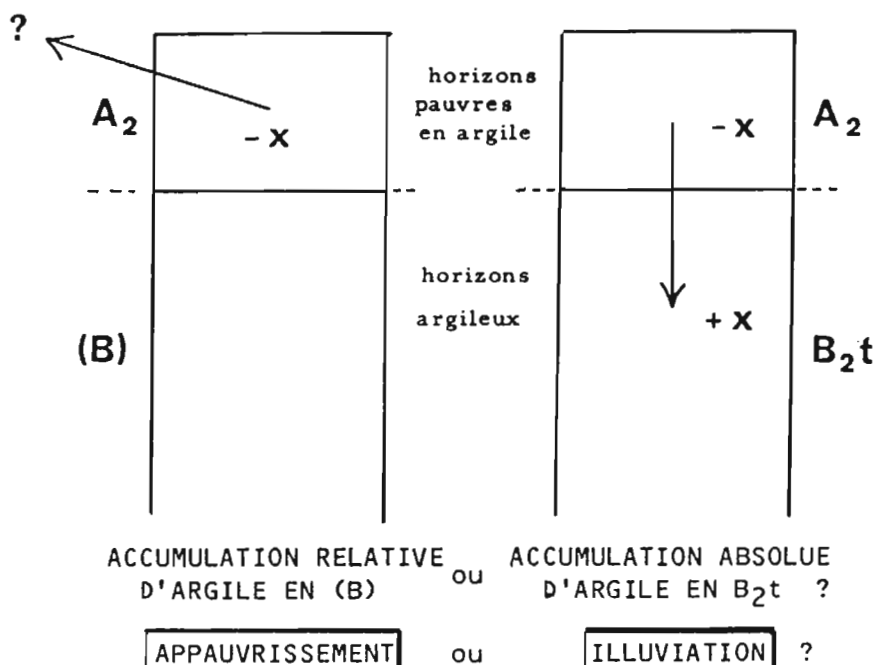
CHAPITRE V

Bilans isoquartz

1. INTRODUCTION

Objectifs

Par cette méthode, nous avons cherché à répondre le plus sûrement possible à la question fondamentale schématisée ci-dessous : les matières ayant quitté les horizons A superficiels ont-elles migré verticalement ou latéralement ? Les horizons argileux résultent-ils d'une accumulation absolue ou relative de particules < 2 μ m ? S'agit-il donc d'horizons B_{2t} ou d'horizons (B) ?



Choix de la méthode des bilans isoquartz (LELONG et SOUCHIER, 1979)

Dans un système "ouvert" comme le sol, les variations relatives des compositions actuelles ne suffisent pas pour nous renseigner sur les mouvements réels de matière, ou sur ce que nous appellerons plutôt les variations absolues : gains (entrées) ou pertes (sorties) de matières de chaque horizon.

Pour connaître ces mouvements, on peut procéder de deux manières :

- par des méthodes hydrochimiques et hydrologiques qui permettent la saisie des mouvements actuels (cf. chapitre IV) ;
- ou bien par des méthodes chimico-minéralogiques par lesquelles nous tenterons de mettre en évidence des variations absolues, au cours du temps, de tel ou tel constituant au sein d'un profil, en faisant référence à un invariant de mesure :

- raisonnement ISOVOLUME si la "texture" initiale de la roche a pu être conservée ;

- raisonnement ISOELEMENT si un élément chimique est parfaitement stable ;

- raisonnement ISOQUARTZ (COLLIER, 1961 etc...) ou ISOZIRCON (MARSHALL et HASEMAN, 1942).

Les bilans isofer, isoaluminium, isotitane sont rapides car ils n'exigent pas de reconstitutions minéralogiques laborieuses. Mais les erreurs commises peuvent être fortes dans les horizons superficiels acides où ces métaux deviennent relativement mobiles. Le raisonnement isoquartz présente de nombreux avantages car il se fonde sur un constituant particulièrement stable et répandu en notables proportions dans les sols. Les pertes en quartz par dissolution lente sont faibles (surtout sous climat tempéré) et les néoformations siliceuses sont exceptionnelles et localisées à des milieux particuliers.

Pour toutes ces raisons, la méthode des bilans isoquartz s'est imposée à nous.

Remarques sur les bilans isoquartz

Les bilans de matières réalisés en référence au quartz supposé invariant vont nous permettre une évaluation des gains ou pertes absolus de différents horizons par rapport à un état originel. Les résultats de ces bilans vont exprimer l'intégrale de l'évolution pédologique sur tout l'intervalle de temps ayant permis la différenciation du profil. Plusieurs processus différents, eux-mêmes distincts de ceux qui interviennent aujourd'hui, ont pu se succéder voire se contrarier. C'est le résultat global qui transparaîtra dans les résultats des bilans. Les méthodes chimico-minéralogiques et hydrochimiques ne fournissent donc pas du tout les mêmes types d'informations, c'est pourquoi elles s'avèrent complémentaires.

Réalisation - Hypothèses de base (figure 41)

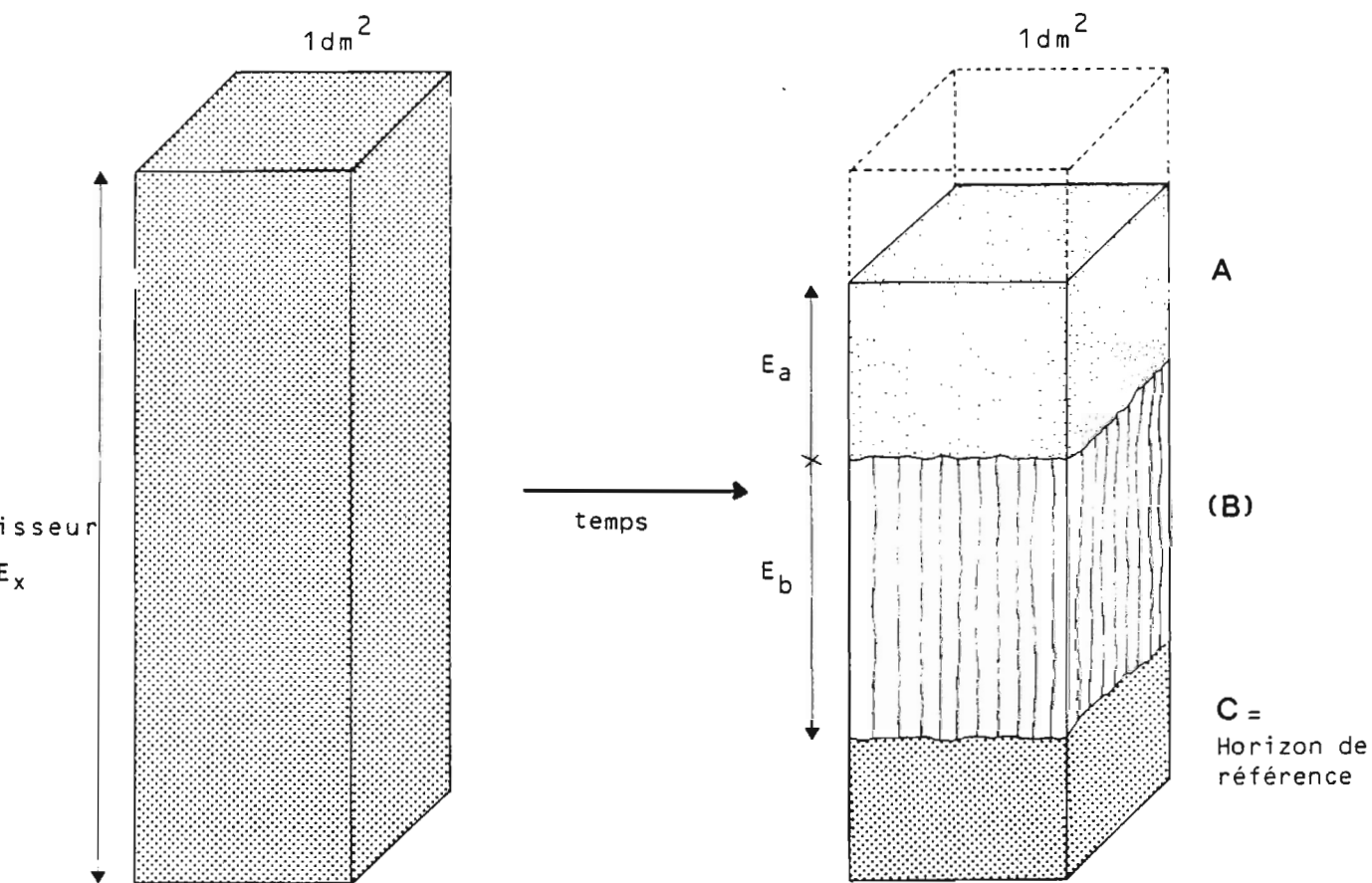
Ce type de bilan repose sur quatre hypothèses ou conditions qu'il n'est pas facile de trouver vérifiées dans la nature :

- hypothèse 1 : on pose en principe que le quartz n'a pas été altéré ; il servira donc de minéral invariant (ce qui n'exclut pas que les particules quartzeuses puissent avoir subi une fragmentation) ;
- hypothèse 2 : on suppose que la roche-mère était homogène à l'origine et exactement identique à l'horizon de référence actuel au triple point de vue physique, minéralogique et granulométrique ;
- hypothèse 3 : on admet implicitement qu'il n'y a pas eu érosion en surface, ni apports ou contaminations superficiels, ni mouvements de masse latéraux etc...
- condition 4 : il vaut mieux choisir, comme horizon de référence, un niveau profond peu ou pas du tout altéré. Le raisonnement isoquartz implique que sa composition actuelle était également celle de l'ensemble du solum à l'origine.

Pour pouvoir faire jouer la "mécanique" de ce type de bilans, il a fallu déterminer tout d'abord les teneurs en quartz des principaux horizons. Cette phase préalable obligatoire n'est pas facile car il n'est pas possible de doser directement le quartz. Elle a nécessité des reconstitutions minéralogiques complètes laborieuses et souvent un peu "acrobatiques" dont le schéma général est le suivant :

1. connaissance qualitative des minéraux présents en quantité non négligeable ;
2. estimation quantitative des minéraux autres que le quartz ;
3. % de quartz = 100 % - tous les autres.

Pour ces reconstitutions, nous avons cherché à utiliser diverses voies de calcul indépendantes les unes des autres (analyses de départ différentes, rai



A L'ORIGINE

ENTRE-TEMPS

AUJOURD'HUI

Hypothèses :

Le matériau était homogène et exactement identique à l'horizon de référence actuel au triple point de vue :

- physique (d. app.)
- granulométrique
- minéralogique

Hypothèses :

- le quartz est demeuré INSOLUBLE
- il n'y a eu ni apports ni érosion.

Connaissance analytique :

- de l'épaisseur
- de la densité apparente
- du TAUX DE QUARTZ
- des % granulométriques, chimiques et minéralogiques

de chaque horizon

↓
CALCULS DES POIDS ACTUELS

CALCULS DES POIDS A L'ORIGINE

↓
détermination des PERTES OU GAINS ABSOLUS en poids pour une colonne de 1 dm²

FIGURE 41

PRINCIPES D'ETABLISSEMENT DES BILANS ISOQUARTZ PRESENTES DANS CE CHAPITRE.

nements différents) de manière à pouvoir asseoir une quasi-certitude sur la concordance de plusieurs résultats convergents.

Calculs

Connaissant le poids actuel de chacun des horizons :

$$p_H^t = l \text{ dm}^2 \times \text{épaisseur} \times \text{densité apparente}$$

... et leur poids à l'origine (avant la différenciation)

$$p_H^0 = p_H^t \times \frac{\% \text{ actuel de quartz de l'horizon considéré}}{\% \text{ actuel de quartz de l'horizon de référence}}$$

... on est en mesure de calculer les pertes ou les gains pondéraux globaux qu'ils ont subi.

Après quoi, il est facile de comparer le poids actuel d'un élément d'un minéral ou d'une fraction granulométrique (soit Z) :

$$p_Z^t = p_H^t \times \% \text{ actuel en Z de l'horizon considéré.}$$

... avec le poids de Z à l'origine :

$$p_Z^0 = p_H^0 \times \% \text{ actuel en Z de l'horizon de référence.}$$

... et d'en déduire à nouveau les pertes ou les gains en Z.

Gardons cependant à l'esprit que des pertes ainsi calculées sont des valeurs globales qui peuvent sommer algébriquement des pertes et des gains de nature différente .

1er exemple : les pertes globales d'un horizon peuvent fort bien être la résultante de pertes en argile, de pertes en carbonates et de gains de matière organique (car tous les calculs se réfèrent à la terre fine totale actuelle).

2ème exemple : des pertes de potassium peuvent résulter de gains par illuviation insuffisants pour équilibrer des pertes sous forme cationique.

La méthode que nous venons de présenter est inspirée directement de celle proposée par MARSHALL et HASEMAN (1942) qui avaient choisi un raisonnement isozircon. Elle permet de raisonner en valeurs absolues sur des poids d'une colonne de sol en cours d'évolution. Par rapport aux expressions isoquartz habituelles (LELONG et SOUCHIER, 1972 ; NGUYEN KHA, 1973 ; HETIER, 1975 etc...) cette démarche a l'avantage de tenir compte des épaisseurs relatives des horizons et donc de permettre de comparer les pertes et les gains qui peuvent apparaître à différents niveaux d'une même profil.

°
° °
°

En 1979, nous avons tenté un premier bilan isoquartz sur un sol sélectionné parce que minéralogiquement plus simple, le profil HERY (BAIZE, 1980).

Trois autres bilans ont été établis plus récemment sur des sols de granulométries et de minéralogies variées : PONTICNY, REBOURSEAUX et FLOGNY. Ils ont été réalisés dans des conditions moins favorables de composition minéralogique assez complexe et souvent en disposant de moins de données, mais selon les mêmes principes que pour HERY.

°
° °
°

Dans la suite de ce chapitre, nous allons présenter au lecteur le cheminement complet des reconstitutions minéralogiques aboutissant à la détermination des taux de quartz. Pour ce faire, la meilleure illustration sera donnée par le profil HERY qui est à la fois le plus simple et le mieux analysé. Après quoi seront présentés successivement les quatre bilans.

Chaque sol ayant ses particularités, les reconstitutions minéralogiques ont été l'occasion de difficultés et de raisonnements spécifiques. C'est pourquoi nous les avons fait figurer en annexes.

Le chapitre se terminera enfin par une confrontation des résultats suivie d'une conclusion partielle.

2. METHODE DETAILLEE
et
APPLICATION AU PROFIL HERY

A. APPROCHE QUALITATIVE

Des renseignements minéralogiques qualitatifs et grossièrement quantitatifs ont été obtenus par différentes méthodes :

- examen microscopique de lames minces (LM) ;
- examen à la loupe binoculaire des fractions $> 20 \mu\text{m}$ (LB) ;
- diffraction des rayons X sur les fractions $< 2 \mu\text{m}$ et $2-50 \mu\text{m}$ (RX) ;
- analyses thermique différentielle et thermo-pondérale des diverses fractions granulométriques (ATP-ATD) ;
- détermination et comptage des "minéraux lourds" et des "minéraux légers" après coloration des feldspaths au rhodizonate de potassium (ML).

L'horizon C₂ apparait nettement différent des autres par la taille plus grossière de son "squelette" quartzeux (LM), ce qui nous conduira à l'exclure comme horizon C de référence.

La glauconie en grains est pratiquement absente des horizons A. Il n'en subsiste que de rares grains très altérés (couleur jaune) dans la fraction SF₁ (50 à 100 μm) (LM, LB, ML).

Les feldspaths, peu abondants, sont surtout représentés par l'orthose.

Une très grande parenté a été reconnue quant aux cortèges de minéraux lourds des horizons A et (B). Seuls sont présents en quantité notable les opaques (plus de 75 % de l'ensemble), la tourmaline, le rutile, le zircon, la staurotide. La somme des minéraux lourds n'excède pas 0,3 % pondéral de la terre fine totale.

La muscovite s'avère fort rare et pourra donc être négligée (LM, LB, ML). La nature des minéraux argileux est pratiquement identique dans tous les horizons, à savoir (cf. p. 223) :

- traces de kaolinite, surtout nettes dans les horizons A ;
- glauconite abondante ;
- interstratifiés 10-14 Å gonflant à l'éthylène-glycol et fermant à 10 Å par chauffage à 300°C (RX).

La présence notable de kaolinite et d'oxydes cristallisés est également exclue par les diagrammes d'ATD.

Première conclusion qualitative

Pour l'étude de ce profil, nous bénéficions de deux circonstances particulièrement favorables :

- en ce qui concerne la fraction < 2 µm, on a affaire presque exclusivement à de la glauconite et à ses produits de transformation, la kaolinite s'avérant absente ou négligeable ;

- dans les fractions limons et sables, outre la glauconie en grains, il n'y a que du quartz en très grande quantité et une faible proportion de feldspaths potassiques.

On peut donc conclure, avec une approximation suffisante, que le matériau originel = quartz + glauconite.

B. APPROCHE QUANTITATIVE DE BASE

Elle repose sur trois séries d'analyses : les granulométries, les analyses chimiques totales et la composition de cinq glauconies isolées par séparation magnétique.

a) Granulométries

Aspect général

Les granulométries sont difficiles à interpréter par suite de l'abondance de la glauconie en grains dans les horizons (B) et C. En effet, à mesure que l'on monte dans le solum, les grains de glauconie ont tendance à se fragmenter et à se détruire pour fournir :

- de l'argile granulométrique ;
- des fragments plus petits et de solidité douteuse dont le devenir durant les manipulations de l'analyse granulométrique est difficile à connaître.

Le "ventre" d'argile, observé au sein du profil, pourrait correspondre à une illuviation au sein du solum ou bien résulter de la conjonction de deux phénomènes :

- "argilisation des grains de glauconie par désagrégation ;
- appauvrissement en argile des horizons supérieurs.

En tout cas, le contact planique est nettement tranché avec passage de 12 à 46 % d'argile en moins de 5 cm.

"Squelettes granulométriques"

La comparaison des "squelettes granulométriques" des divers horizons sert à vérifier l'homogénéité initiale du matériau soumis à la pédogénèse. Mais le raisonnement est rendu difficile ici par la présence dans les horizons (B) et C de grains de glauconie en cours d'altération alors que ceux-ci sont absents dans les horizons A (voir aussi le chapitre III).

Sur la figure 42 on constate la similitude des horizons A et le caractère beaucoup plus grossier des horizons C₂ et C₄. Les horizons (B) ne semblent pas nettement différents entre eux, ni très distincts de l'horizon C₁ et des horizons A. Cependant, une parfaite homogénéité originelle du profil ne peut pas être prouvée avant une étude très poussée et notamment avant des comparaisons portant seulement sur le "squelette granulométrique" quartzeux présumé invariant car supposé inaltérable.

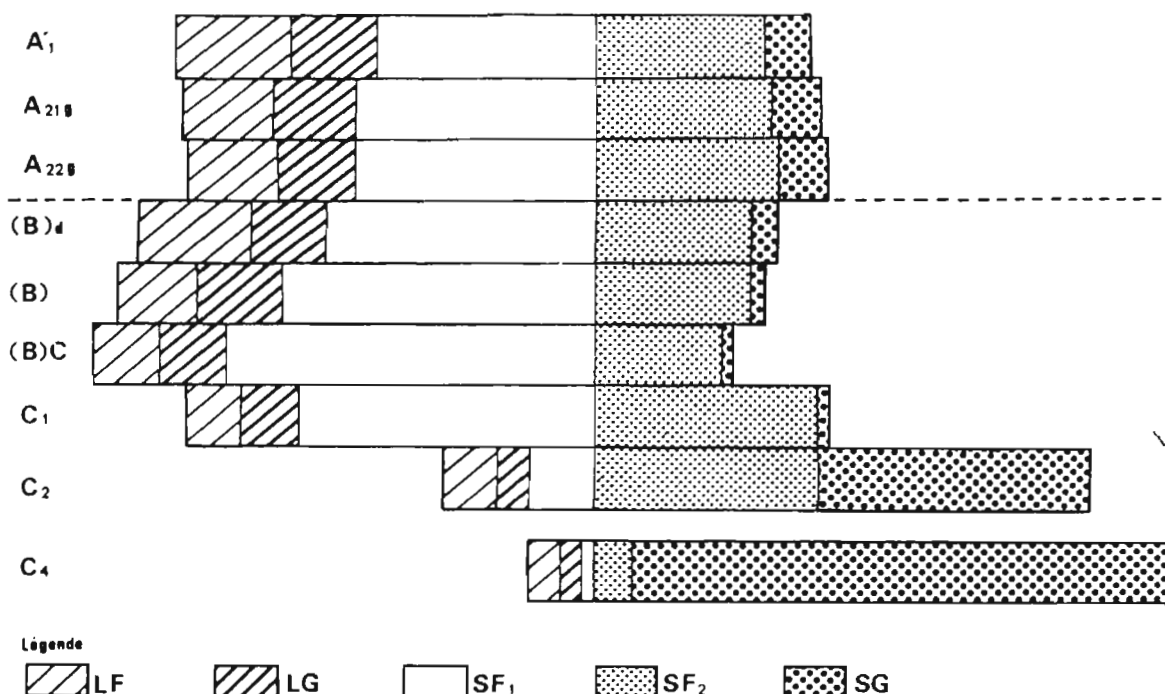


FIGURE 42 : "SQUELETTES GRANULOMETRIQUES". HERY.

b) Analyses chimiques totales (tableau 53)

Elles ont été effectuées sur les principaux horizons pris globalement et sur les diverses fractions granulométriques de chaque horizon.

Elles concernent huit éléments qui ont toujours été exprimés en oxydes (SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, CaO, TiO₂) et en % de l'échantillon avant calcination à 1 100°C (1).

(1) Le fer ferreux n'a pas pu être dosé. On notera toutefois que DOUILLET et ODIN (1968) ont trouvé des valeurs de 1,10 à 3,25 % de FeO dans neuf glauconies crétacées ou tertiaires du Bassin de Paris.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂
<u>Horizon total</u>								
A ₂₂	88,30	3,10	3,96	0,95	0,25	0,12	0,07	0,58
(B)	66,96	9,32	10,68	2,41	1,22	0,06	0,13	0,40
(B)C	71,92	7,75	9,25	2,64	1,13	0,07	0,23	0,41
C ₁	72,00	6,80	9,77	2,63	1,23	0,05	0,27	0,31
<u>Fractions < 2 µm</u>								
A ₂₂	49,05	13,43	16,14	3,61	2,26	0,22	0,25	1,05
(B)	46,97	14,06	17,56	4,22	2,86	0,09	0,11	0,40
(B)C	47,31	14,78	15,91	4,31	2,86	0,11	0,19	0,38
C ₁	47,41	14,23	15,77	4,90	2,90	0,09	0,10	0,38
<u>Limons fins (2-20 µm)</u>								
A ₂₂	88,21	5,29	2,47	1,63	0,22	0,44	0,41	1,28
(B)	65,68	10,21	10,94	4,01	1,23	0,24	0,48	0,80
(B)C	62,56	10,96	12,00	4,63	1,38	0,22	0,49	0,73
C ₁	59,42	11,34	12,24	5,06	1,43	0,18	0,55	0,70
<u>Limons grossiers (20-50 µm)</u>								
A ₂₂	93,13	3,02	1,23	1,16	0,12	0,35	0,39	0,67
(B)	62,46	7,75	11,27	3,98	1,29	0,12	0,46	0,30
(B)C	59,93	9,26	13,38	4,72	1,59	0,08	0,50	0,35
C ₁	58,50	9,60	15,30	5,42	1,72	0,03	0,60	0,30
<u>Sables fins 1 (50-100 µm)</u>								
A ₂₂	98,72	0,76	0,37	0,31	0,05	0,03	0,27	0,55
(B)	92,87	2,27	2,79	1,05	0,33	0,04	0,31	0,27
(B)C	86,09	2,83	3,53	1,36	0,43	0,07	0,32	0,62
C ₁	78,90	4,54	6,25	2,31	0,80	0,08	0,48	0,45
<u>Sables fins 2 (100-200 µm)</u>								
A ₂₂	97,62	0,57	0,46	0,20	0,05	0,01	0,28	0,18
(B)	95,44	1,13	1,40	0,51	0,17	0,03	0,24	0,07
(B)C	90,07	3,02	4,50	1,51	0,53	0,07	0,35	0,08
C ₁	81,49	4,35	6,98	2,41	0,85	0,07	0,41	0,08

TABLEAU 53 : ANALYSES CHIMIQUES TOTALES (en %) DES HORIZONS ET DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

Les analyses ont été réalisées au laboratoire I.N.R.A. d'Arras après mise en solution par HF, à l'exception de Si et Ti qui ont été dosés par fluorescence X sur solution solide.

On remarquera que Na_2O , CaO et TiO_2 représentent toujours des valeurs très faibles. Les comparaisons d'un horizon à l'autre semblent très délicates en raison de fortes erreurs relatives probables.

Le simple examen du tableau 53 permet deux constatations majeures.

D'une part, les fractions $< 2 \mu\text{m}$ des quatre horizons sont de compositions très voisines, très riches en fer et contenant du potassium et du magnésium en proportion notable. Nous avons là une confirmation de l'approche par les rayons X. Il s'agit certainement de glauconite et des produits de transformation de ce minéral.

D'autre part, dans les fractions limons et sables, il suffit de considérer les variations des teneurs en Al, Fe et Mg pour suivre parfaitement la disparition des grains de glauconie à mesure que l'on monte dans le profil depuis l'horizon C jusqu'au A, le quartz s'accumulant corrélativement.

c) Composition des glauconies (tableau 54)

La glauconie en grains a pu être isolée par séparation magnétique parmi cinq fractions granulométriques. Alors que les grains issus des horizons (B)-C et C_1 se présentent avec leur couleur habituelle vert-épinard foncé, ceux isolés à partir des sables fins de l'horizon (B)C montrent une teinte beaucoup plus ocre, indice d'une altération déjà importante.

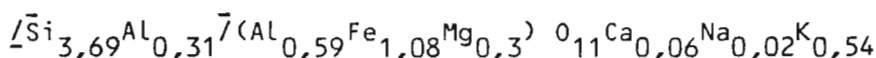
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	Na_2O	CaO	TiO_2	Perte au feu
<u>Horizon (B)</u>									
50-100 μm ...	52,72	11,34	15,63	4,41	1,77	0,09	0,85	0,75	12,9
<u>Horizon (B)-C</u>									
50-100 μm ...	47,65	11,15	19,52	6,24	2,40	0,18	0,38	0,80	11,8
<u>Horizon C_1</u>									
20-50 μm ...	52,44	10,20	17,30	5,96	2,24	0,13	0,53	0,28	10,5
50-100 μm ...	47,37	11,34	19,54	6,18	2,44	0,07	0,88	0,37	12,8
100-200 μm ...	49,90	10,40	19,40	5,75	2,70	0,14	0,80	0,13	11,6

TABLEAU 54 :

COMPOSITION CHIMIQUE DE CINQ GLAUCONITES ISOLEES PAR SEPARATION MAGNETIQUE.

Les résultats du tableau 54 montrent que les grains de glauconie s'altèrent déjà sensiblement (tout en restant encore agrégés) à mesure que l'on se rapproche de la surface du sol et que les grains sont plus petits. Les pertes affectent principalement le fer, le potassium et le magnésium. Ce fait constituera un écueil lors des reconstitutions minéralogiques puisque la glauconite n'a pas de composition chimique vraiment constante dès lors qu'elle a commencé à s'altérer.

Par contre, celle qui est extraite des sables fins (100-200 μm) de l'horizon C_1 peut être considérée comme "intacte". Sa formule structurale, avec pour base onze oxygènes, est la suivante :



C. DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

a) Reconstitutions minéralogiques des limons et sables par voie chimique. Difficultés de cette approche (tableau 55)

L'objectif est de calculer, à partir des analyses chimiques, les teneurs en quartz, glauconite, orthose... contenues dans les fractions $> 2 \mu\text{m}$ et exprimées en % de la terre fine totale (TFT) avec la relation :

$$\text{Limon} + \text{sables} = \text{horizon total} - \text{fraction} < 2 \mu\text{m}.$$

Qu'il s'agisse de procéder à cette reconstitution sur l'horizon total ou sur les différentes fractions granulométriques préalablement séparées, les principes sont les mêmes mais, dans les cas où l'on reconstitue chaque fraction prise isolément, on s'expose à des cumuls d'erreurs. Dans les limons et les sables il existe des minéraux de composition bien connue : quartz, orthose, glauconite... Mais il existe aussi des constituants plus difficiles à appréhender :

- d'une part la glauconite altérée, plus ou moins appauvrie en fer, magnésium et potassium et donc de composition variable. Ne pouvant apprécier convenablement ces produits d'altération, nous raisonnerons désormais par rapport à la glauconite en grains, très peu altérée et de composition connue (horizon C_j),

- d'autre part des minéraux argileux qui se situent dans la fraction des limons fins et dont la composition est inconnue. Nous ne tiendrons pas compte de ces minéraux, car notre sol est pauvre en limons et l'erreur ainsi commise demeurera minime.

Une fois déduit ce qui correspond à la fraction $< 2 \mu\text{m}$ on peut accéder à la teneur en glauconite soit à partir de Fe_2O_3 , soit de MgO , puisque ces deux oxydes ne peuvent être imputés ni à l'orthose ni au quartz.

Si l'on utilise le fer, trois difficultés apparaissent. D'abord, cet élément semble pouvoir quitter facilement les grains de glauconie, même peu altérés c'est donc en principe un mauvais élément de référence. Ensuite, il est nécessaire de faire une correction pour les "oxydes" et les "amorphes" ferrifères qui peuvent exister dans l'horizon, d'où une nouvelle source d'erreurs. Enfin, il existe aussi peut-être des minéraux ferrifères cristallisés, si bien que la totalité du fer des limons et des sables ne serait pas à imputer seulement à la glauconite. En revanche, le fer présente l'avantage d'avoir des teneurs élevées pour lesquelles les erreurs relatives sont certainement assez faibles.

Le raisonnement à partir des teneurs en magnésium présente, de son côté, deux difficultés spécifiques. Ces valeurs étant faibles, les erreurs relatives peuvent être importantes. En outre, l'analyse de la fraction $< 2 \mu\text{m}$ correspond à des argiles rendues magnésiennes pour les tests diffractométriques. La correction indispensable a été faite mais sans connaissance précise de la véritable capacité d'échange de l'argile. Il y a là une cause importante d'inexactitude dans les calculs.

Une fois retranchés les x % de glauconite de composition connue, il demeure un faible résidu où K_2O est affecté à l'orthose et où TiO_2 est considéré arbitrairement comme du rutilé.

Après déduction de l'orthose, le résidu de SiO_2 est assimilé au % de quartz recherché.

Elle est très voisine de celles données dans la littérature pour ce minéral (WEAVER et POLLARD, 1973 ; DOUILLET et ODIN, 1968).

	COMPOSITION HORIZON TOTAL	DEDUCTIONS		RESTE pour 73,2 % L + S	DEDUCTION de 24,3 % glauconie	RESTE	DEDUCTION de 0,6 % d'orthose et de 0,16 % de rutile	RESTE FINAL	
		de 22,7 % < 2 µm	des "amorphes" cf. p.169						
SiO ₂	72,0	- 10,76		61,24	- 12,13	49,11	- 0,38	48,73	→ Quartz 48,7
Al ₂ O ₃	6,80	- 3,23	- 0,64	2,93	- 2,58	0,35	- 0,12	0,23	Glauconie 24,3 (intacte)
Fe ₂ O ₃	9,77	- 3,58	- 1,64	4,55(1)	- 4,55	0		0	Orthose 0,6
K ₂ O	2,63	- 1,11		1,52	- 1,45	0,07(2)	- 0,07	0	(3) Rutile 0,2
MgO	1,23	- 0,57		0,66	- 0,60	0,06		0,06	
TiO ₂	0,31	- 0,09		0,22	- 0,06	0,16(3)	- 0,16	0	
CaO	0,27	- 0,02		0,25	- 0,18	0,07		0,07	
Na ₂ O	0,05	- 0,02		0,03	- 0,03	0		0	
									Σ <u>73,8</u> (73,2)

$$(1) \frac{4,55}{18,70} = 24,3 \% \text{ de glauconie.}$$

$$(2) \frac{0,07}{12,5} = 0,6 \% \text{ d'orthose.}$$

TABLEAU 55 :

EXEMPLE DE RECONSTITUTION CHIMICO-MINÉRALOGIQUE DES FRACTIONS L + S.
L'HORIZON C₁ DE HERY.

Raisonnement sur Fe₂O₃ pour la détermination de la glauconie. Calculs en % de la terre fine totale. Les compositions de la fraction < 2 µm et de la glauconie intacte sont connues par analyse directe.

Vérification des résultats

Il y a deux façons de vérifier si les reconstitutions minéralogiques ainsi réalisées sont satisfaisantes. D'une part il ne doit ni manquer ni rester d'aluminium après toutes les déductions ; d'autre part la somme des teneurs en quartz + glauconie en grains + orthose + rutile doit correspondre à la somme granulométrique limons + sables.

En se fondant sur de tels principes, nous avons pu utiliser quatre voies de reconstitution minéralogique indépendantes les unes des autres.

Voie 1.

Reconstitution minéralogique avec extraction préalable des "amorphes" et des "oxydes" (méthode du C.N.R.S. - Nancy).

La succession des opérations est logique et rigoureuse. En effet, exceptée l'analyse chimique totale, toutes les analyses sont faites à la suite sur le même échantillon :

- extraction des "amorphes" par le réactif de Tamm ;
- puis extraction des "oxydes" par le réactif de Mehra et Jackson ;
- granulométrie sur échantillon ainsi "nettoyé" ;
- enfin, analyse totale de l'argile débarrassée des "amorphes" et "oxydes".

		A %	LF %	LG %	SF %	SG %	Σ
A ₂₂	ARRAS.....	11,8	12,1	11,1	56,0	6,7	97,7
	NANCY.....	11,0	18,2	8,8	52,2	7,8	98,0
(B)	ARRAS.....	44,9	6,2	6,3	35,5	0,9	93,8
	NANCY.....	53,0	5,6	2,9	31,7	1,6	94,8
C ₁	ARRAS....	22,7	6,5	6,4	59,2	1,1	95,9
	NANCY....	45,8	4,3	1,9	42,4	1,2	95,6

TABLEAU 56 :
COMPARAISON DES GRANULOMETRIES NORMALES (ARRAS)
ET APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE (NANCY).

Les granulométries obtenues après extraction des "amorphes" et "oxydes" diffèrent complètement de celles réalisées normalement. Après "nettoyage", on trouve beaucoup plus d'argile dans les horizons (B) et C₁ et moins de limons et de sables. En revanche, il y a bon accord pour l'horizon A₂₂ (tableau 56).

Il est vraisemblable que le traitement Mehra-Jackson (et plus particulièrement le dithionite) a désagrégé les grains de glauconite et que le résultat de cette désagrégation est comptabilisé dans la fraction < 2 μm. Cette hypothèse se voit confirmée par l'examen à la loupe binoculaire des limons et sables "nettoyés", parfaitement blancs, où ne se retrouve plus de glauconie.

La fraction < 2 μm analysée à NANCY contient en fait la totalité des minéraux phylliteux des horizons (B) et C₁. Les fractions limons et sables récupérées (qui vont pouvoir être analysées) ne contiennent plus que quartz, feldspaths et minéraux lourds.

Par différence on peut apprécier directement et grossièrement la quantité de glauconite en grains qui existait dans les limons et sables (tableau 57).

	LF	LG	SF	SG	Σ
(B)	0,6	3,4	3,8	-	7,8
C ₁	2,2	4,5	16,8	0	23,5

TABLEAU 57 :
ESTIMATION DE LA TENEUR EN GLAUCONITE DANS LES LIMONS ET LES SABLES
PAR COMPARAISON DES GRANULOMETRIES AVEC ET SANS TRAITEMENT AU DITHIONITE
(EN % DE LA TERRE FINE TOTALE)

La reconstitution sur la base des données de NANCY a permis d'obtenir une première série de teneurs en quartz (tableau 61).

Voie 2.

Reconstitution minéralogique par analyse des limons et sables "nettoyés" par le traitement Mehra-Jackson.

	Limos + Sables "nettoyés"				Amorphes + oxydes Fe,Al,Si.	< 2 μ m	Σ
	Quartz	Orthose	Oxydes de fer résistants	Rutile			
Horizon A ₂₂	80,10	4,04	0,89	0,42	2,10	11,0	98,55
Horizon (B)....	38,98	1,87	0,25	0,18	3,49	53,0	97,77
Horizon C ₁	46,16	2,31	0,34	0,25	1,86	45,8	96,72

TABLEAU 58 :

RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE PAR ANALYSE DES LIMONS + SABLES "NETTOYÉS" (VOIE 2)
(EN % DE LA TERRE FINE TOTALE)

Nous avons pris comme hypothèse que le fer ayant résisté aux traitements Tamm et Mehra-Jackson n'est plus imputable à de la glauconite mais correspond à des oxydes de fer "résistants". Quant au potassium, il proviendrait uniquement de l'orthose.

Après reconstitution minéralogique et pondération selon les données granulométriques, nous avons obtenu une deuxième approche des teneurs en quartz (tableau 61).

Voie 3.

Reconstitution minéralogique à partir des analyses totales (horizons totaux).

Faute de mieux, nous avons effectué la correction des "amorphes" et des "oxydes" en utilisant les dosages du fer Deb et de l'aluminium Tamm, seules données disponibles dans ce cas (et à ce moment).

Le tableau 59 présente les résultats obtenus sur la base de Fe₂O₃ et de MgO. On peut constater qu'ils s'accordent relativement bien.

	Calculs sur la base de Fe ₂ O ₃				Calculs sur la base de MgO			
	Quartz	Glauconite en grains	Orthose	Rutile	Quartz	Glauconite en grains	Orthose	Rutile
Horizon A ₂₂	79,0	3,0	3,0	0,4	79,0	2,8	3,2	0,4
Horizon (B)	37,8	15,2	0	0,1	40,6	8,5	1,2	0,2
Horizon (B)C	48,7	10,5	4,9	0,2	48,1	15,0	2,6	0,2
Horizon C ₁	48,7	24,3	0,6	0,2	47,9	26,8	0	0,2

TABLEAU 59 :

RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE DES LIMONS + SABLES A PARTIR DES ANALYSES CHIMIQUES
TOTALES (VOIE 3) (EN % DE LA TERRE FINE TOTALE)

Voie 4.

Reconstitution minéralogique à partir des analyses totales (fractions granulométriques).

Pour chaque fraction, la composition minéralogique a été évaluée selon les principes énoncés plus haut, sauf pour les fractions limons fins dans lesquelles il existe probablement des produits phylliteux qui ne sont plus de la glauconite intacte. Nous avons fondé les calculs sur l'hypothèse qu'il existait des produits de composition exactement intermédiaire entre celle de la glauconite intacte et celle des fractions < 2 μm actuelles. Après recombinaison de l'ensemble, nous disposons de nouvelles valeurs pour le quartz des limons et des sables (cf. tableau 61, p. 171). Cette voie de reconstitution a en outre l'avantage de nous renseigner sur l'abondance de la glauconite en grains au sein des diverses classes granulométriques.

Le tableau 60 traduit bien les deux phénomènes auxquels on pouvait s'attendre a priori : diminution de la quantité totale de glauconite en grains à mesure que l'on s'élève dans le solum, et fractionnement corrélatif des grains.

	LF 2-20 μm		LG 20-50 μm		SF ₁ 50-100 μm		SF ₂ 100-200 μm		Σ
	Produits phylliteux intermédiaires		Glauconite en grains		Glauconite en grains		Glauconite en grains		Glauconite en grains
Calculs sur la base de	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃
Horizon A ₂₂	15,6 2,2	10,0 1,4	7,9 1,0	6,8 0,9	2,4 0,9	2,8 1,0	2,9 0,8	2,8 0,8	2,7
Horizon (B)	69,6 8,8	60,6 7,7	72,1 9,3	72,9 9,4	17,9 8,8	18,6 9,1	9,0 2,1	9,6 2,3	20,2
Horizon (B) _X	68,9 7,5	58,5 6,4	68,5 6,9	66,3 6,7	18,1 10,5	17,9 10,4	23,1 4,6	22,1 4,4	22,0
Horizon C ₁	74,6 6,6	60,9 5,4	88,4 7,7	76,7 6,7	32,0 14,7	32,8 15,1	36,0 12,6	31,5 11,0	35,0

TABLEAU 60 :

GLAUCONITE EN GRAINS ET PRODUITS PHYLLITEUX INTERMÉDIAIRES (VOIE 4)
/ EN % DE CHAQUE FRACTION GRANULOMÉTRIQUE (LIGNE SUPÉRIEURE),
EN % DE LA SOMME LIMONS + SABLES (LIGNE INFÉRIEURE) /

b) Détermination du quartz par dissolution sélective
(méthode Kiely-Jackson, 1965).

Principes

Cette technique provoque une dissolution sélective des minéraux argileux mais laisse intacts le quartz et partiellement les feldspaths. Après une attaque au pyrosulfate de sodium, il demeure un résidu où sont dosés K, Na et Ca, éléments qui sont attribués aux trois catégories de feldspaths (orthose, albite, anorthite). Les taux de ces différents feldspaths sont calculés (en tenant compte de divers pourcentages de dissolution par le pyrosulfate, selon la nature des minéraux et la taille des particules) puis soustraits du poids total du résidu et l'on obtient ainsi le taux de quartz recherché. En outre, la différence entre le K₂O de l'échantillon initial et le K₂O du résidu est considéré comme correspondant au K₂O des argiles micacées dont on peut ainsi évaluer la quantité.

La méthode a été appliquée aux horizons totaux (Voie 5) mais aussi aux principales fractions granulométriques (Voie 6).

Difficultés

Outre les difficultés de manipulation (pertes de matières au cours de lavages répétés du résidu), on se heurte à d'autres problèmes lors des calculs. Les auteurs de la méthode ont proposé toute une série de coefficients de correction afin de compenser la dissolution plus ou moins importante du quartz et des divers feldspaths en fonction de la taille des particules. Nous ne savons rien de la validité de ces correctifs appliqués à des matériaux sédimentaires très argileux.

Toutefois les feldspaths s'avèrent très peu abondants dans notre sol. Ainsi le résidu, mesuré très facilement par simple pesée, représente (sauf pour les fractions $< 2 \mu\text{m}$) une quantité importante sur laquelle l'erreur relative est faible. Il correspond à peu de choses près au taux de quartz recherché.

Il se pose aussi le problème du choix d'un facteur de transformation pour passer du % de K_2O attribué aux argiles micacées au % de ces argiles. Kiely et Jackson (1965) ont proposé de raisonner sur des argiles à 10 % de K_2O , ce qui est notoirement trop élevé pour les minéraux argileux de notre sol. Les quatre glauconites vertes analysées ont un taux moyen de K_2O de 6,0 % et les fractions granulométriques "argile" n'excèdent pas 4,9 %.

La plupart des minéraux argileux sont, outre la glauconite elle-même, des produits de transformation de ce même minéral avec un taux de potassium variable en fonction de leur degré d'altération. Dans le cas d'un horizon pris dans son ensemble, la notion de teneur moyenne en K_2O des argiles micacées n'a guère de sens.

Notons, pour finir, que la méthode Kiely-Jackson est la seule qui permette d'apprécier les teneurs en quartz $< 2 \mu\text{m}$: 9,4 % en A_{22} , 2,5 % en (B) et 1,6 % en C_1 , soit respectivement 1,1 ; 1,1 et 0,4 % de la terre fine totale.

c) Récapitulation.

L'ensemble des données acquises par les six voies différentes est synthétisé dans le tableau 61 .

Les teneurs en quartz $< 2 \mu\text{m}$ ont été ajoutées aux résultats obtenus par les voies 1, 2, 3 et 4 qui ne concernaient que limons + sables.

	Voie 1	Voie 2	Voie 3	Voie 4	Voie 5	Voie 6
	Reconstitution avec extraction préalable des "oxydes" et "amorphes"	Reconstitution par analyse des limons et sables "nettoyés"	Reconstitution à partir des analyses chimiques courantes (horizon total)	(somme des fractions granulom.)	Méthode Kiely-Jackson (horizon total)	Méthode Kiely-Jackson (somme des fractions granulom.)
Horizon A_{22}	79,7	81,2	80,1 et 80,1	79,9	79,7	77,7
Horizon (B)	40,6	40,1	38,9 et 41,7	34,6	39,1	34,6
Horizon (B)C			49,2 et 48,6	42,7		
Horizon C_1	49,2	46,5	49,1 et 48,3	40,0	49,8	36,4

TABLEAU 61 :

TENEURS EN QUARTZ OBTENUES PAR LES SIX VOIES DE CALCUL
(RESULTATS EXPRIMES EN % DE LA TERRE FINE TOTALE)

Les résultats de l'horizon A₂₂ sont particulièrement concordants. Il n'en va pas de même des horizons (B) et C₁ pour lesquels les pourcentages de quartz obtenus par la somme des diverses fractions sont systématiquement inférieurs à ceux fournis directement sur l'horizon total.

Pour le bilan isoquartz, nous retiendrons en définitive les valeurs suivantes (moyennes pondérées) :

- A ₂₂	= 80,0 %
- (B)	= 39,2 %
- (B)C	= 47,6 %
- C ₁	= 47,8 %

D. BILANS ISOQUARTZ

a) Principes - Données de base.

Après avoir éliminé l'horizon C₂, trop différent granulométriquement, nous avons pris le C₁ comme horizon de référence. Celui-ci débute à 130 cm et, de ce fait, il a certainement subi un début d'évolution pédologique.

On suppose que la roche-mère était homogène à l'origine, jusque dans l'horizon C₁ actuel. Grâce à une étude détaillée des données granulométriques (chapitre III) une hétérogénéité importante a pu être exclue. Mais une parfaite homogénéité, à la fois granulométrique et minéralogique reste purement hypothétique à propos d'un matériau sédimentaire détritique.

On admet aussi qu'il n'y a eu en surface ni apports ni érosion. L'existence, dans les horizons A, de cailloux de grès ferrugineux, manifestement allochtones, laisse planer un certain doute.

Nous avons considéré que l'horizon A_{22g} pouvait caractériser l'ensemble des horizons A jusqu'à 45 cm de profondeur. (B) et (B)C représentent respectivement les tranches 45-75 cm et 75-130 cm. Les densités apparentes ont été mesurées (tableau 62).

b) Bilan pondéral global (tableau 62).

Ce premier bilan fournit déjà de précieuses indications : les horizons A apparaissent comme fortement appauvris (pertes de 40 % en poids) tandis que l'horizon (B) montre un net enrichissement (+ 22 %). Quant au (B)C, le gain de 0,4 % est certainement très inférieur aux erreurs d'analyses et de calculs et ne nous paraît donc pas significatif.

Il est possible, en outre, de faire un bilan des épaisseurs. Lors de la pédogénèse, l'acquisition d'une structuration pédologique (par opposition à la structuration sédimentaire initiale) s'accompagne normalement, à poids égal, d'une augmentation de volume (diminution de la densité apparente) donc d'épaisseur.

En A, on voit que le départ de matières entraîne une forte diminution d'épaisseur qui outrepassé nettement l'effet inverse induit par la structuration pédologique. En revanche, en (B), cette dernière vient s'ajouter à un faible gain de matières pour déterminer une augmentation de l'épaisseur (foisonnement).

	1 EPAISSEUR ACTUELLE en cm	2 DENSITE APPARENTE ACTUELLE	3 POIDS ACTUEL hg/dm ²	4 POIDS A L'ORIGINE hg/dm ²	DIFFERENCE		5 EPAISSEUR A L'ORIGINE en cm	DIFFERENCE D'EPAISSEUR 1 - 5 en cm
					3 - 4 hg/dm ²	$\frac{3 - 4}{4}$ %		
A	45	1,51	67,95	113,61	- 45,66	- 40,1 %	70,6	- 25,6
(B)	30	1,28	38,40	31,48	+ 6,92	+ 21,9 %	19,6	+ 10,4
(B)C	55	1,48	81,40	81,07	+ 0,33	+ 0,4 %	50,4	+ 4,6
C ₁	40	1,61	64,40	64,40	0	0	40	0

TABLEAU 62 :

BILAN PONDERAL GLOBAL.

Calculs : voir p.160

Poids exprimés en hectogrammes par décimètre carré.

c) Bilan en oxydes (tableau)
Nature des pertes et des gains.

Horizon	SiO ₂ *	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO
A	- 23,56 - 28,1 %	- 5,62 - 72,7 %	- 8,41 - 75,7 %	- 2,34 - 78,3 %	- 1,23 - 87,8 %	- 0,27 - 84,9 %
(B)	+ 2,56 + 11,0 %	+ 1,44 + 67,2 %	+ 1,02 + 33,1 %	+ 0,10 + 11,7 %	+ 0,08 + 20,9 %	- 0,04 - 43,1 %
(B)C	- 1,09 - 1,8 %	+ 0,03 + 0,5 %	- 0,39 - 4,9 %	+ 0,02 + 0,7 %	- 0,08 - 7,7 %	- 0,04 - 17,6 %
Σ A + (B) ..	- 21,0 - 19,6 %	- 4,18 - 42,3 %	- 7,39 - 52,1 %	- 2,25 - 58,8 %	- 1,15 - 64,2 %	- 0,35 - 75,8 %

TABLEAU 63 :

BILAN DES SIX PRINCIPAUX OXYDES.

GAINS OU PERTES EN POIDS ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.

* Le quartz étant supposé invariant par hypothèse, il s'agit donc uniquement de silice combinée.

Les résultats pour les six principaux éléments (Si, Al, Fe, K, Mg et Ca)(1) confirment entièrement le bilan global : horizons A très appauvris, horizon (B) nettement enrichi. Et, que l'on raisonne en poids total ou en oxydes, les pertes de matières des horizons A ne sont absolument pas compensées par les gains du sommet du (B). En ce qui concerne les 75 premiers centimètres du sol actuel (A + (B)), le bilan fait apparaître un solde négatif qui varie, suivant les éléments de 19,6 % à 75,8 %.

L'horizon (B)C quant à lui, ne paraît pas avoir connu de gains ou de pertes sensibles de matières par rapport à l'horizon C₁ de référence.

(1) Les teneurs en TiO₂ et en Na₂O sont très faibles. De ce fait les erreurs relatives risquent d'être très importantes de sorte qu'un bilan de ces deux oxydes n'a guère de signification.

Nature des pertes des horizons A (tableau 64)

Ce tableau montre que la composition des pertes des horizons A s'avère très voisine à la fois de celle de la glauconite en grains et de celle des fractions "argile" < 2 μm de l'horizon de référence. Cette ressemblance n'est certainement pas fortuite et traduit, à notre avis, le fait que l'appauvrissement des horizons A correspond soit à un entraînement mécanique des minéraux phylliteux hors du profil, soit à une dissolution totale des argiles avec évacuation de tous les résidus.

	Pertes en poids hg/dm ²	Composition de ces pertes en % de leur somme	Composition de la glauconite en grains en % horizon C ₁ SF ₂	Composition de la fraction < 2 μm horizon C ₁ en %
SiO ₂	- 23,56	56,87	56,48	55,27
Al ₂ O ₃	- 5,62	13,57	11,71	16,59
Fe ₂ O ₃	- 8,41	20,30	21,90	18,39
K ₂ O	- 2,34	5,65	6,50	5,71
MgO	- 1,23	2,96	3,05	3,38
CaO	- 0,27	0,65	0,90	0,12
Na ₂ O	-	-	0,16	0,11
TiO ₂	-	-	0,15	0,44
Σ	- 41,43	100,00	100,85	100,01

TABLEAU 64 :

PERTES DES HORIZONS A ET COMPARAISON
AVEC LES MINÉRAUX < 2 μm DE L'HORIZON DE RÉFÉRENCE

Nature des gains de l'horizon (B)

Si l'on considère les gains en oxydes de l'horizon (B), leur composition chimique s'établit ainsi (en %) : SiO₂ = 49,0 ; Al₂O₃ = 27,7 % ; Fe₂O₃ = 19,6 ; K₂O = 1,9 ; MgO = 1,6. Obtenue à partir de chiffres petits en valeur absolue et pouvant donc être entachés d'une forte erreur relative, elle est délicate à interpréter. Il pourrait s'agir de minéraux argileux 2/1 pauvres en potassium auxquels s'ajouteraient des oxydes ou hydroxydes de fer et d'aluminium relativement abondants.

d) Bilan des espèces minérales.

La lecture du tableau 65 appelle de notre part les réflexions suivantes. Le bilan des feldspaths apparaît d'une interprétation difficile : on ne voit pas comment il pourrait y avoir un gain de ces minéraux en A et en B. Il est établi certainement sur des valeurs entachées de trop d'erreurs.

En revanche celui de la glauconite en grains est conforme à ce que l'on pouvait en attendre.

Enfin, on constate que les minéraux phylliteux 2/1 représentent la quasi-totalité des pertes des horizons A et la majeure partie des gains de l'horizon

zon (B). Il n'y a là rien de surprenant puisque la composition du matériau originel se ramène, à peu de choses près, à un mélange quartz + minéraux argileux 2/1. Le quartz étant supposé invariant par hypothèse, les minéraux 2/1 peuvent seuls constituer les gains ou les pertes (avec l'humidité et les matières organiques, puisque nous raisonnons toujours sur la terre fine totale).

Horizon	Total des feldspaths		Glauconite en grains (limons + sables)		Somme des minéraux phylliteux 2/1 (y compris la glauconite en grains)		Rappel des gains ou pertes globaux de l'horizon en poids
	En poids	en % du poids originel	En poids	en % du poids originel	En poids	en % du poids originel	
A	+ 1,01	+ 61,5	- 29,66	- 91,5	- 43,9	- 84,2	- 45,66
(B)	+ 0,06	+ 13,3	- 4,36	- 48,6	+ 5,5	+ 38,2	+ 6,92
(B)C			- 11,30	- 48,9	- 0,3	- 0,9	+ 0,33
Σ A + (B) ..	+ 2,09	+ 51,1	- 34,02	- 82,2	- 38,4	- 57,6	

TABLEAU 65 :

BILAN ISOQUARTZ DES FELDSPATHS, DE LA GLAUCONITE EN GRAINS ET DE LA SOMME DES MINÉRAUX PHYLLITEUX 2/1 (Y COMPRIS LA GLAUCONITE EN GRAINS). GAINS ET PERTES PONDERAUX.

e) Bilan des fractions granulométriques.

Connaissant la granulométrie actuelle des horizons A et (B) ainsi que celle à l'origine (horizon de référence), on peut établir des bilans isoquartz selon les mêmes principes que précédemment sur n'importe quelle fraction.

Les résultats consignés dans le tableau 66 permettent de chiffrer "l'argilisation" des horizons (B) et l'appauvrissement en argile des horizons A. On constate aussi un enrichissement en limons des 130 premiers cm du profil, associé à des pertes corrélatives en sables fins.

HORIZON	A 0 - 2 µm	LF 2 - 20 µm	LG 20 - 50 µm	SF ₁ 50 - 100 µm	SF ₂ 100 - 200 µm	SG 200 - 2000 µm
A 0-45 cm.....	- 17,8 - 68,9 %	+ 0,84 + 11,3 %	+ 0,27 + 3,7 %	- 16,5 - 43,2 %	- 12,6 - 43,4 %	+ 3,3 + 264 %
(B) 45-75 cm.....	+ 10,1 + 141,1 %	+ 0,33 + 16,0 %	+ 0,41 + 20,3 %	- 1,40 - 13,2 %	- 3,6 - 45,1 %	0 0
(B)C 75-130 cm.....	+ 7,49 + 40,7 %	+ 0,35 + 6,6 %	+ 0,02 + 0,3 %	+ 2,80 + 10,2 %	- 10,4 - 50,1 %	- 0,32 - 35,9 %
Σ des 3 horizons....	- 0,19 - 0,3 %	+ 1,52 + 10,3 %	+ 0,70 + 4,8 %	- 15,09 - 19,8 %	- 26,69 - 46,1 %	+ 2,98 + 120 %

TABLEAU 66 :

BILAN DES FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES (GAINS OU PERTES EN VALEURS PONDERALES ABSOLUES ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE).

Nous savons que la désagrégation des grains de glauconite au sein des horizons (B) d'altération est responsable de modifications granulométriques qui vont dans le sens d'un passage des classes sables fins (50 à 200 μm) vers les classes limons (2 à 50 μm). Aussi un bilan a été établi non plus sur les fractions granulométriques brutes mais en tenant compte uniquement du quartz (tableau 67 réalisé à partir des données de la Voie 4).

On note que du quartz très fin (< 2 μm) s'est formé dans les horizons supérieurs. Dérive-t-il d'une fragmentation des limons ? Est-ce l'indice d'une altération chimique intense ? En tout cas, ce résultat semble logique, en accord avec l'existence d'un horizon E "albé".

HORIZON	A 0 - 2 μm	LF 2 - 20 μm	LG 20 - 50 μm	SF ₁ 50 - 100 μm	SF ₂ 100 - 200 μm	SG 200 - 2000 μm
A	+ 0,25 + 50 %	+ 4,33 + 243 %	+ 5,14 + 425 %	- 7,45 - 26 %	- 5,91 - 27 %	+ 3,61 + 386 %
(B)	+ 0,31 + 252 %	+ 0,20 + 45 %	+ 0,22 + 73 %	+ 0,57 + 8 %	- 1,32 - 24 %	+ 0,02 + 10 %
(B)C	+ 0,09 + 29 %	+ 0,33 + 29 %	+ 0,54 + 70 %	+ 4,82 + 26 %	- 5,68 - 41 %	- 0,13 - 21 %
E des 3 horizons...	+ 0,65 + 69 %	+ 4,86 + 145 %	+ 5,90 + 259 %	- 2,06 - 4 %	- 12,91 - 31 %	+ 3,51 + 199 %

TABLEAU 67 :

BILAN DU QUARTZ PAR FRACTIONS GRANULOMETRIQUES
(GAINS OU PERTES EN VALEURS PONDERALES ABSOLUES ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE).

Pour les autres fractions granulométriques, on perçoit très bien un affinement des grains de quartz à mesure que l'on monte dans le profil : il y a diminution des sables fins et gains importants de limons.

Cet affinement peut être interprété de trois façons :

1. le matériau était effectivement homogène à l'origine. Il y a eu division des quartz ;
2. toujours dans l'hypothèse d'un matériau homogène, il y a eu contamination des horizons de surface par des apports limoneux ;
3. le matériau n'était pas vraiment homogène à l'origine. Une "dérive granulométrique" existait dès le départ.

Nous ne disposons d'aucun moyen pour choisir parmi ces trois interprétations. Notons seulement que la "dérive" aurait pu jouer dans n'importe quel sens, aussi bien vers le grossissement des grains de quartz que vers l'affinement. L'effet observé ici correspond mieux à un saupoudrage de limons ou à une micro-division pédogénétique.

Remarquons que l'interprétation numéro 3 remet en cause le raisonnement isoquartz suivi jusqu'ici et basé sur l'hypothèse d'un matériau homogène.

Quant aux grains de sables grossiers, ils peuvent être expliqués de deux façons :

1. par la "dérive granulométrique" toujours possible. Mais les horizons C₂ et C₄ montrent des granulométries beaucoup plus grossières que les quatre horizons sur lesquels nous raisonnons. L'augmenta-

tion des sables grossiers en surface ne concorde pas avec cette évolution en profondeur ;

2. par des contaminations d'origine extérieure. Dans cet ordre d'idées, on pourrait faire appel à l'influence des fragments de grès ferrugineux qui ont, en effet, un squelette sableux grossier.

Les différences granulométriques des fractions quartzeuses apparaissent également sous la forme classique des "squelettes granulométriques" (limons et sables "nettoyés") (tableaux 68 et 69).

Horizon	EN % DE LEUR SOMME			
	LF	LG	SF	SG
A ₂₂	20,9	10,1	60,0	9,0
(B)	13,4	6,9	75,8	3,8
C ₁	8,6	3,8	85,1	2,4

TABLEAU 68 :

"SQUELETTES GRANULOMETRIQUES" DES LIMONS ET SABLES "NETTOYES"
(DEBARRASSES DE LA GLAUCONITE EN GRAINS PAR TRAITEMENTS AUX REACTIFS
DE TAMM ET MEHRA-JACKSON. VOIES 1 ET 2).

Horizon	EN % DE LEUR SOMME					
	LF	LG	SF ₁	(SF T)	SF ₂	SG
A ₂₂	12,8	12,5	37,8	(66,4)	28,6	8,1
(B)	7,0	5,0	56,1	(86,1)	30,0	1,9
(B)C	6,2	4,7	66,2	(87,7)	21,5	1,0
C ₁	5,6	3,3	50,5	(89,3)	38,8	1,5

TABLEAU 69 :

"SQUELETTES GRANULOMETRIQUES" DES LIMONS ET SABLES NON GLAUCONIEUX
(RESULTATS OBTENUS PAR LA VOIE 4).

E. DISCUSSION

Grâce à la confrontation de plusieurs techniques, tant qualitatives que quantitatives, il a été possible d'évaluer les teneurs en quartz des principaux horizons du profil étudié. La convergence des différents résultats a permis d'asseoir le bilan isoquartz avec une sécurité raisonnable.

Son établissement a permis d'apprécier les gains et les pertes des principaux éléments chimiques et des minéraux. Enfin, le bilan vient corroborer des observations macro et micromorphologiques ou hydrodynamiques.

Cependant, l'interprétation des données ainsi acquises n'est pas aisée. En particulier celles obtenues pour les fractions granulométriques non glauconieuses conduit à un dilemme : l'affinement du quartz dans les horizons A par rapport aux horizons (B) et C résulte-t-il uniquement d'une microdivision des grains de quartz au cours de la pédogénèse ou doit-il être expliqué aussi par une hétérogénéité de la roche-mère à l'origine ?

Dans le premier cas, tous les arguments qualitatifs et quantitatifs s'accordent harmonieusement. Dans le second cas, le bilan isoquartz est remis en cause dans ses principes mêmes.

Si, pour une raison quelconque, du quartz a été enlevé des horizons A au cours de la pédogénèse (dissolution ou érosion), le raisonnement isoquartz conduirait à un bilan erroné. Dans ce cas, les pertes de A se trouveraient sous-estimées et les gains de (B) sur-évaluées.

Au contraire, si du quartz a été apporté en surface (contamination éolienne, par exemple), les bilans seront faussés de manière inverse.

°
° °
°

Le "ventre" d'argile observé dans le profil HERY, n'est pas le résultat d'une accumulation absolue d'argile par illuviation ; mais il correspond en fait à la conjonction de trois phénomènes d'ampleurs très différentes :

- une "argilisation" notable des grains de glauconie suite à leur désagrégation, phénomène ascendant qui s'amplifie à mesure que l'on se rapproche de la surface du sol ;
- un appauvrissement considérable des horizons supérieurs en argile, processus à dynamique latérale mais conduisant probablement à l'approfondissement progressif du "plancher" argileux ;
- une petite accumulation d'argile illuviée limitée à la tranche 45-75 cm.

A HERY, les horizons argileux sont donc bien essentiellement des horizons (B) d'altération.

3. PROFIL PONTIGNY

A. PRESENTATION DU PROFIL ET DÉTERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

Le profil est développé dans une argile grise, calcaire, sableuse et glauconieuse de l'Albien supérieur.

Le lecteur trouvera en annexe (annexes n° 6) une présentation qualitative et quantifiée de ce sol ainsi que le détail des reconstitutions minéralogiques ayant abouti à la détermination des taux de quartz.

Par rapport au profil d'HERY, nous avons bénéficié de deux circonstances favorables mais nous nous sommes heurtés aussi à trois particularités qui ont compliqué la réalisation du bilan minéralogique :

- il y a très peu de sables > 100 μm : certaines déterminations du quartz en ont été facilitées ;
- l'homogénéité du "squelette" semble démontrer la très bonne homogénéité initiale du matériau : ce fait est essentiel pour la validité du bilan ;
- mais les horizons C sont calcaires : tous les calculs en ont été compliqués ; deux bilans pourront être réalisés : l'un avec et l'autre sans le CO_3Ca ;
- la muscovite est présente, son abondance est inconnue ;
- la composition minéralogique des fractions < 2 μm est beaucoup plus complexe que dans le cas du profil d'HERY : outre la kaolinite présente en quantité non négligeable, il n'est pas exclu qu'il y ait également de l'illite.

La roche-mère contient 3 à 4 fois moins de glauconie en grains que celle de HERY.

Seules les voies 3, 4 et 5 ont pu être suivies pour déterminer les taux de quartz (reconstitutions à partir des analyses totales et dissolution sélective). La méthode Kiely-Jackson appliquée aux fractions < 2 μm a permis d'évaluer les teneurs en quartz très fin, soit 15,7 % en A_2 , 4,0 % en $(\text{B})_1$, 3,7 % en $(\text{B})_2$ et 2,9 % en C_2Ca .

B. BILANS ISOQUARTZ

a) Données de base.

Nous avons considéré que l'horizon A_{21} représenterait l'ensemble des horizons A soit une épaisseur de 42 cm. L'horizon $(\text{B})_1$ sera regroupé avec l'horizon (B) dégradé qui lui est immédiatement supérieur, l'ensemble faisant 28 cm.

L'horizon de référence sera l'horizon C₂Ca. Il pourra être considéré tel qu'il est actuellement avec 26,5 % de CO₃Ca (mais nous savons qu'il est le siège d'une certaine accumulation absolue de calcite) ou bien décarbonaté (le CO₃Ca étant exclu par une règle de trois).

L'HORIZON	SERA REPRESENTE PAR	SOIT UNE EPAISSEUR DE	DENSITE APPARENTE			TAUX DE QUARTZ EN %
			MESUREE AU DENSITOMETRE	CALCULEE PAR GAMMAMETRIE	RETENUE	
A ₁ A ₂₁ A ₂₂	A ₂₁	42 cm	1,47	1,35 1,42	1,376	74,8
(B) _d (B) ₁	(B) ₁	28 cm	1,43	1,40 1,43	1,423	42,5
(B) ₂	(B) ₂	15 cm	-	1,53	1,53	42,5
C ₁ C ₂ Ca	C ₂ Ca	40 cm	1,63	1,58 1,63	1,598	36,1 ou 49,1

TABLEAU 70 :
PONTIGNY. LES DONNEES DE BASE DES BILANS ISOQUARTZ.

b) Bilan pondéral global.

Les chiffres du tableau 71 montrent bien l'importance des pertes pondérales globales de tous les horizons, mais ils tiennent compte du CO₃Ca (26,5% à l'heure actuelle dans l'horizon C₂ et 0 % dans les autres). En outre, ces pertes sont exagérées par le fait que l'horizon de référence est un horizon d'accumulation de carbonates et qu'il n'est donc pas resté identique à lui-même au cours du temps, au moins en ce qui concerne CO₃Ca.

	POIDS ACTUEL en hg/dm ²	POIDS A L'ORIGINE en hg/dm ²	DIFFERENCE (PERTES)		PERTES EN % DU POIDS A L'ORIGINE	EPAISSEUR EN CM		
			en hg/dm ²	(dont CO ₃ Ca)		A L'ORIGINE	ACTUELLE	≠
A	57,79	119,75	- 61,96	(- 31,7)	- 51,7 %	74,9	42	- 32,9
(B) ₁	39,84	46,90	- 7,06	(- 12,4)	- 15,1 %	29,3	28	- 1,3
(B) ₂	22,95	27,01	- 4,06	(- 7,2)	- 15,0 %	16,9	15	- 1,9
Σ A+(B) ₁ +(B) ₂	120,58	193,66	- 73,08	(- 51,3)	- 37,7 %	121,1	85	- 36,1

TABLEAU 71 :
BILAN PONDERAL GLOBAL INCLUANT LE CO₃Ca ET BILAN DES EPAISSEURS.

Aussi nous intéresserons nous plutôt aux données du tableau 72 .
Trois faits essentiels se dégagent immédiatement :

- fortes pertes de matières en A : 34,3 % du poids à l'origine ;
- notables gains de matières en (B) : 15,5 % du poids à l'origine ;
- les gains des horizons (B) sont très inférieurs aux pertes des horizons A : 8,43 hg contre 30,23 hg. En d'autres termes, 29 % des pertes des horizons A se retrouveraient en (B) tandis que 71 % de ces pertes auraient été évacuées latéralement hors du profil.

HORIZON	POIDS ACTUEL	POIDS A L'ORIGINE	DIFFERENCE	DIFFERENCE EN % DU POIDS A L'ORIGINE
A	57,79	88,02	- 30,23	- 34,3 %
(B) ₁	39,84	34,49	+ 5,35	+ 15,5 %
(B) ₂	22,95	19,87	+ 3,08	+ 15,5 %
A+(B) ₁ +(B) ₂	120,58	142,38	- 21,80	- 15,3 %

TABLEAU 72 :
BILAN PONDERAL GLOBAL EXCLUANT LE CO₃Ca
(poids exprimés en hg/dm²)

c) Bilan en oxydes - Nature des pertes et des gains.

HORIZONS	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	TiO ₂
A	- 14,84 - 22,7 %	- 7,98 - 72 %	- 4,33 - 79,9 %	- 1,39 - 67,4 %	- 1,00 - 84,4 %	- 0,75 - 89,6 %	- 0,23 - 28,6 %
(B) ₁	+ 2,16 + 8,4 %	+ 0,89 + 20,4 %	+ 0,26 + 12,3 %	+ 0,13 + 16,0 %	0 0 %	- 0,13 - 40,4 %	0 0 %
(B) ₂	+ 1,51 + 10,3 %	+ 0,42 + 16,9 %	+ 0,05 + 3,7 %	+ 0,06 + 13,1 %	+ 0,01 + 4,4 %	- 0,04 - 20,9 %	+ 0,01 + 5,4 %
Bilan pour l'ensemble des 3 horiz.	- 11,17	- 6,67	- 4,02	- 1,20	- 0,99	- 0,92	- 0,22

TABLEAU 73 :
BILAN DES SEPT PRINCIPAUX OXYDES.

Gains ou pertes en poids et en % du poids à l'origine (CO₃Ca exclu).

Le bilan des sept principaux éléments confirme le bilan global : pertes généralisées en A ; gains systématiques en (B) (sauf en CaO) ; déséquilibre flagrant entre pertes de A et gains de (B). Il y a bien eu, au cours de l'évolution de ce sol, pertes en tous les éléments.

Nature des pertes des horizons A.

La composition des pertes des horizons A s'avère très voisine de celles des fractions < 2 µm. L'appauvrissement des horizons A résulterait essentiellement d'un départ des particules les plus fines, < 2 µm. Nous verrons plus loin si ce fait est confirmé par le bilan des fractions granulométriques.

Ces pertes sont cependant moins riches en SiO₂ que les fractions "argiles" des horizons actuels ce qui correspond bien avec l'accumulation relative de quartz déjà signalée plus haut en A₂.

	pertes en poids hg/dm ²	composition de ces pertes en % de leur somme	composition de la fraction < 2 µm en % en calciné après déduction du quartz*		composition de la glauconie en grains de 50 à 100µm horiz.C ₁
			HORIZON A ₂₁	HORIZON (B) ₁	
SiO ₂	- 14,84	48,62	55,09	55,21	54,30
Al ₂ O ₃	- 7,981	26,15	26,18	25,06	12,68
Fe ₂ O ₃	- 4,33	14,19	9,61	11,11	20,43
K ₂ O	- 1,389	4,55	3,36	3,62	7,39
MgO	- 1,003	3,29	3,85	3,87	3,15
CaO	- 0,75	2,46	0,17	0,16	1,39
Na ₂ O	-	-	0,24	0,25	0,06
TiO ₂	- 0,229	0,75	1,49	0,73	0,60
Somme	- 30,522	100,01	99,99	100,01	100,00

* quartz dosé par la méthode Kiely-Jackson.

TABLEAU 74 :

COMPOSITION DES PERTES DES HORIZONS A ET COMPARAISON
AVEC CERTAINES FRACTIONS PHYLLITEUSES DU PROFIL.

Nature des gains de l'horizon (B)₁.

La composition de ces gains en oxydes (exprimés en calciné) est la suivante :

62,5 % de SiO₂ ; 25,6 % de Al₂O₃ ; 7,6 % de Fe₂O₃ ; 3,7 % de K₂O.

Obtenue à partir de valeurs très faibles, elle peut être entachée d'une forte erreur relative. Toutefois ces gains sont très nettement plus riches en silice que les pertes des horizons A ; ils sont très pauvres en fer et ne contiendraient plus de magnésium.

d) Minéralogie des fractions < 2 µm (tableaux 75 et 76).

Nous récapitulons ci-dessous un certain nombre de déterminations quantitatives qui vont nous permettre d'aboutir au tableau 76 .

Détermination du quartz :

- fourni directement par la méthode Kiely-Jackson de dissolution sélective (voir colonne 1) ;
- fourni par un raisonnement chimique simple : raisonnement sur SiO₂

La glauconie intacte du profil et la kaolinite font approximativement 53 à 54 % de SiO₂ (en calciné), le quartz = 100 %. La teneur observée pour chaque horizon fournit une approximation de la teneur en quartz (voir colonne 2).

Détermination de la kaolinite :

- obtenue par raisonnement sur les pertes pondérales liées aux pertes d'OH⁻ (ATP). Hypothèse que la kaolinite perd 13,8 % et les minéraux 2/1 perdent 4,6 % (en calciné). Correction par le taux de quartz précédemment déterminé.

Deux façons d'évaluer la perte en OH⁻ (colonnes 4 et 5).

Détermination de la teneur en minéraux 2/1
(illites + glauconite + muscovite) :

- comme ci-dessus à partir des diagrammes d'ATP, deux façons d'évaluer les pertes en OH⁻ (colonnes 6 et 7).

Détermination de la glauconite supposée intacte et de la somme
/kaolinite + illite/ :

- raisonnement sur Al₂O₃
hypothèse d'un mélange de :

- quartz	à 0 %	d'Al ₂ O ₃	} en calc
- glauconite	à 12,5 %	"	
- kaolinite	à 45,9 %	"	
- illite	à 40,2 %	"	

kaolinite et illite ont des teneurs en alumine assez voisines et très différentes de la glauconite et du quartz. D'où l'estimation du taux de glauconite intacte (colonne 8) et de la somme /kaolinite + illite/ (colonne 9).

Fraction < 2 μm de L'horizon	1 Quartz Kiely SiO ₂	2 Quartz + Felds.	3 Kaolinite	4 Minéraux 2/1	5 Glauconite	6 Kaolinite + Illite	7	8	9
A ₂₁	18,1	20	21	8	13	72	67	45	37
(B) ₁	4,8	5,0	6,8	5	9	89	85	59	36
(B) ₂	4,4	6,3	5,5	6	11	89	84	64	32
C ₂ Ca	3,5	3,7	4,9	13	17	83	78	53	44

TABLEAU 75 :

RESULTATS DES DIVERSES ESTIMATIONS CONCERNANT LES ESPECES MINERALOGIQUES DES FRACTIONS < 2 μm.

VALEURS EXPRIMEES EN % DES ECHANTILLONS CALCINES A 1100°C.

Tous les chiffres sont exprimés en % de la fraction < 2 μm après chauffage à 1100° (= calcination).						
HORIZON	QUARTZ + FELDSPATHS	KAOLINITE	GLAUCONITE	ILLITE	Σ	Rappel de la colonne 7 du tableau précédent à rapprocher de /G + I/
			$\bar{G} + \bar{I}$			
A ₂₁	20	13	45	24	102	67
(B) ₁	6	9	59	27	101	85
(B) ₂	5	11	64	21	101	84
C ₂ Ca	4	17	53	27	101	78

TABLEAU 76 :

COMPOSITION MINERALOGIQUE DES FRACTIONS < 2 μm DEDUITE DU TABLEAU PRECEDENT. ON REMARQUERA LE BON ACCORD ENTRE G + I ET "ARGILES 2/1, MALGRE DES METHODES D'ESTIMATION APPROXIMATIVES.

HORIZON	Somme des feldspaths (moyenne des voies 3 et 5)	KAOLINITE	GLAUCONITE TOTALE	ILLITE + MUSCOVITE	Somme des minéraux phylliteux 2/1 y compris la glauconite en grains	Rappel des gains ou pertes globaux de l'horizon (en poids)
A	- 0,184 - 5 %	- 4,023 - 77 %	- 23,509 - 84 %	- 6,632 - 67 %	- 30,141 - 80 %	- 30,23
(B) ₁	+ 0,285 + 20 %	- 0,402 - 20 %	+ 1,259 + 12 %	+ 2,236 + 57 %	+ 3,495 + 24 %	+ 5,35
(B) ₂	+ 0,107 + 13 %	- 0,138 - 12 %	+ 1,207 + 19 %	+ 0,439 + 20 %	+ 1,646 + 19 %	+ 3,08
Σ des 3 horiz.	+ 0,208 + 4 %	- 4,563 - 54 %	- 21,043 - 47 %	- 3,957 - 25 %	- 25,000 - 41 %	

TABLEAU 77 :

BILAN ISOQUARTZ DES PRINCIPALES ESPECES MINERALES.
GAINS ET PERTES EN POIDS (hg/dm²) ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.
HORIZON DE REFERENCE : C₂Ca DECARBONATE.

Les reconstitutions minéralogiques des fractions < 2 µm sont très délicates. Leurs résultats doivent être considérés avec beaucoup de prudence. Aussi le tableau 77 est-il contestable. Le bilan des feldspaths et celui de la kaolinite semblent établis sur des valeurs entachées de trop d'erreurs et ne présentent guère de fiabilité. Cependant on constate tout de même :

- les fortes pertes en A ;
- les gains modestes en (B) ;
- la quasi équivalence entre pertes pondérales globales et pertes en minéraux phylliteux : ce sont presque exclusivement des argiles (au sens minéralogique du terme) qui ont été perdues par les horizons A.

f) Bilan des fractions granulométriques.

Les résultats consignés dans le tableau 78 permettent de suivre l'argilisation des grains de glauconie au sein des horizons (B) et de chiffrer l'appauvrissement en argile granulométrique des horizons A.

Afin d'effacer l'influence de la désagrégation des grains de glauconie, nous avons établi le bilan granulométrique en tenant compte uniquement du quartz (tableau 79 réalisé à partir des données fournies par la Voie 4).

On note ainsi :

- que du quartz très fin apparaît dans les horizons supérieurs ;
- que les fractions SF₁ et LG diminuent au profit de la fraction LF (microdivision) ;
- que les sables les plus grossiers augmentent (ce qui n'est explicable que par une contamination ou une érosion sélective).

Il semble donc bien y avoir eu affinement des grains de quartz.

	A < 2 μm	LF 2 - 20 μm	LG 20 - 50 μm	SF ₁ 50 - 100 μm	SF ₂ + SG 100-2000 μm
A	- 20,88 - 70,0 %	- 0,56 - 4,7 %	- 0,55 - 4,0 %	- 7,42 - 26,2 %	+ 1,20 + 171 %
(B) ₁	+ 5,92 + 50,6 %	+ 0,92 - 19,8 %	- 1,16 - 21,5 %	- 1,30 - 11,7 %	+ 0,32 + 117 %
(B) ₂	+ 2,45 + 36,3 %	+ 0,74 + 27,5 %	- 0,48 - 15,6 %	+ 0,08 + 1,2 %	- 0,04 - 28 %
Σ des trois horizons	- 12,52 - 25,9 %	+ 1,11 + 5,7 %	- 2,19 - 9,9 %	- 8,65 - 18,9 %	+ 1,48 + 130 %

TABLEAU 78 :

BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

GAINS OU PERTES EN VALEURS PONDERALES ABSOLUES ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.
(HORIZON DE REFERENCE : HORIZON C₂Ca DECARBONATE).

	A < 2 μm	LF 2 - 20 μm	LG 20 - 50 μm	SF ₁ 50 - 100 μm	SF ₂ + SG 100-2000 μm
A	+ 0,42 + 42,5 %	+ 3,22 + 63 %	- 0,10 - 0,8 %	- 4,66 - 18,8 %	+ 1,14 + 226 %
(B) ₁	+ 0,34 + 91 %	+ 1,11 + 58 %	- 1,01 - 22,2 %	- 0,77 - 8,3 %	+ 0,34 + 182 %
(B) ₂	+ 0,12 + 51 %	+ 0,65 + 56 %	- 0,63 - 22,7 %	- 0,13 - 2,3 %	- 0,01 - 10 %
Σ des trois horizons	+ 0,88 + 55 %	+ 4,98 + 61 %	- 1,74 - 8,9 %	- 5,56 - 14,0 %	+ 1,47 + 182 %

TABLEAU 79 :

BILAN DU QUARTZ PAR FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

GAINS OU PERTES EN VALEURS PONDERALES ABSOLUES ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.

g) Vérification de l'homogénéité initiale du matériau.

Si l'on s'intéresse seulement au quartz (supposé inaltérable) on peut, à partir des données fournies par la Voie 4, établir la répartition actuelle du quartz selon les 6 fractions granulométriques (tableau 80).

A l'heure actuelle, il n'y a pas de différence très sensible d'un horizon à l'autre. Les quelques légères variations décelables (augmentation de LF et SG et diminution de SF₁ quand on se rapproche de la surface du sol) viennent d'être reconnues au chapitre précédent et peuvent être attribuées à la pédogénèse ou à une légère contamination.

HORIZON	A	LG	LG	SF ₁	SF ₂	SG
A ₂₁	3,22	19,05	27,71	46,26	0,90	2,86
(B) ₁	4,32	18,46	21,73	52,25	1,37	1,88
(B) ₂	3,42	18,25	21,60	55,69	0,37	0,67
C ₂	2,26	11,68	27,93	56,97	0,56	0,60

TABLEAU 80 :
REPARTITION GRANULOMETRIQUE ACTUELLE DU QUARTZ.
CHIFFRES EXPRIMES EN % DU QUARTZ TOTAL.

Tout confirme donc que le matériau était bien homogène à l'origine. Ce fait valide à posteriori tout le bilan isoquartz.

4. PROFIL REBOURSEAUX

A. PRESENTATION DU PROFIL ET DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

Ce sol s'est développé à partir d'une roche-mère non calcaire et non glauconieuse de l'Albo-Cénomaniens.

La présentation complète de ce profil figure en annexes ainsi que le détail des reconstitutions minéralogiques menant à l'estimation des taux de quartz.

Nous avons fait analyser tous les horizons afin de pouvoir réaliser des bilans isoquartz plus détaillés. Malheureusement, nous avons découvert deux séries d'anomalies qui risquent fort de mettre en cause ces bilans de matières dans leur principe même :

- si, dans son ensemble, le profil apparaît assez uniforme au plan granulométrique, dans le détail de nombreuses petites variations font mettre en doute sa parfaite homogénéité initiale ;
- plus grave encore, de grosses anomalies chimiques sont apparues, touchant tout particulièrement le potassium.

Nous avons abouti à la conclusion que le matériau dans lequel le sol s'est différencié n'était pas minéralogiquement homogène à l'origine. Nous allons voir également que se pose le problème du choix du meilleur horizon de référence. Ainsi, pour ce profil, nous nous trouvons dans de mauvaises conditions pour réaliser des bilans isoquartz vraiment satisfaisants. Nous les présenterons cependant et verrons, en fin de compte, quels enseignements peuvent tout de même en être tirés.

B. BILANS ISOQUARTZ

a) Données de base.

Le tableau 81 rassemble toutes les données de base du bilan isoquartz. Pour ce profil, nous disposons des valeurs pour chacun des horizons.

HORIZON	EPAISSEUR TOTALE EN cm	DENSITE APPARENTE DENSITOMETRE A MEMBRANE	TENEUR EN QUARTZ RETENUE
A ₂₁	30	1,44	68,3
A ₂₂	10	1,47	63,5
A/(B)	15	1,59	51,6
(B) ₁	15	1,62	43,2
(B) ₂	20	1,57	43,9
(B)-C ₁	20	1,67	43,9
(B)-C ₂	30	1,73	40,2

TABLEAU 81 :
DONNEES DE BASE DU BILAN ISOQUARTZ.
PROFIL REBOURSEAUX.

b) Bilan pondéral global - Problème de l'horizon de référence.

Selon que l'on choisit comme horizon invariant de référence (B)C₁ ou (B)C₂, les résultats du bilan pondéral global sont bien différents (tableau 82).

A priori, (B)C₂, plus profond, doit être moins altéré et a moins de chance d'avoir reçu des produits d'illuviation. A ce double titre, il devrait mieux correspondre à l'horizon de référence. Cependant, on voit mal pourquoi et comment il y aurait tant de pertes en (B)C₁, (B)₂ et (B)₁ trois horizons qui se ressemblent beaucoup sur le terrain et qui paraissent plutôt avoir reçu que perdu (présence de revêtements argileux sur les faces des agrégats en (B)₁ et (B)₂).

Si nous prenons comme référence l'horizon (B)C₁, il n'y aurait eu aucune perte en (B)₂ et un faible gain de matière en (B)₁.

L'examen morphologique de la fosse (voir chapitre II) avait permis de constater l'existence de gros revêtements argileux gris sur les faces des prismes entre 90 et 140 cm, c'est-à-dire en (B)C₁ et (B)C₂. On pourrait donc également admettre que l'horizon (B)C₂ n'est pas assez profond pour servir d'horizon de référence idéal et qu'il aurait pu recevoir une certaine quantité de matières sous formes de revêtements argileux d'illuviation secondaire (JAMAGNE, 1973). Dans ce cas, le tableau 82 pourrait être interprété non plus avec (B)C₂ stable et les autres horizons (B) avec des pertes légères mais avec (B)C₂ partiellement illuvial et les autres horizons (B) ayant moins reçu de matières.

Nous ne disposons, pour l'instant, d'aucun moyen pour trancher entre les deux hypothèses : (B)-C₂ serait un mauvais horizon de référence car

- trop profond et trop différent des autres (matériau non homogène) ;
- pas assez profond, et ayant reçu des apports argileux liés à une illuviation secondaire.

Dans les deux cas, un fait important demeure : on constate de fortes pertes pondérales en A₂₁, A₂₂ et A/(B), d'autant plus fortes que l'on se rapproche de la surface. Ce gradient paraît logique. En outre, les gains éventuels de (B)₁ ne compensent absolument pas les pertes des autres horizons.

	POIDS ACTUEL hg/dm ²	POIDS ORIGINEL hg/dm ²	PERTE ou GAIN en hg/dm ²	PERTE ou GAIN en % du POIDS ORIGIN.
A ₂₁	43,20	73,39	- 30,19	- 41,1 %
A _{22g}	14,70	23,24	- 8,53	- 36,7 %
A/(B)	23,85	30,62	- 6,77	- 22,1 %
(B) ₁	24,30	26,12	- 1,82	- 6,9 %
(B) ₂	31,40	34,30	- 2,90	- 8,4 %
(B)-C ₁	33,40	36,45	- 3,05	- 8,4 %
(B)-C ₂	51,90	51,90	0	0
Horizon de référence Σ A ₂₁ →(B)-C ₁	170,85	224,12	- 53,26	- 23,8 %

	POIDS ACTUEL hg/dm ²	POIDS ORIGINEL hg/dm ²	PERTE ou GAIN en hg/dm ²	PERTE ou GAIN en % du POIDS ORIGIN.
A ₂₁	43,20	67,25	- 24,05	- 35,8 %
A _{22g}	14,70	21,29	- 6,59	- 31,0 %
A/(B)	23,85	28,06	- 4,21	- 15,0 %
(B) ₁	24,30	23,93	+ 0,37	+ 1,6 %
(B) ₂	31,40	31,43	- 0,03	- 0,1 %
(B)-C ₁	33,40	33,40	0	0
Horizon de référence Σ A ₂₁ →(B) ₂	137,45	171,96	- 34,51	- 20,1 %

TABLEAU 82 :
BILANS PONDERAUX GLOBAUX.
DIFFERENCES SELON L'HORIZON DE REFERENCE CHOISI.

	POIDS A L'ORIGINE hg/dm ²	EPAISSEUR EN cm			POIDS A L'ORIGINE hg/dm ²	EPAISSEUR EN cm		
		A L'ORIGINE	ACTUELLE	≠		A L'ORIGINE	ACTUELLE	≠
A ₂₁	73,39	42,4	30	- 12,4	67,25	40,3	30	- 10,3
A _{22g}	23,24	13,4	10	- 3,4	21,29	12,7	10	- 2,7
A/(B)	30,62	17,7	15	- 2,7	28,06	16,8	15	- 1,8
(B) ₁	26,12	15,1	15	invar.	23,93	14,3	15	+ 0,7
(B) ₂	34,30	19,8	20	invar.	31,43	18,8	20	+ 1,2
(B)C ₁	36,45	21,1	20	- 1,1	33,40	20,0	20	invar.
(B)C ₂	51,90	30,0	30	invar.				

TABLEAU 83 :

BILANS DES EPAISSEURS.
DIFFERENCES SELON L'HORIZON DE REFERENCE CHOISI.

c) Bilan en oxydes - Nature des pertes.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂
A ₂₁	- 8,91 - 19,1 %	- 6,07 - 69,2 %	- 2,852 - 76,8 %	- 0,277 - 30,5 %	- 0,376 - 76,7 %	+ 0,075 + 42,9 %	- 0,207 - 71,1 %	- 0,173 - 29,7 %
A _{22g}	- 2,55 - 17,3 %	- 1,64 - 59,0 %	- 0,735 - 62,6 %	- 0,046 - 16,0 %	- 0,099 - 63,9 %	+ 0,032 + 58,2 %	- 0,065 - 70,7 %	- 0,048 - 25,9 %
A/(B)	- 1,34 - 6,9 %	- 1,09 - 29,8 %	- 0,500 - 32,3 %	+ 0,074 + 19,5 %	- 0,055 - 26,8 %	+ 0,059 + 80,8 %	- 0,071 - 58,7 %	- 0,024 - 9,9 %
(B) ₁	+ 0,93 + 5,6 %	- 0,04 - 1,3 %	- 0,133 - 10,1 %	+ 0,139 + 43,0 %	+ 0,019 + 10,9 %	+ 0,052 + 83,9 %	- 0,019 - 18,3 %	0 0 %
(B) ₂	+ 0,58 + 2,7 %	- 0,07 - 1,7 %	- 0,083 - 4,8 %	+ 0,088 + 20,8 %	+ 0,016 + 6,9 %	+ 0,044 + 53,7 %	0 0 %	0,005 - 1,8 %
Σ	- 11,29	- 8,91	- 4,303	- 0,022	- 0,495	+ 0,262	- 0,362	- 0,250

TABLEAU 84 :

BILAN EN OXYDES.
GAINS OU PERTES EN POIDS ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.
HORIZON DE REFERENCE = (B)-C₁.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂
A ₂₁	-13,7 -25,9 %	-7,01 -72,2 %	-3,463 -80,1 %	-0,250 -28,4 %	-0,458 -80,1 %	+0,074 +42,0 %	-0,326 -79,5 %	-0,263 -39,1 %
A _{22g}	-3,91 -24,3 %	-1,93 -62,9 %	-0,929 -67,9 %	-0,038 -13,6 %	-0,125 -69,1 %	+0,031 +55,4 %	-0,103 -79,2 %	-0,076 -35,7 %
A/(B)	-3,11 -14,6 %	-1,48 -36,5 %	-0,755 -41,9 %	+0,086 +23,4 %	-0,089 -37,2 %	+0,059 +80,8 %	-0,121 -70,8 %	-0,062 -22,1 %
(B) ₁	-0,58 -3,2 %	-0,38 -11,0 %	-0,350 -22,8 %	+0,149 +47,6 %	-0,010 -4,9 %	+0,051 +81,0 %	-0,061 -41,8 %	-0,033 -13,8 %
(B) ₂	-1,41 -5,9 %	-0,51 -11,2 %	-0,368 -18,2 %	+0,100 +24,3 %	-0,022 -8,2 %	+0,044 +53,7 %	-0,056 -29,2 %	-0,048 -15,2 %
(B)-C ₁	-2,12 -8,4 %	-0,46 -9,6 %	-0,303 -14,1 %	+0,014 +3,1 %	-0,041 -14,4 %	0 0	-0,059 -28,9 %	-0,044 -13,2 %
Σ	-24,30	-11,77	-6,168	+0,061	-0,745	+0,259	-0,726	-0,526

TABLEAU 85 :

BILAN EN OXYDES.

GAINS OU PERTES EN POIDS ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE.

HORIZON DE REFERENCE = (B)-C₂.

Quel que soit l'horizon pris comme référence, on constate comme prévu des gains aberrants en K₂O et Na₂O, mais aussi et surtout des pertes importantes de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO et TiO₂ dans les deux horizons éluviaux et, dans une moindre mesure, dans le A/(B).

- Nature des pertes des horizons A :

les bilans de K₂O et Na₂O étant fortement perturbés, les compositions des pertes ainsi calculées s'avèrent bien incertaines.

Ces pertes apparaissent cependant assez voisines dans les trois horizons considérés ce qui est un signe plutôt favorable.

Lorsqu'on les compare avec les fractions < 2 μm des horizons (B)₁ et (B)-C₁, on relève des différences : les pertes sont plus riches en aluminium, fer et calcium que les argiles actuelles des horizons non appauvris et elles sont plus pauvres en silice.

D'autre part, on constate que les argiles encore présentes en A₂₁ sont plus riches en SiO₂ et plus pauvres en Al₂O₃ et Fe₂O₃ que les argiles des horizons (B). Il y a là une bonne corrélation. Tout se passe comme si l'essentiel des pertes des horizons éluviés correspondait à des pertes en minéraux phylliteux, spécialement de ceux les plus riches en fer et en aluminium.

Pour K_2O et Na_2O rien ne peut être dit. En revanche, il est certain que les pertes en calcium sont d'une autre nature, probablement lessivage intense sous forme cationique après altération de tous les minéraux calcifères.

	Composition des pertes, en % de la somme des huit oxydes.			Composition des fractions argile (en calciné).		
	HORIZON A ₂₁	HORIZON A ₂₂	HORIZON A/(B)	HORIZON (B) ₁	HORIZON (B) ₂	HORIZON A ₂₁
SiO ₂	47,2	49,2	43,5	57,8	58,2	62,6
Al ₂ O ₃	32,2	31,6	35,4	26,2	26,9	22,3
Fe ₂ O ₃	15,1	14,2	16,2	10,4	10,1	8,4
K ₂ O	1,5	0,9	+	2,9	2,2	3,1
MgO	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5	1,3
CaO	1,1	1,3	2,3	0,01	0,04	0,16
Na ₂ O	+	+	+	0,17	0,14	0,40
TiO ₂	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	1,7

TABLEAU 86 :

COMPOSITION DES PERTES DES HORIZONS A ET COMPARAISON
AVEC LES FRACTIONS ARGILES ACTUELLES (HORIZON DE REFERENCE : (B)-C₁).

d) Bilan des fractions granulométriques.

	A	LF	LG	SF	SG	pertes globales de l'horizon
A ₂₁	- 24,013	+ 0,061	+ 1,555	+ 1,164	- 0,123	- 24,05
A _{22g}	- 6,753	+ 0,150	+ 0,555	+ 0,274	+ 0,048	- 6,59
A/(B)	- 5,588	+ 0,860	+ 0,997	+ 0,541	- 0,290	- 4,21
(B) ₁	- 1,393	+ 1,078	+ 0,841	+ 0,225	- 0,318	+
(B) ₂	- 0,515	- 0,060	+ 0,177	+ 0,324	- 0,058	- 0,03
(B)-C ₁	= Horizon de référence					
A ₂₁	- 81,5 %	+ 0,5 %	+ 13,6 %	+ 19,4 %	- 3,4 %	
A _{22g}	- 72,4 %	+ 3,7 %	+ 15,3 %	+ 14,4 %	+ 4,2 %	
A/(B)	- 45,5 %	+ 16,1 %	+ 20,9 %	+ 21,6 %	- 19,3 %	
(B) ₁	- 13,3 %	+ 23,7 %	+ 20,6 %	+ 10,5 %	- 24,8 %	
(B) ₂	- 3,7 %	- 1,0 %	+ 3,3 %	+ 11,5 %	- 3,4 %	
(B)-C ₁	= Horizon de référence					

TABLEAU 87 :

BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

PERTES ET GAINS EN VALEURS ABSOLUES (EN HAUT), EXPRIMEES EN hg/dm² ET EN % DU
POIDS INITIAL DE L'HORIZON (EN BAS). HORIZON DE REFERENCE : (B)-C₁.

Nous avons établi quatre bilans à partir de deux analyses granulométriques distinctes (quoique peu différentes) et en prenant (B)-C₁ puis (B)-C₂ comme horizon de référence. Il y a peu de variations entre les résultats chiffrés obtenus.

Dans tous les cas, on trouve de grosses pertes en argile dans les trois horizons les plus superficiels, aussi bien en valeurs absolues qu'en pourcentage. Il n'y a là rien d'étonnant.

En revanche, les choses sont moins claires en ce qui concerne limons fins et sables grossiers : quel que soit le mode de calcul du bilan, il apparaît toujours des gains notables de sables fins et de limons grossiers dans tous les horizons. Ceci est peu explicable par un processus pédogénétique. Ici encore, sans doute, faut-il faire appel à une ou plusieurs petites hétérogénéités granulométriques au sein du solum ou bien remettre en cause les horizons (B)-C comme niveaux de référence.

L'étude granulométrique avait pourtant permis de conclure à une bonne homogénéité (chapitre III).

Certes, on peut concevoir certains effets pédologiques capables de modifier sensiblement la granulométrie :

- division naturelle des sables les plus grossiers fournissant des sables fins ;
- si l'horizon (B)-C pris comme référence a reçu de l'argile d'illuviation secondaire, il peut se manifester en conséquence des gains apparents pour toutes les autres fractions.

Mais aucune de ces éventualités ne semble bien concorder avec les valeurs calculées dans les bilans granulométriques.

e) Conclusion.

En conclusion, nous devons rester très prudents quant à la validité des bilans isoquartz réalisés sur le profil REBOURSEAUX.

Quatre faits seulement semblent indéniables, par leur ampleur même :

- il y a de grosses pertes globales de matières en A et en A/(B) ;
- que l'on ne retrouve pas sous forme de gains dans les horizons (B) ;
- qui sont constituées presque exclusivement par des particules < 2 μm ;
- qui présentent approximativement une composition chimique de minéraux phylliteux.

5. PROFIL FLOGNY

A. PRESENTATION DU PROFIL ET DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

La roche-mère est une argile lourde, faiblement calcaire de l'Aptien. Un certain nombre de données quantitatives relatives à ce sol ont été rassemblées en annexes (annexes n° 6) ainsi que le détail des reconstitutions minéralogiques menant à l'évaluation des taux de quartz.

Ces reconstitutions pèchent certainement par leur imprécision. En effet, il existe certainement des minéraux phylliteux au sein de la fraction granulométrique limons fins (laquelle n'est nullement négligeable) et nous ignorons s'il s'agit de kaolinite, d'illites ou de muscovite.

En ce qui concerne enfin les données granulométriques, une certaine "dérive" semble affecter les limons (diminution de bas en haut des limons fins au profit des limons grossiers). En outre, une légère contamination sableuse superficielle n'est pas exclue.

Ici encore, nous rencontrons des difficultés théoriques et pratiques pour établir des bilans satisfaisants.

B. BILANS ISOQUARTZ

a) Données de base.

l'horizon	représente les profondeurs en cm	soit en cm	Densité apparente	Taux de quartz en %
A _{2g}	0 à 30	30	1,57	58,3
(B) ₁	30 à 50	20	1,45	27,5
(B) ₂	50 à 95	{ 21 24	{ 1,52 1,69	{ 1,61 29,05
C ₂	95 à 140	45	?	32,2

TABLEAU 88 :
DONNEES DE BASE DES BILANS ISOQUARTZ.

b) Bilan pondéral global (tableau 89).

Pour ce sol, comme pour les trois autres, on constate de très importantes pertes de matière en A (- 44,7 %) qui ne se trouvent absolument pas compensées par de modestes gains enregistrés dans les horizons (B). La densité apparente de l'horizon C₂ n'a pas été mesurée. Si l'on introduit dans les calculs la valeur

hypothétique de 1,75, il apparaît en A une diminution d'épaisseur de - 18,7 cm et, dans les horizons (B), un foisonnement de + 13,4 cm.

HORIZON	POIDS ACTUEL hg/dm ²	POIDS A L'ORIGINE hg/dm ²	PERTES OU GAINS	
			en hg/dm ²	en % du poids à l'origine
A _{2g}	47,10	85,22	- 38,12	- 44,7 %
(B) ₁	29,00	24,77	+ 4,23	+ 17,1 %
(B) ₂	72,50	65,37	+ 7,13	+ 10,9 %
Σ	148,60	175,36	- 26,75	- 12,9 %

TABLEAU 89 :
BILAN PONDERAL GLOBAL. PROFIL FLOGNY.

c) Bilan en oxydes - Nature des pertes et des gains.

HORIZON	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂
A _{2g}	-14,13	-11,18	-4,152	-1,945	-0,659	-0,077	-0,335	-0,207
	-27,6%	-69,6%	-69,6%	-73,6%	-81,4%	-47,5%	-63,5%	-25,6%
(B) ₁	+2,52	+1,47	+0,334	-0,012	+0,006	+0,005	-0,015	+0,061
	+17,0%	+31,5%	+19,3%	- 1,6%	+ 2,6%	+10,6%	- 9,7%	+26,0%
(B) ₂	+5,32	+3,02	+0,485	-0,068	+0,017	+0,014	-0,071	+0,090
	+13,6%	+24,5%	+10,6%	- 3,4%	+ 2,7%	+11,3%	-17,5%	+14,5%
Σ	-6,29	-6,69	-3,333	-2,025	-0,636	-0,058	-0,421	-0,056
	- 6,0%	-20,2%	-27,2%	-37,3%	-38,2%	-17,4%	-38,6%	- 3,4%

TABLEAU 90 :
PERTES ET GAINS EN OXYDES
(EN hg/dm² ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE).

~ Nature des pertes des horizons A

A la lecture des chiffres du tableau 91, on constate que les pertes globales des horizons A_{2g} semblent correspondre à des départs de minéraux argileux riches en aluminium et en fer et relativement pauvres en silice. Il pourrait s'agir de minéraux phylliteux ainsi que de sesquioxides (lesquels, s'ils ont quitté l'horizon A n'ont pas forcément quitté le solum). Il y a aussi, sans doute, eu des pertes de potassium et de calcium sous forme cationique.

	PERTES EN POIDS hg/dm ²	COMPOSITION EN % (EN CALCINE)				
		DE CES PERTES	< 2 μm ACTUELLE de A _{2g}	< 2 μm ACTUELLE de (B) ₁	< 0,1 μm ACTUELLE de (B) ₁	0,1-0,5 μm ACTUELLE de C ₂
SiO ₂	- 14,130	43,2	52,5	50,2	52,6	48,8
Al ₂ O ₃	- 11,180	34,2	30,2	32,2	28,8	31,5
Fe ₂ O ₃	- 4,152	12,70	9,88	10,42	12,6	12,3
K ₂ O	- 1,945	5,95	3,29	3,62	3,50	4,29
MgO	- 0,659	2,02	2,06	2,38	1,85	1,67
Na ₂ O	- 0,077	0,24	0,37	0,30		
CaO	- 0,335	1,02	0,09	0,05		
TiO ₂	- 0,207	0,63	1,65	0,86	0,24	0,83
Σ	- 32,685	100				

TABLEAU 91 :

NATURE DES PERTES ET COMPARAISONS
AVEC DIFFERENTES FRACTIONS "ARGILE" ACTUELLES DU PROFIL FLOGNY.

- Nature des gains des horizons (B).

Ces gains présentent une composition voisine de celles de minéraux phylliteux. On peut même penser que les gains réels des horizons (B) contiennent une certaine proportion de K₂O mais qu'il se fait sentir en plus l'effet des pertes de potassium liées à la désaturation du profil et à l'altération des argiles micacées : les petits gains liés à une illuviation modeste se voient annulés algébriquement par des pertes liées à d'autres processus.

	HORIZON (B) ₁		HORIZON (B) ₂	
	Gains en poids (hg/dm ²)	Gains composition en %	Gains en poids (hg/dm ²)	Gains composition en %
SiO ₂	2,520	57,32	5,320	59,5
Al ₂ O ₃	1,470	33,44	3,020	33,8
Fe ₂ O ₃	0,334	7,60	0,485	5,4
K ₂ O	négatif	-	négatif	-
MgO	0,006	0,14	0,017	0,2
Na ₂ O	0,005	0,11	0,014	0,2
CaO	négatif	-	négatif	-
TiO ₂	0,061	1,39	0,090	1,0
Σ	4,396	100,0	8,946	100,0

TABLEAU 92 :

COMPOSITION EN OXYDES DES GAINS
DES HORIZONS (B) DU PROFIL FLOGNY.

d) Bilan des fractions granulométriques.

	< 2 μ m	LF	LG	SF	SG
A ₂ g	-27,69 -68,7%	-6,31 -27,6%	-0,21 -2,3%	-4,51 -43,9%	+1,19 +465%
(B) ₁	+3,49 +29,7%	+0,75 +11,3%	+0,47 +17,6%	-1,20 -40,2%	+0,19 +257%
(B) ₂	+8,55 +27,6%	+1,05 +6,0%	-0,35 -5,0%	-3,42 -43,4%	-0,10 -52%
Σ	-15,65 -18,9%	-4,51 -9,6%	-0,09 -0,5%	-9,13 -43,2%	+1,28 +243%

TABLEAU 93 :
BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.
PROFIL FLOGNY.
HORIZON DE REFERENCE : C₂ NON DECARBONATE.

Les remarques faites lors de l'examen des "squelettes granulométriques" (page LXX) se voient confirmées par la lecture du tableau 93 . Les pertes ou gains qui touchent les sables fins et les sables grossiers sont les conséquences "mathématiques" de la "dérive", de la décarbonatation ou de la contamination déjà envisagées.

Si les gains (en valeurs absolues) de SG sont faibles, les pertes de SF ne sont pas du tout négligeables (et risquent de perturber par contrecoup les autres chiffres, puisque la somme des différentes fractions + humidité + matières organiques = 100 %).

Les gains de LG en (B)₁ et de LF en (B)₁ et (B)₂ sont difficiles à interpréter.

En revanche, les résultats relatifs à la fraction < 2 μ m sont vraisemblables. Les gains en (B), importants en % du poids à l'origine, peuvent résulter à la fois d'une illuviation et d'une micro-division des argiles micacées les plus grossières.

Il faut donc accueillir tous les résultats du bilan granulométrique avec beaucoup de prudence. En effet, la méthode granulométrique n'est pas très précise et l'homogénéité parfaite sur plus d'un mètre vingt de sol est, à la limite, utopique.

Seule la valeur obtenue pour la fraction argile de l'horizon A₂ est suffisamment importante pour emporter la conviction (pertes considérables).

6. RECAPITULATION - CONCLUSIONS

Nous avons réalisé quatre bilans isoquartz selon la même procédure sur quatre planosols issus de roches-mères très dissemblables.

Nous avons été confrontés à divers problèmes de reconstitution minéralogique et d'estimation des teneurs en quartz selon la composition de chaque profil et selon les données analytiques disponibles.

Lors de la réalisation des différents bilans (globaux, en oxydes, des espèces minérales, des fractions granulométriques) de nouvelles difficultés sont apparues :

- hétérogénéités granulométriques : très nette à FLOGNY, touchant SF et SG ; probable à REBOURSEAUX ; possible à HERY ;
- difficulté de mesurer la densité apparente avec une bonne précision ;
- schématisation excessive résultant de la simplification d'un sol (milieu très complexe) en la superposition de 4 couches supposées homogènes ;
- imperfection des analyses (notamment granulométries et dissolution sélective)... ;
- choix d'un horizon de référence véritablement représentatif d'un état de départ idéal (REBOURSEAUX).

On voit que, dans ces conditions, la mise en oeuvre de bilans isoquartz ne relève pas d'une méthode parfaitement fiable. Les résultats fournis par le simple jeu des chiffres devront être critiqués en fonction :

- des erreurs relatives qui les entachent (l'erreur d'appréciation est normalement plus faible sur une valeur de 60 % que sur un chiffre très faible) ;
- de la cohérence avec d'autres phénomènes pédologiques connus (micro-division des micas, désagrégation des grains de glauconie, pertes en potassium des argiles etc...) ;
- de leur ampleur relative : ainsi, un gain ou une perte de 1 % de matière n'a certainement aucune signification vues les causes d'erreurs dans toute la chaîne de calculs en amont ; en revanche, des pertes de 40 hg/dm² se voient validées par le fait qu'en faisant varier volontairement les principales composantes des calculs, on obtient toujours le même ordre de grandeur ;
- du parallélisme des phénomènes observés dans les quatre sols qui ont, par définition au départ, toutes chances d'avoir subi des pédogénèses voisines.

A. COMPARAISON DES QUATRE BILANS GLOBAUX (tableau 94).

La conclusion la plus importante de tout ce chapitre apparaît clairement à la lecture de ce tableau.

Dans les quatre cas étudiés :

- on constate de très grosses pertes de matières dans les horizons A (30 à 45 % du poids à l'origine) ;
- on enregistre des gains dans tous les horizons (B) proches de la surface (sauf le A/(B) de REBOURSEAUX) ;
- ces gains sont de faibles ampleurs (2 à 22 % du poids à l'origine) et surtout, ils ne compensent absolument pas les pertes subies par les horizons A.

Ces valeurs globales présentent l'inconvénient de constituer des sommes algébriques qui mêlent, par exemple, des pertes de carbonate et d'argile et des gains de matière organique (car tous les calculs se réfèrent à la terre fine totale).

Il n'en reste pas moins que les horizons A sont bien l'objet d'un très important appauvrissement en matières qui ne se retrouvent pas dans les horizons argileux sous-jacents, lesquels n'ont connu que de faibles apports.

	HÉRY	PONTIGNY	REBOURSEAUX	FLOGNY
A	45 cm - 45,7 (-40 %)	42 cm - 30,2 (-34 %)	30 cm - 30,2 (-41,1 %)	30 cm - 38,1 (-45 %)
			10 cm - 8,5 (-36,7 %)	
(B) d ou A/(B)			15 cm - 6,8 (-22,1 %)	
(B)	30 cm + 6,9 (+22 %)	28 cm + 5,4 (+16 %)	15 cm - 1,8 (- 7 %)	20 cm + 4,2 (+17 %)
	55 cm + 0,3 (invar.)	15 cm + 3,1 (+16 %)	20 cm - 2,9 (- 8 %)	45 cm + 7,1 (+11 %)
			20 cm - 3,1 (- 8 %)	
HORIZON DE REFERENCE	HORIZON C ₁ glaucieux SABLO-ARGILEUX	HORIZON C ₂ décarbonaté ARGILO-LIMONEUX	HORIZON (B)-C ₂ ARGILEUX	C ₂ ARGILEUX à 3,6 % de CO ₃ Ca

TABLEAU 94 :

COMPARAISON DES QUATRE BILANS GLOBAUX
(EN hg/dm² ET EN % DU POIDS A L'ORIGINE).

HERY

TABLEAU 66 :	- pertes en argiles =	- 17,8
BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.	- pertes en SF ₁ =	- 16,5
	- pertes en SF ₂ =	- 12,6
	(les pertes en sables fins ne peuvent être imputées qu'à la glauconite en grains).	- 46,9

TABLEAU 65 :		- 29,7
BILAN DE LA GLAUCONITE EN GRAINS.		

- pertes totales en minéraux phylliteux = (-29,7)+(-17,8) =	- 45,5
---	--------

TABLEAU 62 :		
BILAN PONDERAL GLOBAL.	- pertes totales de matières =	- 45,7

PONTIGNY

TABLEAU 78 :		
BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.	- pertes en argiles =	- 20,9
	- pertes en SF ₁ =	- 7,4
	- pertes en limons =	- 1,1
		- 29,4

TABLEAU 77 :		
BILAN DES ESPECES MINERALES.	- somme des minéraux phylliteux y compris la glauconite en grains	- 34,1

TABLEAU 72 :		
BILAN PONDERAL GLOBAL.	- pertes totales de matières	- 30,2

REBOURSEAUX

TABLEAU 87 :	(Horizon de référence (B)-C ₁)	
BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.	- pertes en argiles	- 24,0
	• Horizon A ₂₁ =	- 6,75
	• Horizon A ₂₂ =	- 5,6
	• Horizon A/(B) =	

TABLEAU 82 :		
BILAN PONDERAL GLOBAL.	- pertes totales de matières	- 24,1
	• Horizon A ₂₁ =	- 6,6
	• Horizon A ₂₂ =	- 4,2
	• Horizon A/(B) =	

FLOGNY

(Horizon de référence C₂ légèrement calcaire)

TABLEAU 93 :		
BILAN DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.	- pertes en argiles =	- 27,7
	- pertes en LF =	- 6,3
		- 34,0

TABLEAU 89 :		
BILAN PONDERAL GLOBAL.	- pertes totales de matières - 38,1 dont 3,1 de CaCO ₃ présents dans les fractions LF, LG et SF ₁ restent	- 35,0

TABLEAU 95 :

CONFRONTATION DES RESULTATS DES DIFFERENTS BILANS POUR LES QUATRE PROFILS.
POIDS EXPRIMES EN hg/dm².

B. BILANS DES EPAISSEURS.

Les pertes des horizons A ont été tellement importantes que les épaisseurs des quatre profils auraient accusé de notables diminutions au cours de la pédogenèse : HERY : - 11 cm ; PONTIGNY : - 36 cm (avec décarbonatation) ; REBOURSEAUX : - 13 ou 20 cm ; FLOGNY : - 5 cm. Les diminutions de volumes consécutifs à ces pertes ont largement excédé l'effet de foisonnement occasionné par la structuration pédologique de l'ensemble du solum.

C. NATURE DES PERTES DES HORIZONS A.

Dans les pages précédentes, il a été possible de rassembler un certain nombre de données chiffrées par différentes approches : bilans pondéraux globaux, bilans des fractions granulométriques, bilans des espèces minérales quand cela a été possible.

Si l'on confronte ces différents résultats exprimés en poids (hg/dm²), (tableau 95) on constate, sans aucunement forcer les chiffres, que les pertes de matières des horizons A se confondent avec les pertes en minéraux phylliteux quelle que soit leur nature (glauconite, argiles 2/1, kaolinite).

D. COMPOSITION DES PERTES DES HORIZONS A.

Les bilans en oxydes ont l'avantage de s'appuyer sur des analyses chimiques totales directement opérées sur l'échantillon brut. Il n'y a donc pas, en amont, de laborieux calculs de reconstitution plus ou moins fiables. Mais les résultats, exprimés en oxydes, sont difficiles à interpréter tels quels car trop globaux. Ce qui est particulièrement intéressant, en revanche, c'est de pouvoir reconstituer la composition chimique des pertes (tableau 96).

Oxyde	HERY	PONTIGNY	REBOURSEAUX			FLOGNY
	A	A	A ₂₁	A ₂₂	A/(B)	A
SiO ₂	56,9	48,6	47,2	49,2	43,5	43,2
Al ₂ O ₃	13,6	26,2	32,2	31,6	35,4	34,2
Fe ₂ O ₃	20,3	14,2	15,1	14,2	16,2	12,7
K ₂ O	5,65	4,55	1,5	0,9	+	5,95
MgO	2,96	3,29	2,0	1,9	1,8	2,02
CaO	0,65	2,46	1,1	1,3	2,3	0,24
Na ₂ O	-	-	+	+	+	1,02
TiO ₂	0	0,75	0,9	0,9	0,8	0,63

TABLEAU 96 :

COMPOSITION DES PERTES ENREGISTREES
(EN % DE LA SOMME DES 8 OXYDES).

Les 6 compositions ainsi obtenues correspondent bien à celles de minéraux phylliteux riches en fer et en potassium (sauf pour REBOURSEAUX où une grosse anomalie a complètement perturbé le bilan de K).

Chaque sol ayant une roche-mère de minéralogie différente, il est naturel de confronter ces pertes aux fractions $< 2 \mu\text{m}$ que l'on rencontre actuellement au sein des différents horizons et tout spécialement à celles des horizons de référence. A priori, trois cas de figures sont possibles (voir schéma) :

- si la fraction "argile" est monominérale, pertes et argiles résiduelles des horizons A2 peuvent avoir même composition, ce qui signifierait que ces pertes correspondent soit à un départ en suspension soit à une dissolution congruente ;
- si la fraction $< 2 \mu\text{m}$ est composite, associant deux ou plusieurs types d'argiles, les pertes peuvent soit affecter également les diverses composantes, soit toucher plus particulièrement certains minéraux plus mobiles ou plus altérables.

	ARGILES DE L'HORIZON C	ARGILES RESIDUELLES DES HORIZON A2	PERTES DES HORIZONS A2
CAS 1	M →	M ≈	M
CAS 2	M1 + M2 →	M1 + M2 ≈	M1 + M2
CAS 3	M1 + M2 →	M1 + m2 ≠	m1 + M2

Ce schéma n'est valable que s'il n'y a pas "d'entrées" dans les fractions $< 2 \mu\text{m}$ par microdivision des quartz ou des phyllites de la taille des limons.

HERY

Les pertes sont très analogues à toutes les fractions "argiles" de tous les horizons et même à la glauconite en grains. Nous sommes typiquement dans le cas 1 du schéma ci-dessus.

Oxyde	PERTES	FRACTIONS < 2 μ m DES HORIZONS			GLAUCONIE EN GRAINS de C ₁
		A ₂	(B)1	C ₁	
SiO ₂	56,9	57,0	54,4	55,3	56,5
Al ₂ O ₃	13,6	15,6	16,3	16,6	11,7
Fe ₂ O ₃	20,3	18,8	20,4	18,4	21,9
K ₂ O	5,65	4,19	4,89	5,71	6,50
MgO	2,96	(2,62)	(3,31)	(3,38)	3,05
CaO	0,65	0,29	0,13	0,12	0,90
Na ₂ O	-	0,26	0,11	0,11	0,16
TiO ₂	0	1,22	0,46	0,44	0,15

TABLEAU 97 : HERY

COMPARAISONS ENTRE LES PERTES DES HORIZONS A
ET DIVERSES FRACTIONS "ARGILE".

PONTIGNY

Nous sommes nettement dans le cas 3. Les pertes sont plus pauvres en silice mais plus riches en fer et potassium que les argiles du C. En conséquence, les argiles résiduelles de l'horizon A₂ sont enrichies en SiO₂ et appauvries en Fe et K. Dans le mélange quaternaire d'origine, il est clair que l'appauvrissement (au sens large) a touché plutôt les argiles micacées ferrifères tandis que du quartz très fin s'est très fortement accumulé (cf. aussi les tableaux 74 , 75 , 76 et 98).

Oxyde	Pertes	fraction < 2 μ m des horizons	
		A ₂₁	C ₂
SiO ₂	48,6	63,0	55,3
Al ₂ O ₃	26,2	21,1	25,0
Fe ₂ O ₃	14,2	7,8	9,8
K ₂ O	4,55	2,77	3,49
MgO	3,29	(3,86)	(4,34)
CaO	2,46	0,14	1,23
Na ₂ O	-	0,20	0,20
TiO ₂	0,75	1,23	0,62

TABLEAU 98 : PONTIGNY

COMPARAISONS ENTRE LES PERTES DES HORIZONS A
ET DIVERSES FRACTIONS "ARGILE".

REBOURSEAUX

Comme à PONTIGNY, on se trouve dans le cas 3. Les pertes (qui sont voisines entre elles, ce qui est cohérent et rassurant) sont plus riches en Al en Fe et en Ca que les argiles actuelles du (B)-C et elles sont plus pauvres en Si. Corrélativement, les argiles résiduelles du A₂₁ sont enrichies en SiO₂ et appauvries en Fe₂O₃ et Al₂O₃. Tout se passe comme si les minéraux phylliteux touchés par l'appauvrissement sensu lato étaient ceux les plus riches en fer et en aluminium et les plus pauvres en silice. Mais rien ne prouve qu'il en est vraiment ainsi. Il se peut aussi, par exemple, que les argiles préférentiellement affectées par l'appauvrissement sensu lato soit relativement pauvres en aluminium et que, en plus, les argiles résiduelles aient subi une altération touchant sélectivement l'aluminium. Le bilan en oxydes, rappelons-le, n'étant qu'une somme algébrique peu explicite.

Oxyde	Pertes des horizons			Composition des fractions < 2 µm des horizons	
	A ₂₁	A ₂₂	A/(B)	A ₂₁	(B)-C ₁
SiO ₂	47,2	49,2	43,5	62,6	58,2
Al ₂ O ₃	32,2	31,6	35,4	22,3	26,9
Fe ₂ O ₃	15,1	14,2	16,2	8,4	10,1
K ₂ O	1,5	0,9	+	3,1	2,2
MgO	2,0	1,9	1,8	(1,3)	(1,5)
CaO	1,1	1,3	2,3	0,16	0,04
Na ₂ O	+	+	+	0,40	0,14
TiO ₂	0,9	0,9	0,8	1,7	0,9

TABLEAU 99 : REBOURSEAUX

COMPARAISON ENTRE LES PERTES DES HORIZONS
SUPERIEURS ET DIVERSES FRACTIONS "ARGILE".

FLOGNY

A FLOGNY, il est presque certain que les pertes ont pu affecter non seulement les particules originellement inférieures à 2 µm mais aussi les argiles micacées de la taille des limons fins après micro-division éventuelle, tout particulièrement en ce qui concerne le potassium. Ces pertes intègrent également la disparition du CaCO₃. Et, une fois de plus, on constate que les pertes sont relativement pauvres en silice par rapport aux argiles de l'horizon C.

Oxyde	Pertes de l'horizon A ₂	Composition des fractions < 2 μm des horizons	
		A ₂	C ₂
SiO ₂	43,2	52,5	51,4
Al ₂ O ₃	34,2	30,2	30,2
Fe ₂ O ₃	12,7	9,88	10,0
K ₂ O	5,95	3,29	4,78
MgO	2,02	(2,06)	(2,30)
CaO	1,02	0,09	0,10
Na ₂ O	0,24	0,37	0,33
TiO ₂	0,63	1,65	0,96

TABLEAU 100 : FLOGNY
COMPARAISON ENTRE LES PERTES DE L'HORIZON A₂
ET LES FRACTIONS "ARGILE".

Oxyde	HERY	PONTIGNY	REBOURSEAUX			FLOGNY
			A ₂₁	A ₂₂	A/(B)	
SiO ₂	+ 1,6	- 6,7	- 11,0	- 9,0	- 14,7	- 8,2
Al ₂ O ₃	- 3,0	+ 1,2	+ 5,3	+ 4,7	+ 8,5	+ 4,0
Fe ₂ O ₃	+ 1,9	+ 4,4	+ 5,0	+ 4,1	+ 6,1	+ 2,7
K ₂ O	invar.	+ 1,1	?	?	?	+ 1,2

TABLEAU 101 :
COMPARAISONS ENTRE LES PERTES DE A ET LES COMPOSITIONS DES ARGILES DE L'HORIZON DE
REFERENCE (EN % DES 8 OXYDES).
(+ = pertes plus riches que les argiles de l'horizon C).

E. GAINS DES HORIZONS (B).

Oxyde	HERY	PONTIGNY	FLOGNY	
	(B) ₁	(B) ₁	(B) ₁	(B) ₂
SiO ₂	49,0	62,5	57,3	59,5
Al ₂ O ₃	27,7	25,6	33,4	33,8
Fe ₂ O ₃	19,6	7,6	7,6	5,4
K ₂ O	1,9	3,7	négatif	négatif
MgO	1,6	0	0,14	0,2
TiO ₂	-	-	1,39	1,0

TABLEAU 102 :
COMPOSITION DES GAINS.

	HERY	PONTIGNY	FLOGNY	
	(B) ₁	(B) ₁	(B) ₁	(B) ₂
Gains totaux de l'horizon	+ 6,92	+ 5,35	+ 4,23	+ 7,13
Gains de la fraction "argile"	+ 10,1	+ 5,92	+ 3,49	+ 8,55

TABLEAU 103 :
COMPARAISON DES GAINS TOTAUX
ET DES GAINS DES FRACTIONS "ARGILE" (en hg/dm²).

Il est bien difficile d'interpréter les chiffres des tableaux 102 et 103. Il est probable que les gains des horizons (B) correspondent à une certaine illuviation d'argile. Malheureusement, aux gains liés aux édifices phylliteux peuvent venir s'ajouter des accumulations indépendantes (comme du fer, probablement à HERY). Inversement, ces gains bruts sont fortement diminués voire annulés par les pertes systématiques en K et Mg des argiles restées en place mais en cours d'altération modérée. De même, sont comptabilisés comme gains des fractions < 2 µm, aussi bien des particules illuviées que le résultat de la désagrégation des grains de glauconie (HERY) ou d'une éventuelle microdivision des micas (FLOGNY). Enfin, dans ce dernier cas, il ne faut pas oublier que les gains bruts totaux prennent en compte des pertes connues de CaCO₃ (- 0,89 pour (B)₁ et - 2,35 pour (B)₂). Les gains réels en matières non carbonatées doivent donc en être augmentés d'autant.

°
° °
°

A ce jour, les bilans isoquartz ont surtout été appliqués aux sols sur roches cristallines. En ce qui concerne les sols développés sur des matériaux sédimentaires sous climat tempéré, on peut seulement faire référence aux travaux de NGUYEN KHA (1973, 1975) sur des pélosols lorrains et de JAMAGNE et al. (à paraître) sur des limons loessiques.

Lors de l'établissement de bilans sur deux profils (pélosol brunifié et pélosol vertique), le premier auteur cité trouve des pertes de l'ordre de 50 % de matières (principalement des argiles fines) dans l'horizon de surface. Le phénomène dominant, à l'origine de la plus grande partie des pertes, est une érosion sélective. L'appauvrissement a lieu sous forme de suspensions argileuses évacuées dans les eaux de ruissellement, dans les écoulements hypodermiques et par drainage oblique. Ces faits ont été démontrés et mesurés sur le terrain grâce à des dispositifs de collecte des eaux (NGUYEN KHA et al., 1976).

Mais les pélosols de Lorraine sont des sols peu évolués, de pH presque neutre, situés sur pentes fortes, ce qui constitue un facteur favorable aux migrations latérales. Si les roches-mères très argileuses sont comparables à celles des planosols de Champagne humide, les autres facteurs de la pédogenèse sont tout de même très différents.

Réalisé sur un sol brun lessivé issu d'un limon loessique, un bilan isoquartz (JAMAGNE et al.) met en évidence 6,8 % de pertes pondérales dans les horizons éluviaux, compensées par des gains équivalents dans les horizons Bt sous-jacents. Dans ce cas, il s'agit bien d'une illuviation verticale qui n'affecte que 15 % de l'argile présente à l'origine dans les horizons A.

En ce qui concerne les planosols de Champagne humide, il s'agit d'un processus pédologique complètement différent :

- il y a exportation des matières perdues, hors du profil ;
- les pertes viennent d'être estimées à 30-45 % du poids total à l'origine et de 69 à 82 % du poids originel des particules < 2 μm .
L'ampleur de ce phénomène est sans commune mesure avec celui de l'illuviation dans les sols bruns lessivés. C'est déjà ce qui transparaissait, au chapitre "ETUDE GRANULOMETRIQUE", lorsque nous constatons des indices de différenciation texturale (IDTp) pour la plupart supérieurs à 2,4.

Sans attendre la synthèse générale, les principaux résultats des bilans isoquartz peuvent aussi être rapprochés des deux faits essentiels établis au chapitre IV :

- la dynamique actuelle de l'eau dans les planosols étudiés est essentiellement latérale, et on peut estimer que 200 à 420 mm d'eau sont évacués chaque année sous la forme de nappes hypodermiques successives à circulation latérale ;
- ces eaux, lorsqu'elles débouchent à l'air libre, contiennent une quantité notable d'argiles fines en suspension.

Tout cela forme un ensemble cohérent. Mais il n'est pas dit que la totalité des pertes se réalise sous la forme de suspension. Il est possible qu'une certaine quantité d'argile soit altérée chimiquement ce qui expliquerait la présence de silice en solution dans les eaux.

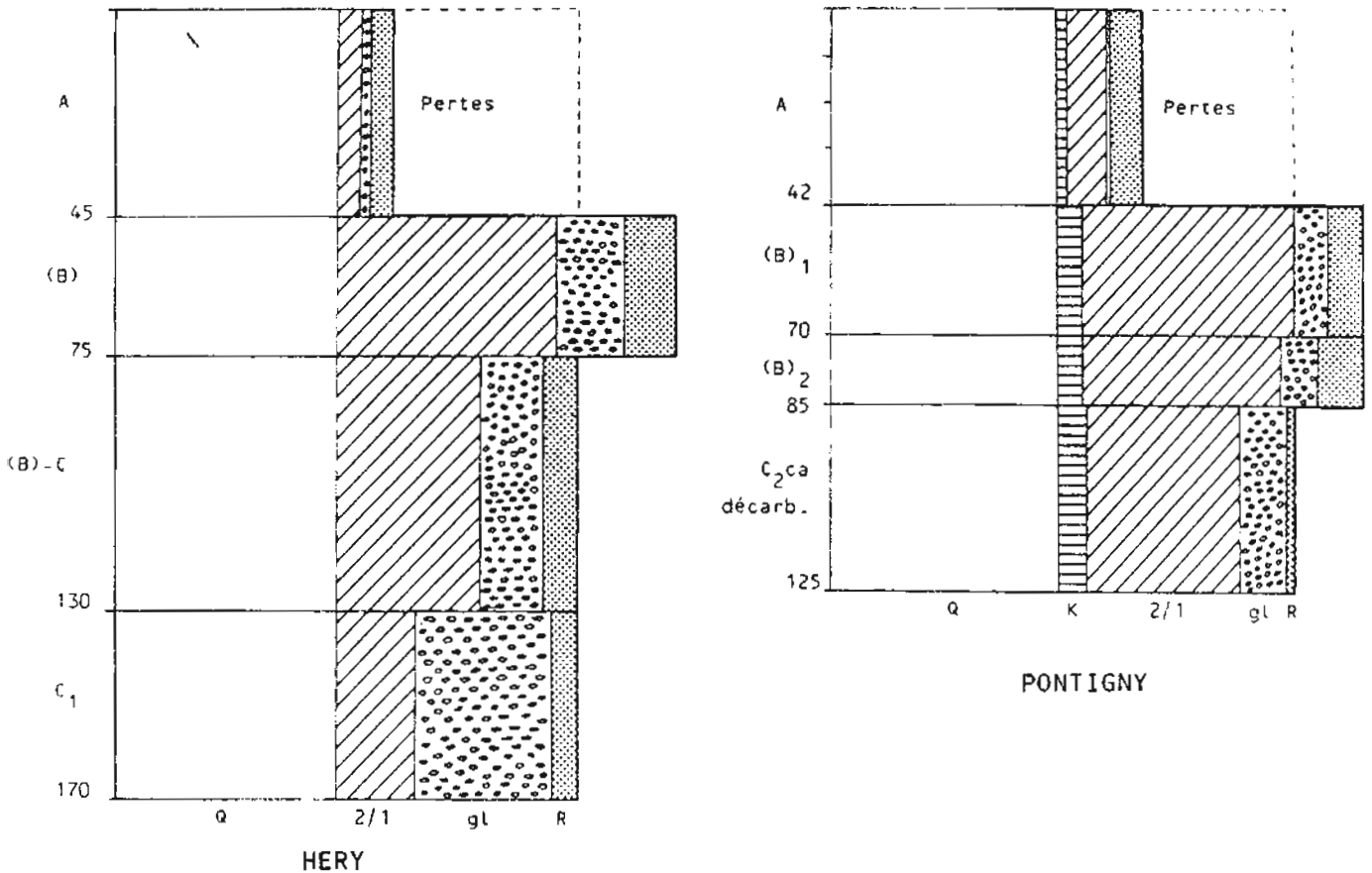


FIGURE 43 : Représentation schématique des bilans isoquartz de HERY et PONTIGNY (horizon de référence décarbonaté).
Q = quartz ; 2/1 = minéraux phylliteux 2/1 (glaucosite + illite)
gl = glaucosite en grains ; k = kaolinite ; R = reste : humidité, matières organiques, feldspaths, minéraux lourds etc...

CHAPITRE VI.

Le complexe d'altération

Quatre profils principaux ont été choisis pour l'étude fine du fer, de l'aluminium et de l'acidité d'échange : HERY, PONTIGNY, REBOURSEAUX et FLOGNY.

En outre, l'analyse détaillée de la fraction $< 2 \mu\text{m}$, séparée en trois sous-fractions à la centrifugeuse Sharples, a été réalisée sur HERY (représentant le pôle le plus évolué et le plus acide) et sur FLOGNY (considéré, au contraire, comme un stade plus "jeune").

Comme dans le cas des pélosols lorrains (NGUYEN KHA, 1973, 1975), les minéraux phylliteux que l'on trouve actuellement dans les planosols de Champagne humide sont essentiellement hérités de la sédimentation crétacée. Ils ne font donc pas partie du complexe d'altération sensu stricto à la différence de ce qui se passe, par exemple, lors de l'altération des roches cristallines (SOUCHIER, 1971 ; LELONG, 1967 etc...). Seuls les minéraux argileux résultant d'une transformation ou d'une néogénèse présenteront un intérêt et une signification pédogénétiques. Mais ceux-ci ne seront pas faciles à mettre en évidence tant qu'ils demeureront très minoritaires et comme "noyés" dans l'héritage originel.

On peut dire la même chose à propos de certaines formes d'éléments dites "libres". Ainsi, à FLOGNY, nous verrons que la goethite pré-existait dans la roche-mère sédimentaire calcaire.

1. ACIDITE ET CATIONS ECHANGEABLES AU pH DU SOL

L'examen attentif des tableaux 104 et 105 permet de dégager cinq faits essentiels :

- On constate l'extrême acidité de tous les horizons des planosols étudiés, y compris les horizons (B) argileux. Les pH eau expriment surtout l'influence des protons des matières organiques, c'est pourquoi ils sont les plus bas dans les horizons humifères de surface. En revanche, les pH KCl prennent en compte l'aluminium échangeable, c'est ainsi que les horizons profonds présentent des pH KCl très bas, toujours inférieurs à 4,0. Les écarts Δ pH sont très importants, souvent supérieurs à 1 unité, en ce qui concerne les horizons argileux.

- L'aluminium échangeable revêt une importance considérable, principalement dans les horizons A et (B), que ce soit en valeur absolue ou en % de la somme des cations échangeables. En outre, Al^{+++} domine toujours très nettement H^+ . Les protons ne prennent une certaine importance (plus de 10 % de l'acidité d'échange) que dans les horizons A_1 à aspect "podzolique" de HERY et de PONTIGNY.

- Une certaine remontée biologique des cations basiques apparaît dans les horizons A_1 de HERY et PONTIGNY mais il n'en va pas de même chez les profils FLOGNY (pourtant à roche-mère calcaire) et REBOURSEAUX.

- Le calcium échangeable n'est pas du tout négligeable dans la plupart des horizons profonds : (B) et (B)C de HERY, (B)d et (B) de PONTIGNY, (B)C de REBOURSEAUX. Ce calcium, qui représente plus de 70 % du calcium total présent dans l'horizon, coexiste avec une grande quantité d' Al^{+++} .

- En conséquence des deux points précédents, les taux d'acidité d'échange (TAE = acidité d'échange / Σ des cations échangeables au pH du sol ; ESPIAU et PEYRONEL, 1977) ne sont pas systématiquement très élevés comme on aurait pu le prévoir au vu des pH KCl (ESPIAU, 1978 ; ESPIAU et PEDRO, 1980). Ces TAE s'échelonnent de 32 % dans l'horizon (B) de PONTIGNY à 96 % dans l'horizon A de FLOGNY.

		Acidité d'échange									
		milliéquivalents/100 g							en %		
		pH KCl	pH eau	Δ pH	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ⁺⁺	H ⁺	Acidité	$\frac{K^+}{\text{Acidité}}$	$\frac{Al^{+++}}{\text{Acidité}}$
HERY	A ₁	3,29	4,13	- 0,84	3,11	0,08	0	0,45	3,64	12	85
	A ₂₁	3,67	4,42	- 0,75	2,66	0,01	0	0,26	2,93	9	91
	A _{22g}	3,75	4,74	- 0,99	2,44	0,01	0	0,19	2,64	7	92
	(B)d	3,28	4,47	- 1,19	10,66	0,02	0	0,38	11,06	3	96
	(B)	3,10	4,34	- 1,24	14,43	0,04	0	0,58	15,05	4	96
	(B)C	3,18	4,65	- 1,47	8,21	0,04	0	0,45	8,70	5	94
PONTIGNY	A ₁	3,46	4,42	- 0,96	3,55	0,07	0,003	0,45	4,07	11	87
	A ₂₁	3,44	4,28	- 0,84	4,66	0,03	0	0,38	5,07	7	92
	A _{22g}	3,37	3,99	- 0,62	5,33	0,03	0	0,38	5,74	7	93
	(B)d	3,31	4,50	- 1,19	8,99	0,01	0	0,19	9,19	2	98
	(B)	3,27	4,68	- 1,41	6,55	0,01	0	0,38	6,94	5	94
	C ₁	7,22	8,23	- 1,01	/	0	0	0	0	/	/
FLOGNY	A ₁ -A ₂	3,60	4,05	- 0,45	4,44	0,015	0,010	0,32	4,79	7	93
	A(B)	3,40	3,93	- 0,53	13,32	0,015	0,015	0,48	13,83	3	96
	(B)	3,50	4,26	- 0,76	7,99	0,020	0,005	0,40	8,41	5	95
	C	5,59	6,40	- 0,81	0	0	0,015	0	0	/	/
REBOURSEAUX	A ₁	3,79	3,92	- 0,13	3,77	0,01	0,10	0,35	4,23	8	89
	A ₂	4,02	4,26	- 0,24	2,66	0	0,12	0,20	2,98	7	89
	A/(B)	3,83	4,34	- 0,51	4,88	0	0,14	0,20	5,22	4	93
	(B)	3,79	4,52	- 0,73	4,66	0	0,07	0,32	5,05	6	92
	(B)C	3,83	4,66	- 0,84	2,66	0	0,02	0,12	2,80	4	95

TABLEAU 104 : pH KCl, pH EAU ET ACIDITE D'ECHANGE

(détermination par KCl N sur échantillons non séchés, octobre 1981).

On voit que les horizons A constituent un milieu très appauvri en bases échangeables. Non seulement celles-ci sont éliminées par l'appauvrissement (garniture cationique des argiles évacuées en suspension) mais elles le sont également directement par lessivage latéral en solution (cf. p. 149).

Autre aspect à souligner : l'acidification brutale, quand on passe des horizons C ou (B)C aux horizons plus superficiels (B) et A. On quitte des roches-mères peu acides voire calcaires (HERY est une exception) pour pénétrer sans transition dans un milieu extrêmement aluminisé sans pour autant qu'il y ait altération intense des minéraux argileux comme dans la podzolisation (voir infra).

	HORIZON	Cations échangés par KCL N au pH du sol sur échantillons frais							K ⁺ à pH 7	Σ	Cations échangés par KCL N en % de la somme			
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	Fe ⁺⁺	Mn ²⁺	H ⁺			Al ³⁺	H ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺
HERY	A ₁	0,70	0,36	0,10	3,11	0,08	0	0,45	0,47	5,27	59	9	7	13
	A ₂₁	0,24	0,20	0,03	2,66	0,01	0	0,26	0,16	3,56	75	7	6	7
	A _{22g}	0,44	0,23	0,03	2,44	0,01	0	0,19	0,12	3,46	71	5	7	13
	(B)d	1,96	1,08	0,10	10,66	0,02	0	0,38	-					
	(B)	3,46	1,71	0,14	14,43	0,04	0	0,58	0,76	21,12	68	3	8	16
	(B)c	6,70	2,07	0,19	8,21	0,04	0	0,45	0,51	18,17	45	2	11	37
PONTIGNY	A ₁	3,70	0,33	0,07	3,55	0,07	0,003	0,45	0,27	8,44	42	5	4	44
	A ₂₁	0,82	0,10	0,07	4,66	0,03	0	0,38	0,09	6,15	76	6	2	13
	A _{22g}	0,68	0,16	0,05	5,33	0,03	0	0,38	0,13	6,76	79	6	2	10
	(B)d	6,60	1,21	0,09	8,99	0,01	0	0,19	0,30	17,39	52	1	7	38
	(B)	12,80	1,80	0,12	6,55	0,01	0	0,38	0,48	22,14	30	2	8	58
	C ₁	16,80	0,79	0,05	-	0	0	0	-	-	0	0	0	-
FLOGNY	A ₁ -A ₂	0,04	0,02	-	4,44	0,015	0,01	0,32	0,08	4,925	90	6	0	1
	A(B)	0,34	0,14	-	13,32	0,015	0,015	0,48	0,13	14,44	92	3	1	2
	(B)	1,11	0,30	-	7,99	0,020	0,005	0,40	0,26	10,085	79	4	3	11
	C	2,23	0,43	-	0	0	0,015	0	?	-	0	0	0	-
REBOURSEAUX	A ₁	0,13	0,02	-	3,77	0,01	0,10	0,35	0,10	4,48	84	8	0	3
	A _{2g}	0,13	0,05	-	2,66	0	0,12	0,20	0,12	3,28	81	6	2	4
	A/(B)	0,75	0,25	-	4,88	0	0,14	0,20	0,20	6,42	76	3	4	12
	(B)	1,92	0,36	-	4,66	0	0,07	0,32	0,33	7,66	61	4	5	25
	(B)c	2,72	0,36	-	2,66	0	0,02	0,12	0,30	6,18	43	2	6	44
											TAE			

TABLEAU 105 : CATIONS ECHANGEABLES AU pH DU SOL.

Le calcium de ces sols n'a que deux sources. Soit il provient des carbonates, soit il est, dès l'origine, présent sous forme échangeable et garnit le complexe d'échange. Il semble bien que ces planosols ne contiennent pas de minéraux altérables capables de libérer progressivement puis de fournir des cations basiques au milieu. Ainsi, une fois la décarbonatation terminée, le solum s'appauvrit très rapidement et très fortement en bases et Al⁺⁺⁺ vient occuper les sites d'échange ainsi libérés. Seul frein, modeste, à cette évolution, une certaine remontée biologique, décelable seulement dans certains sols.

Les planosols de Champagne humide apparaissent donc comme des sols à très forte acidité minérale.

2. BILAN DES DIFFERENTES FORMES DU FER ET DE L'ALUMINIUM

A. BILAN DES DIFFERENTES FORMES DU FER

METHODES

21 horizons de 4 sols ont pu être analysés à NANCY (Centre de Pédologie Biologique). Sur des prises différentes ont été pratiquées des extractions avec le pyrophosphate, l'oxalate (réactif de Tamm) et le réactif Mehra-Jackson.

Pour interpréter les résultats de ces diverses extractions nous avons utilisé la "grille" présentée à la figure 44 et estimé les différentes formes du fer selon les calculs suivants :

- 1 fer des réseaux des silicates
= fer total - fer extrait par réactif Mehra-Jackson ;

- 2 $\frac{2}{2}$ fer des oxydes très cristallisés
 $\frac{2}{2}$ fer extrait au Mehra-Jackson - fer extrait au Tamm
(malheureusement, la lépidocrocite étant partiellement dissoute par l'oxalate, cette estimation sera plutôt obtenue par défaut).

- 3 $\frac{2}{2}$ fer amorphe ou mal cristallisé minéral
 $\frac{2}{2}$ fer extrait au Tamm - fer extrait au pyrophosphate
(pour la même raison que ci-dessus, cette forme de fer sera plutôt sur-évaluée).

RESULTATS

Ils sont rassemblés ci-joint (tableau 106) exprimés en pour mille de la terre fine totale (fer élément, colonnes α). Pour faciliter les interprétations, les formes différentes du fer ont été traduites en % du fer total (colonnes β).

Fer lié à la matière organique (amorphe ou complexé) :

il est en diminution très rapide avec la profondeur jusqu'à devenir négligeable. Les pourcentages très élevés trouvés à HERY et PONTIGNY dans l'horizon de surface (21 et 26 %) concordent bien avec le caractère nettement podzolique de ces deux horizons et l'humus de type moder. La valeur de 15 % dans l'A₁ de REBOURSEAUX correspond bien, elle aussi, avec l'humus de type mull-moder.

Fer amorphe et mal cristallisé minéral :

ces formes de transition du fer sorti des réseaux et non encore réorganisé en oxydes et hydroxydes sont pratiquement absentes dans les horizons C (0 à 2 %). Elles présentent leurs valeurs maximales pour chaque profil en A_{2g} ou (B)_d c'est-à-dire dans les niveaux qui subissent l'altération la plus intense, sans jamais dépasser 9 % du fer total.

Fer des oxydes bien cristallisés :

on note d'abord l'opposition nette entre FLOGNY très riche en oxydes (47 % en C) et les deux sols glauconieux (HERY et PONTIGNY), beaucoup plus pauvres. Les valeurs maximales apparaissent quatre fois à proximité immédiate du contact planique (13 % en A_{22g} à PONTIGNY ; 34 % en A(B) à REBOURSEAUX ; 49 % en A(B) à

FLOGNY et 21 % en (B)d à HERY. A FLOGNY, nous savons qu'il s'agit principalement de goéthite héritée de la sédimentation argilo-calcaire de l'Aptien. On notera également que de petits pics de lépidocrocite ont été repérés sur les diffractogrammes des horizons suivants :

HERY A_{22g}, (B)₁, (B)₂, C₁, C₂, C₄ ;

PONTIGNY (B)₁ ;

FLOGNY A_{2g}, A(B) et (B)₁.

FER " LIBRE "							
Fer complexé humique	Fer complexé fulvique	Fer amorphe organique	Oxydes mal cristallisés organiques	Fer amorphe minéral	Oxydes mal cristallisés minéraux	Fer des oxydes bien cristallisés	Fer des réseaux des silicates
← Tétraborate →							
← EDTA Na ₄ →				← EDTA →			
← Pyrophosphate →							
← Oxalate (Tamm) →						← ? →	
← Citrate-bicarbonate-dithionite (Mehra-Jackson) →							
← Analyse totale (fusion borate ou HF) →							

FIGURE 44 : Différentes formes du fer et leur extraction par différents réactifs (E. JEANROY, 1983). Le fer extrait par le réactif de Mehra-Jackson quantifie le fer "libre" c'est-à-dire toutes les formes situées hors des réseaux des silicates. L'extrait au pyrophosphate correspond au fer lié aux matières organiques.

Fer des réseaux des silicates :

ces valeurs sont les plus entachées d'erreurs car obtenues par différence à partir de dosages de fer total pas toujours réalisés sur exactement le même échantillon que les autres extractions. A HERY, PONTIGNY et FLOGNY, il est net que les pourcentages de fer des réseaux va décroissant à mesure que l'on monte dans les profils, et cela aussi bien en valeur absolue qu'en % du fer total.

Fer "libre" (tableau 106 et figure 45) :

ce fer, extrait par le réactif Mehra-Jackson, rassemble tout ce qui n'est plus à l'intérieur de la structure des réseaux cristallins silicatés.

	Fer total	FER "LIBRE"						Fer des réseaux des silicates		FER "LIBRE" (Mehra-Jackson)	
		Fer lié à la matière organique (pyrophosphate).		Fer amorphe et mal cristallisé minéral.		Fer bien cristallisé des oxydes					
		α	α	(β)	α	(β)	α	(β)	α	(β)	α
HERY											
A ₁	14,6	3,1	(21)	0,3	(2)	3,2	(22)	8,0	(55)	6,6	(45)
A _{21g}	14,6	3,4	(23)	0,5	(3)	1,1	(8)	9,6	(66)	5,0	(34)
A _{22g}	19,7	2,2	(11)	1,1	(6)	2,3	(12)	14,1	(72)	5,6	(28)
(B)d	72,3	2,2	(3)	0,9	(1)	15,1	(21)	54,1	(75)	18,2	(25)
(B)	72,9	3,0	(4)	1,0	(1)	13,0	(18)	55,9	(77)	17,0	(23)
(B)-C	63,3	1,3	(2)	0	(0)	6,8	(11)	55,5	(83)	7,8	(12)
PONTIGNY											
A ₁	9,3	2,4	(26)	0,2	(2)	0,8	(9)	5,9	(63)	3,4	(37)
A ₂₁	13,0	1,8	(14)	0,7	(5)	1,3	(10)	9,2	(71)	3,8	(29)
A _{22g}	19,7	1,6	(8)	0,9	(5)	2,5	(13)	14,7	(75)	5,0	(25)
(B)d	33,4	2,0	(6)	1,9	(6)	3,1	(9)	26,4	(79)	7,0	(21)
(B)	44,0	1,5	(3)	1,5	(3)	3,0	(7)	38,0	(86)	6,0	(14)
C ₁	32,1	0,1	(0)	0,5	(2)	2,4	(7)	29,1	(91)	3,0	(9)
FLOGNY											
A ₂	24,5	1,9	(8)	1,0	(4)	12,5	(51)	9,1	(37)	15,4	(63)
A(B)	39,2	0,8	(2)	0,9	(2)	19,1	(49)	18,4	(47)	20,8	(53)
(B)	41,3	0,8	(2)	1,4	(3)	16,8	(41)	22,3	(54)	19,0	(46)
C	49,7	0,1	(0)	0,4	(1)	23,5	(47)	25,7	(52)	24,0	(48)
REBOURSEAUX											
A ₁	13,9	2,1	(15)	0,9	(6)	3,4	(24)	7,5	(54)	6,4	(46)
A _{2g}	17,5	1,4	(8)	1,6	(9)	4,0	(23)	10,5	(60)	7,0	(40)
A/(B)	30,8	1,0	(3)	2,5	(8)	10,5	(34)	16,8	(55)	14,0	(45)
(B)	35,7	0,8	(2)	1,6	(4)	10,4	(29)	22,9	(64)	12,8	(36)
(B)-C	40,6	0,6	(1)	0,8	(2)	12,8	(32)	26,4	(65)	14,2	(35)

TABLEAU 106 : BILAN DES DIFFERENTES FORMES DE FER

(fer élément).

α : en pour mille de la terre fine totale ;
 (β) : en % du fer total.

On constate que les horizons (B)-C et C sont déjà fort riches en fer "libre". A FLOGNY, c'est de la goethite héritée, à HERY, il s'agit sans doute pour une part, de la libération des ciments des grains de glauconie. Nous avons vu, en effet, (chap. V p. 168) qu'un traitement au citrate-dithionite appliqué à l'horizon C d'HERY avait provoqué l'effondrement complet des grains de glauconie et avait extrait 8 % du fer total.

A HERY, on note un "ventre" très net de fer "libre" dans les horizons (B). Il en est peut-être de même à PONTIGNY (B)d, FLOGNY A (B) et REBOURSEAUX A/(B).

Le fer des réseaux est évacué hors du solum en même temps que les particules phylliteuses qui partent en suspension. Une partie se voit "libérée" par altération. Quant au fer "libre" il aurait tendance à s'accumuler dans le profil et sans doute à se redistribuer (descente puis cristallisation sous forme de lépidocrocite dans les horizons (B), notamment).

A HERY et FLOGNY nous disposons des extractions au réactif Mehra-Jackson sur les trois sous-fractions "argiles" et sur l'horizon total. Il nous a

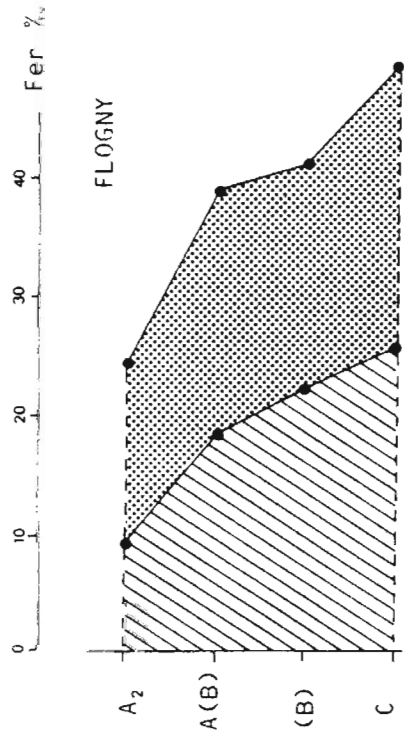
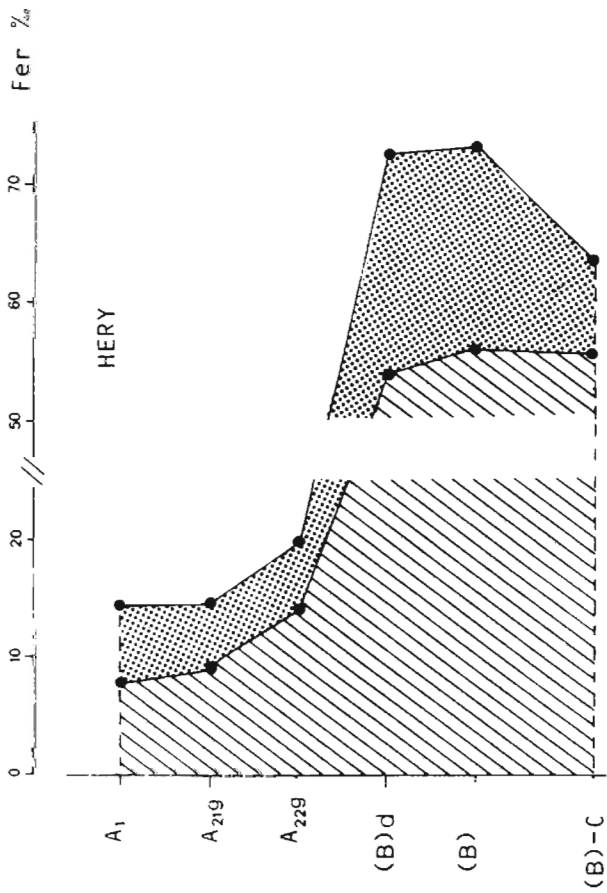
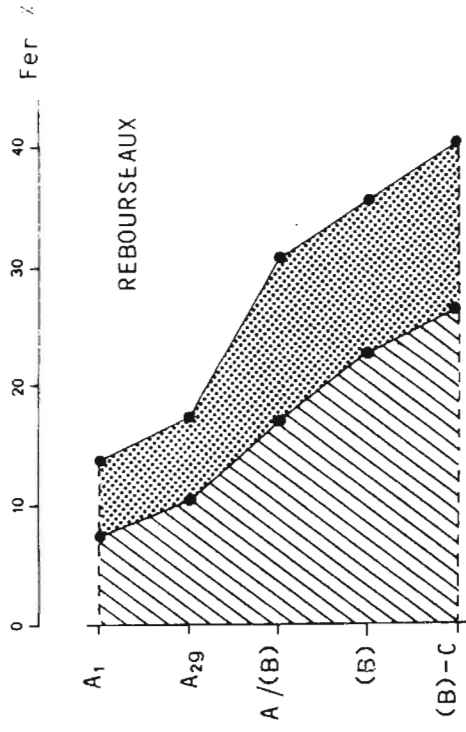
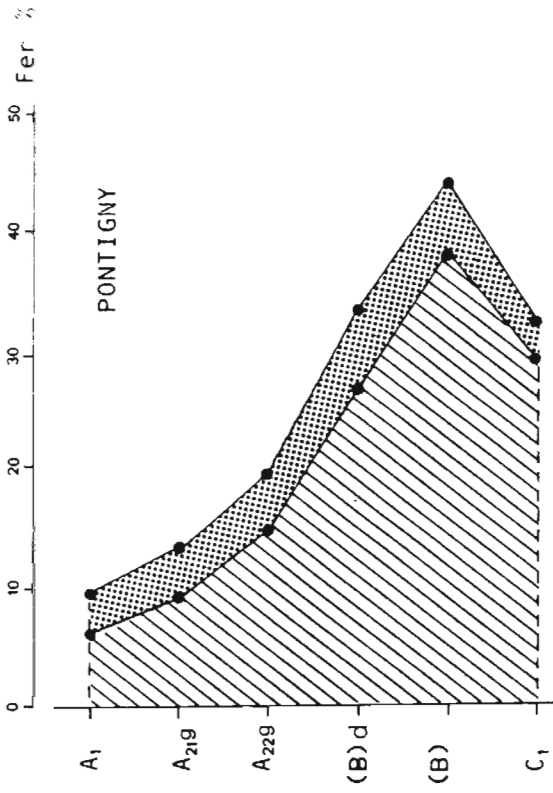


FIGURE 45 : FER DES RESEAUX CRISTALLINS (hachurées) ET FER LIBRE (pointillés) EN POUR MILLE DE LA TERRE FINE TOTALE.

ainsi été aisé de calculer, en % de la terre fine totale, la part du fer libre lié aux particules $< 2 \mu\text{m}$.

		Fer Mehra-Jackson extrait des trois sous-fractions $< 2 \mu\text{m}$	Fer Mehra-Jackson extrait de l'horizon total
HERY	A _{2g}	3,88	5,60
	(B) _d	18,53	18,20
	C ₁	8,16	8,1
FLOGNY	A _{2g}	10,05	15,4
	A(B)	20,53	20,8
	(B) ₁	18,96	19,0
	C ₂	22,88	24,0

TABLEAU 107 :

FER "LIBRE" LIÉ AUX SOUS-FRACTIONS "ARGILES"
ET FER "LIBRE" DE L'HORIZON TOTAL
(en % de la terre fine totale).

La lecture du tableau 107 mène à un constat très net : dans les horizons C et (B) la totalité du fer "libre" est lié aux particules inférieures à $2 \mu\text{m}$. En revanche, au sein des horizons A_{2g}, il en va différemment, une partie du fer libre est indépendante des argiles (nodules, pellicules sur les limons et sables ?). Ce dernier fait, qui s'accorde bien avec les observations macro- et micromorphologiques, constitue la signature, sur le plan minéralogique, du caractère hydromorphe de ces horizons.

Maintenant que nous connaissons approximativement la répartition fer "libre"/fer des réseaux, il nous est possible d'y appliquer le raisonnement isoquartz (avec cependant la difficulté que les chiffres disponibles pour le fer "libre" et pour le quartz n'intéressent pas toujours les mêmes horizons, les bilans isoquartz ayant souvent été établis sur un nombre restreint d'horizons).

Certes, vu le caractère problématique de ce croisement de données, les chiffres qui figurent au tableau 108 ne peuvent être qu'indicatifs.

Il ressort cependant, en ce qui concerne le fer "libre" :

- une accumulation absolue à HERY (B)₁ et à PONTIGNY (B)₁. Pour HERY, cela est à la fois confirmé par le bilan isoquartz (p. 173, tableau 63) et par la figure 45. Pour PONTIGNY, le bilan isoquartz (p. 181, tableau 73) annonce + 12 % de fer en (B) mais la figure 45 n'est pas très nette sur ce point ;
- des pertes importantes dans les horizons A ;
- à HERY et PONTIGNY, les pertes des horizons A sont du même ordre de grandeur que les gains enregistrés en (B)₁ : le fer "libre" n'aurait donc pas été évacué hors du solum mais seulement redistribué (notamment sous forme de lépidocrocite).

		Fer "libre" pertes ou gains		Fer des réseaux pertes ou gains		Rappel des pertes ou gains (en % de la quantité à l'origine)* < 2 μ m phyllites 2/1	
		en hg/dm ²	en %	en hg/dm ²	en %		
HERY	A	- 0,54	- 59 %	- 6,26	- 89 %		- 84 %
	(B) ₁	+ 0,41	+ 162 %	+ 0,18	+ 9 %		+ 38 %
	(B) ₂	- 0,02	- 3 %	- 0,49	- 10 %		- 1 %
	Σ	- 0,15		- 6,57			
PONTIGNY	A	- 0,12	- 33 %	- 2,87	- 82 %		- 80 %
	(B) ₁	+ 0,11	+ 77 %	+ 0,03	+ 2,5 %		+ 24 %
	(B) ₂	?	?	+ 0,04	+ 5 %		+ 19 %
	Σ	?	?	- 2,80			
FLOGNY	A	- 1,24	- 60 %	- 1,76	- 80 %	- 69 %	
	(B) ₁	- 0,03	- 5 %	+ 0,01	+ 2 %	+ 30 %	
	(B) ₂	+ 0,11	+ 7 %	?	?	+ 28 %	
	Σ	- 1,16		?			
REBOURSEAUX	A ₂₁	- 0,67	- 70 %	- 1,39	- 78 %	- 82 %	
	A ₂₂	- 0,20	- 65 %	- 0,40	- 72 %	- 72 %	
	A/(B)	- 0,06	- 16 %	- 0,34	- 46 %	- 46 %	
	(B) ₁	- 0,03	- 9 %	- 0,08	- 12 %	- 13 %	
	(B) ₂	- 0,04	- 10 %	- 0,11	- 13 %	- 4 %	
	Σ	- 1,00		- 2,32			

TABLEAU 108 :

BILANS ISOQUARTZ DU FER "LIBRE"
ET DU FER DES RESEAUX DES SILICATES.

Comparaison avec les pertes ou gains de phyllites évalués par la même méthode (chap. V).

* (Les pertes et gains de la fraction < 2 μ m de HERY et PONTIGNY ne conviennent pas, suite à l'existence de glauconite "stockée" dans les horizons C et (B) sous forme de grains de sable).

En ce qui concerne le fer des réseaux :

- des gains légers dans trois horizons (B)₁ qui pourraient être le signe d'une illuviation d'argile ;
- de fortes pertes dans tous les horizons A (78 à 89 %).

Les horizons A et le profil REBOURSEAUX dans son ensemble présente un très bon accord entre les pertes en fer des réseaux et les pertes en argiles (granulométriques ou minéralogiques). Dans tous les cas, les pertes en fer des réseaux correspondraient exactement à la disparition de l'argile (départ hors du solum et/ou dissolution congruente) et non à une altération différentielle des édifices phylliteux.

En revanche, il y a un franc désaccord entre les faibles gains de fer des réseaux des horizons (B) et les gains calculés en argiles. Cela pourrait signifier

- soit que les gains granulométriques importants des fractions $< 2 \mu\text{m}$ correspondent seulement à une microdivision des limons fins, sans apport de particules ferrifères (FLOGNY ?) ;
- soit que les argiles illuviées seraient très pauvres en fer (dans les réseaux : illuviation secondaire hydromorphe ?).

B. BILAN DES DIFFERENTES FORMES DE L'ALUMINIUM

METHODES

L'aluminium a été dosé après extraction par l'oxalate et le réactif Mehra-Jackson. Al^{+++} échangeable est connu par ailleurs (extraction dans KCl N au pH du sol) ainsi que Al total (dissolution par HF).

Al^{+++} échangeable est extrait par les deux réactifs. Al-Tamm et Al-Mehra-Jackson devraient être voisins et correspondraient à l'aluminium amorphe ; cependant le réactif de Tamm est censé être le plus agressif car il agit à pH 3. Si, au contraire, $\text{Al-MJ} > \text{Al-Tamm}$, on peut penser qu'en dissolvant les oxydes de fer bien cristallisés, le dithionite a libéré de l'aluminium masqué lors de l'attaque par l'oxalate : il s'agirait d'Al substitué dans les réseaux des oxydes de fer.

Enfin, on peut raisonnablement penser qu'il n'existe ni gibbsite ni boehmite dans ces sols. D'où les équivalences :

Al amorphe	= Al Tamm - Al^{+++} échangeable
Al intégré aux oxydes de fer	= Al-MJ - Al Tamm
Al des réseaux des silicates	= Al total - 3 autres formes.

On notera que les éventuelles "cales" alumineuses de la pseudo-chloritisation ne sont pas attaquées par le réactif Mehra-Jackson. En conséquence, ces "cales", si elles existent, seront comptabilisées comme faisant partie des réseaux cristallins.

RESULTATS

Le tableau 109 présente ces résultats en % de la terre fine totale (colonne α) et en % de l'aluminium total (colonnes (β)).

Aluminium échangeable :

il est du même ordre de grandeur que Al amorphe. Absent dans les horizons C calcaires, il a tendance à prendre son importance relative maximale dans les horizons A et au niveau du contact planique.

	ALUMINIUM "LIBRE"												
	Al total HF		Aluminium échangeable		Aluminium amorphe			Aluminium intégré aux oxydes de fer		Aluminium des ré-seaux des silicates		Aluminium "libre"	
	α	(β)	α	(β)	α	(β)	γ	α	(β)	α	(β)	α	(β)
HERY													
A1	15,0	(19)	0,28	(19)	0,36	(24)	3,0	0,16	(11)	14,2	(947)	0,80	(54)
A219	15,0	(16)	0,24	(16)	0,44	(29)	4,2	-	-	14,32	(955)	0,68	(45)
A229	17,0	(13)	0,22	(13)	0,30	(18)	2,5	-	-	16,48	(969)	0,52	(31)
(B)d	45,0	(21)	0,96	(21)	0,54	(12)	1,3	0,30	(7)	43,2	(960)	1,80	(40)
(B)	51,0	(25)	1,30	(25)	0,80	(16)	1,8	0,10	(2)	48,8	(957)	2,20	(43)
(B)-C	44,0	(17)	0,74	(17)	0,36	(8)	1,1	0,10	(2)	42,8	(973)	1,20	(27)
PONTIGNY													
A1	24,0	(13)	0,32	(13)	0,68	(28)	4,7	-	-	23,0	(958)	1,00	(42)
A21	29,0	(14)	0,42	(14)	0,42	(14)	2,7	-	-	28,16	(971)	0,84	(29)
A229	38,0	(13)	0,48	(13)	0,48	(13)	2,5	-	-	37,04	(975)	0,96	(25)
(B)d	56,0	(14)	0,81	(14)	0,83	(15)	2,6	-	-	54,36	(971)	1,64	(29)
(B)	72,0	(8)	0,59	(8)	0,77	(11)	1,8	-	-	70,64	(981)	1,36	(19)
C1	58,0	(0)	0	(0)	0,24	(4)	0,7	-	-	57,76	(996)	0,24	(4)
FLOGNY													
A29	39,7	(10)	0,40	(10)	0,50	(13)	2,1	0,50	(13)	38,3	(965)	1,40	(35)
A/(B)	85,7	(14)	1,20	(14)	0,80	(9)	1,5	0,60	(7)	83,1	(970)	2,60	(30)
(B)	90,0	(8)	0,72	(8)	0,68	(8)	1,3	0,60	(7)	88,0	(978)	2,00	(22)
C	100,5	(0)	0,01	(0)	0,29	(3)	0,5	1,10	(11)	99,1	(986)	1,40	(14)
REBOURSEAUX													
A1	32,0	(11)	0,34	(11)	0,66	(21)	5,6	-	-	31,0	(969)	1,00	(31)
A29	36,0	(7)	0,24	(7)	0,56	(16)	3,0	0,20	(6)	35,0	(972)	1,00	(28)
A/(B)	60,0	(7)	0,44	(7)	0,96	(16)	3,1	0,40	(7)	58,2	(970)	1,80	(30)
(B)	67,5	(6)	0,42	(6)	1,08	(16)	2,6	0,30	(4)	65,7	(973)	1,80	(27)
(B)-C	69,0	(3)	0,24	(3)	0,76	(11)	1,7	0,60	(9)	67,4	(977)	1,60	(23)

TABLEAU 109 :

BILAN DES DIFFERENTES FORMES DE L'ALUMINIUM (élément)

α en pour mille de la terre fine totale

(β) en pour mille de l'aluminium total

γ en pour mille de l'argile granulométrique

Aluminium amorphe :

pour les quatre sols, le rôle relatif des amorphes va croissant depuis la profondeur jusqu'à la surface. Cela est sans doute à mettre en relation avec la nette tendance podzolique des horizons A₁ de HERY et de PONTIGNY. La faible quantité d'amorphes par rapport à la quantité d'argile (colonne γ) est à souligner. L'agent habituel de la floculation des sols bruns se trouve ici en quantité insuffisante pour éviter la dispersion au moins partielle des argiles (voir VI, 6e).

Aluminium intégré aux oxydes de fer :

on constate (figure 46) que la différence $[\bar{\text{Al}} \text{ Mehra-Jackson} - \text{Al Tamm}]$ est approximativement proportionnelle à la quantité de fer des oxydes cristallisés. Les valeurs positives de cette différence interviennent seulement lorsque le taux de fer des oxydes dépasse 3 %. C'est pourquoi, probablement, cette forme particulière d'aluminium paraît absente du profil PONTIGNY, trop pauvre en oxydes de fer.

Aluminium des réseaux des silicates :

dans ce bilan, l'aluminium des réseaux domine de façon écrasante. On observe seulement (ce qui est logique et donc plutôt rassurant quant à la validité de l'ensemble) une certaine libération de l'aluminium dans les horizons les plus superficiels et surtout dans les profils les plus évolués (HERY et PONTIGNY).

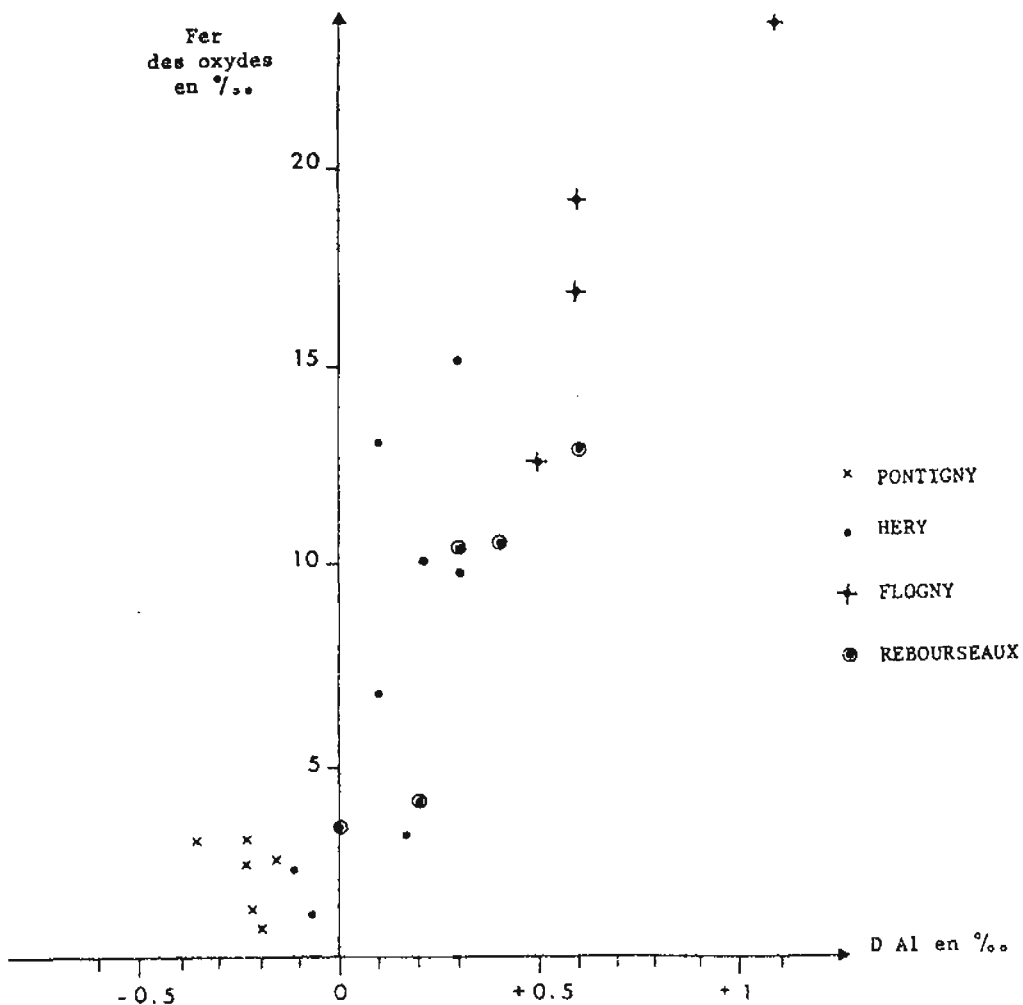


FIGURE 46 : Relation entre D Al = différence (aluminium extrait par le réactif Mehra-Jackson moins aluminium extrait par le réactif de Tamm) et le fer des oxydes bien cristallisés (en % de la terre fine totale). Le quadrant de droite correspondrait au domaine de substitution d'aluminium dans les réseaux des oxydes de fer.

		Somme des trois sous-fractions < 2 μm	Horizon total
HERY	A _{2g}	0,37	0,4
	(B) _d	1,11	1,8
	C ₁	1,14	1,2
FLOGNY	A _{2g}	1,35	1,4
	A(B)	2,16	2,6
	(B) ₁	1,91	2,0
	C ₂	1,49	1,4

TABLEAU 110 : ALUMINIUM EXTRAIT AU REACTIF DE MEHRA-JACKSON.
Somme des trois sous-fractions < 2 μm et comparaison avec l'horizon total (en % de la terre fine totale).

Sur sept horizons pour lesquels des analyses étaient disponibles, cinq présentent un bon "bouclage" entre l'aluminium extrait par le réactif de Mehra-Jackson sur les sous-fractions < 2 μm et celui extrait directement sur l'horizon total (tableau 110). Pour ces cinq horizons, on peut dire que tout l'aluminium "libre" est lié à la fraction argile. En revanche, il y a mauvaise correspondance pour les deux horizons situés au niveau du contact planique, pour lesquels une partie de l'aluminium "libre" serait indépendante de la fraction < 2 μm (*)

CONCLUSION

A la différence de ce qui se passe pour le fer, l'indice brut d'altération de l'aluminium (SOUCHIER, 1971) est très faible : de 2 à 5 % (tableau 109). A l'évidence, le complexe d'altération représente peu de choses en comparaison avec le stock considérable de minéraux phylliteux originels. De plus, il n'existe pas d'oxydes hérités ni de minéraux capables de libérer facilement de l'aluminium comme c'était le cas pour le fer grâce aux grains de glauconie.

En outre, Al⁺⁺⁺ représente une part importante de l'aluminium "libre" (22 à 58 %).

Ainsi l'aluminium ne s'organise pratiquement pas sous forme d'amorphes. Il demeure sous la forme cationique échangeable, conséquence de l'intense acidité minérale. Il pourrait aussi, éventuellement, avoir formé des ions hydroxy-al interfoliaires (cf. infra), non extractibles par les différents réactifs utilisés.

*

Erreurs d'analyse fortuites ou fait significatif ?

3. ETUDE DES FRACTIONS "ARGILES" DU PROFIL HERY

A. METHODE

Pour obtenir une bonne connaissance des argiles et notamment de leurs éventuelles transformations, il est indispensable de réaliser un sous-fractionnement. La preuve en est fournie par la figure 48. La procédure est la suivante :

- agitation dans l'eau puis tamisage sous l'eau à 50 μm ;
- dispersion aux résines sodiques ;
- récupération des argiles et quantification (à ce stade on constate que les traitements préparatoires ont abouti à une fragmentation importante et artificielle des grains de glauconie puisqu'il a été dosé 42 % de particules < 2 μm dans l'horizon C₁ au lieu de 24 % par granulométrie normale *) ;
- fractionnement à l'ultracentrifugeuse Sharples de trois sous-fractions et détermination quantitative de leurs proportions :

< 0,1 μm	= ultrafines	= UF
0,1 à 0,5 μm	= moyennes	= m
0,5 à 2 μm	= grossières	= gr

- chaque sous-fraction est ensuite étudiée séparément :

- rayons X
- analyse chimique totale
- aliquote pour extraction au réactif de Mehra-Jackson et détermination du fer libre.

B. PROPORTIONS (tableaux 111 et 112)

Les argiles ultrafines sont plus abondantes en (B) qu'en C (suite et fin de la microdivision des particules de glauconie) mais moins abondantes, relativement, en A qu'en (B)d. En conséquence, les argiles des horizons A sont plus riches en grossières que les horizons plus profonds. Le bilan isoquartz montre bien qu'il y a disparition absolue préférentielle des ultrafines et des moyennes dans l'horizon A, d'où concentration relative de la classe la plus grossière. Ainsi, la planosolisation, quels que soient ses mécanismes exacts, a affecté tout particulièrement les particules argileuses les plus petites.

*

C'est pourquoi le tableau 112 et le tableau 66 (chapitre V) ne peuvent être comparés.

	ultra-fines < 0,1 μm		moyennes 0,1 à 0,5 μm		grossières 0,5 à 2 μm		TOTAL
	I	(II)	I	(II)	I	(II)	(II)
Horizon A _{2g}	40,6	(4,7)	34,3	(4,0)	25,1	(2,9)	(11,6)
Horizon (B)d	68,6	(29,5)	24,9	(10,7)	6,4	(2,8)	(43,0)
Horizon C ₁	53,9	(22,7)	39,7	(16,7)	6,3	(2,7)	(42,1)

TABLEAU 111 :

PROPORTIONS DES TROIS SOUS-FRACTIONS "ARGILE"

I = en % de leur somme

II = en % de la terre fine totale actuelle

	ultra-fines < 0,1 μm		moyennes 0,1 à 0,5 μm		grossières 0,5 à 2 μm	
	I	(II)	I	(II)	I	(II)
Horizon A _{2g}	- 22,60	(- 88)	- 16,25	(- 86)	- 1,10	(- 36)
Horizon (B)d	+ 4,18	(+ 58)	- 1,15	(- 22)	+ 0,23	(+ 27)
Horizon C ₁	h o r i z o n d e r é f é r e n c e					

TABLEAU 112 :

BILAN ISOQUARTZ DES TROIS SOUS-FRACTIONS "ARGILE"

I = gains ou pertes en hg/dm² = valeurs absolues

II = gains ou pertes en % du poids à l'origine

C. DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X (figures 47, 48 et 49)La kaolinite :

deux effets paraissent se combiner (tableau 113). La kaolinite se localise surtout parmi les argiles les plus grossières et elle semble manifester une accumulation relative dans l'horizon A_{2g}.

Le quartz (tableau 113) :

il n'est présent que dans les argiles > 0,1 μm et surtout parmi les plus grossières. Rare en C₁, ce quartz très fin n'apparaît en quantité importante qu'en (B)d et A_{2g}.

Le lépidocrocite (tableau 114) :

un pic à 6,3 Å apparaît très nettement dans les grossières et moyennes de l'horizon C₁. On le retrouve seulement dans les argiles moyennes des horizons (B)d et A_{2g}. Sa présence est l'indice de néoformation d'oxyhydroxyde de fer en condition hydromorphe à partir de solutions ferreuses.

	KAOLINITE			QUARTZ		
	ultrafines	moyennes	grossières	ultrafines	moyennes	grossières
Horizon A _{2g}	tr	•	•	néant	•	••••
Horizon (B)d	tr	•	•	néant	•	••••
Horizon C ₁	néant	tr	tr	néant	néant	•
			< 2 μm total			
matières recueillies en suspension dans l'eau.			••	tr		

TABLEAU 113 :

KAOLINITE ET QUARTZ. ASPECT DES DIFFRACTOGRAMMES.
HAUTEUR ET NETTETE DES PICS.

	GOETHITE			LEPIDOCROCITE		
	ultrafines	moyennes	grossières	ultrafines	moyennes	grossières
Horizon A _{2g}					tr	
Horizon (B)d	tr (?)	•			•	
Horizon C ₁					••	•

TABLEAU 114 :

OXYDES DE FER. HAUTEUR ET NETTETE DES PICS.

Les minéraux 2/1 (tableau 115) :

sur les figures 47, 48 et 49, les spectres sont superposés de deux façons différentes, de façon à permettre de suivre l'évolution des classes dans chaque horizon ou bien l'évolution verticale de chaque classe.

Evolution verticale :

- ultrafines : en C, il y a des argiles micacées à 10 Å dont certaines légèrement ouvertes (gonflant à l'éthylène-glycol). Ouverture et gonflement s'accroissent en (B)d puis encore plus en A_{2g}. La glauconite évolue donc vers les smectites par l'intermédiaire d'interstratifiés 10-14 Å.
- moyennes : mêmes choses mais persistance d'argiles micacées intactes en A_{2g}.
- grossières : dominance d'argiles micacées intactes (illite ? glauconite ?). Les quelques interstratifiés 10-14 gonflants présents en C disparaissent en A_{2g}.

FIGURE 47 : HERY. DIFFRACTOGRAMMES DES NEUF SOUS-FRACTIONS "ARGILE".

ARGILES-Mg . SUPERPOSITION DES DIAGRAMMES PAR TAILLE DES PARTICULES .

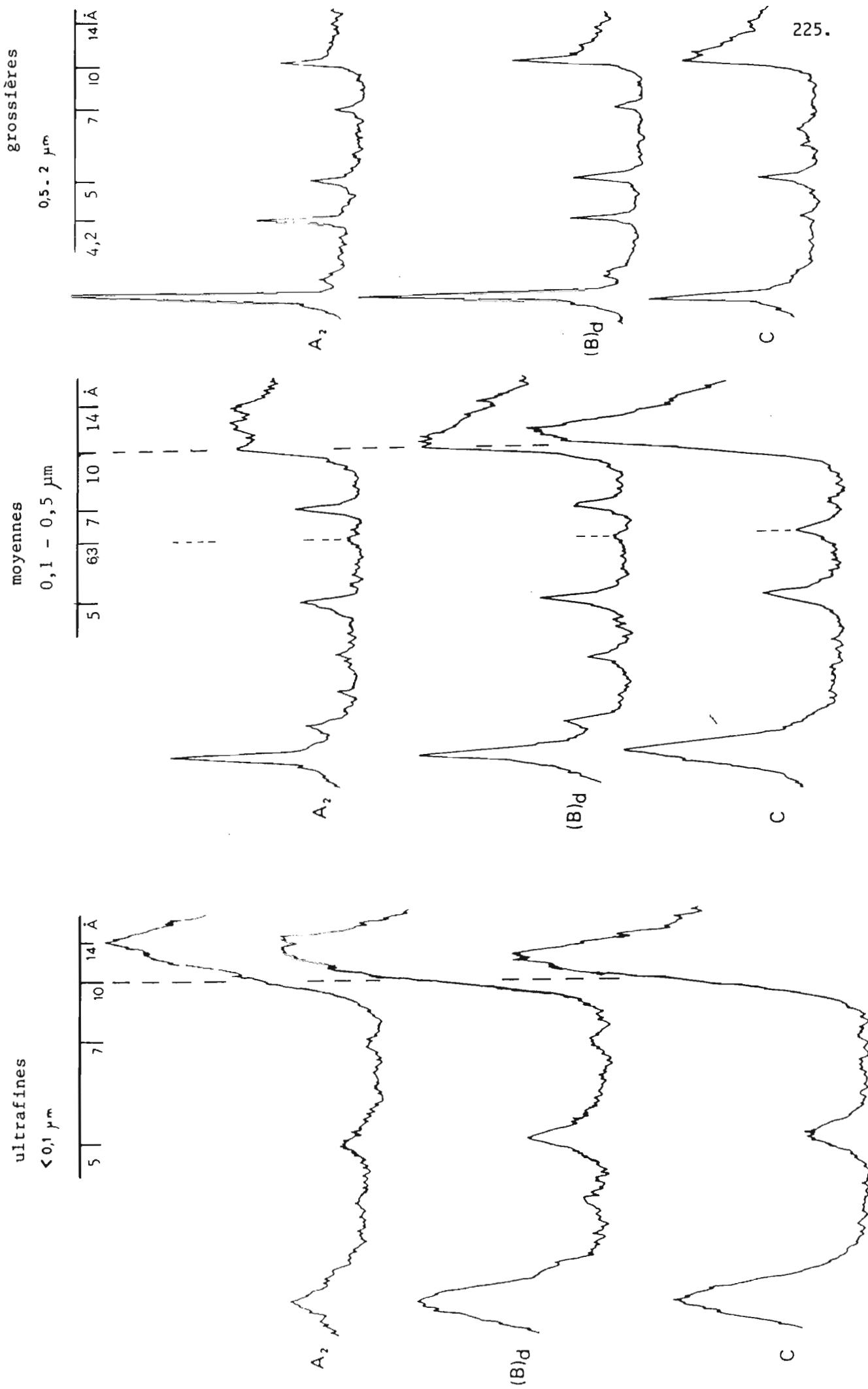


FIGURE 48 : HERY. DIFFRACTOGRAMMES DES NEUF SOUS-FRACTIONS "ARGILES". ARGILES-Mg. SUPERPOSITION DES DIAGRAMMES PAR HORIZON ET COMPARAISON AVEC CEUX OBTENUS POUR < 2 μm GLOBAL.

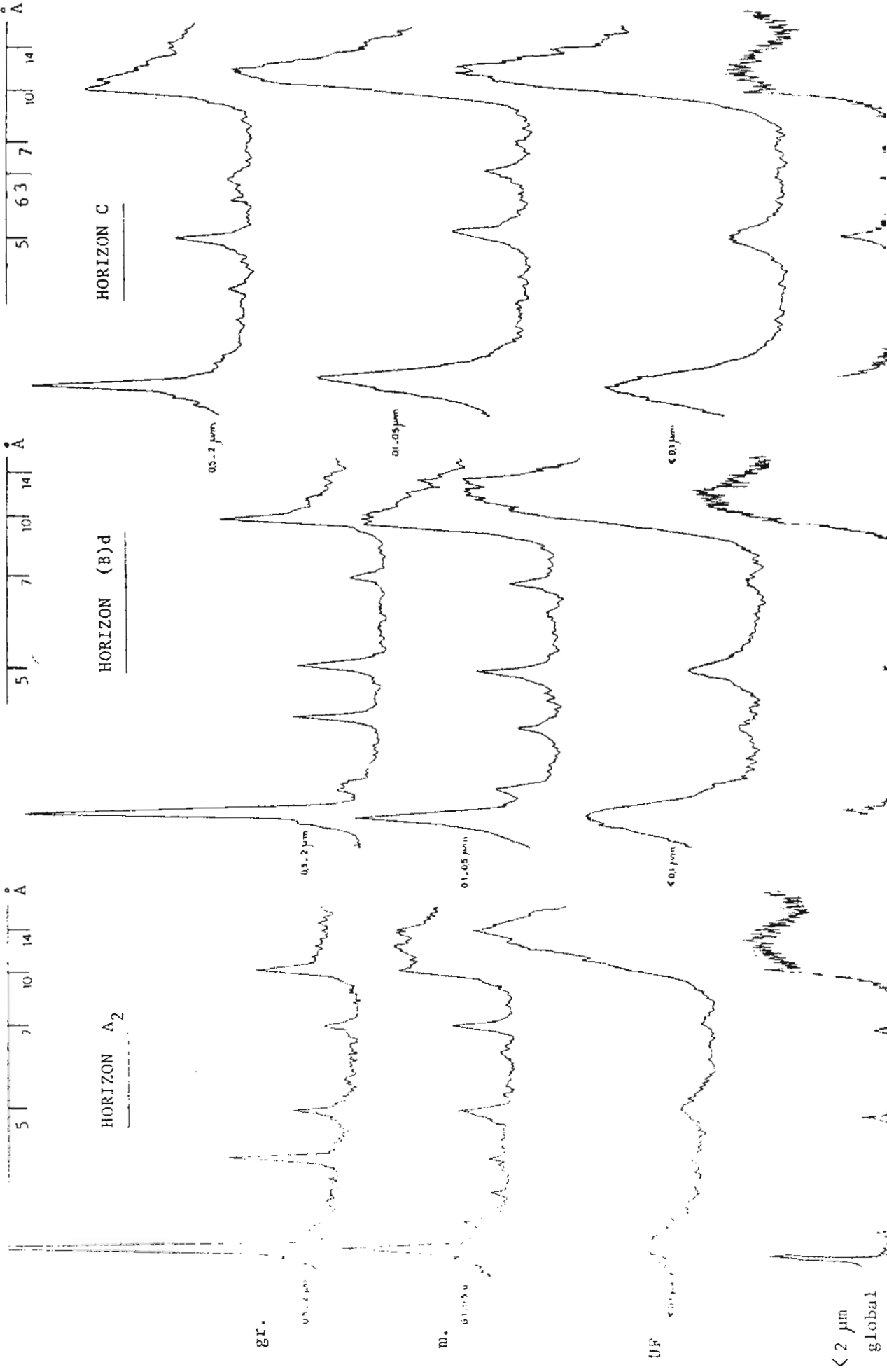
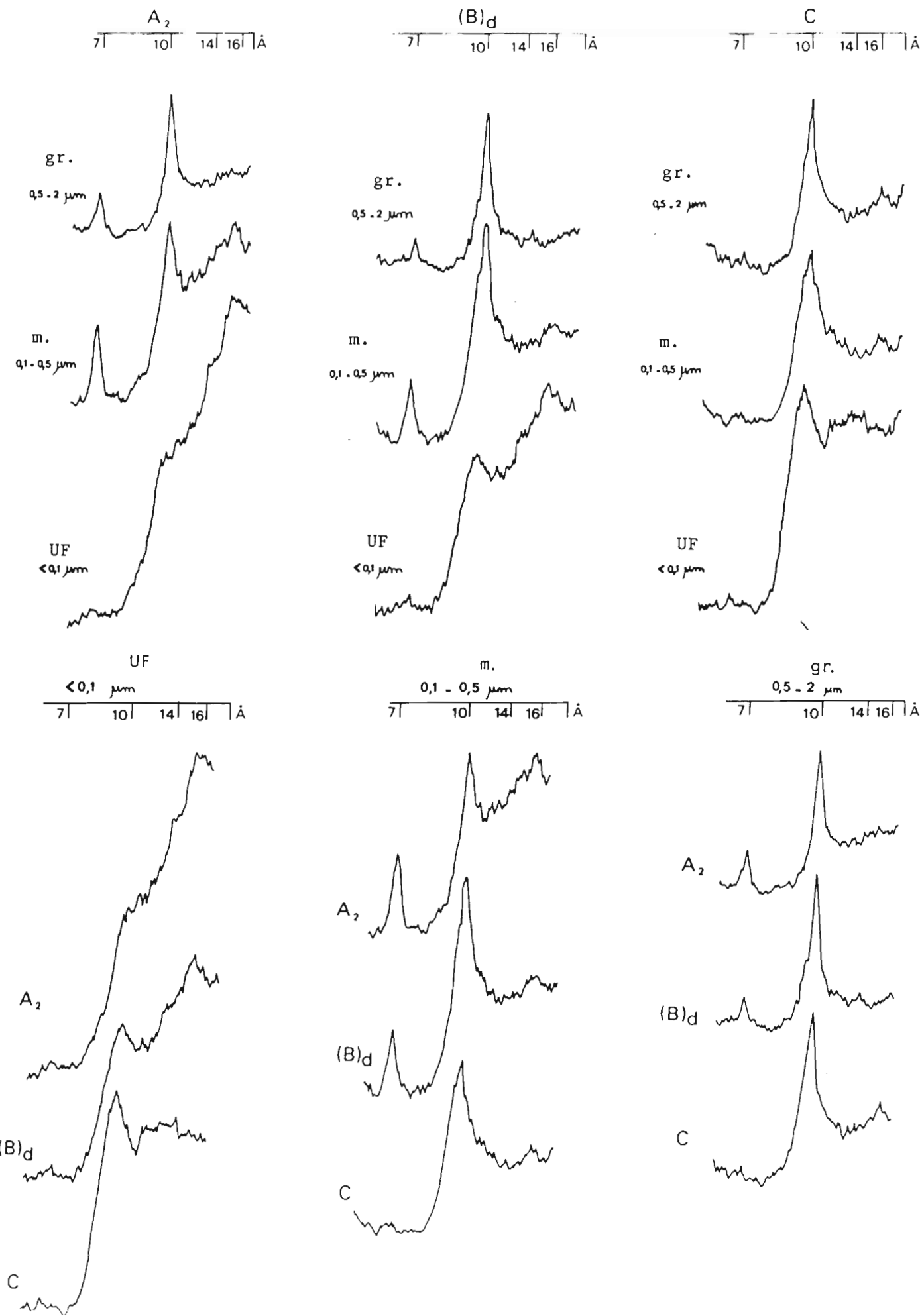


FIGURE 49 : HERY. DIFFRACTOGRAMMES DES NEUF SOUS-FRACTIONS
 ARGILES-Mg + TRAITEMENT A L'ETHYLENE-GLYCOL.



Les argiles de l'horizon C (les moins évoluées, théoriquement), sont très semblables, quelles que soient les dimensions des particules. A mesure que l'on se rapproche des horizons de surface, l'évolution des minéraux argileux se fait selon deux axes de différenciation :

- en même temps que les sous-fractions grossières s'accumulent relativement, leur composition se simplifie par disparition sélective des argiles 2/1 au bénéfice du quartz et de la kaolinite ;
- en ce qui concerne les fractions ultra-fines, on note l'ouverture des feuillets glauconitiques en proportion croissante, déterminant l'acquisition progressive de propriétés de gonflement à l'éthylène-glycol.

D. PRODUITS EXTRAITS PAR LE REACTIF MEHRA-JACKSON

Les neuf sous-fractions ont d'abord été analysées (tableau 116) puis elles ont subi un traitement au réactif Mehra-Jackson (citrates-bicarbonate-dithionite) capable d'extraire les produits amorphes ainsi que les oxydes bien cristallisés ou crypto-cristallins de fer et d'aluminium (notamment les ciments des grains de glauconie).

Fer, aluminium et silicium ainsi extraits ont été dosés (tableau 117) après quoi il a été possible de reconstituer la véritable composition chimique des édifices silicatés débarrassés des divers oxydes et amorphes.

On note, tout d'abord, les quantités très importantes de fer extraites, d'un tout autre ordre de grandeur que pour les autres éléments. De toute évidence une bonne partie du fer ne fait pas (ou plus) partie des réseaux cristallins des argiles, il y est seulement associé.

En % de l'élément présent avant l'extraction (colonnes II), les maximums s'observent :

- pour Fe_2O_3 : en A_{2g}, sous-fractions les plus grossières (+ de 40 %) ;
- pour Al_2O_3 : en A_{2g}, fractions inférieures à 0,5 μm (m + UF) ;
- pour SiO_2 : en C , particules les plus petites (UF).

Mais l'interprétation de ces maximums est délicate. Si l'on extrait moins de tel élément dans telle sous-fraction, cela veut-il dire :

- que les minéraux y sont moins altérés ;
- que les minéraux contenaient peu de cet élément à l'origine ou sous une forme peu accessible ;
- ou bien que les produits d'une altération assez poussée ont déjà été évacués ?

	ultrafines		moyennes		grossières	
	N	EG	N	EG	N	EG
Horizon A ₂	l 10 → 10 ●●	●● 10 → 10 ●●●	●● 10 → 10 ●●●	●● 10 → 10 ●●●	●● 10 → 10 ●●	●● 10 → 10 ●●
	●● 12 → 13 ●●●	●●● 12 → 13 ●●	●● 12 → 13 ●●	●● 12 → 13 ●●		
	●●● 13,4 → 16 ●●●	●●● 13,8 → 15,9 ●●●				
Horizon (B)d	l 10 → 10 ●●	●●● 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●
	●●● 12 → 13 ●●●	l 12 → néant	● 12 → néant	● 12 → néant	● 11,6 → néant	● 11,6 → néant
	●●● 13,6 → 16 ●●●	● 14 → 16,4 ●	● 14 → 16,4 ●	● 14 → 16,4 ●	● 13,9 → 14 tr	● 13,9 → 14 tr
Horizon C ₁	l 10 → 10 ●●	l 10 → 10 ●●●	l 10 → 10 ●●●	l 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●	●●● 10 → 10 ●●●
	●●● 12 → 13 ●●	●●● 11 → ?	●●● 11 → ?	●●● 11 → ?	10,8 → ?	10,8 → ?
	●● 13,8 → 16 ●●	●● 14 → 16,3 ●	●● 14 → 16,3 ●	●● 14 → 16,3 ●	12 → ?	12 → ?
					● 14 → 16,3 ●	● 14 → 16,3 ●
l = pic invisible, "noyé" dans un pic plus grand.			< 2 μm global		●, ●●, ●●●, ●●●● = hauteur et netteté des pics.	

TABLEAU 115 : MINERAUX 2/1. ASPECT DES DIFFRACTOGRAMMES. LOCALISATION + HAUTEUR ET NETTETE DES PICS AVANT (N) ET APRES (EG) TRAITEMENT A L'ETHYLENE-GLYCOL.

Matières recueillies en suspension dans l'eau le 4.02.82 *

* Cf. p.151

N	EG
l 10 → 10 ●●	●● 10 → 10 ●●
●● 12 → 13 ●●●	●● 12 → 13 ●●●
●●● 14 → 16,4 ●●●	●●● 14 → 16,4 ●●●

TABLEAU 116 : ANALYSE CHIMIQUE DES NEUF SOUS-FRACTIONS "ARGILES" AVANT TRAITEMENT AU DITHIONITE. VALEURS EXPRIMEES EN % DE (9 OXYDES + PERTE AU FEU). MnO ET CaO SONT NEGLIGEABLES

	SiO ₂			Al ₂ O ₃			
	UF	m	gr	UF	m	gr	
Horizon A _{2g}	41,9	43,2	58,2	Horizon A _{2g}	12,3	12,9	10,5
Horizon (B)d	45,8	44,5	58,1	Horizon (B)d	12,5	13,7	12,7
Horizon C ₁	49,8	48,4	48,6	Horizon C ₁	12,3	11,3	11,9
	Fe ₂ O ₃			MgO			
	UF	m	gr	UF	m	gr	
Horizon A _{2g}	18,4	13,4	6,0	Horizon A _{2g}	1,79	1,26	0,68
Horizon (B)d	21,4	18,7	8,1	Horizon (B)d	2,03	1,72	1,12
Horizon C ₁	18,8	20,2	16,7	Horizon C ₁	2,34	2,32	1,87
	K ₂ O			TiO ₂			
	UF	m	gr	UF	m	gr	
Horizon A _{2g}	2,60	2,91	2,91	Horizon A _{2g}	0,2	0,8	2,3
Horizon (B)d	3,46	4,56	4,18	Horizon (B)d	0,2	0,8	2,3
Horizon C ₁	4,68	5,55	5,16	Horizon C ₁	0,1	0,3	1,0
	Na ₂ O			Perte au feu			
	UF	m	gr	UF	m	gr	
Horizon A _{2g}	0,10	0,16	0,30	Horizon A _{2g}	22,7	25,4	18,9
Horizon (B)d	0,23	0,14	0,27	Horizon (B)d	14,4	15,8	13,1
Horizon C ₁	0,06	0,09	0,17	Horizon C ₁	11,8	11,8	14,6

	Fe ₂ O ₃					
	ultrafines		moyennes		grossières	
	I	II	I	II	I	II
horizon A ₂ g	4,82	(26)	6,33	(47)	2,58	(43)
horizon (B)d	6,33	(30)	6,64	(36)	2,57	(32)
horizon C ₁	2,43	(13)	3,04	(15)	3,96	(24)

	Al ₂ O ₃					
	ultrafines		moyennes		grossières	
	I	II	I	II	I	II
horizon A ₂ g	0,67	(5,4)	0,67	(5,2)	0,39	(3,7)
horizon (B)d	0,48	(3,8)	0,52	(3,8)	0,48	(3,8)
horizon C ₁	0,57	(4,6)	0,47	(4,2)	0,31	(2,6)

	SiO ₂					
	ultrafines		moyennes		grossières	
	I	II	I	II	I	II
horizon A ₂ g	0,79	(1,9)	0,47	(1,1)	0,47	(0,8)
horizon (B)d	0,86	(1,9)	0,90	(2,0)	1,50	(2,6)
horizon C ₁	1,67	(3,4)	1,52	(3,1)	0,79	(1,6)

TABLEAU 117 : PRODUITS EXTRAITS PAR LE REACTIF DE MEHRA-JACKSON DES NEUF SOUS-FRACTIONS "ARGILES" (EXPRESSION EN OXYDES).

colonnes I : en % de l'échantillon ;

colonnes II : en % de l'élément considéré avant extraction.

E. COMPOSITION CHIMIQUE DES SOUS-FRACTIONS "ARGILES" APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE (tableau 118)

Ce tableau est présenté de façon à ce que le lecteur puisse suivre l'évolution de la composition chimique de la fraction "argile" selon deux axes :

- affinement des particules au sein d'un même horizon ;
- superposition de trois horizons très différenciés : A₂g très appauvri en argile et en fer ; (B)d argileux où se situe la désagrégation maximale des grains de glauconie et un début de dégradation morphologique (touchant cependant un faible volume) ; horizon C où les grains de glauconie sont encore peu désagrégés.

	SiO ₂			Al ₂ O ₃			TiO ₂		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A _{2g}	58,1	63,8	74,6	16,4	18,3	13,1	0,29	1,23	3,03
Horizon (B)d	57,8	57,5	69,0	15,5	17,3	14,9	0,26	1,07	2,86
Horizon C ₁	57,8	56,6	59,8	14,1	13,1	14,6	0,12	0,37	1,27
	Fe ₂ O ₃			K ₂ O			MgO		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A _{2g}	19,0	10,3	4,4	3,58	4,27	3,67	2,46	1,84	0,83
Horizon (B)d	19,2	15,8	6,8	4,39	5,86	4,83	2,58	2,23	1,28
Horizon C ₁	19,6	20,7	15,9	5,50	6,46	6,00	2,75	2,74	2,29

TABLEAU 118 : ANALYSE CHIMIQUE DES SOUS-FRACTIONS "ARGILES" APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE (EN % DES 9 OXYDES).
MnO, CaO ET Na₂O SONT NEGLIGEABLES.

	SiO ₂			Al ₂ O ₃			TiO ₂		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A _{2g}	55 %			17,6	22,9	23,4	0,3	1,5	5,9
Horizon (B)d				16,5	18,2	21,6	0,3	1,1	4,1
Horizon C ₁				15,0	13,6	16,3	0,1	0,4	1,4
	Fe ₂ O ₃			K ₂ O			MgO		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A _{2g}	20,4	12,9	7,9	3,85	5,34	6,55	2,6	2,3	1,5
Horizon (B)d	20,4	16,6	9,9	4,67	6,17	7,00	2,7	2,3	1,9
Horizon C ₁	20,9	21,5	17,8	5,85	6,70	6,71	2,9	2,8	2,6

TABLEAU 119 : COMPOSITION DES PHYLLITES DES NEUF SOUS-FRACTIONS.
LE QUARTZ A ETE ELIMINE PAR LE CALCUL : SiO₂
RAMENE A 55 %.

Evolution au sein d'un même horizon :

dans l'horizon C₁, on note peu de variations selon la taille des particules. TiO₂ seul est très déséquilibré, localisé essentiellement dans les argiles grossières.

Dans l'horizon (B)d, les trois sous-fractions se différencient beaucoup mieux : les grossières sont très pauvres en fer et nettement moins riches en Mg mais manifestent, en revanche, une plus grande abondance en SiO₂ et TiO₂ que les particules plus fines.

Cette évolution s'accroît encore en A_{2g} où l'on peut suivre aisément quatre gradients bien marqués : SiO₂ et TiO₂ vont croissant avec la dimension des particules tandis que Fe₂O₃ et MgO décroissent nettement.

Evolution au sein du profil, du bas (C₁) vers le haut (A_{2g}) :

si l'on considère les argiles ultrafines (< 0,1 µm) la seule évolution notable est un appauvrissement en potassium. On y décèle aussi de faibles déperditions de Mg et un certain enrichissement en Al et en Ti.

Les argiles moyennes montrent exactement les mêmes tendances avec, en plus, une décroissance importante du fer et une augmentation de la silice.

Enfin, les argiles grossières changent nettement de composition. On note les gradients suivants : pertes importantes de MgO, K₂O et surtout de Fe₂O₃ compensées par un accroissement corrélatif de SiO₂ et TiO₂.

Il est évident que ces variations traduisent à la fois deux phénomènes qui se combinent : changements dans les proportions des différentes espèces minérales et modifications modérées mais continues de la composition de la glauconite.

Elimination du quartz - Composition des minéraux phylliteux :

un calcul rapide (en prenant quartz = 100 % de SiO₂ et kaolinite, glauconite ou illite = 55 % de SiO₂) permet d'estimer approximativement les taux de quartz dans les sous-fractions, soit :

A _{2g}	UF = 7 %	m = 20 %	gr = 44 %
(B)d	UF ≈ 0	m = 5 %	gr = 31 %
C ₁	UF ≈ 0	m ≈ 0	gr = 11 %

Il est ensuite aisé de soustraire ce quartz, après quoi il devient possible de recalculer la composition des minéraux phylliteux seuls (tableau 119). L'effet de "dilution" par le quartz ayant ainsi été éliminé, on perçoit mieux l'accumulation relative de la kaolinite et des minéraux titanés dans les argiles les plus grossières de l'horizon A_{2g}. On voit également mieux la disparition des glauconites "ouvertes" ferrifères des sous-fractions grossières à mesure que l'on se rapproche de la surface du sol. Enfin, dans les sous-fractions moyennes et grossières des horizons A_{2g} et (B)d, des teneurs assez élevées en K₂O (que l'on ne peut pas imputer à de la glauconite) pourraient correspondre à une certaine quantité d'illite ou de muscovite.

F. SYNTHESE

Les différentes approches convergent convenablement et nous permettent de mettre en évidence un certain nombre de points essentiels et significatifs.

- En A_{2g} IL Y A DISPARITION DES ARGILES LES PLUS FINES ET ACCUMULATION RELATIVE DES MOYENNES ET SURTOUT DES GROSSIERES.

- CES FRACTIONS MOYENNES ET GROSSIERES DE L'HORIZON A_{2g} PRESENTENT DES COMPOSITIONS PARTICULIERES, LIEES A L'ACCUMULATION RELATIVE DE MINERAUX RESIDUELS : QUARTZ, KAOLINITE, TITANES (et peut-être illites).

- En OBSERVANT LES ARGILES < 0,1 μm (qui ne recèlent pratiquement ni quartz ni kaolinite) ON PEUT SUIVRE L'EVOLUTION GEOCHIMIQUE DE LA GLAUCONITE, CONTINUATION DE CELLE DEJA OBSERVEE AU SEIN DES GRAINS DE GLAUCONIE EUX-MEMES (cf. p. 165). LA PERTE CONTINUE DE POTASSIUM (cation sec interfoliaire) PROVOQUE L'OUVERTURE PROGRESSIVE DES FEUILLETS D'OÙ L'APPARITION DE PROPRIETES DE GONFLEMENT. C'EST LA LE PROCESSUS CLASSIQUE D'EVOLUTION DES ARGILES MICACEES ET DE LEUR PASSAGE A DES "SMECTITES DE TRANSFORMATION" (ROBERT, 1973, 1974, 1975), ou "DE DEGRADATION" (SCHWERTMANN, 1962 ; SOUCHIER, 1971 ; DUCHAUFOR, 1972, 1977).

- L'évolution des argiles est à relier à celle du fer, bon traceur de la différenciation pédologique.

- DANS UN PREMIER TEMPS D'ALTERATION MODEREE DU MATERIAU GLAUCONIEUX (horizons C et base du (B)), LA DEFERRIFICATION EST LIMITEE ET TOUCHE SEULEMENT CERTAINS CIMENTS (extractibles au dithionite) QUI ASSURERAIENT LA COHESION DES GRAINS DE GLAUCONIE. Il s'ensuit une désagrégation des grains (argilisation).

- En C, en (B), COMME EN A_{2g}, LES ARGILES ULTRA-FINES PRESENTENT DES COMPOSITIONS CHIMIQUES (et notamment des teneurs en fer) CONSTANTES.

- LES BILANS ISOQUARTZ MONTRENT QU'IL N'Y A PAS EU, GLOBALEMENT, ACCUMULATION ABSOLUE DE FER "LIBRE" DANS LE PROFIL, MAIS SEULEMENT REDISTRIBUTION DE A_{2g} VERS (B) (tableau 108).

- ON PEUT DONC CONCLURE QU'IL N'Y A PAS EU ALTERATION DES PHYLLOSILICATES AVEC LIBERATION PREFERENTIELLE DU FER.

- EN REVANCHE : OU BIEN IL Y A EU SEULEMENT départ en suspension hors du solum SANS AUCUNE ALTERATION DES MINERAUX GLAUCONITQUES, OU BIEN LA SORTIE DU FER DES RESEAUX IMPLIQUE UNE DISSOLUTION CONGRUENTE IMMEDIATE DES FEUILLETS. Ces deux hypothèses ne s'excluent d'ailleurs pas, les deux phénomènes pouvant co-exister.

4. LES LIMONS DU PROFIL HERY PRESENCE DE JAROSITE

En complément de l'étude des argiles, une caractérisation minéralogique et chimique a été réalisée sur les limons (2 à 50 μm) des horizons A_{2g} et C₁ après séparation densimétrique à d = 2,72. Il n'était pas inutile en effet, de vérifier le contenu phylliteux de cette fraction limoneuse et de reconnaître la cause d'une teneur en soufre anormalement élevée dans l'horizon C.

En A_{2g} les minéraux "lourds" représentent 2 % de l'ensemble. Zircons et anatases montrent des pics très bien marqués et on note aussi la présence d'une petite quantité de micas bien cristallisés. En C₁, les minéraux lourds atteignent 10%. Outre des micas bien cristallisés et relativement abondants, on y trouve tous les pics caractéristiques de la jarosite.

Le tableau 120 rend compte des résultats des analyses élémentaires. Cette présentation en oxydes est assez artificielle puisqu'elle ne tient compte ni de la jarosite ni du zirconium. Les deux fractions légères se ressemblent tout-à-fait et manifestent surtout la dominance absolue du quartz. Les deux fractions "lourdes" sont beaucoup plus contrastées. L'abondance de jarosite et de micas en C₁ se marque dans les teneurs importantes en fer et en potassium ainsi que par une forte perte au feu. En A_{2g}, on retrouve surtout une notable concentration d'oxyde de titane (anatase) ; la très forte perte au feu est inexplicable.

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Perte au feu
Frac- tions lé- gères	horizon A _{2g}	90,0	2,3	0,5	0,01	0,04	0,14	0,37	1,32	0,2	5,12
	horizon C ₁	87,0	3,0	1,3	0,01	0,14	0,03	0,16	1,70	0,2	6,50
Frac- tions lour- des	horizon A _{2g}	32,0	11,4	14,4	0,30	1,30	2,16	0,42	1,50	14,4	22,1
	horizon C ₁	33,0	13,2	22,4	0,14	0,68	0,16	0,40	5,70	6,6	17,7

TABLEAU 120 :

ANALYSE CHIMIQUE DES LIMONS DES HORIZONS A_{2g} ET C₁ DU PROFIL HERY.
RESULTATS EXPRIMES EN % D'OXYDES.

La jarosite :

elle a été décelée dans les "limons lourds" de l'horizon C₁ mais fait défaut dans les fractions équivalentes des horizons (B)d et A_{2g}.

Sa formule est $K Fe_3 (SO_4)_2 (OH)_6$. Sur la base du dosage du soufre (3,29 % de S) on trouve 25,7 % de jarosite dans la fraction lourde des limons totaux de l'horizon C₁ soit 2,62 % des limons totaux et 0,35 % de la terre fine totale.

La jarosite proviendrait, dans les sols, de l'oxydation de sulfures comme la pyrite sous l'action de bactéries, avec formation consécutive d'acide sulfurique (DONER et LYNN, 1977).

D'après MILLOT (1964) nombre de roches glauconieuses contiennent de la pyrite, témoin des réductions énergiques dues à des bactéries réductrices des sulfates. La littérature géologique signale la présence de pyrite dans tous les niveaux argileux de l'Albien de la région et, d'après COUREL (communication orale), il y a toujours des traces de pyrite dans les "sables verts" sur toute la bordure du Bassin Parisien.

L'absence de jarosite en (B)d et sa présence en C₁ nous conduisent à penser que ce minéral rare ne provient pas d'une néogenèse comme dans le cas des sols sulfatés acides mais résulte simplement de la transformation sous l'action de thiobacillus de pyrite héritée de la sédimentation marine.

La libération d'acide sulfurique dans la roche-mère, à un stade précoce d'altération encore modérée, explique fort bien l'extrême acidité reconnue sur toute l'épaisseur du profil (voir page 211) et le degré exceptionnel d'évolu-

tion des planosols développés sur "sables verts" par rapport aux autres.

Ces sols ont entamé leur pédogenèse dans un milieu déjà très acidifié, ils avaient de ce fait plusieurs "longueurs" d'avance sur ceux qui, à âge égal, ont dû passer d'abord par des stades plus ou moins longs de décarbonatation puis de désaturation.

5. ETUDE DES FRACTIONS "ARGILES" DU PROFIL FLOGNY

Comme pour HERY, les fractions inférieures à 2 μm ont pu être séparées par ultracentrifugation. Les horizons étudiés selon la même méthode sont A₂, A(B), (B)₁ et C₂.

A. PROPORTIONS (tableaux 121 et 122)

	ultrafines < 0,1 μm		moyennes 0,1 à 0,5 μm		grossières 0,5 à 2 μm		TOTAL (II)
	I	(II)	I	(II)	I	(II)	
	Horizon A ₂	27,9	(6,7)	47,7	(11,4)	24,4	
Horizon A(B)	38,1	(20,6)	46,1	(24,9)	15,9	(8,6)	(54,1)
Horizon (B) ₁	42,3	(23,0)	39,2	(21,3)	18,5	(10,0)	(54,4)
Horizon C ₂	37,9	(23,6)	40,4	(25,1)	21,7	(13,5)	(62,2)

TABLEAU 121 :

PROPORTIONS DES TROIS SOUS-FRACTIONS "ARGILE"

I = en % de leur somme

(II) = en % de la terre fine totale actuelle.

	ultrafines		moyennes		grossières	
	I	(II)	I	(II)	I	(II)
Horizon A ₂	- 17,0	- 84 %	- 16,0	- 75 %	- 8,7	- 76 %
Horizon (B) ₁	+ 0,8	+ 14 %	invariable		- 0,4	- 13 %
Horizon C ₂	h o r i z o n d e r é f é r e n c e					

TABLEAU 122 :

BILANS ISOQUARTZ DES TROIS SOUS-FRACTIONS "ARGILE".

I = gains ou pertes en hg/dm² = valeurs absolues

(II) = gains ou pertes en % du poids à l'origine

Le bilan isoquartz n'a pas pu être appliqué à l'horizon A(B) car celui-ci n'a pas été retenu pour la détermination du quartz total (chap. V).

De C en (B) il apparaît un certain affinement des particules argileuses pouvant correspondre soit à une microdivision soit à une illuviation (en provenance de la surface) d'argiles très fines.

FLOGNY

HERY

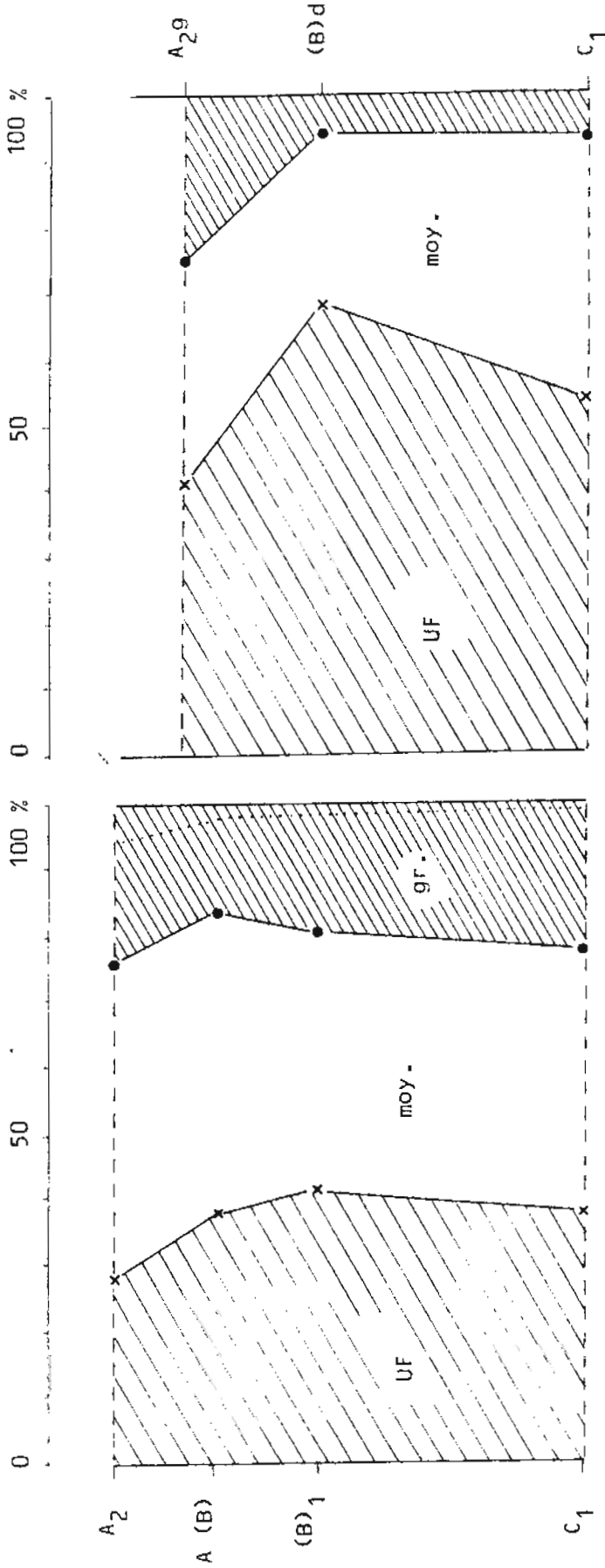


FIGURE 50: Granulométrie détaillée des fractions <2 µm. Comparaison entre Héry et Flogny.

En revanche, de (B) vers A₂, les ultrafines se raréfient au profit des moyennes et des grossières. Il semble donc, à nouveau, que la planosolisation a affecté prioritairement les minéraux phylliteux de plus petites tailles. Cependant, on notera deux différences appréciables par rapport à ce qui a été constaté à HERY.

D'une part, en ce qui concerne les roches-mères, la fraction "argile" de FLOGNY est nettement plus grossière que celle de HERY (cf. figure 50). D'autre part, les pertes en argiles grossières de l'horizon A₂ de FLOGNY sont importantes, comparables à celles estimées pour les argiles moyennes. Il est impossible de dire, pour l'instant, s'il s'agit de pertes par départ hors du solum ou bien du résultat d'une intense microdivision (avec passage dans les sous-fractions plus fines).

Il n'en demeure pas moins que le sol de FLOGNY a non seulement été beaucoup moins appauvri en argile que celui d'HERY (indice de différenciation texturale IDT_p = 2,4 contre 4,2) mais encore que le "tri" granulométrique y a moins affecté les fractions < 2 μm.

B. DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X (figures 51 et 52)

Le quartz (3,3 Å)

n'est présent que dans les fractions grossières (tableau 123) et son pic est de plus en plus petit à mesure que l'on descend dans le sol.

La goethite (4,18 Å)

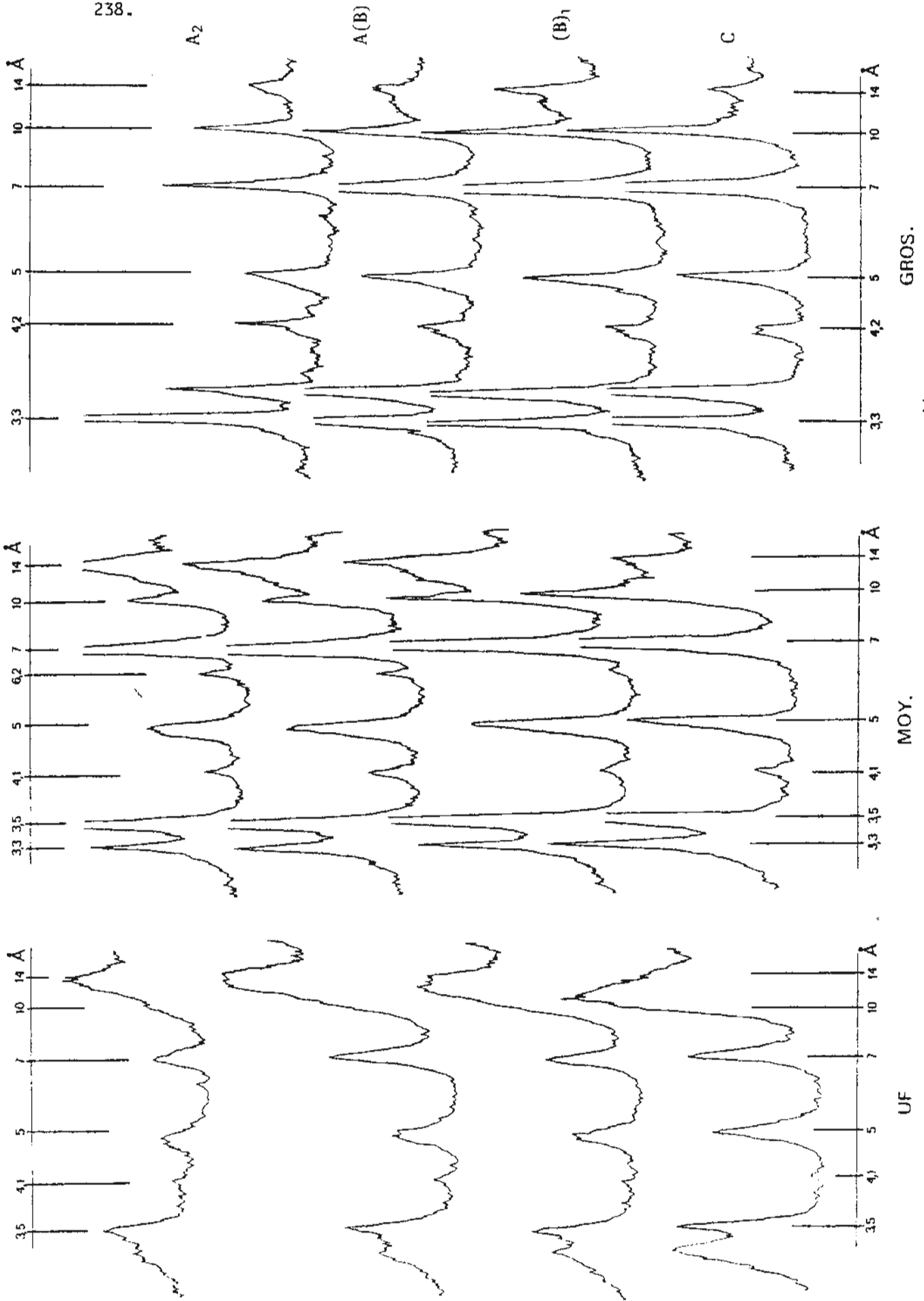
est décelable en traces dans toutes les fractions ultrafines. Mais elle paraît absente des fractions grossières des horizons A₂ et A(B). Elle est clairement visible sur les six autres diagrammes.

La lépidocrocite (6,3 Å)

sa présence n'est certaine qu'en A₂ et en A(B) dans les sous-fractions moyennes. Cet oxyde de fer semble bien apparaître préférentiellement dans les deux horizons où l'hydromorphie est la plus intense.

	LEPIDOCROCITE			QUARTZ		
	ultrafines	moyennes	grossières	ultrafines	moyennes	grossières
Horizon A ₂	tr	•	-	-	-	••
Horizon A(B)	tr	•	-	-	-	•
Horizon (B) ₁	tr	•	•	-	-	•
Horizon C ₂	tr	•	•	-	-	•

TABLEAU 123 :
OXYDES DE FER ET QUARTZ.
ASPECT DES DIFFRACTOGRAMMES.



GROS.

MOY.

UF

FIGURE 51 : FLOGNY. DIFFRACTOGRAMMES DES 12 SOUS-FRACTIONS "ARGILES". SATURATION Mg^{++} .

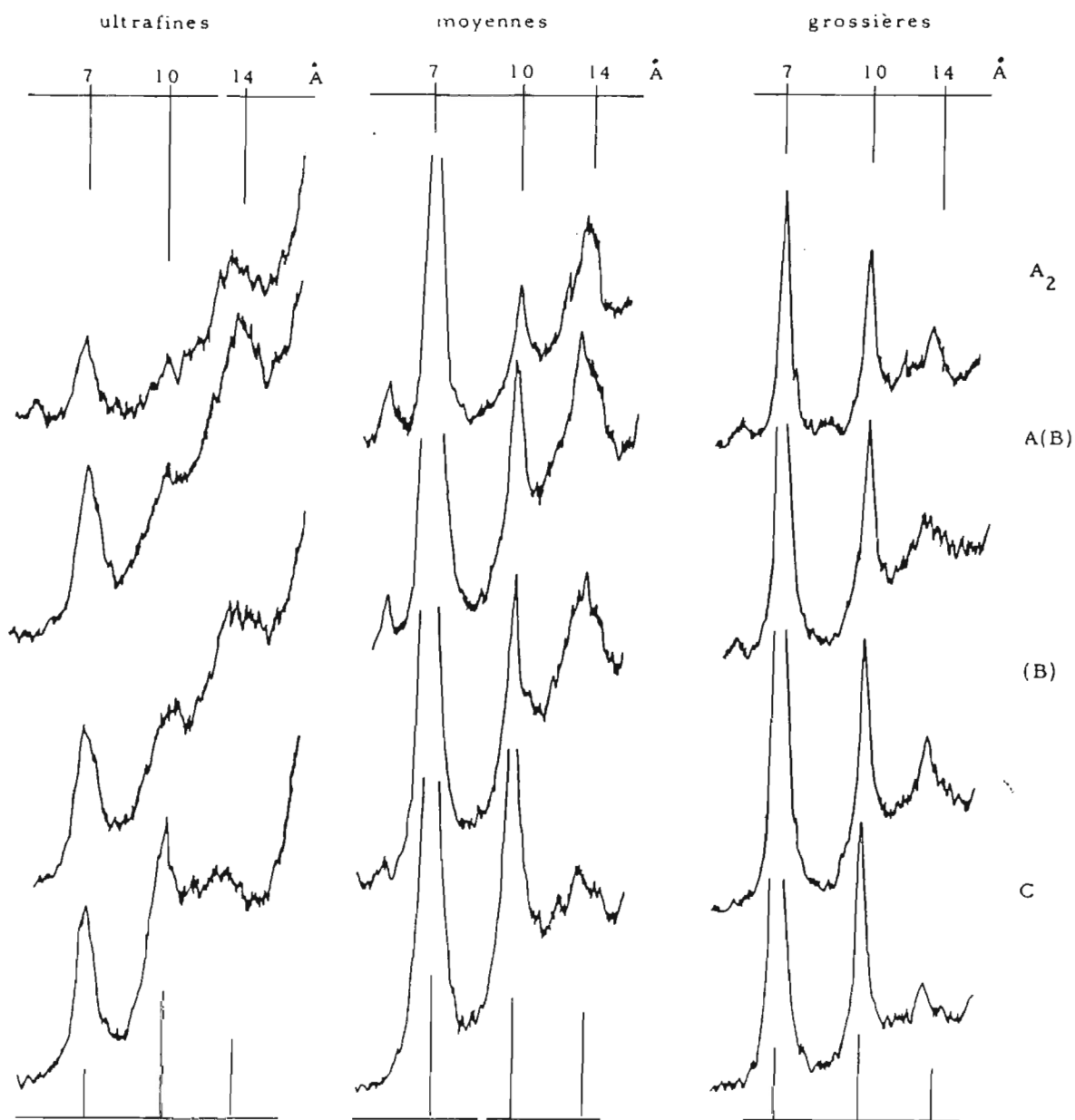


FIGURE 52 :

FLOGNY. DIFFRACTOGRAMMES DES DOUZE SOUS-FRACTIONS.
SATURATION Mg^{++} ET TRAITEMENT A L'ETHYLENE-GLYCOL.

	KAOLINITE		
	ultrafines	moyennes	grossières
Horizon A ₂	• 0,6°	•••• 0,3°	•• 0,25°
Horizon A(B)	•• 0,45°	••••• 0,35°	••• 0,25°
Horizon (B) ₁	• 0,45°	••••• 0,35°	•••• 0,25°
Horizon C ₂	•• 0,5°	••••• 0,35°	•••• 0,25°

TABLEAU 124 :

KAOLINITE : aspect des diffractogrammes.

Réflexion d 001.

Hauteur (de 0 à 5) et largeur des pics à mi-hauteur (en degré)

	ILLITE		
	ultrafines	moyennes	grossières
Horizon A ₂	• i.t. m	•• m	•• 0,40°
Horizon A(B)	• i.t. m	•• 0,52°	••• 0,32°
Horizon (B) ₁	•• i.t. m	•••• 0,50°	•••• 0,32°
Horizon C ₂	••• i.t. 0,60°	••••• 0,40°	•••• 0,25°

TABLEAU 125 :

ILLITE : aspect des diffractogrammes.

Hauteur du pic d 001 (estimée de 0 à 5) i.t. = pic inclus totalement dans un grand pic 9-15 Å et largeur du pic d 002 à mi-hauteur en degré. m = pic mêlé à une autre réflexion (4,75 Å), non mesurable.

Les MINÉRAUX 2/1

L'illite

est omniprésente avec des pics 001 souvent grands et nets. Si l'on emploie la largeur du pic de la réflexion d 002 à mi-hauteur comme indice, la cristallinité de l'illite semble diminuer selon deux gradients (tableau 125) : à mesure que l'on monte dans le profil et quand on passe des argiles les plus grossières aux plus fines. Cela nous paraît être un indice de l'ouverture des feuillets, particulièrement dans l'horizon A₂.

Les chlorites vraies

il ne subsiste rien de décelable à 14 Å après chauffage à 550°C. Il paraît donc acquis que ces minéraux ne sont pas présents.

Edifices à 14 Å

tous les diffractogrammes présentent des pics nets sauf les argiles ultra-fines de l'horizon C₂. A l'éthylène-glycol, il y a très peu de minéraux gonflants, visibles surtout dans les fractions ultrafines. Il s'agit donc de vermiculites.

Evolution des ultrafines (figures 51, 52, 53 et 54) :

en C, l'illite coexiste avec une majorité d'interstratifiés 10-14 Å dont le pic culmine à 11 Å. Tous ces édifices se rétractent bien à 550°C et après saturation au potassium.

En (B)₁, une ouverture plus importante des feuillets se marque par un pic massif entre 12 et 14 Å. A l'éthylène glycol se révèlent des propriétés notables de gonflement jusqu'à 17 Å. On observe un bon retour à 10 Å après chauffage mais une rétractation médiocre au potassium.

En A(B), on retrouve la même évolution. Il y a encore moins d'illite intacte et on note l'apparition d'une réflexion à 4,75 Å typique des chlorites vraies ou secondaires.

En A₂, il n'y a pratiquement plus d'illite intacte, les édifices vermiculitiques dominent car il y a peu de gonflement. En revanche, on constate un certain nombre de signes de pseudochloritisation : mauvaise rétractation à 10 Å au chauffage et au potassium, réflexion notable à 4,75 Å.

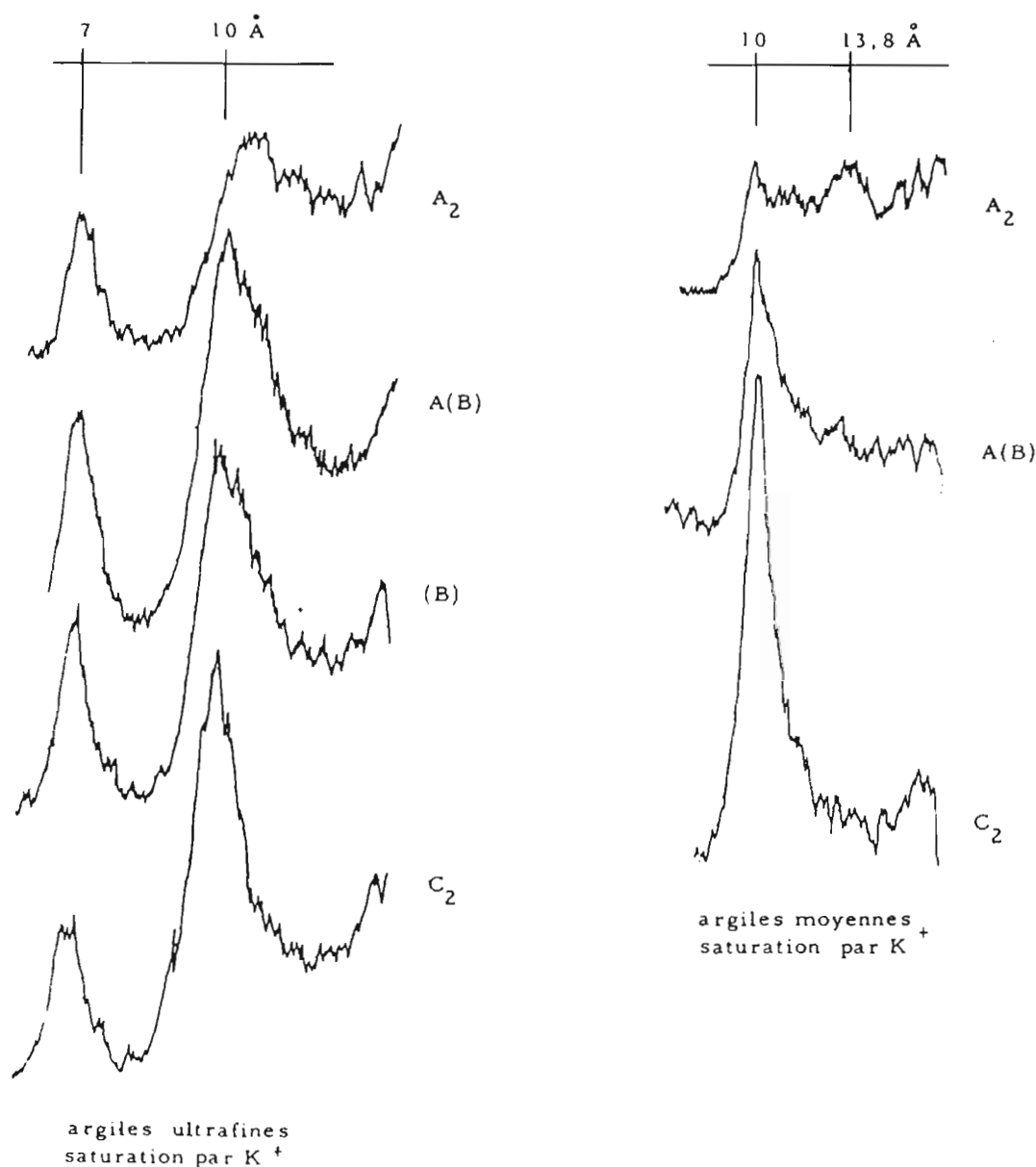


FIGURE 53 : COMPORTEMENT DES ARGILES SATUREES PAR K⁺.

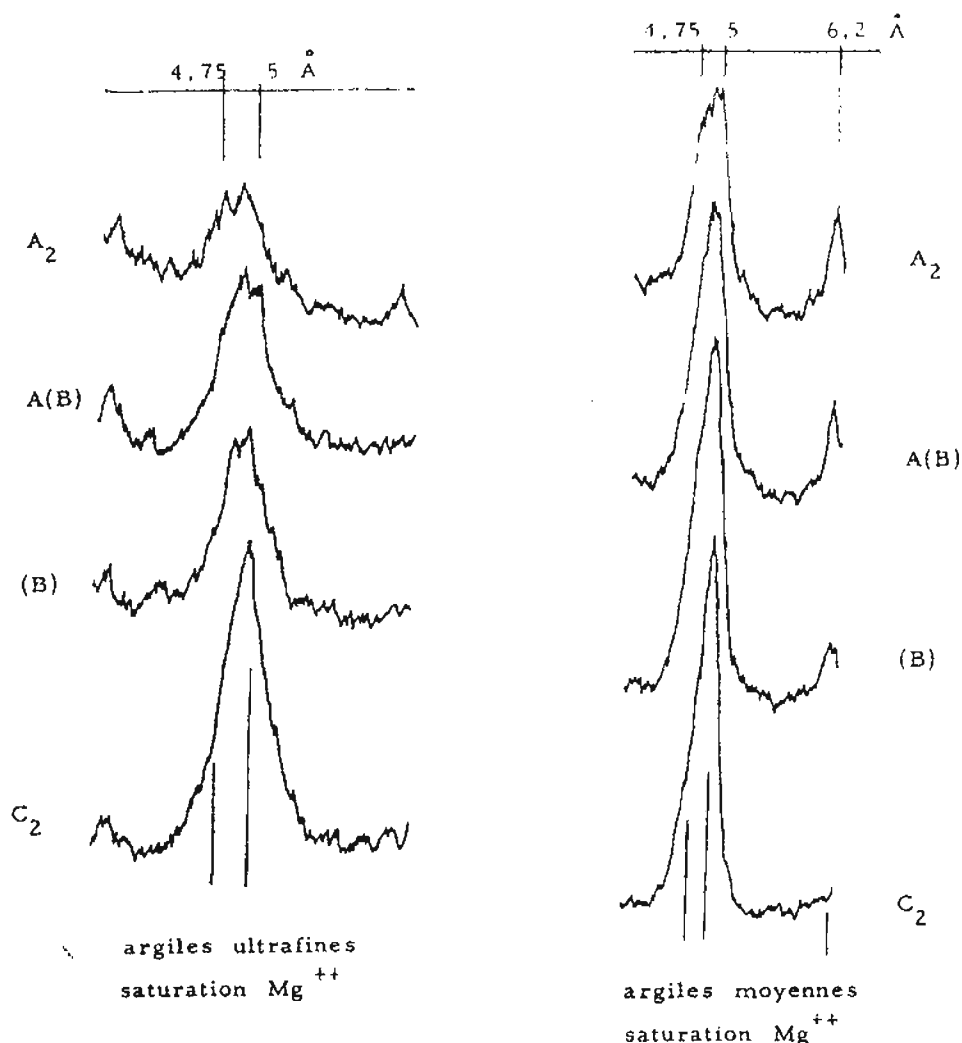


FIGURE 54 : APPARITION D'UNE REFLEXION d 003
DE PSEUDOCHELORITE A 4,75 Å.

Evolution des argiles moyennes (figures 51, 52, 53 et 54) :

en C, illite et vermiculite sont bien nettes mais c'est la première qui paraît dominer. Il y a peu d'édifices gonflants et un bon retour à 10 Å à 550°C et au potassium.

En (B), il en va de même mais les vermiculites semblent prendre le dessus sur l'illite.

En A(B), on commence à percevoir quelques signes d'agradation aluminée qui se confirment et se renforcent en A₂.

Evolution des argiles grossières (figures 51 et 52) :

les quatre horizons sont très semblables. L'illite bien cristallisée domine la vermiculite. Il n'y a ni gonflants ni pseudochlorites. Signalons seulement en (B) et A(B) des minéraux à 12 Å non gonflants.

C. PRODUITS EXTRAITS PAR LE REACTIF MEHRA-JACKSON

Après une première analyse élémentaire des douze sous-fractions < 0,2 μm , il a été procédé à une extraction au citrate-bicarbonate-dithionite. Fer, aluminium et silicium ainsi extraits ont été dosés (tableaux 126 et 127). Après quoi, il a été possible de déterminer les véritables compositions des minéraux silicatés (phyllites + quartz) nettoyés des amorphes et oxydes qui leur étaient associés.

On voit tout de suite que les taux d'extraction du fer sont énormes (39 à 77 %) alors que les maximums atteints pour Al et Si sont respectivement de 8 et 3 %. Le fer en question n'est pas constitutif des réseaux cristallins. La confrontation des tableaux 126 et 127 avec le tableau 123 montre bien que c'est dans les sous-fractions où la goethite et la lépidocrocite ont été le plus nettement décelées que le dithionite a extrait la plus grande quantité de fer. On constate également que, dans les argiles ultra-fines, les taux d'extraction des trois éléments prennent leur valeur maximale dans l'horizon A₂. Cela dénote, à notre avis une certaine accumulation dans cet horizon du fer et de l'aluminium libérés par l'altération des minéraux, et probablement des phyllites elles-mêmes.

	Fe ₂ O ₃			Al ₂ O ₃			SiO ₂		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A ₂	7,19	7,32	2,76	1,76	0,89	0,74	1,13	0,26	0,41
Horizon A(B)	5,42	6,20	3,50	1,06	0,57	0,60	0,90	0,47	0,17
Horizon (B) ₁	4,85	5,59	4,03	0,87	0,59	0,36	0,88	0,45	0,28
Horizon C ₂	3,76	6,51	6,35	0,38	0,57	0,43	0,83	0,39	0,26

TABLEAU 126 :

PRODUITS EXTRAITS PAR LE REACTIF MEHRA-JACKSON DES DOUZE SOUS-FRACTIONS "ARGILE"
(OXYDES, EN % DE LA PRISE D'ESSAI).

	Fe ₂ O ₃			Al ₂ O ₃			SiO ₂		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A ₂	60,9	77,1	54,1	7,9	3,6	4,0	2,94	0,70	0,76
Horizon A(B)	51,6	67,4	60,3	4,5	2,1	2,6	2,14	1,13	0,34
Horizon (B) ₁	46,6	58,8	59,3	3,7	2,2	1,5	2,02	1,10	0,58
Horizon C ₂	38,8	63,2	66,8	1,6	2,2	1,8	1,84	0,95	0,56

TABLEAU 127 :

PRODUITS EXTRAITS PAR LE REACTIF MEHRA-JACKSON DES DOUZE SOUS-FRACTIONS "ARGILE"
(EN % DE L'OXYDE CONSIDERE AVANT EXTRACTION).

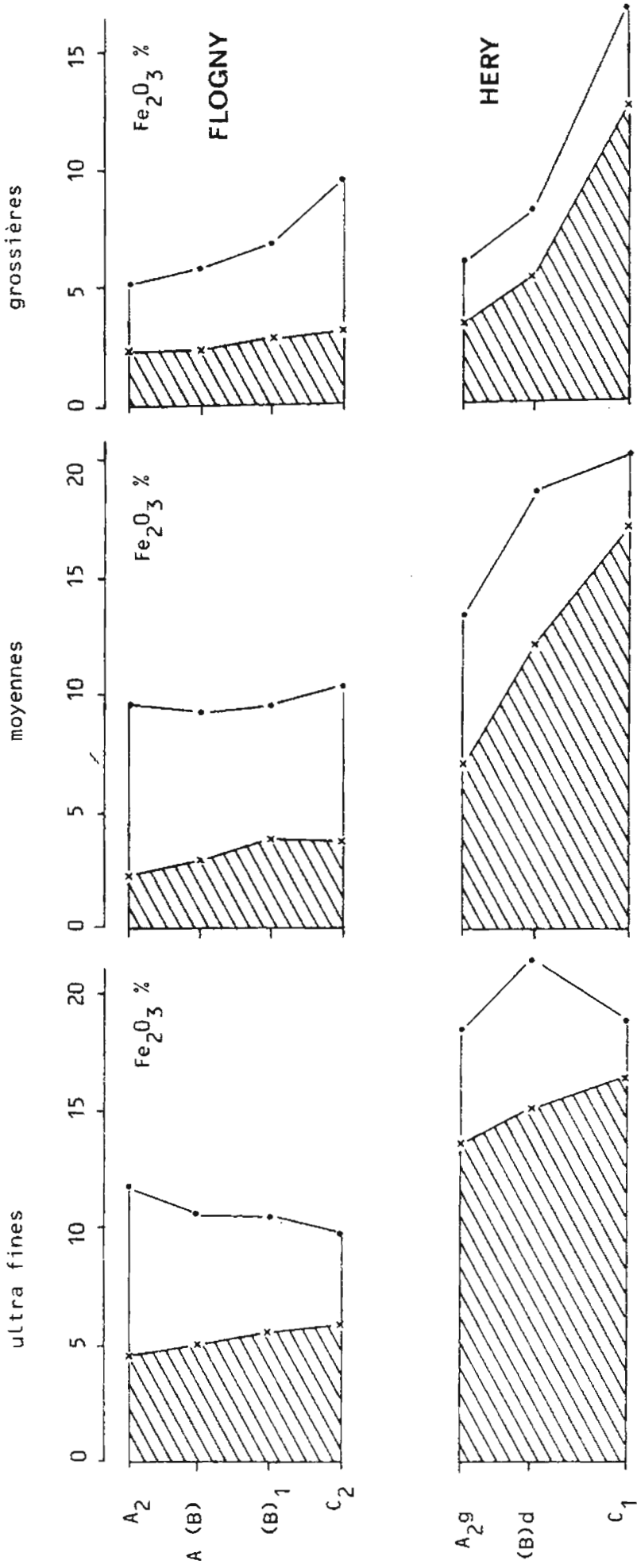


FIGURE 55 : FER DES RESEAUX CRISTALLINS (hachures) et FER "LIBRE" DES SOUS FRACTIONS "ARGILE". COMPARAISON ENTRE HERY ET FLOGNY. Expression en Fe_2O_3 en % de la sous fraction.

D. COMPOSITION CHIMIQUE DES SOUS-FRACTIONS "ARGILE"

APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE (tableau 128).

→ SiO_2

C'est là que se marque l'influence du quartz, surtout dans les argiles grossières des horizons supérieurs (comme il avait déjà été révélé par les diffractogrammes ; tableau 123). Pour les autres tailles de particules, il n'y a pas de variations d'un horizon à l'autre.

→ Al_2O_3

Les maximums se rencontrent dans les sous-fractions moyennes là où la kaolinite présente son abondance maximale. On constate aussi une légère augmentation de C vers A_2 sauf là où il y a "dilution" dans des quantités notables de quartz (grossières).

→ Fe_2O_3

Les argiles sont d'autant plus riches en fer qu'elles sont fines. On observe en outre une nette diminution des taux de fer de C_2 vers A_2 . Des teneurs de 5 % et plus peuvent difficilement s'expliquer en faisant seulement appel à des illites ; aussi pourrait on envisager la présence d'une certaine quantité de glauconite (certains faciès de l'Aptien sont réputés glauconifères). On peut aussi se demander s'il ne s'agirait pas d'oxydes de fer ayant résisté à l'extraction au dithionite (?).

→ MgO

Il semble y avoir un appauvrissement régulier des argiles à mesure que l'on se rapproche de la surface du sol.

→ K_2O

L'appauvrissement en potassium envisagé au moment de l'examen des diffractogrammes se voit illustré et quantifié par l'analyse chimique. Mais cela n'est vérifié que pour les ultra-fines et, dans une moindre mesure, pour les argiles moyennes. Dans les grossières, il n'y a pas de variation.

→ TiO_2

Comme à HERY, il y a localisation préférentielle des minéraux titanés dans la fraction $0,5 - 2 \mu\text{m}$ avec une très nette accumulation relative dans l'horizon A_2 .

Après correction du quartz dans les sous-fractions grossières (évalué approximativement en raisonnant sur SiO_2), on s'aperçoit (tableau 130) que celles-ci ne manifestent pas de différences d'un horizon à l'autre en ce qui concerne Al et K. Le gradient de TiO_2 s'intensifie, celui (inverse) de MgO se maintient et le taux de fer se relèverait en A_2 .

	SiO ₂			Al ₂ O ₃			TiO ₂		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A ₂	56,6	54,7	66,5	31,0	35,2	22,1	0,30	1,34	2,98
Horizon A(B)	55,9	54,1	61,1	30,9	34,9	27,5	0,27	1,19	2,45
Horizon (B) ₁	56,0	53,0	58,6	30,1	34,5	29,0	0,26	1,04	2,33
Horizon C ₂	55,7	53,1	57,5	28,7	33,9	29,4	0,25	0,92	2,24

	Fe ₂ O ₃			K ₂ O			MgO		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A ₂	6,97	3,28	2,85	2,72	3,43	3,91	1,89	1,34	0,89
Horizon A(B)	6,91	3,96	2,82	3,47	3,83	4,05	1,96	1,44	1,12
Horizon (B) ₁	7,29	5,10	3,40	3,81	4,18	4,36	2,01	1,63	1,29
Horizon C ₂	7,49	4,96	3,92	4,98	4,71	4,61	2,28	1,83	1,43

TABLEAU 128 :

COMPOSITION DES ARGILES APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE.
Expression en % de la somme des 8 principaux oxydes (Na et Ca, variant peu et peu abondants, ne sont pas présentés).

Horizon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO + Na ₂ O	Taux de quartz
A ₂	55	29,6	3,81	5,23	1,19	3,98	1,15	25,6
A(B)	55	31,8	3,27	4,69	1,30	2,84	1,08	13,6
(B) ₁	55	31,5	3,70	4,74	1,40	2,53	1,12	8,0
C ₂	55	31,1	4,15	4,88	1,51	2,37	0,96	5,6

TABLEAU 129 :

COMPARAISON DES SOUS-FRACTIONS GROSSIERES APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE ET CORRECTION APPROXIMATIVE DU QUARTZ.

	SiO ₂ /Al ₂ O ₃			SiO ₂ /K ₂ O			Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃		
	UF	m	gr	UF	m	gr	UF	m	gr
Horizon A ₂	3,1	2,6	3,2	33,1	25,3	16,7	6,9	16,6	12,0
Horizon A(B)	3,1	2,6	2,9	25,6	22,4	18,6	6,9	13,7	15,1
Horizon (B) ₁	3,2	2,6	3,0	23,4	20,2	18,4	6,4	10,5	13,2
Horizon C ₂	3,3	2,7	3,0	17,8	18,0	17,9	5,9	10,6	11,6

TABLEAU 130 :

COMPOSITION DES ARGILES APRES TRAITEMENT AU DITHIONITE ET CORRECTION DU QUARTZ (POUR LES GROSSIERES). RAPPORTS MOLAIRES.

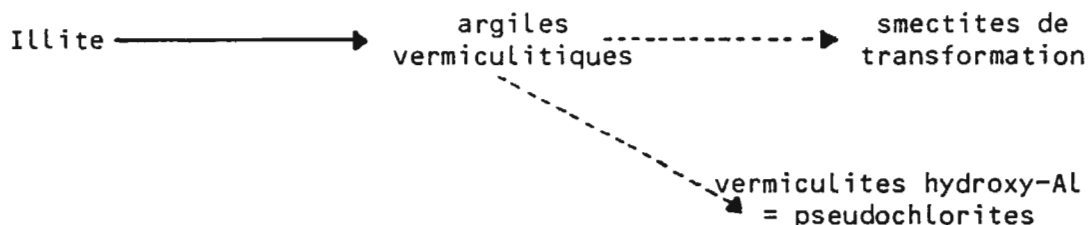
E. SYNTHESE

La kaolinite se trouve surtout parmi les "moyennes" et ne présente pas de transformation d'un horizon à l'autre.

En revanche, tous les édifices phylliteux 2/1 se situent toujours dans une filiation évolutive, entre une illite intacte (que l'on rencontre encore dans les particules $> 0,1 \mu\text{m}$) et des minéraux vermiculitiques plus ou moins gonflants. Ces derniers résultent visiblement de l'altération progressive de l'illite suite au départ des cations K^+ interfoliaires ; mais on notera que les argiles grossières de l'horizon C_2 en contiennent déjà.

Les propriétés de gonflement auxquelles conduirait une évolution vers les smectites de transformation semblent contrecarrées, au moins partiellement, en A_2 et en A(B), par la fixation d'ions hydroxylés plus ou moins polymérisés et sans doute alumineux.

L'évolution des argiles du profil FLOGNY peut donc être symbolisée par le schéma ci-dessous :



Les différentes approches utilisées permettent donc de souligner six points essentiels :

- EN A(B) et A_2 , IL Y A ACCUMULATION RELATIVE DES ARGILES MOYENNES ET SURTOUT DES GROSSIERES.

- DANS LES ARGILES GROSSIERES DE CES MEMES HORIZONS, ON CONSTATE UNE ACCUMULATION RELATIVE DE QUARTZ ET D'OXYDES DE TITANE.

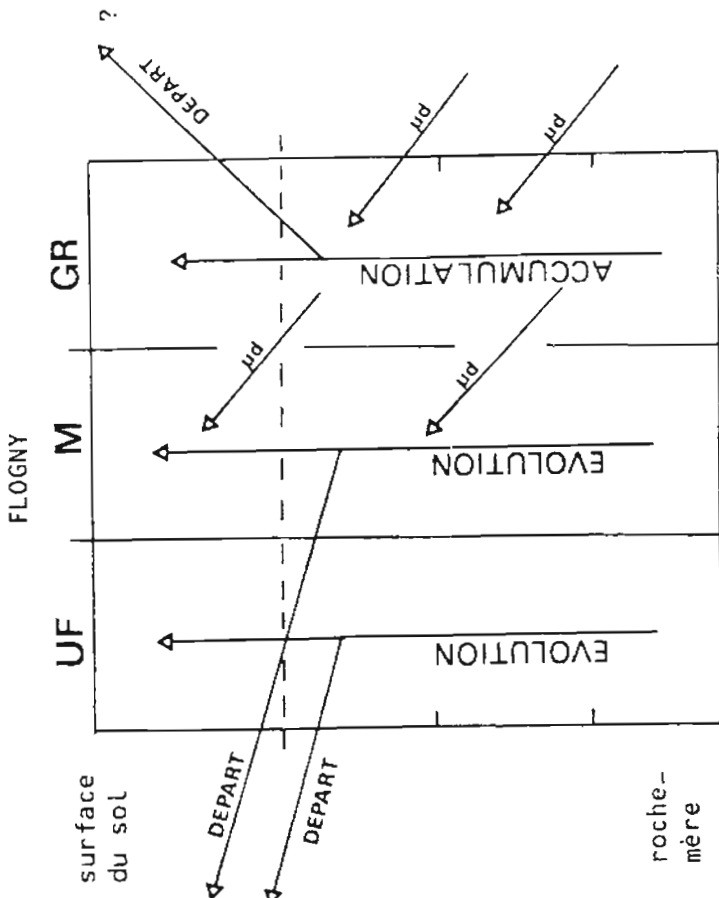
- LES ANALYSES CHIMIQUES MONTRENT QUE LA COMPOSITION DES MINERAUX PHYLLITEUX VARIE PEU QUELS QUE SOIENT LA FRACTION GRANULOMETRIQUE ET L'HORIZON DONT IL S'AGIT. LA SEULE EVOLUTION GEOCHIMIQUE, INCONTESTABLE CAR DE GRANDE AMPLEUR, EST UNE PERTE PROGRESSIVE EN POTASSIUM DEPUIS LA ROCHE-MERE JUSQU'A LA SURFACE DU SOL, QUI AFFECTE LES ARGILES MOYENNES ET, PLUS ENCORE, LES ULTRAFINES.

- LA VERMICULITISATION DES ILLITES (déjà entamée dans la roche-mère) S'INTENSIFIE VERS LE HAUT DU PROFIL ET TOUCHE PRINCIPALEMENT LES ARGILES LES PLUS FINES.

- IL N'APPARAÎT PRATIQUEMENT PAS DE "SMECTITES DE TRANSFORMATION" MAIS, en revanche, L'EXISTENCE DE VERMICULITES HYDROXY-AL EST TRES PROBABLE EN A(B) ET EN A_2 .

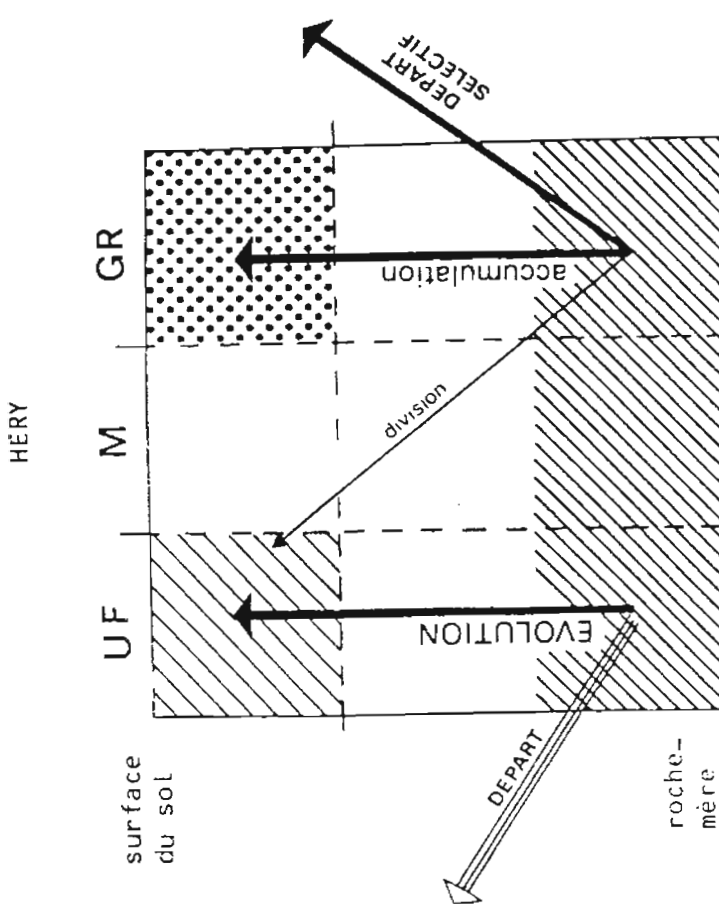
- LES TAUX D'EXTRACTION DU FER AU DITHIONITE SONT TRES ELEVES, EN RAPPORT AVEC L'ABONDANCE DE LA GOETHITE (et dans une moindre mesure de la lépidocrocite).

En conclusion, l'évolution des argiles de FLOGNY semble se limiter à une simple vermiculitisation des feuilletts illitiques. Il y a peu de signes d'une véritable altération des réseaux phylliteux.



EVOLUTION
 des feuillets :
 vermiculitisation
 +
 pseudochloritisation
 +
 DEPART
 hors du solum

ACCUMULATION
 RELATIVE
 +
 DEPART (?)
 ET/OU
 MICRODIVISION
 (μd)



EVOLUTION
 des
 glauconites
 par ouverture des
 feuillets
 +
 DEPART
 hors du solum

SELECTION
 des
 ESPECES MINERALES
 - accumulation
 relative du quartz
 et de la kaolinite
 - suite au DEPART sé-
 lectif des argiles
 2/1 + DIVISION des
 argiles micacées.

FIGURE 56 : HERY et FLOGNY. DEVENIR DES DIFFERENTES SOUS-FRACTIONS "ARGILES"
 DE BAS EN HAUT DES SOLUM. SCHEMAS.

6. SYNTHÈSE PARTIELLE

Dans ce sous-chapitre, nous avons cherché à combiner un certain nombre de faits établis indépendamment dans différentes parties de cet ouvrage et tout particulièrement aux chapitres IV, V et VI.

Il est ainsi possible de faire apparaître des informations nouvelles et de tenter de les interpréter à la lumière de travaux antérieurs d'auteurs français ou étrangers.

Cinq points seront envisagés successivement : la microdivision des particules ; la dispersion des argiles ; le contenu des eaux s'écoulant en surface, l'âge des sols et les processus géochimiques mis en jeu actuellement.

A. LA MICRODIVISION.

A Héry, elle touche d'abord les grains de glauconie et conduit à leur désagrégation complète (que l'on peut voir aussi à l'examen micromorphologique). En passant de la roche-mère aux horizons (B), il y a formation apparente d'argile granulométrique d'où le "ventre d'argile" (cf. chapitre III et V). Les fractions limons qui semblent plus ou moins invariantes ne sont que des formes de transit de la glauconie en cours de désagrégation (comme l'indiquent clairement les taux de Fe_2O_3 de ces fractions qui valent de 11 à 15 % en (B), (B)C et C_1).

A l'intérieur même des fractions $< 2 \mu m$, ce phénomène se poursuit (tableaux 131 et 132).

Horizon	argile		LF	LG	SF ₁	SF ₂	glauconie en grains % de L+S
	$< 0,2 \mu m$	$0,2-2 \mu m$					
(B)	39,2	8,7	6,6	6,7	25,5	12,3	20,2
(B)C	26,2	7,2	7,2	6,7	38,7	13,3	22,0
C_1	16,6	7,1	6,8	6,7	35,0	26,7	35,0

TABLEAU 131 :

HERY - GRANULOMETRIE DES HORIZONS (B) et C (Arras).

	argiles			LF	
	ultrafines	moyennes	grossières		
(B)d	29,5	10,7	2,8		en % de la terre fine totale
C_1	22,7	16,7	2,7		

TABLEAU 132 :

HERY - LA MICRODIVISION SE POURSUIT AU SEIN DES FRACTIONS $< 2 \mu m$.

A noter également que, à en croire le bilan isoquartz (p. 176), le quartz lui même aurait subi une nette microdivision au sein de l'horizon A₂.

A Flogny, où il n'y a pas de glauconie en grains, la microdivision n'est qu'une hypothèse (tableau 133).

	argiles			en % de leur somme entre parenthèses : résultats du bilan isoquartz.
	ultrafines	moyennes	grossières	
(B) ₁	42,2 (+ 18 %)	39,1 (+ 3 %)	18,4 (- 11 %)	
C ₂	36,6	39,0	21,0	

TABLEAU 133 :

FLOGNY - MICRODIVISION DES ARGILES LES PLUS GROSSIERES
OU ILLUVIATION VERTICALE DES ARGILES LES PLUS FINES ?

La microdivision des édifices phylliteux 2/1, par l'affinement des particules entraînant l'augmentation de leur surface et donc de leur réactivité, prépare aussi bien

- les migrations tant verticales que latérales ;
- que la dissolution chimique.

B. LA DISPERSION DES ARGILES.

Une étude approfondie de la dispersabilité des argiles dans les sols aurait été d'un grand intérêt ; malheureusement, elle n'a pu être menée à bien faute de moyens techniques et de temps à y consacrer. A ce jour, nous ne disposons que de quelques renseignements à caractère plutôt qualitatif.

- Lors de la détermination des pH sur échantillons "frais" (= non séchés), J. ROUILLER a constaté la dispersabilité de tous les échantillons issus des quatre principaux profils sauf un (soit 20 sur 21). L'horizon C calcaire de Pontigny, le seul dont le pH KCl était supérieur à 7, a été le seul à flocculer.

- Par simple agitation de 5 g de terre tamisée à 100 µm dans un litre d'eau durant une nuit, il a été possible de mettre en suspension :

FLOGNY	A ₂	7,8 % d'argile soit 47 %	} de ce qui a été dispersé dans les mêmes conditions après traitement aux résines sodiques.
	(B)	14,4 % d'argile soit 34 %	
PONTIGNY	A ₂	4,0 % d'argile soit 28 %	
	(B)	8,1 % d'argile soit 22 %	

- Des argiles fines de différents horizons de Héry sont restées en suspension stable durant plusieurs mois dans des allonges.

On voit que, malgré des conditions physico-chimiques théoriquement défavorables (argiles saturées par Al⁺⁺⁺, principalement), il existe des possibilités de dispersion des minéraux phylliteux.

Cela est d'ailleurs confirmé par les faits puisqu'il a été trouvé, à onze reprises, des quantités non négligeables d'argiles en suspension dans les eaux d'écoulement superficiel de Héry (cf. chap. IV, p. 146).

Une telle contradiction a déjà été rencontrée par JAMAGNE (1973). Cet auteur a en effet établi que la migration d'argile déferrifiée lors de l'illuviation secondaire hydromorphe avait lieu dans un milieu riche en Al^{+++} .

C. LES EAUX D'ECOULEMENT SUPERFICIEL ET LEUR CONTENU.

Nous ne disposons que de deux analyses suffisamment détaillées. Au chapitre IV, p. 149, nous avons déjà envisagé la composition des eaux s'écoulant en surface à Héry le 4 février 1982 (sur lesquelles nous avons pu analyser les matières en suspension).

A Pontigny, l'eau de la nappe "hypodermique" a pu également être prélevée le 24 janvier 1980 puis analysée. Les résultats figurent au tableau 134.

	Turbidité FTU	mg / litre						
		Si	Al	Fe	K	Mg	Ca	Mn
eau après sédimentation de 8 jours	11	13	3	3,0	2,7	2,5	4,4	0,43
eau après centrifugation à 50.000 g	1,7	8	0,5	0,7	2,5	2,3	4,3	0,43
Différence	-	5	2,5	2,3	0,2	0,2	0,1	0

TABLEAU 134 :

DOSAGE DES ELEMENTS DANS L'EAU "HYPODERMIQUE"
A PONTIGNY (24.01.80) AVANT ET APRES ULTRA-CENTRIFUGATION.

a) Les éléments en solution :

	Si	Al	Fe	K	Mg	Ca	Na	Mn
HERY - "ruisseau" 04.02.82	7	0	0,02	1,4	1,65	6,3	5,0	0,03
PONTIGNY - "hypodermique" 24.01.80	8	0,5	0,7	2,5	2,3	4,3	?	0,43

TABLEAU 135 :

LES ELEMENTS EN SOLUTION (en mg/l) DANS LES EAUX D'ECOULEMENT SUPERFICIEL.

Trois faits saillants se dégagent :

- abondance de Ca, K, Mg, Na (lessivage latéral des bases échangeables)
- faibles teneurs en Al et Fe solubles ;
- importance de la silice en solution qui constituerait une preuve de la destruction actuelle de certains réseaux silicatés.

b) Les matières en suspension :

Il s'agit exclusivement d'argiles. A Héry, ces matières ont été recueillies et analysées. A Pontigny, il est possible d'estimer approximativement leur composition en opérant par différence entre le dosage avant ultra-centrifugation et celui réalisé après.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂
HERY	54,6	21,8	17,2	3,90	1,98	0,03	0,08	0,27
PONTIGNY	55,1	24,4	16,9	1,2	1,7	0,7	?	?

TABLEAU 136 :

COMPOSITION DES MATIERES EN SUSPENSION DANS LES EAUX D'ECOULEMENT SUPERFICIEL.

En outre, les diffractogrammes de rayons X réalisés sur le centrifugat de Héry sont tout-à-fait similaires à ceux obtenus sur la sous-fraction "moyenne" de l'horizon A₂ de ce profil (p. 150 et 225).

Ces centrifugats (tableau 136) correspondent bien à des compositions de minéraux argileux relativement pauvres en aluminium et fort riches en fer, donc à des glauconites. Or Héry et Pontigny sont justement les deux profils principaux les plus riches en glauconie.

Il va être très intéressant de confronter les différentes compositions obtenues par différentes voies au cours de notre travail, savoir :

- composition des fractions ou sous-fractions "argiles" (minéraux restés sur place, n'ayant pas été éliminés au cours de la pédogénèse)
- composition des argiles en suspension dans les eaux de drainage latéral (minéraux quittant le solum aujourd'hui) ;
- les pertes des horizons A calculées par la méthode des bilans iso-quartz (somme algébrique de divers pertes et gains ; ayant éventuellement additionné les effets de tous les processus successifs depuis l'origine de la pédogénèse, aussi bien les dépôts en suspension qu'en solution).

HERY (tableau 137) :

=====

Comparaisons horizons C₁/horizons A₂ :

Ces deux séries d'argiles sont très voisines mais celles que l'on rencontre aujourd'hui en A₂ sont :

- appauvries très nettement en K et Mg ;
- enrichies en Al et Ti.

Comparaisons argiles de A₂/pertes calculées :

Compositions voisines mais les pertes sont plus riches en K et Mg (partis également sous forme cationique, en solution) et plus pauvres en Al et Ti. Il y a parfait accord entre ces deux comparaisons : les argiles "résiduelles" de l'horizon A₂ ont vu s'accumuler relativement un peu d'aluminium et du titane et elles marquent un appauvrissement préférentiel en K et Mg (ouverture des feuillets des argiles micacées).

Comparaisons argiles en suspension (phénomène instantané)/pertes calculées (intégrant plusieurs milliers d'années) :

Le phénomène actuel (limité à ce qui part en suspension) semble toucher davantage l'aluminium (phénomène récent ?).

Comparaisons argiles en suspension/argiles du A₂ :

Composition remarquablement semblables. Les argiles partant actuellement seraient peut-être un peu plus pauvres en fer, mais elles sont surtout nettement plus riches en aluminium (interfoliaire?).

Il se dégage là une nouvelle confirmation : ce sont bien des argiles des horizons A₂ qui sont évacuées actuellement en suspension hors du solum.

	HORIZON C ₁		HORIZON A ₂		Pertes des horizons A calculées par bilans iso-quartz.	Argiles en suspension dans les eaux.
	argiles		argiles			
	UF	moyennes	UF	moyennes		
SiO ₂	56,5	54,9	54,2	57,8	56,9	54,6
Al ₂ O ₃	14,0	12,8	15,9	17,3	13,6	21,8
Fe ₂ O ₃	21,3	22,9	23,8	17,9	20,3	17,2
K ₂ O	5,31	6,29	3,37	3,90	5,65	3,9
MgO	2,65	2,63	0,31	1,69	2,96	1,98
CaO	0	0,01	0,01	0,01	0,65	0,03
Na ₂ O	0,07	0,10	0,14	0,25	-	0,08
TiO ₂	0,12	0,34	0,26	1,10	0	0,27

TABLEAU 137 :

HERY - COMPARAISON DE DIFFERENTES COMPOSITIONS CONSTATEES OU CALCULEES.

D. TENTATIVE DE DETERMINATION DE L'AGE DES PLANOSOLS.

a) Datation relative (figure 57) :

La répartition actuelle des sols et des matériaux géologiques, observée entre Armance et Armançon, permet d'avancer l'hypothèse que les planosols n'ont pu se développer que là où les argiles du Crétacé inférieur sont venues à l'affleurement suite à l'érosion de la couverture des "limons anciens".

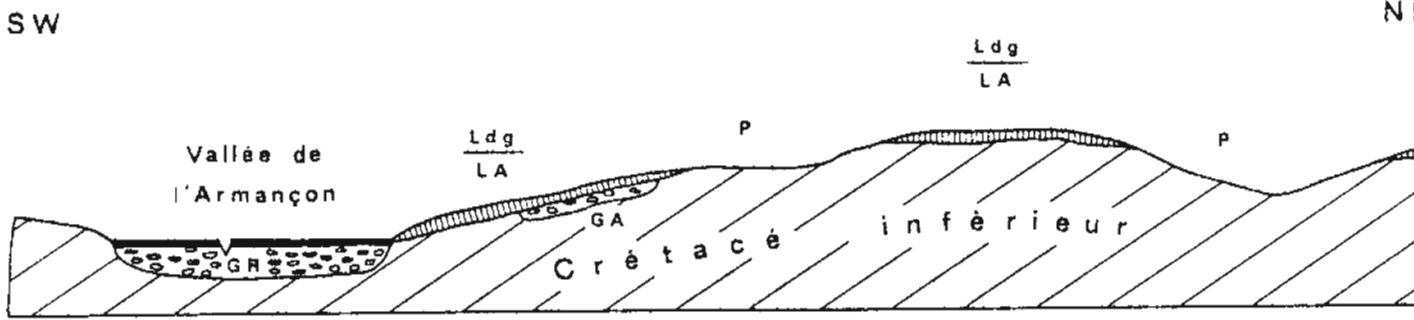


FIGURE 57 :
DISPOSITION RELATIVE DES MATERIAUX ENTRE ARMANÇON ET ARMANCE

GR = "grève" alluviale calcaire récente
 GA = "grève" alluviale calcaire ancienne
 LA = "limons anciens"
 Ldg = sols lessivés dégradés hydromorphes
 P = planosols

L'âge relatif des planosols peut alors être exprimé de la manière suivante :

Planosols	plus récents que	érosion des "limons anciens"	plus récente que	dépôt des "limons anciens"	plus récent que	dépôt de la "grève" ancienne
-----------	------------------	------------------------------	------------------	----------------------------	-----------------	------------------------------

Malheureusement, nous nous trouvons incapables de dater aucun de ces phénomènes.

b) Calcul de l'âge du sol à Héry :

Ce calcul est fondé sur le croisement de deux séries de données relatives à l'appauvrissement en argile des horizons A₂ :

- pertes calculées par les bilans de matières (p. 172) ;
- matières en suspension dans les eaux s'écoulant actuellement (p.145).

En confrontant ces deux types de données, nous admettons, ce qui est très simplificateur, que la vitesse du phénomène d'appauvrissement est demeurée constante depuis l'origine et égale à ce qui est observé aujourd'hui.

Il n'en demeure pas moins bien difficile d'évaluer le drainage latéral annuel moyen et de retenir une valeur moyenne pour les pertes de matières en suspension.

Drainage latéral annuel moyen :

pour une réserve en eau du sol de 130 mm, un bilan hydrique (Turc) calculé sur des valeurs climatiques de 70 ans consécutifs (station d'Auxerre) donne 96 mm de drainage naturel. Mais la station d'Auxerre est plus sèche et surtout nettement plus chaude que celle de Ligny-le-Châtel-Lordonnois, station pour laquelle il n'existe pas de longues chroniques pluviométriques ni de données quant aux températures.

Les bilans hydriques réalisés sur les cinq années réelles (p. 107) fournissent des valeurs de drainage naturel annuel comprises entre 225 et 419 mm (mais le quinquennat 1977-1981 a été particulièrement bien arrosé).

Il est probable aussi que les valeurs réelles risquent d'être supérieures aux chiffres obtenus par le calcul théorique car, par exemple, à l'automne, une nappe hypodermique peut commencer à exister et à s'évacuer latéralement avant que la réserve du sol ne soit complètement reconstituée.

Pour les calculs qui suivront, nous retiendrons la valeur de 120 mm et nous considérerons que la totalité de cet excès d'eau s'écoule latéralement. Enfin, nous ne tiendrons pas compte des pertes en solution lesquelles, très liées au cycle biogéochimique, intéressent la totalité du solum.

Soit $1,20 \text{ dm} \times 10^6 \text{ dm}^2 = 1,2 \cdot 10^6$ litres/an/ha.

Pertes moyennes :

il nous a semblé impossible d'introduire dans le calcul une seule valeur pour la composition moyenne des eaux de drainage naturel. En effet, sur 11 mesures nous nous trouvons en présence de dosages qui varient entre 2,7 et 32,2 mg/l de matières totales en suspension. Ces différences ne paraissent pas liées à telle ou telle période de l'année et nous demeurent inexplicables. Aussi retiendrons nous trois valeurs : la moyenne, la médiane et une "hypothèse basse" correspondant à l'idée qu'il existe au cours de l'année de gros départs en suspension mais très localisés dans le temps et que l'essentiel du drainage naturel se fait avec une faible charge solide.

- hypothèse basse : 5,0 mg/l soit 6,0 kg/an/ha
- valeur médiane : 6,6 mg/l soit 7,92 kg/an/ha
- valeur moyenne : 11,5 mg/l soit 13,8 kg/an/ha

Calcul de l'âge du sol :

au chapitre V, les pertes totales du profil Héry ont été évaluées par bilan isoquartz à $3,84 \text{ kg/dm}^2$ soit $3,84 \cdot 10^6 \text{ kg/ha}$ (et nous avons vu qu'il s'agissait quasi-exclusivement de minéraux phylliteux).

La durée d'évolution depuis le début de l'appauvrissement (supposé d'intensité uniforme), serait donc de

640.000 ans
ou de 480.000 ans
ou de 280.000 ans.

Ce raisonnement, fondé sur les pertes actuelles en suspension, ne peut pas tenir compte d'un éventuel affaiblissement du phénomène d'appauvrissement. On peut en effet penser que ce phénomène est aujourd'hui dans une phase de décélération dans ce milieu de plus en plus acide et aluminisé. On peut aussi se demander s'il n'y a pas eu baisse des débits de drainage naturel en liaison avec un climat devenu moins pluvieux qu'à d'autres périodes du Pleistocène supérieur.

C'est pourquoi nous retiendrons, à titre purement indicatif et comme ordre de grandeur, la "fourchette" 200.000 - 400.000 ans.

E. PROCESSUS GEOCHIMIQUES.

Une première remarque s'impose : les minéraux argileux dont nous avons parlé dans tout ce chapitre sont, pour la plupart, des argiles-Al voire, au moins partiellement, des argiles-H. Ce sont des argiles acides donc des minéraux cristallochimiquement instables.

Les paramètres physico-chimiques tels que le pH KCl et le TAE seraient d'excellents indicateurs de la tendance pédogénétique actuelle (ESPICAU et PEDRO, 1980). Celle-ci serait, dans les planosols de Champagne humide, une ACIDOLYSE TOTALE au même titre que la podzolisation franche (PEDRO in BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Il s'agirait d'une attaque acide, d'une autolyse des feuilletts, suite à l'extraction des atomes d'aluminium hors des sites octaédriques ou tétraédriques.

Quelles peuvent être les sources des protons ?

1. Les acides organiques : c'est toujours possible, naturellement, mais les matières organiques ne sont ni abondantes ni complexantes et ne doivent pas jouer un rôle majeur dans l'évolution de nos sols.
2. L'oxydation de sulfures présents dans la roche comme la pyrite. C'est certainement vrai pour certains sols mais la planosolisation apparaît aussi bien en absence de ces sulfures.
3. Les cycles réduction du fer libre en présence de composés organiques/ré-oxydation produiraient des ions H^+ : c'est la Ferrolyse (BRINKMAN, 1969 et 1979 ; ESPICAU et PEDRO, à paraître). Les conditions favorables étant réunies (présence de matières organiques, cycles rapides et pluriannuels engorgement/aération, abondance de fer dans le milieu) c'est très probablement ce mécanisme qui doit être invoqué.

Le lecteur trouvera en annexe (p. LXXIII) la description du processus de ferrolyse que donne BRINKMAN lui-même (1969) suivie d'une discussion quant à l'application du contenu de cet exposé au cas des sols que nous étudions. Cette comparaison montre que les phénomènes décrits par BRINKMAN comme caractéristiques du stade initial de la ferrolyse peuvent se reconnaître convenablement dans les quatre principaux profils étudiés.

Le mécanisme ayant débuté le plus récemment serait donc une dissolution de certains minéraux argileux par ACIDO-FERROLYSE.

Au cours de ce travail nous avons reconnu deux arguments principaux en faveur de l'existence de feuilletts hydroxy-aluminisés (pseudochloritisation) :

- nous avons vu (p. 57 et suivantes) que, malgré des modes d'estimation approximatifs, les CEC des argiles diminuaient très fortement dans les horizons A de la plupart des planosols étudiés sous forêt ;
- des indices diffractométriques assez nets ont été relevés pour Flogny (p. 241) et d'autres profils (p. 53).

Or les paramètres physico-chimiques actuels ne correspondent pas du tout aux conditions de formation de ces "cales" hydroxy-alumineuses. Cette disharmonie indique, à notre avis, que les planosols de Champagne humide sont passés par une phase antérieure (et sans doute assez longue pour modifier les minéraux phylliteux) d'acidité moins forte qu'aujourd'hui pendant laquelle ont pu se former ces "intergrades" alumineux (acidolyse limitée).

Ceci est confirmé par la morphologie actuelle des planosols (p. 32) qui présentent souvent une "dégradation morphologique". Mais celle-ci touche de faibles épaisseurs et demeure sans caractère glossique. Quelques revêtements argileux déferrifiés ont été notés sur les faces d'agrégats des horizons (B) (cf. p.35) : faces verticales (Rebourseaux) et faces horizontales (par exemple : Héry). La phase de dégradation-illuviation secondaire (JAMAGNE, 1978 etc...) est donc quasi-certaine mais :

- elle n'a affecté que de faibles volumes en comparaison des quantités considérables de minéraux phylliteux présents dans le milieu ;
- à cause de la très faible perméabilité des niveaux argileux, il n'a pas pu se former de glosses et les produits de l'illuviation secondaire n'ont guère pu pénétrer dans les horizons (B).

CHAPITRE VII.

Synthèse générale - Pédogénèse

1. INTRODUCTION

Nous avons abordé l'étude des planosols de Champagne humide en pédologie généraliste c'est-à-dire en naturaliste, bien que cela ne soit plus guère à la mode. Cette approche présente cependant de nombreux avantages.

D'abord elle est simple, non artificielle, et globale. Elle se fonde sur une série de constats que l'on tentera ensuite de relier logiquement entre eux pour tenter d'aboutir à une interprétation générale. L'objet d'étude, "le sol" considéré comme un fragment de la couverture pédologique, est observé globalement, in situ, sans être excessivement simplifié ni modelisé. Le "sol" est un milieu tellement complexe que les méthodes qui permettent de l'appréhender globalement nous paraissent très supérieures pour la connaissance en vue d'applications pratiques à toute mise en équation, fut-elle brillante.

La démonstration ayant été faite préalablement que nos planosols ne s'étaient pas développés sur des matériaux sédimentaires à plusieurs couches (grâce à des arguments granulométriques et cartographiques) on peut donc raisonner ainsi : entre le moment "zéro" de la pédogénèse (qui pourrait avoir été l'érosion de la couverture des "limons anciens") et aujourd'hui, se sont succédés un certain nombre de processus pédologiques successifs ou simultanés (figure 58).

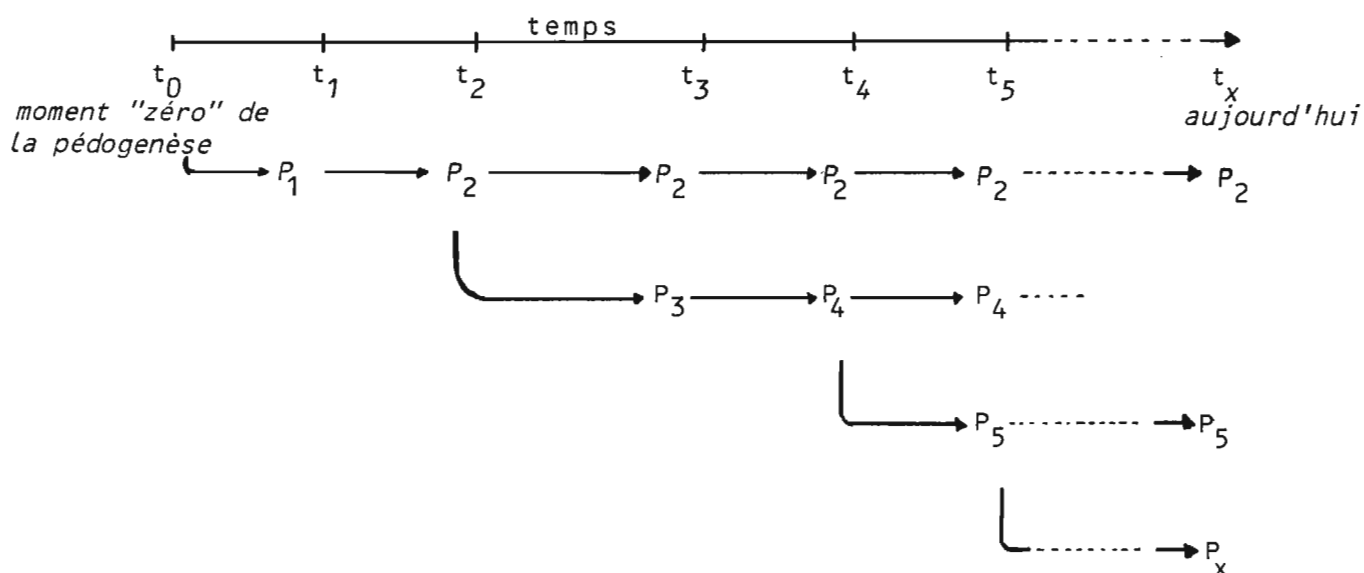


FIGURE 58 :

SCHEMA DE LA PEDOGENESE :

processus successifs et/ou simultanés : certains ont disparu pour donner naissance à d'autres ; certains se sont maintenus et continuent à intervenir aujourd'hui simultanément à des évolutions plus récentes. A noter que chaque processus connaît des intensités variables au cours de son existence (naissance, intensification, suivies, éventuellement, d'un maximum et d'un affaiblissement).

Une série d'observations permettent aujourd'hui de caractériser la pédogénèse actuelle (instantanée) :

- climat, végétation, humus actuels ;
 - qualité des eaux s'écoulant hors du sol et fonctionnement hydrique contemporain ;
 - paramètres physico-chimiques instantanés (pH, complexe d'échange) ;
- tandis que d'autres intègrent forcément les effets des différents processus de P_1 à P_x :
- répartition actuelle des planosols et localisation de leurs variantes en fonction des roches, de la topographie etc... ;
 - constat de la nature des "résidus" de la pédogénèse = le sol actuel : examens macro et micro-morphologiques, analyses granulométriques, chimiques et minéralogiques ;
 - calculs de bilans globaux de matières.

Nous avons donc fait appel à toutes sortes d'arguments, de natures très variées, dont chacun n'a de valeur démonstrative que dans la mesure où il s'accorde harmonieusement avec d'autres.

2. RECONSTITUTION HYPOTHETIQUE DE LA SEQUENCE CHRONOLOGIQUE D'EVOLUTION

Bien que cela soit un peu artificiel, nous distinguerons, dans l'exposé, l'évolution texturale et l'évolution physico-chimique. La première semble s'être toujours maintenue jusqu'à aujourd'hui puisque des argiles fines sont actuellement éliminées en suspension dans les eaux.

EVOLUTION TEXTURALE :

APPAUVRISSEMENT

(pertes de matières en suspension, évacuation latérale) :
illuviation latérale.

- PHASE I. Création d'une macroporosité structurale, physique et biotique, jusqu'à un plancher structural. Début d'une circulation latérale = début de l'appauvrissement (cf. Pélosols brunifiés).
- ↓
- PHASE II. Petit à petit, l'appauvrissement (et l'altération) allant croissants, le plancher structural s'approfondit et se transforme en plancher textural.
- ↓
- PHASE III. Les horizons A présentent une porosité croissante par rapport aux horizons (B) qui demeurent fort peu perméables. Le débit d'eau circulant latéralement s'accroît et l'APPAUVRISSEMENT S'AUTO-ACCELERE. Le CARACTERE PLANIQUE ne peut que se RENFORCER.

EVOLUTION PHYSICO-CHIMIQUE :

- PHASE 1. Structuration pédologique - Début d'altération (libération du fer etc ...). Décarbonatation (si roche-mère calcaire).
Dans le cas des "sables verts" = argilisation des grains de glauconie.
- ↓
- PHASE 2. Suite de l'altération, de la structuration pédologique et de l'argilisation des grains de glauconie (approfondissement). Début de désaturation du complexe d'échange. Minéraux argileux stables cristallochimiquement. Tendance à l'engorgement par les eaux pluviales des horizons de surface au contact du plancher structural.
- ↓
- PHASE 3. Début d'une véritable hydromorphie à très faible profondeur. Cycles milieu aéré/milieu réduit/milieu aéré. Suite de la désaturation du complexe. Début d'aluminisation. "Ouverture" progressive des argiles micacées.
- ↓
- PHASE 4. Intensification de l'hydromorphie. Acidité minérale assez forte. Illuviation "secondaire" hydromorphe entraînant un début de "dégradation" du sommet des horizons (B) (en milieu désaturé et temporairement réducteur, le fer se dissocie de l'argile laquelle peut migrer séparément). Formation de "cales" hydroxy-alumineuses en position interfoliaires dans les vermiculites.
- ↓
- PHASE 5. Acidification et hydromorphie continuent à s'intensifier. Début d'acidoferrolyse totale d'une partie des minéraux argileux. Podzolisation superficielle possible (fonction de la végétation) mais nullement obligatoire.

Par rapport au schéma théorique que nous venons d'exposer, il existe des facteurs qui constituent des FREINS A CES EVOLUTIONS (tant texturale que physicochimique), et capables aussi bien de RALENTIR ces évolutions que de LIMITER l'approfondissement du contact planique. Citons :

- la présence de CO_3Ca dans la roche-mère : cette circonstance agit d'une part en retardant notablement le passage à la phase 2 et contrarie grandement la désaturation du complexe d'échange par la remontée biologique du calcium (cycle bio-géochimique).
- Les très fortes teneurs en argiles (supérieure à 50 %). Il faut bien se rendre compte à quel stock considérable de minéraux argileux la pédogénèse se trouve confrontée dès sa phase initiale. Il y a vraiment beaucoup d'argile à désaturer, à évacuer ou à lyser. Plus grand sera ce stock à l'origine et plus long sera le "travail".
- Le caractère particulièrement peu perméable de la roche-mère (fort taux d'argile, granulométrie bimodale, argilo-sableuse par exemple, certains types de sédimentation litée et dense). Dans de tels cas, tous les processus viendront se heurter à un (ou plusieurs) plancher argileux. La dynamique latérale sera presque exclusive, l'approfondissement ralenti.

En revanche, il existe des FACTEURS D'ACCELERATION de l'évolution :

- l'existence de sulfures dans la roche-mère dont l'oxydation libérera précocement une forte acidité minérale ;
- les matériaux moins riches en argile (moins de 40 %), moins "tamponnés" ;
- les matériaux plus perméables (notamment les matériaux argileux riches en limons) ;
- les situations dans le paysage où le drainage interne est moindre et où l'hydromorphie est plus intense (microcuvettes) et celles où il circule de plus grands flux d'eaux donc où l'appauvrissement en argile est plus rapide.

Parmi les facteurs de la formation des sols habituellement cités, ON DOIT SOULIGNER, en ce qui concerne les PLANOSOLS de CHAMPAGNE HUMIDE, LA PREPONDERANCE ABSOLUE DE LA ROCHE-MERE. Le climat de cette région n'a rien d'extraordinaire : ni froid, ni chaud, ni pluvieux, ni spécialement contrasté. Des positions topographiques et des végétations naturelles similaires abondent dans le Bassin de Paris. CE QUI EST SPECIFIQUE, CE QUI ORIENTE PRECOCEMENT ET DEFINITIVEMENT LA PEDOGENESE vers cette MORPHOLOGIE et CE FONCTIONNEMENT PLANOSOLIQUES C'EST L'EXISTENCE DE ROCHES SEDIMENTAIRES ARGILEUSES PEU PERMEABLES dès l'origine. En outre, les différentes variantes observées sont encore sous la dépendance presque exclusive de caractéristiques granulométriques, physiques ou minéralogiques du matériau originel.

A la différence des matériaux sableux et limoneux où la pédogénèse se développe initialement (et longtemps, jusqu'à ce qu'il y ait imperméabilisation de certains niveaux plus ou moins profonds) selon UN AXE VERTICAL (en position topographique sub-horizontale, bien entendu) ces MATERIAUX ARGILEUX SEDIMENTAIRES NE PEUVENT FONCTIONNER QUE SELON UNE DYNAMIQUE ESSENTIELLEMENT LATERALE. Après une durée suffisante sans érosion, des planosols se formeront.

<u>ROCHES-MERES</u>	PELOSOLS BRUNIFIES DE LORRAINE	PLANOSOLS DE CHAMPAGNE HUMIDE
	argiles ou marnes du Trias. Fortes teneurs en argile : plus de 60 %.	Divers faciès, calcaires ou non, du Crétacé inférieur. Taux d'argile supérieurs à 40 %.
<u>STRUCTURE</u>	persistance dans le profil d'un horizon à structure prismatique ou polyédrique grossière associée à des faces verticales.	La structure des horizons argileux est le plus souvent polyédrique assez fine, les faces verticales ne sont pas exclues mais ne sont pas du tout généralisées.
<u>DIFFERENCIATION</u>	malgré une faible différenciation morphologique, notable appauvrissement en argile en surface : 40 à 50 % en A ₁ pour 60 à 70 % d'argile en C. Les horizons C débutent entre 45 et 60 cm. Profils : A ₁ (B)/(B)C/C.	Très forte différenciation morphologique liée à un très important appauvrissement en argile (10 à 25 % en A ₁ et A ₂ pour 40 à 60 % d'argile en (B) et C. Les horizons C débutent, selon les cas, entre 85 et 130 cm. Profils : A ₁ /A ₂ g/(B)/(B)C/C.
<u>DISCONTINUITÉ TEXTURALE</u>	progressive.	brutale, planique.
<u>pH EAU, SATURATION</u>	pH 5,7 - 5,8 en A ₁ . S/T supérieur à 60 % pour tous horizons.	pH eau des horizons A ₁ et A ₂ : 3,9 à 5,5. S/T des horizons supérieurs < 45 %.
<u>MINERALOGIE DES ARGILES</u>	essentiellement des minéraux 2/1 (édifices gonflants et illite) riches en Mg, Fe et K. Composition constante de bas en haut des profils. Les minéraux argileux sont exclusivement hérités et demeurent cristallochimiquement stables.	Les argiles héritées des différentes roches-mères sont très variées, toujours riches en fer. Malgré la forte différenciation texturale on ne constate guère de variations de bas en haut des profils. Seulement l' "ouverture" des feuillets d'argiles micacées parallèlement au départ de K et Mg.
<u>L'APPAUVRISSMENT EN ARGILE</u>	L'érosion sélective doit être considérée comme le mécanisme fondamental de l'appauvrissement. L'altération par hydrolyse ne jouerait qu'un rôle très discret.	L'appauvrissement est essentiellement causé par le départ latéral de suspensions d'argiles fines au moment où circulent des nappes hypodermiques au contact du plancher argileux. Une acido-ferrolyse est décelable actuellement. Elle est probablement récente et n'aurait encore joué qu'un rôle très minime.

TABLEAU 138 :
ELEMENTS DE COMPARAISON ENTRE PELOSOLS BRUNIFIES DE LORRAINE
ET PLANOSOLS DE CHAMPAGNE HUMIDE.

3. EXTENSION DES PLANOSOLS D'ALTERATION DIRECTE EN FRANCE

Nous en avons vu nous-mêmes :

- sur argiles du Lias, dans l'Yonne (carte de Noyers, à paraître) ;
- sur argiles résiduelles en Forêt d'Othe (à vérifier) ;
- sur argiles du Lias, au sud de la Côte d'Or (MORI et CHRETIEN, à paraître) ;
- sur argiles tertiaires, dans l'Oise (Noyonnais) (BEGON, HARDY et al, 1977) ;
- sur glauconitite et sur argiles cénomaniennes dans le Perche (ISAMBERT, à paraître).

Il en existe très probablement :

- en Sologne et en Forêt d'Orléans sur la "formation de Sologne" argilo-sableuse ;
- dans tout le reste de la Champagne humide et notamment dans le Pays du Der.

Il devrait pouvoir en exister, théoriquement, partout où affleurent des sédiments argileux (mais pas des alluvions argileuses récentes) mais également là où, suite à une forte altération d'un matériau non argileux à l'origine, se constitue rapidement des horizons argileux et peu perméables (glauconitites, alluvions anciennes riches en minéraux altérables).

4. COMPARAISON AVEC D'AUTRES TYPES DE SOLS

Nous ne chercherons pas à établir de comparaisons avec les autres types de planosols, notamment ceux brièvement cités en introduction (p. 1). En effet, ces sols se sont développés dans un contexte écologique (roches-mères et climat) complètement étranger à celui de la Champagne humide. En revanche, nous allons confronter nos planosols à deux autres types de sols décrits en France sous le même climat tempéré humide.

A. COMPARAISON AVEC LES PELOSOLS LORRAINS (NGUYEN KHA, 1973, 1975 et 1976).

Ce rapprochement s'impose car les pélosols lorrains sont développés dans des matériaux très argileux sous un climat peu différent de celui de la Champagne humide (plus froid et plus arrosé toutefois).

Nous insistons cependant sur le fait que seuls les pélosols brunifiés sont vraiment comparables à nos planosols, car les pélosols vertiques sont situés en de toutes autres positions topographiques (haut de pentes fortes, 25 à 30 %) et présentent seulement un profil A₁/AC/C.

C'est pourquoi nous ne rappellerons pas ici les résultats de l'intéressante étude in situ du ruissellement et du drainage interne à 60 cm (NGUYEN KHA et al, 1976) qui n'a porté que sur un site de pélosol vertique.

LIMONS LOESSIQUES
du BASSIN DE PARIS

★ Décarbonatation.
★ Structuration pédologique.

★ Brunification : libération du fer et argilisation modérées.

★ Début de désaturation et illuviation primaire verticale

★ Suite de la désaturation et début d'aluminisation.

★ Début de l'hydromorphie. Ouverture progressive des argiles micacées.

→ Suite de l'illuviation primaire.

→ Intensification de l'hydromorphie. Illuviation "secondaire" verticale et "dégradation" du Bt à tendance "glossique".

→ Formation de "cales" hydroxy-al en A₂.

→ Idem mais à tendance PLANIQUE

ROCHES ARGILEUSES
de CHAMPAGNE HUMIDE

★ Décarbonatation (facultatif).
★ Structuration pédologique.
★ Début de brunification (libération du fer etc...).

★ Argilisation des "sables verts".

→ Suite de l'altération.

★ Début de désaturation du complexe.
★ Début de l'illuviation latérale.
→ Tendence à l'engorgement. Minéraux argileux stables.

★ Suite de la désaturation et début d'aluminisation.

→ Début de l'hydromorphie.

★ Ouverture progressive des argiles micacées.

→ Suite de l'illuviation latérale.

→ Intensification de l'hydromorphie.

★ Acidité minérale assez forte.

→ Suite de l'illuviation latérale.

→ Illuviation "secondaire" avec "dégradation"

du sommet des horizons (B) à tendance planique. Formation de "cales" hydroxy-alumineuses interfoliaires dans les vermiculites en A₂.

→ Acidification et hydromorphie continuent à s'intensifier.

→ Début d'acidoférololyse d'une partie des minéraux argileux.

★ Podzolisation superficielle possible.

→ Illuviation latérale (suite)

ARGILES du TRIAS
de LORRAINE
PELOSOLS BRUNIFIES

★ Décarbonatation.
★ Structuration pédologique (début).

→ Début de brunification.

★ Début de désaturation.

★ Début d'illuviation latérale. Minéraux argileux stables.

FIGURE 59 : SEQUENCES EVOLUTIVES COMPAREES DES TROIS TYPES DE SOLS.

Le tableau 138 et la figure 59 montrent cependant que l'on peut considérer les pélosols brunifiés comme des sols encore très peu évolués, n'ayant atteint qu'un stade primitif mais se situant quand même sur le phylum menant à la planosolisation.

B. COMPARAISON AVEC LES SOLS SUR LIMONS LOESSIQUES DU BASSIN DE PARIS (JAMAGNE, références multiples).

Sont mis ainsi en parallèle des sols développés sur des matériaux différents mais que l'on rencontre exactement sous le même climat et en positions topographiques similaires. On notera d'ailleurs que des sols lessivés dégradés hydromorphes (sur "limons anciens") ont été décrits, étroitement juxtaposés avec les planosols qui nous occupent, en Champagne humide auboise (BAIZE, 1976).

La figure 59 établit un parallèle entre la chronoséquence évolutive proposée par JAMAGNE pour les sols sur limons loessiques et celle que nous venons de présenter (p. 263).

Sur cette figure, sont précédés d'une étoile tous les processus qui ont tendance à se développer selon un axe vertical et donc à "descendre" dans le solum au cours du temps (toutes formes d'altération).

Sont marqués d'une flèche verticale, tous les transferts de matières essentiellement verticaux (illuviations verticales) tandis que sont signalés par une flèche horizontale les transferts qui, suite à l'existence d'un plancher peu perméable, s'orientent latéralement.

On constate que les deux chronoséquences présentent de nombreux points communs. La différence essentielle réside dans l'apparition précoce d'une dynamique latérale des phénomènes dans le cas des sols sur argiles.

C'est ici qu'il faut reparler du profil Rebourseaux que nous avons considéré dès la phase de cartographie à moyenne échelle comme un sol intergrade entre planosols et sols lessivés dégradés (cf. p. 40). Lors du prélèvement de ce profil, il avait été décrit en effet :

- des revêtements argileux rougeâtres d'illuviation primaire (entre 60 et 80 cm) ;
- une "dégradation" morphologique du sommet du (B) affectant de 20 à 60 % du volume sur une tranche de 15 cm d'épaisseur (horizon A/(B) entre 45 et 60 cm) et se prolongeant encore plus en profondeur sous forme de "glosses" épousant certaines faces verticales d'agrégats prismatiques (cf. p. 32) ;
- des revêtements argileux déferrifiés sur les faces des gros prismes entre 120 et 140 cm, tout-à-fait semblables aux "revêtements d'illuviation secondaire" étudiés par JAMAGNE (cf. p. 35).

Les bilans isoquartz (p. 187) ont montré, malgré de gros problèmes liés à des hétérogénéités minéralogiques, que Rebourseaux avait perdu de grandes quantités d'argile dans ses horizons supérieurs, matières que l'on ne retrouvait pas accumulées plus bas dans le solum. A ce titre, il était tout-à-fait comparable aux trois autres planosols présentés. Or Rebourseaux se trouve être le sol développé dans le matériau argileux le plus riche en limons dans les horizons (B) (+ de 41 % de limons totaux contre environ 35 % pour le profil Flogny). En outre, les horizons (B) de Flogny dépassent 55 % d'argile tandis que ceux de Rebourseaux n'atteignent pas 50 %.

A notre avis, les propriétés granulométriques et physiques du matériau du profil Rebourseaux sont les principaux responsables du développement relativement important des processus à orientation verticale et donc du caractère intergrade de ce sol.

Par antithèse, nous allons insister un moment sur le cas du profil Flogny. Page 40 celui-ci avait été distingué des autres planosols par son aspect "jeune" et par la faible épaisseur de ses horizons appauvris (25 cm). Or, il apparaît après une étude détaillée que ce profil :

- présente le plus fort taux d'acidité d'échange parmi sept sols étudiés (tableau 105, p. 211) ;
- aurait perdu 38 hg/dm² dans les horizons A (bilans isoquartz, tableau 94) ce qui est du même ordre que pour Rebourseaux et nettement plus que pour Pontigny ;
- aurait subi, en A, des pertes de matières de 45 % par rapport au poids à l'origine, ce qui est le plus fort taux calculé pour les quatre sols.

Une fois de plus, moindre différenciation morphologique ne signifie pas moindre degré d'évolution. Si le profil Flogny semble plus "ramassé" que les autres, c'est que le matériau particulièrement argileux a constitué un frein à la différenciation des horizons et à l'approfondissement du contact planique.

5. CLASSIFICATION

A. SELON LA CLASSIFICATION FAO.

Les horizons superficiels appauvris correspondent parfaitement à la définition de l'horizon E.

En ce qui concerne les horizons argileux profonds, on pourrait discuter longuement pour savoir s'il faut les assimiler à des B cambiques ou à des B argiliques. Pour notre part, nous contestons la notion d'horizon argilique appliquée à des horizons argileux dans la formation desquels l'illuviation d'argile a joué un rôle nul ou tout au moins très secondaire. Mais ce débat importe peu car il est évident que les sols de Champagne humide dont il est question ici rentrent parfaitement dans l'unité pédologique PLANOSOLS définie par la superposition d'horizons E albi-ques/horizons faiblement perméables à moins de 125 cm avec des signes d'hydromorphie dans une partie au moins de l'horizon E.

Nous avons vu (p. 31) que tous nos horizons A_{2g} ne correspondaient pas parfaitement à la définition du E albique suite à une couleur trop vive, mais cela nous semble mineur. Le critère utilisé pour déterminer si les planosols de Champagne humide sont "dystriques" ou non est la valeur de S/T (mesuré à l'acétate d'ammonium) d'une partie au moins des horizons faiblement perméables, le seuil étant à 50 %.

Selon ce critère, Héry et La Villotte sont franchement "dystriques", Pontigny et Rebourseaux le sont d'extrême justesse grâce à leur horizon (B)_d ou A/(B) et Flogny ne l'est pas ! On en arrive ainsi à ce résultat paradoxal : des sols dont l'extrême acidité se manifeste par des pH KCl inférieur à 4 (y compris quant aux horizons argileux) ne sont pas tous classés dans la catégorie dystrique. Ceci pose à nouveau le problème de la détermination du taux de saturation par l'acétate d'ammonium à pH 7.

B. SELON LA SOIL TAXONOMY.

Nous ne voulons pas rouvrir la querelle sur l'existence et/ou la définition d'un horizon argilique dans des sols développés au sein de sédiments argileux.

Nous signalerons seulement que les planosols de Champagne humide sont très probablement à classer parmi les ALBAQUALFS de la classification américaine.

C. SELON LA CLASSIFICATION FRANCAISE.

Dans l'état actuel de cette classification (C.P.C.S., 1967) il n'y a pas de bonne place pour nos planosols.

Une des moins mauvaises solutions est de les ranger parmi les sols brunifiés des climats tempérés humides. Mais alors, la succession A(B)C mène au groupe des sols bruns. Quant à l'autre groupe, celui des sols lessivés, il exige la succession A Bt C. Il n'y a pas place pour des sols A₂(B)C.

On pourrait également classer les planosols de Champagne humide dans la classe des sols hydromorphes. En effet, cette classe regroupe les "sols dont les caractères sont dus à une évolution dominée par l'effet d'un excès d'eau en raison d'un engorgement temporaire ou permanent d'une partie ou de la totalité du profil. Cet excès d'eau peut être dû... au manque d'infiltration des eaux pluviales provoquant une nappe perchée ou un engorgement de surface". Mais, on lit quelques lignes plus bas "le principe retenu pour la définition de la classe est l'importance du caractère d'hydromorphie qui doit être suffisamment marqué et affecter la majorité du profil pour constituer l'élément essentiel de la pédogénèse. Dans le cas contraire, ce caractère apparaît au niveau de la sous-classe ou du groupe".

Si nos planosols manifestent une hydromorphie certaine à la base des horizons A, cette hydromorphie ne touche qu'une partie seulement des profils et elle ne suffit absolument pas à expliquer les traits essentiels de ces sols : forte différenciation texturale suite à l'appauvrissement et acidité prononcée.

L'esprit de la classification française est morpho-génétique. Ses auteurs se sont toujours efforcés d'organiser les regroupements selon les grands processus de formation des sols et ont tenté, en même temps, d'y associer des caractères morphologiques ou analytiques significatifs.

Dans le cadre de la rénovation de la classification C.P.C.S., nous proposerons de tenir compte au maximum :

- de l'importance primordiale de l'appauvrissement en argile par illuviation latérale ;
- de l'hydromorphie superficielle (nappes hypodermiques temporaires) ;
- du caractère d'horizons d'altération des horizons argileux profonds ;
- du caractère brutal du contact textural (caractère planique) ;
- de l'extrême acidité qui domine l'ambiance physico-chimiques.

La création d'un groupe de sols appauvris, à côté du groupe des sols lessivés, pourrait être une solution.

6. CE QUI N'A PAS PU ETRE FAIT

Arrivés au moment de conclure, nous prenons clairement conscience des imperfections de notre monographie qui se proposait d'envisager l'étude d'un type de planosols sous tous ses aspects et par toutes les approches possibles.

Voici, un peu en désordre, tout ce qui aurait du être fait (et qui pourrait encore occasionner des recherches complémentaires ultérieures).

- D'abord, nous nous sommes aperçus à quel point les propriétés physiques des matériaux avaient pu avoir de l'importance pour orienter puis freiner ou accélérer la pédogénèse. C'est pourquoi, une caractérisation approfondie des roches-mères serait à entreprendre au plan physique.

- Nous n'avons pas analysé suffisamment les matières organiques. Et cela sous le prétexte que des humus très polymorphes ne semblaient pas jouer un rôle majeur dans le phénomène, bien constant, de la planosolisation.

- Nous n'avons guère envisagé la répartition des différentes variantes morphologiques de planosols en relation avec les divers facteurs de la pédogénèse (principalement la position topographique de détail et la végétation). L'étude cartographique fine réalisée autour du site d'Héry sur une centaine d'hectares (p. 89) nous a cependant montré que, même sur de courtes distances, les variations de faciès sédimentaires sont tellement importantes qu'elles prennent le dessus sur toute autre cause de différenciation.

- C'est la même raison qui nous a fait abandonner l'idée d'étudier des toposéquences de sols et d'y rechercher des différences entre haut et bas de versants. Après avoir prospecté trois sites (Héry, Rebourseaux et Flogny) nous avons dû constater que, même sur quelques dizaines de mètres, les versants venaient recouper des roches aux compositions granulométriques suffisamment changeantes pour que cette approche en séquences devienne inapplicable.

- Il existe, en rebord de plateau et en position de pentes assez fortes, des sols à forte différenciation texturale mais sans hydromorphie. L'étude de ce type de sol en parallèle avec ceux que nous avons analysés, aurait sans doute été fructueuse.

- En ce qui concerne le fonctionnement hydrique nous pouvons regretter le nombre insuffisant de prélèvements d'eaux et d'analyses des matières en suspension. Nous manquons d'information pour bien cerner la variabilité des charges solides au cours des saisons. Un prélèvement après un fort orage d'été aurait été particulièrement instructif. D'autre part, l'étude du fonctionnement hydrique des mêmes planosols mis en culture aurait été d'un grand intérêt agronomique. Nous savons de visu que l'engorgement est beaucoup plus important, plus prolongé et qu'il provoque souvent ruissellement superficiel et érosion. Il est possible également que le dessèchement pénètre plus profondément.

- Un chapitre aurait été utile qui aurait cerné avec précision la dispersabilité des argiles et les mécanismes mis en jeu.

- Enfin nous regrettons que nos bilans isoquartz n'aient pas pu être poussés plus loin. Il aurait été souhaitable de traiter un plus grand nombre de profils et surtout un plus grand nombre d'horizons en multipliant au maximum les différentes voies d'évaluation des taux de quartz.

7. DERNIERE REMARQUE

Une dernière remarque s'impose. La plupart des faits laborieusement établis au cours de cette thèse avaient déjà été pressentis ou reconnus au cours de la cartographie à moyenne échelle (sondages + profilage + analyses de routine).

Citons notamment :

- homogénéité initiale des matériaux soumis à la pédogénèse ;
- engorgements superficiels temporaires à évacuation latérale ;
- faibles variations d'humidité des horizons (B) ;
- relative sécheresse des horizons C ;
- identification des horizons argileux semi-profonds comme des horizons d'altération et des horizons superficiels comme des A₂ éluviés ;
- schématisation des profils sous la forme d'une superposition A₂/(B)/C ;
- variabilité des cortèges de minéraux argileux et des types d'humus.

La démarche cartographique, par la multiplication des prises d'information qu'elle exige à différentes saisons et à différentes échelles (du centimètre au kilomètre), s'avère décidément irremplaçable.

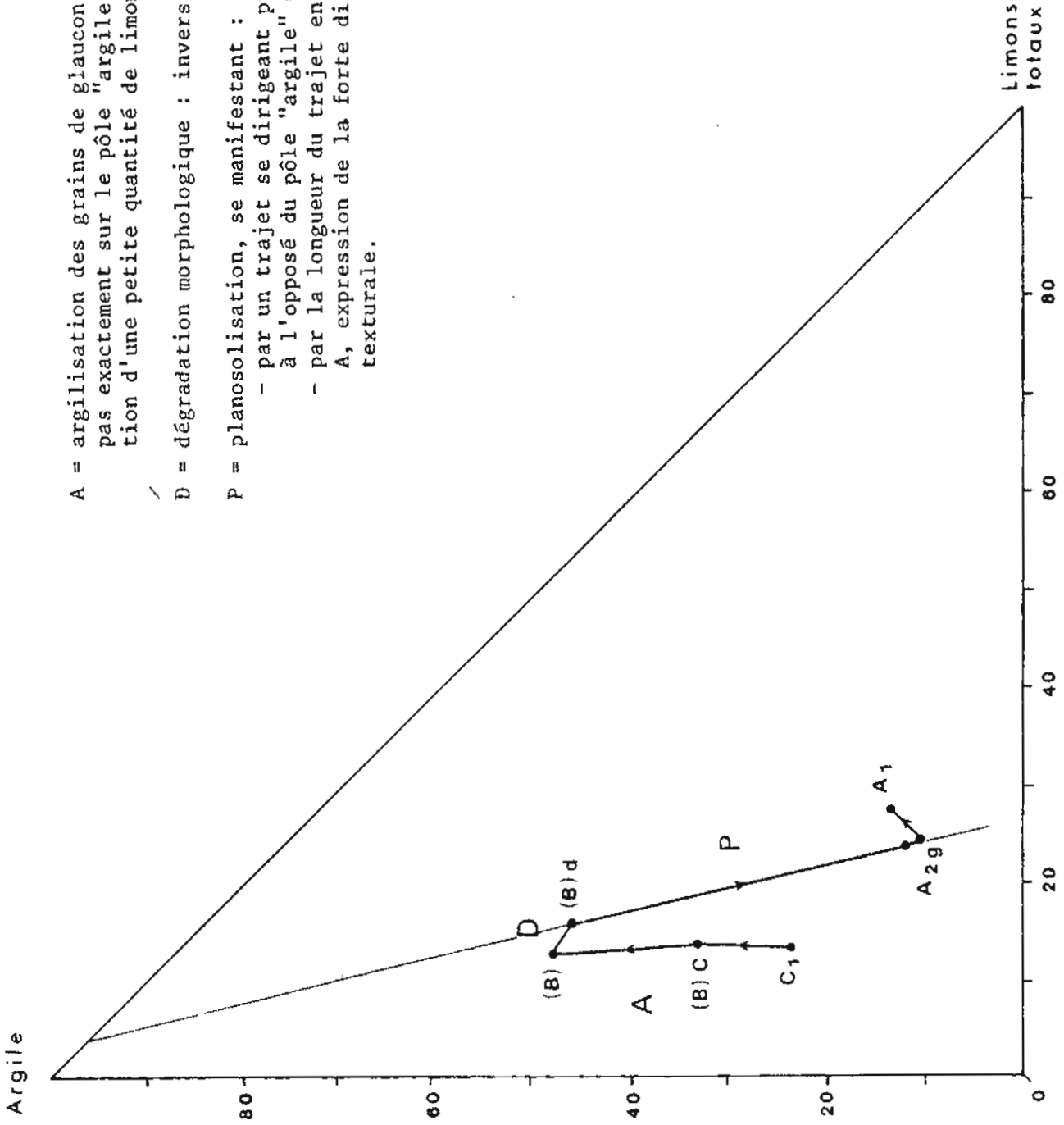
FIGURE 60 : TRAJET GRANULODYNAMIQUE (LEGROS, 1982) DU PROFIL HERY

A = argilisation des grains de glauconie, ne se dirigeant pas exactement sur le pôle "argile" suite à la formation d'une petite quantité de limons.

D = dégradation morphologique : inversion du trajet.

P = planosolisation, se manifestant :

- par un trajet se dirigeant presque parfaitement à l'opposé du pôle "argile" = appauvrissement ;
- par la longueur du trajet entre horizons (B) et A, expression de la forte différenciation texturale.



RÉSUMÉ

Ce travail contribue à approfondir la connaissance des PLANOSOLS PRIMAIRES. Les sols étudiés se sont développés sous climat tempéré, dans des matériaux sédimentaires argileux en Champagne humide. Le mémoire comporte sept grands chapitres.

CHAPITRE I : LA CHAMPAGNE HUMIDE.

C'est une région naturelle du sud-est du Bassin de Paris qui correspond strictement aux affleurements des couches du Crétacé inférieur. Le travail qui est présenté aujourd'hui constitue l'aboutissement d'études qui débutèrent en 1969 au cours de la cartographie à moyenne échelle d'une partie seulement de cette région (secteurs de Chaource, Saint-Florentin et Auxerre). Le Crétacé inférieur connaît de rapides variations lithologiques tant verticales que latérales, mais LES SEDIMENTS ARGILEUX RESTENT TRES MAJORITAIRES. Il s'agit donc de matériaux peu perméables et peu résistants à l'érosion. C'est pourquoi la région étudiée forme une plaine de faible altitude (120 à 230 m) et doucement vallonnée. Les sols à excès d'eau sont la règle et la tendance naturelle est à une acidité marquée. Aussi les vastes massifs forestiers et les prairies permanentes dominent.

Le climat se caractérise par des précipitations moyennes annuelles modérées (630 à 770 mm) bien réparties tout au long de l'année. La température moyenne annuelle avoisine 10,5°. Il s'agit donc d'un CLIMAT DE TYPE PLUTOT OCEANIQUE, sous l'influence de vents d'ouest et sud-ouest, avec des hivers encore assez doux et des étés tempérés (Auxerre : janvier 2°5 ; juillet 18°6).

CHAPITRE II : PRESENTATION DES SOLS.

Quelle que soit la constitution granulométrique ou minéralogique des matériaux dont ils sont issus, les planosols de Champagne humide montrent TOUJOURS LES MEMES SUCCESSIONS D'HORIZONS : A₁ ou A_{2g} (B) (B)C C. La désignation des horizons argileux de moyenne profondeur pose problème. Dès la phase de prospection cartographique, nous les avons considérés comme des horizons B d'altération et non comme résultant d'une illuviation. C'est pourquoi nous avons utilisé la notation (B). En outre, deux propriétés fondamentales caractérisent ces sols : d'une part UNE FORTE DIFFERENCIATION TEXTURALE, d'autre part UN PASSAGE BRUTAL ET SUB-HORIZONTAL DES HORIZONS A₂ AUX HORIZONS (B) (CARACTERE PLANIQUE).

Les variantes portent principalement sur : la nature de l'humus ; la présence éventuelle d'un micropodzol à la surface ; l'épaisseur totale des horizons appauvris (le plus souvent 35 à 45 cm) ; l'intensité et le mode d'expression de l'hydromorphie au sein des horizons A ; la morphologie et l'importance de la "dégradation morphologique" au sommet des horizons argileux ; l'existence ou non d'un "ventre" apparent d'argile.

Des observations micromorphologiques conduites sur 5 profils permettent d'aboutir à un constat général : DANS LES HORIZONS ARGILEUX, LES ARGILANES ET FERRI-ARGILANES, témoins habituels des processus d'illuviation d'argile, FONT PRESQUE TOTALEMENT DEFAUT. Lorsqu'on en observe quelques-uns, leur importance est sans commune mesure avec la différenciation texturale des sols.

A partir d'une population d'une cinquantaine de profils décrits sous forêt, on constate, au plan physico-chimique, une différenciation accentuée entre - des horizons C peu acides (voire calcaires), peu désaturés ou saturés,

peu altérés et sans aluminium libre ; - des horizons (B) acides, plus ou moins désaturés, de plus en plus altérés, contenant d'importantes quantités d'aluminium échangeable et "libre" ; - et des horizons A très acides (protons organiques et Al^{+++}), très désaturés et très appauvris en argile, en fer et en bases.

CHAPITRE III : ETUDE GRANULOMETRIQUE.

L'essentiel de l'étude a porté sur les comparaisons des "squelettes granulométriques" entre horizons A_2 et horizons (B) d'un même profil. A ces raisonnements "verticaux" ont été associés des raisonnements "horizontaux" qui permettent de confronter les granulométries de plusieurs profils. Des indices quantitatifs ont été introduits et discutés. Toutes les méthodes, tant qualitatives que quantitatives, convergent remarquablement vers la même conclusion : LES HORIZONS DE SURFACE APPAUVRIS EN ARGILE PROCEDENT D'UNE DIFFERENCIATION PEDOLOGIQUE IN SITU.

CHAPITRE IV : ETUDE DU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

Un grand nombre de mesures et d'observations ont été effectuées grâce à des dispositifs d'étude in situ (piézomètres, tensiomètres, sonde à neutrons) et cela sur deux sites, tout au long de 5 années consécutives. Des bilans hydriques, basés essentiellement sur des données climatiques, ont servi à estimer quantitativement les excès et les déficits d'eau, soit de 170 à 300 mm d'excès d'eau et de 0 à 190 mm de déficit selon l'année et la station considérées.

Des nappes "hypodermiques" existent de façon habituelle mais discontinue de fin décembre à fin mars. Elles apparaissent aussi en avril et en mai mais de façon plus temporaire et il arrive qu'on puisse les observer momentanément en été, le temps d'évacuer de fortes averses.

80 mesures d'humidités neutroniques ont permis de suivre l'évolution au cours du temps des humidités des deux sols, de déterminer leurs valeurs caractéristiques (humidités maximales, à la capacité de rétention), de comparer ces données expérimentales aux chiffres fournis par les bilans hydriques, d'établir enfin des bilans volumiques solide/eau/gaz. En hiver et au printemps il y a évacuation latérale immédiate des excès d'eau, le long du "plancher" peu perméable que constitue le sommet des horizons (B), les phases d'engorgement demeurant relativement fugaces. LES DRAINAGES D'HIVER ET DE PRINTEMPS SONT DONC DES PHENOMENES ESSENTIELLEMENT LATERAUX.

Les bilans volumiques font apparaître les très faibles volumes occupés par l'atmosphère du sol lors des phases d'humidité maximales (2 à 5 % pour les horizons (B) et 3 à 7 % pour les horizons A_2). Au cours de ces périodes, l'aération du sol est donc très faible et LE MILIEU PEUT DEVENIR REDUCTEUR. Aux moments les plus secs, le volume maximal d'air des horizons (B) demeure encore faible, surtout à HERY (8 à 11 %).

Les eaux qui s'écoulent en surface, à proximité immédiate du site d'HERY, ont été analysées. IL Y A TOUJOURS DES ARGILES EN SUSPENSION (3 à 32 mg/litre). ON NOTE AUSSI UNE QUANTITE IMPORTANTE DE SILICE DISSOLUE : 10 à 20 mg/litre de SiO_2 . Un prélèvement opéré en février a permis l'étude des matières en suspension. Celles-ci présentent une composition chimique d'argiles et des diffractogrammes tout-à-fait semblables à ceux de la fraction 0,1 - 0,5 μm de l'horizon A_2 étudié par ailleurs.

On a ainsi pu vérifier, par des observations et des mesures sur une longue durée, tout ce qui avait été pressenti lors de la cartographie à échelle moyenne. Les horizons A sont filtrants, ils subissent des alternances d'aération et d'engorgements et sont donc soumis selon un rythme rapide à des cycles oxydation/réduction. Les horizons (B) s'avèrent imperméables, car sans macroporosité, et présentent de faibles variations d'humidités au cours du temps. Il n'y a pas d'arri-

vées d'eau "par en dessous". Tous les apports correspondent donc à des pluies. Une première partie est évapotranspirée par la végétation. Une (petite) partie sert à reconstituer la réserve du sol (en automne lorsque celle-ci à été entamée). La plus large part des eaux météoriques (200 à 420 mm par année civile) est évacuée rapidement sous la forme de nappes hypodermiques temporaires à circulation latérale.

CHAPITRE V : BILANS ISOQUARTZ.

En établissant ces bilans, nous avons cherché à répondre clairement à la question suivante : les matières ayant quitté les horizons A superficiels ont-elles migré verticalement ou latéralement ? les horizons argileux résultent-ils d'une accumulation absolue ou relative de particules $< 2 \mu\text{m}$? s'agit-il donc d'horizons B_2t ou d'horizons (B)?

La méthode utilisée est inspirée directement de celle proposée par MARSHALL et HASEMAN qui avaient choisi un raisonnement isozircon. Elle permet de raisonner en valeurs absolues sur des poids d'une colonne de sol en cours d'évolution. Par rapport aux expressions isoquartz habituelles cette démarche à l'avantage de tenir compte des épaisseurs relatives des horizons et donc de permettre de comparer les pertes et les gains qui peuvent apparaître à différents niveaux d'un même profil.

Pour pouvoir faire jouer la "mécanique" de ce type de bilans, il a fallu déterminer tout d'abord les teneurs en quartz des principaux horizons. Cette phase préalable obligatoire a nécessité des reconstitutions minéralogiques complexes et laborieuses. Quatre bilans isoquartz ont pu être établis ensuite, selon la même procédure, sur quatre planosols issus de roches-mères très dissemblables.

Dans les quatre cas étudiés : - on constate de très grosses pertes de matières dans les horizons A (30 à 45 % du poids à l'origine) ; - on enregistre des gains dans tous les horizons (B) proches de la surface ; - mais ces gains sont de faibles ampleurs et ne compensent absolument pas les pertes subies par les horizons A : LES HORIZONS A SONT DONC BIEN L'OBJET D'UN TRES IMPORTANT APPAUVRISSEMENT EN MATIERES QUI NE SE RETROUVENT PAS DANS LES HORIZONS ARGILEUX SOUS-JACENTS. En outre, LES PERTES DE MATIERES DES HORIZONS A SE CONFONDENT EXACTEMENT AVEC LES PERTES EN MINERAUX PHYLLITEUX. De plus, il a été possible de reconstituer la composition de ces pertes et de les confronter aux fractions "argile" actuelles des différents horizons. Les pertes ainsi évaluées par le calcul, expliquent bien les différences observées aujourd'hui entre les fractions $< 2 \mu\text{m}$ des roches-mères et celles des horizons A.

CHAPITRE VI : LE COMPLEXE D'ALTERATION

L'EXTREME ACIDITE DE TOUS LES HORIZONS DOIT ETRE ENCORE UNE FOIS SOULIGNEE (pH KCl $< 4,0$, y compris dans les horizons argileux). L'ALUMINIUM ECHANGEABLE REVET UNE IMPORTANCE CONSIDERABLE et domine toujours très nettement H^+ . Les horizons A constituent un milieu très appauvri en bases échangeables et il semble bien que ces sols ne contiennent pas de minéraux altérables capables de libérer progressivement des cations basiques.

L'indice brut d'altération du fer est important (12 à 46 %) et va croissant du bas vers le haut des profils, parallèlement avec l'altération des minéraux ferrifères (principalement la glauconie en grains). Le fer "libre" aurait tendance à s'accumuler relativement et sans doute à se redistribuer au sein des solums.

En revanche, l'indice d'altération de l'aluminium est très faible. Cet élément ne s'organise pas sous forme d'amorphes et demeure sous la forme cationique échangeable.

Une étude détaillée des fractions $< 2 \mu\text{m}$ du profil Héry a permis de mettre en évidence deux points essentiels : - disparition sélective en A_2 des argiles les plus fines avec accumulation relative des plus grossières, lesquelles connaissent une accumulation relative en quartz, kaolinite et minéraux titanés. - évolution géochimique des glauconites dans les fractions les plus fines ($< 0,1 \mu\text{m}$) par perte continue de potassium, ouverture progressive des feuillets et acquisition de propriétés de gonflement ("smectites de transformation").

En ce qui concerne le profil Flogny, on assiste à une vermiculitisation plus ou moins accentuée des illites. La seule évolution géochimique certaine est une perte importante en potassium qui a affecté surtout les particules les plus fines. La formation de "smectites de transformation" semble avoir été contrecarrée dans les horizons A par la fixation d'ions hydroxylés sans doute alumineux. Dans aucun des deux sols étudiés en détail, il n'y a de signes nets d'une destruction des réseaux phylliteux.

LA TENDANCE PEDOGENETIQUE ACTUELLE (dont les indicateurs sont le pH KCl et le taux d'acidité d'échange) SERAIT UNE ACIDOLYSE TOTALE. Les cycles réduction/ré-oxydation du fer libre en présence de composés organiques fourniraient les ions H^+ nécessaires. IL Y AURAIT DONC AUJOURD'HUI DISSOLUTION DE CERTAINS MINERAUX ARGILEUX PAR ACIDO-FERROLYSE. Cette évolution aurait débuté trop récemment pour être actuellement décelée par des analyses chimiques ou diffractométriques. En revanche, deux autres processus intervenus antérieurement auraient laissé des traces durables : formation d'"intergrades" alumineux en conditions d'acidité moins forte (acidolyse limitée) et "dégradation morphologique" accompagnée d'une illuviation "secondaire" hydromorphe.

CHAPITRE VII : SYNTHÈSE GÉNÉRALE - PEDOGENÈSE

Dans ce chapitre, sont d'abord proposés des schémas des évolutions texturale et physico-chimique. La première (L'APPAUVRISSEMENT) semble avoir persisté jusqu'à aujourd'hui puisque, malgré des conditions de milieu théoriquement défavorables, des argiles sont actuellement éliminées en suspension dans les eaux. Sont ensuite énumérées les circonstances qui constituent des freins ou, au contraire, accélèrent ces évolutions.

Après quoi, les planosols étudiés sont comparés aux pélosols de Lorraine puis aux sols sur limons loessiques du bassin de Paris.

Finalement, parmi les facteurs de la formation des sols, ON DOIT SOULIGNER LA PREPONDERANCE ABSOLUE DE LA ROCHE-MÈRE. Le climat de la Champagne humide ne présente pas de caractères particuliers. CE QUI EST SPÉCIFIQUE, CE QUI ORIENTE PRÉCOCÉMENT ET DÉFINITIVEMENT LA PEDOGENÈSE VERS LA MORPHOLOGIE ET LE FONCTIONNEMENT PLANOSOLIQUES, C'EST L'EXISTENCE DE ROCHES-MÈRES SÉDIMENTAIRES ARGILEUSES, PEU PERMEABLES DES L'ORIGINE. A la différence des matériaux sableux et limoneux où la pédogénèse se développe initialement (et longtemps) selon un axe vertical*, ces matériaux argileux ne peuvent fonctionner que selon une dynamique essentiellement latérale.

* en position topographique sub-horizontale, bien entendu.

BIBLIOGRAPHIE

- AUSSENAC G., 1970 - Action du couvert forestier sur la distribution au sol des précipitations. *Ann. Sci. Forest.*, 1970, 27, (4) pp. 383-399.
- AUSSENAC G., 1972 - Etude de l'évapo-transpiration réelle de quatre peuplements forestiers dans l'est de la France. *Ann. Sci. Forest.*, 1972, 20, (3) pp. 369-389.
- BAIZE D., 1971 - Contribution à l'étude des sols des plateaux jurassiques de Bourgogne. Essai sur les terres dites "Aubues". Thèse 3ème cycle, Paris 1971, 156 pages.
- BAIZE D., 1974 - Les sols à forte différenciation texturale de la région d'Auxerre et le problème de leur pédogénèse. *Science du sol - Bull. AFES*, n° 1, 1974, pp. 5-22.
- BAIZE D., 1976 - Notice explicative de la carte pédologique de France à moyenne échelle. Feuille de Tonnerre. Institut National de la Recherche Agronomique - Service d'étude des sols et la carte Pédologique de France. Versailles, 1976.
- BAIZE D., 1977 - Existence de planosols d'altération directe dans le Bassin de Paris. *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 284, série D., pp. 275-277.
- BAIZE D., 1980 - Granulométrie et homogénéité des profils - Application aux planosols de Champagne humide (France). *Science du sol*, 1980, n° 2, pp. 83-112.
- BAIZE D., 1980 - Essai de bilan isoquartz sur un planosol du Bassin de Paris. Méthodes et résultats. *Ann. Agron.*, 1980, 31 (4), pp. 337-362.
- BEGON J.C., 1979 - Sur la mise en évidence de séquences d'évolution dans les formations limoneuses des terrasses de la Garonne. *C.R.A.S.*, Paris, t. 288, série D., pp. 481-484.
- BEGON J.C. et JAMAGNE M., 1972 - Sur la genèse de sols limoneux hydromorphes en France. Pseudogley and Gley. *Comptes-rendus des comm. V et VI de l'Ass. Int. de la Science du sol*. pp. 307-318.
- BEGON J.C., HARDY R., MORI A. et ROQUE J., 1976 - Les sols du département de l'Oise. Cartes à 1/100.000 et notice. Institut National de la recherche Agronomique - Service d'Etude des Sols et de la Carte Pédologique de France. Versailles, 1976.
- BETREMIEUX R., 1975 - Réflexions à propos de la capacité au champ et de sa mesure. Actualisation et réhabilitation de cette notion. Document I.N.R.A., Science de Sol, groupe de travail 6 ter., multcopie, 41 p.
- BONNEAU M. et SOUCHIER B., 1979 - Pédologie. 2. Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 1979, 459 p.

- BORNAND M., 1978 - Altération des matériaux fluvioglaciers. Genèse et évolution des sols sur terrasses quaternaires dans la moyenne vallée du Rhône. Thèse de doctorat d'Etat. Montpellier, 1978. 329 p.
- BREWER R., 1964 - Fabric and Mineral Analysis of soil. John Wiley & sons Inc.
- BREWER R., 1964 - Classification of plasmic fabrics of soil materials. In JONGERIUS, Soil micromorphology. Elsevier Publishing Company (Amsterdam, London, N.Y.) pp. 95-107.
- BRINKMAN R., 1969 - Ferrolisis, a hydromorphic soil forming process. Geoderma. Elsevier Pub. Company. Amsterdam, 3, 1969/1970, pp. 199-206.
- BRINKMAN R., 1979 - Ferrolisis a soil forming process in hydromorphic conditions. Wageningen, 1979. 2 volumes : 1 papers, 2 thèse.
- BRINKMAN R., JONGMANS A.G., MIEDEMA R., MAASKANT P., 1973 - Clay decomposition in seasonally wet, acid soils : micromorphological chemical and mineralogical evidence from individual argillans. Geoderma, 10, pp. 259-270.
- CAILLIER M., 1977 - Etude chronoséquentielle des sols sur terrasses alluviales de la Moselle. Genèse et évolution des sols lessivés glossiques. Thèse de spécialité. Nancy, 1977, 106 p.
- CAILLERE S., HENIN S., et RAUTUREAU M., 1982 - Minéralogie des argiles. Masson, Paris, 1982. 2 tomes. 2ème éd.
- CARVALHO CARDOSO J., TEIXEIRA BESSA M., 1972 - Planosols of Portugal. Pseudogley and gley - C.R. des Comm. V et VI de l'A.I.S.S. pp. 335-339.
- CHAUSSIDON J., PEDRO G., 1979 - Rôle de l'état hydrique du système poreux sur l'évolution du milieu. Réalité de l'altération dans les systèmes à faible teneur en eau. Science du sol ; 1979, n° 2 et 3, pp. 223-237.
- COLLIER D., 1961 - Mise au point sur les processus d'altération des granites en pays tempérés. Ann. Agron., 12, n° 3, pp. 273-331.
- CONEA A., OANCEA C., POPOVAT A., RAPAPORT C., VINTILA I., 1972 - Comparative study of planosols in Romania. Pseudogley and gley - C.R. des Comm. V et VI de l'A.I.S.S. pp. 323-331.
- CONCRET J., GUYOT J., PERREY C., 1976 - Circulation dans les sols de l'eau excédentaire. Conséquences sur la technologie du drainage. Station de Science du sol. I.N.R.A. Dijon.
- COUREL L., FEUILLEE P., SEDDOH F., RAT P., TRESCARTE J., 1972 - Les sables albiens dans le sud-est du bassin parisien. Revue de géogr. phys. et Géol. dynamique. Vol. XIV, fasc. 2, pp. 171-189.
- C.P.C.S. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols, 1967 - Classification des sols, travaux 1963 - 1967. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols.
- DE CONINCK F., HERBILLON A., 1969 - Evolution minéralogique et chimique des fractions argileuses dans des alfisols et des spodosols de la Campine (Belgique). Pédologie, Gand, 19 (2), pp. 159-172.

- DE CRECY J., CONCARET J., MUNIER O. et LAVIELLE G., 1979 - Assemblage structural des sols et histoire des matériaux. C.R. Acad. Agriculture, 5 décembre 1979, pp. 1448 à 1451.
- DONER H.E. et LYNN W.C., 1977 - Carbonate, Halite, Sulfate, and Sulfide minerals. in "Minerals in soil environments - Soil Science Society of America. Madison, 1977.
- DOUILLET Ph., ODIN G.S., 1968 - Etude chimique et minéralogique de grains de glauconie provenant des formations crétacées et tertiaires du Bassin de Paris. Bull. Groupe français des Argiles. 1968, T. XX, fasc. 1, pp. 13-24.
- DUCHAUFOR Ph., 1972 - Processus de formation des sols. Biochimie et Géochimie. Centre de pédologie C.N.R.S. - Nancy 1. C.R.D.P. Nancy.
- DUCHAUFOR Ph., 1977 - Pédologie - Tome 1 : Pédogenèse et classification. Masson, Paris, 1977.
- DUDAL R., 1972 - Planosols. Pseudogley and gley. Comptes-rendus des Comm. V et VI de l'A.I.S.S. pp. 275-285.
- DURAND R. et DUTIL P., 1971 - Evolution des sols en milieu calcimagnésique argileux (Pays du Der, Haute Marne). Science du sol, n° 1, 1971, p. 65 à 78.
- ESPIAU P., 1978 - Etude d'une série de sols de l'étage montagnard de Corse : contribution de la minéralogie des argiles et de l'acidité d'échange à l'interprétation de la pédogenèse. Science du sol, 1978. n° 3, pp. 167-183.
- ESPIAU P., PEYRONEL A., 1976 - L'acidité d'échange dans les sols. Méthode de détermination de l'aluminium échangeable et des protons échangeables. Science du sol, 1976, n° 3, pp. 161-175.
- ESPIAU P. et PEYRONEL A., 1977 - Acidité d'échange dans les sols. Application à une séquence altitudinale des sols du massif du Mont Aigoual. Science du sol, 1977, n° 1, pp. 25-44.
- ESPIAU P. et PEDRO G., 1980 - Caractérisation du complexe d'échange des sols acides. Le taux d'acidité d'échange et sa signification pédogénétique sous climat tempéré. Ann. Agron., 1980, 31 (4), pp. 363-383.
- ESPIAU P. et PEDRO G. - Etude du phénomène de ferrolyse par voie expérimentale. Production d'acidité d'échange et mise en évidence du rôle catalytique des minéraux argileux. Science du sol, à paraître.
- FAIVRE P., 1977 - Sols à profil différencié planosoliques à horizon Bt noir de Colombie (Amérique du Sud). Bull. AFES, Science du sol, 1977, n° 2, pp. 95-110.
- FAVROT J.C. et LEGROS J.P., 1972 - A propos d'un type de sol hydromorphe observé en France : le planosol lithomorphe. Bull. AFES n° 6, 1972, p. 243-249.
- FAVROT J.C. , LEGROS J.P. et DUPUIS M., 1973 - Contribution à l'étude des sols de la nappe détritique bourbonnaise. Annales Agron., 1973, n° 24 (1), pp. 33-62.

- FEDOROFF N., 1968 - Genèse et morphologie de sols à horizon B textural en France atlantique. *Science du sol*, n° 1, 1968, p. 29.
- FEDOROFF A. et GUYON G., 1966 - Sur le choix d'un système d'assainissement des sols adapté aux conditions du milieu. *C.R. Séances Acad. Agric. France*. p. 754.
- G.E.P.P.A., 1981 - Synthèse des travaux de la commission de cartographie (1970-1981) Document polycopié, 1981.
- GIRESSE P., ODIN G.S., 1973 - Nature minéralogique et origine des glauconies du plateau continental du Gabon et du Congo. *Sedimentology*, 1973, 20 ; pp. 457-488.
- GRIMALDI M., 1981 - Contribution à l'étude du tassement des sols : évolution de la structure d'un matériau limoneux soumis à des contraintes mécaniques et hydriques. Thèse Docteur Ingénieur. E.N.S.A., Université Rennes, octobre 1981, 221 p.
- GURY M., 1976 - Evolution des sols en milieu acide et hydromorphe sur terrasses alluviales de la Meurthe. Thèse de Doctorat de Spécialité. Nancy 1, 1976, 100 p.
- HETIER J.M., 1975 - Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Thèse de Doctorat. Université Nancy 1, 1975, 194 p.
- ISAMBERT M. - Notice explicative de la carte pédologique de France à moyenne échelle. Feuille de Châteaudun. Institut National de la Recherche Agronomique - Service d'étude des sols et de la Carte Pédologique de France. Orléans, à paraître.
- JAILLARD B., 1980 - Fonctionnement hydrique d'un sol carbonaté Incidence sur la chlorose ferrique. Thèse de Spécialité. Montpellier, 1980, 131 p.
- JAMAGNE M., 1970 - Sur la mise en évidence d'une séquence d'évolution pédogénétique développée dans les formations limoneuses sous climat tempéré humide. *C.R.A.S.*, Paris, t. 270, série D., pp. 1773-1775.
- JAMAGNE M., 1972 - Caractères micromorphologiques des sols développés sur formations limoneuses. Séminaire de Microscopie des sols. Grignon. Septembre 1970. *Bull. AFES*, n° 1-2, p. 9-32.
- JAMAGNE M., 1973 - Contribution à l'étude pédogénétique des formations loessiques du Nord de la France. Thèse, Gembloux, 1973, 445 pages.
- JAMAGNE M., 1978 - Les processus pédogénétiques dans une séquence évolutive progressive sur formations limoneuses loessiques en zone tempérée froide et humide. *C.R. Acad. Science, Paris*, t. 286, série D., pp.25-27.
- JAMAGNE M. et FEDOROFF N., 1969 - Comparaison micromorphologique de quelques sols sur limon du Bassin parisien. *Mém. h. série Soc. Géol. de France*. n° 5, 1969, pp. 73-79.
- JAMAGNE M., BETREMIEUX R., BEGON J.C. et MORI A., 1977 - Quelques données sur la variabilité dans le milieu naturel de la réserve en eau des sols. *B.T.I.* 324-325, 1977.

- JAMAGNE M., FRIDLAND V.M. et al. - Etude comparative des caractéristiques et de l'évolution des sols derno-podzoliques de l'U.R.S.S. et des sols lessivés de France. Institut National de la Recherche Agronomique - Service d'Etude des sols et de la Carte Pédologique de France. Orléans, à paraître.
- JEANROY E., 1983 - Diagnostic des formes de fer dans les pédogenèses tempérées. Evaluation par les réactifs chimiques d'extraction et apports de la spectrométrie Mössbauer. Thèse, 1983, Nancy.
- KIELY P.V., JACKSON M.L., 1965 - Quartz, feldspar and mica determination for soils by sodium pyrosulfate fusion. Soil Sci. Soc. Americ. Proc. t. 29. 2. pp. 159-163.
- LAUVERJAT J., 1969 - L'albien de l'Aube et de l'Yonne, corrélations stratigraphiques. C.R.A.S., Paris, t. 269, p. 1942, 17 novembre 1969.
- LEGROS J.P., 1982 - L'évolution granulométrique au cours de la pédogenèse. Approche par simulation sur ordinateur. Application aux sols acides sur matériaux cristallins en zone tempérée. Thèse Doctorat, I.N.R.A., Montpellier, 436 p.
- LELONG F., SOUCHIER B., 1970 - Bilans d'altération dans la séquence de sols vosgiens, sols bruns acides à podzols, sur granite. Bull. Serv. carte geol. Als. Lorr., 23,3-4, Strasbourg, pp. 113-143.
- LELONG F., SOUCHIER B., 1972 - Comparaison de bilans d'altération sur roches granitiques en zone tempérée et en zone équatoriale. C.R.A.S., Paris, 274, série D., pp. 1896-1899.
- LELONG F., SOUCHIER B., 1979 - Les bilans d'altération dans les sols. Méthodes - Résultats - Perspectives. Science du sol, 1979, n° 2 et 3, pp. 267-279.
- MARSHALL C.E., HASEMAN J.F., 1942 - The quantitative evaluation of soil formation and development by heavy mineral studies : a grundy silt loam profile. Soil Sci. Soc. Americ. Proceedings. 1942, pp. 448-453.
- MEHRA O.P., JACKSON M.L., 1960 - Iron-oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and clay minerals, 7, pp. 317-327.
- MILLOT G., 1964 - Géologie des argiles. Masson et Cie, Paris, 1964, 500 p.
- MORI A., CHRETIEN J. - Notice explicative de la carte pédologique de France à moyenne échelle. Feuille de Beaune. Institut National de la Recherche Agronomique - Service d'Etude des sols et de la Carte Pédologique de France. Orléans, à paraître.
- MORRAS H.J.M., 1979 - Discussion sur les mécanismes de pédogenèse des planosols et d'autres sols apparentés. Science du sol, 1979, n° 1, pp. 57-66.
- NGUYEN KHA, 1973 - Recherches sur l'évolution des sols à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. Thèse Doctorat es Sciences, Nancy, 1973, 156 p.
- NGUYEN KHA, PAQUET H., 1975 - Mécanismes d'évolution et de redistribution des minéraux argileux dans les pélosols. Sci. Geol. Bull., 28, 1, pp. 15-28 Strasbourg.

- NGUYEN KHA, ROUILLER J. et SOUCHIER B., 1976 - Premiers résultats concernant une étude expérimentale du phénomène de l'appauvrissement dans les pélo-sols. Bull. AFES, Science du sol, n° 4, pp. 259-267.
- NINOV N., 1976 - Moisture and air conditions in cinnamonic-podzolic typically gleyed soils. Forest science, vol. XIII, n° 3, pp. 47-60, Sofia, 1976.
- NORMAND M., 1973 - Une méthode d'étalonnage d'un humidimètre à neutrons utilisant les mesures de densité du gamma-densimètre associé. Colloque A.I.E.A-FAO. Vienne, pp. 53-69.
- PEDRO G., 1976 - Sols argileux et argiles - Eléments généraux en vue d'une introduction à leur étude. Science du Sol, 1976, n° 2, pp. 69-84.
- PEDRO G., SCHERER S., 1974 - Essai d'interprétation géochimique de la carte pédologique de France (échelle 1/1000 000). Ann. Agro., 1974, 25, (I), pp. 25-48.
- PEDRO G., JAMAGNE M., BEGON J.C., 1978 - Two routes in genesis of strongly differentiated acid soils under humid, cool-temperate conditions. Geoderma, 20 (1978), pp. 173-189, ELSEVIER S.P.C., Amsterdam.
- RAUNET M., 1977 - Etude du milieu naturel du bassin du Gidabo. Ethiopie - Rift Valley meridionale. I.R.A.T. Pédologie.
- ROBERT M., 1972 - Transformations expérimentales de glauconites et d'illites en smectites. C.R.A.S., série D., t. 275, pp. 1319-1322.
- ROBERT M., 1973 - Sur une séquence d'évolution expérimentale des glauconites. C.R.A.S. Paris, t. 277, série D., pp. 989-991.
- ROBERT M., 1975 - Principes de détermination qualitative des minéraux argileux à l'aide des rayons X. Problèmes particuliers posés par les minéraux argileux les plus fréquents dans les sols des régions tempérées. Ann. Agron., 26, (4), pp. 363-399.
- ROBERT M. et BARSHAD I., 1972 - Sur les propriétés et la détermination des minéraux argileux 2/1 expansibles (vermiculites-smectites). C.R.A.S., Paris, t. 275, série D., pp. 1463-1465.
- ROBERT M. et BARSHAD I., 1973 - Transformation expérimentale des micas en vermiculites ou smectites. Propriétés des smectites de transformation. Bull. Gr. Fr. Argiles, t. XXIV, pp. 137-151.
- ROBERT M., ISAMBERT M., TESSIER D., 1973 - Etudes et premières interprétations de l'évolution des glauconites dans les sols. C.R.A.S., Paris, t. 277, série D., pp. 1129-1132.
- ROSSIGNOL J.P., 1981 - Etude de quelques sols développés sur basalte dans le nord de l'Uruguay. Thèse Docteur Ingénieur - Rennes, 1981, 255 p.
- ROUILLER J., GUILLET B., BRUCKERT S., 1980 - Cations acides échangeables et acidités de surface. Approche analytique et incidences pédogénétiques. Science du sol, 1980, n° 2, pp. 161-175.

- SCHWERTMANN U., 1962 - Eigenschaften und Bildung aufweitbarer. Dreischicht Tonminerale in böden aus sedimenten. Beitr. z. Mineralogie und Petrographie, 8, 1962, pp. 199-209.
- SEDDOH F.K., PEDRO G., ROBERT M. et DEJOU J., 1969 - Sur l'évolution des biotites et la formation d'intergrades à 14 Å (vermiculite-chlorite) dans les arènes granitiques de Tazilly (Massif de Luzy, Morvan méridional). C.R.A.S., t.268, série D., p.1901, 14 avril 1969.
- SOUCHIER B., 1971 - Evolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard (Vosges). Thèse de Doctorat d'Etat, Nancy 1., 130 p.
- SOUCHIER B., LELONG F., 1970 - Détermination quantitative par voie chimique des constituants minéralogiques des sols tempérés. Bull. Serv. Carte geol. Als. Lorr., 23, 3-4, Strasbourg, pp. 95-112.
- TESSIER D., PEDRO G., 1976 - Les modalités de l'organisation des particules dans les matériaux argileux. Science du sol, 2, pp. 85-100.
- TESSIER D., PEDRO G., CAMARA L., 1980 - Sur le comportement hydrique et l'évolution de l'organisation des argiles (kaolinites et smectites) au cours de la dessiccation et de la réhumectation. C.R.Acad.sc. Paris, t. 290, série D, 5 mai 1980, pp. 1169-1172.
- TRASHLIEV Ch., NINOV N., et al., 1975 - Surface water-logged soils in Bulgaria. Bulgarian academy of sciences, Sofia, 1975, 161 p.
- TRESCARTES J., 1971 - Les sables albiens de part et d'autre du seuil de Bourgogne. Thèse de 3ème cycle. Dijon, 125p. Ronéoté.
- TROUCHE G., 1981 - Aspects agronomiques et hydrodynamiques du drainage des sols à profil différencié du Val de Saône. Thèse Ingénieur-Docteur Dijon, 1981, 201 p.
- WEAVER C.E., POLLARD L.D., 1973 - The Chemistry of clay minerals. Elsevier, Amsterdam, 1973.



ANNEXES

ANNEXE N° 1

DESCRIPTION ET ANALYSES DES SEPT PRINCIPAUX PROFILS

	Couleur	Structure	Texture	Divers
+4 5	Gris-violacé 7,5 YR 3/2	Particulaire	Sableuse fine	
A1				
25	Brun-jaunâtre 2,5 Y 6/4 à taches rouille 7,5 YR 4/4	Polyédrique émoussée faiblement développée	Sableuse fine	Gros cailloux de grès ferru- gineux émoussés Taches rouille plus nombreuses vers le bas
A21g				
A22g				
45	Vert foncé à nombreuses taches rouille 5 YR 4/4	Cubique	Argilo- sableuse	Zones blanchies, sableuses, à la surface des agrégats.
50	Vert foncé à taches brun- rouille 7,5 YR 4/4	Prismatique à sous- structure prismatique plus fine voire cubique	Argilo- sableuse	Quelques revêtements vert-noir foncé sur faces verticales et supérieures des agrégats pris- matiques.
(B)				
90	Vert à taches brun-rouille 7,5 YR 5/6	Prismatique grossière bien développée	Argilo sableuse	Faces luisantes et slickensides
(B)-C				
125	Vert-jaune	Massive	Argilo- sableuse à sablo- argileuse	
C1				
170	Vert-jaune	Massive	Sablo- argileuse	
C2				

FIGURE A : MORPHOLOGIE SCHEMATISEE DU PROFIL HERY.

Localisation : feuille I.G.N. Chablis 1-2 ; commune d'Héry ; coordonnées Lambert : 696,7 et 320,4 ; lieu dit "Les plants d'Héry" ; le long de la Départementale 203.

Altitude : 136 m.

Position géomorphologique et topographique : longue surface structurale de 5 km à pente générale de 1,4 % en moyenne, recreusée par de petits talwegs ; haut de versant, pente maximale locale : 3 %.

Végétation : futaie et taillis de chênes et bouleaux ; espèces acidiphiles (bourdaine, canche flexueuse, germandrée, chevrefeuille) et hygrophiles (molinie).

Matériau géologique : "sables verts" glauconieux de l'Albien inférieur.

Humus épais de 4-5 cm, couche L puis F = moder sec.

0 à 5 cm : Horizon A₁ :

Couleur gris-violacé (7,5 YR 3/3) - nette tendance podzolique - Texture sableuse - Structure particulière meuble - Limite inférieure légèrement ondulée à transition nette.

5 à 43 cm : Horizon A_{2g} :

Couleur brun-jaunâtre (2,5 Y 6/4) - Nombreuses taches brun-rouille (7,5 YR 4/4) - Texture sableuse - Structure polyédrique sub-anguleuse moyenne à grossière, faiblement développée - Quelques cailloux de grès ferrugineux émoussés - Limite inférieure légèrement ondulée à transition brutale.

43 à 52 cm : Horizon (B)gd :

Vert olive (5 Y 4/4) - Nombreuses taches rouille (5 YR 4/4) - Argilo-sableux - Structure polyédrique à cubique fine bien développée - Surfaces des agrégats dégradées, blanchies, sableuses, sans cohésion - Limite inférieure régulière à transition distincte.

52 à 90 cm : Horizon (B) :

Vert-foncé (5 Y 3/3) à taches brun-rouille (7,5 YR 4/4) - Texture argileuse - Structure prismatique moyenne très bien développée à sous-structure prismatique fine - Faces d'agrégats luisantes - Quelques revêtements vert-noir-foncé sur la partie supérieure des prismes et sur quelques faces verticales - Limite inférieure régulière à transition graduelle.

90 à 125 cm : Horizon (B)-C :

Vert-olive (5 Y 4/4) à taches brun-rouille (7,5 YR 5/6) - Texture argilo-sableuse - Structure prismatique grossière bien développée (40 x 60 mm) à sous-structure polyédrique grossière - Nombreuses faces d'agrégats luisantes - Faces de glissement obliques surtout nettes en périodes hivernales - Transition avec l'horizon suivant graduelle.

125 à 190 cm : Horizon C :

Jaune-vert à sec (5 Y 5/4), vert à l'état humide (5 Y 4/4) - Texture sablo-argileuse - Structure massive à tendance horizontale.

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE								MATTIERE ORGANIQUE X	CARBONE X	C/N	pH H ₂ O	Fer TOTAL X HF	Fer Deb. X	Fer Deb Total	INDICE DE DIFFEREN- CIATION TEXTURALE
		ARGILE 0-2 µm	LIMON FIN 2-20 µm	LIMON GROS. 20-50 µm	SABLE FIN 50-100 µm	SABLE FIN 100-200 µm	SABLE GROS. 200-500 µm	SABLE GROS. 500-2000 µm									
0 - 5	A ₁	14,1	15,8	11,7	29,5	22,7	5,5	0,7	10,80	6,28	20,3	3,9	1,46	0,84	0,58	-	
10 - 20	A ₂ 19	11,0	13,3	11,2	33,3	23,9	6,6	0,7	3,03	1,76	18,0	4,3	1,46	0,84	0,58	1,0	
25 - 40	A ₂ 29	12,1	12,4	11,4	32,6	24,7	6,0	0,8	1,04	0,61		4,4	1,97	1,10	0,56	1,1	
43 - 48	(B)gd	46,4	9,4	6,6	22,5	12,9	1,8	0,4	0,90	0,53		4,5	7,23	3,00	0,41	4,22	
60 - 75	(B)	47,9	6,6	6,7	25,5	12,3	1,0	0,0	0,50	0,29		4,6	7,29	2,34	0,32	4,34	
90 - 110	(B)C	33,4	7,2	6,7	38,7	13,3	0,6	0,1	0,25	0,15		4,7	6,33	1,50	0,24	3,04	
140 - 155	C ₁	23,7	6,8	6,7	35,0	26,7	1,0	0,1	0,14	0,08		4,9	6,67	1,15	0,17	2,15	
180 - 190	C ₂	20,8	5,5	3,9	7,9	27,8	33,8	0,3	0,10	0,06		5,4	5,13	1,02	0,20	1,89	
350 - 370	C ₄	9,3	5,1	2,3	2,1	5,0	58,1	18,1	0,08	0,05		7,6	2,98	0,38	0,13	-	
Partie dégradée du (B)gd									0,81	0,47		4,2	2,99	1,17	0,39	-	

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	COMPLEXE ABSORBANT EN MILLIEQUIVALENTS/100 g										ALUMINIUM		DENSITE APPARENTE	
		T	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	S/T X	AL ⁺⁺⁺	S + AL T X	CAPAC. D'ECH. ARGILE *	TOTAL HF Z	TAMM X		TAMM HF X
0 - 5	A ₁	18,1	3,90	1,47	0,47	0,04	5,88	32	1,6	41	-	1,50	0,16	0,11	
10 - 20	A ₂ 19	6,6	0,30	0,27	0,16	0,02	0,75	11	3,2	60	-	1,50	0,15	0,10	
25 - 40	A ₂ 29	5,4	0,30	0,30	0,12	0,02	0,74	14	2,8	66	27	1,70	0,20	0,12	1,51
43 - 48	(B)gd											4,50	0,55	0,12	1,24
60 - 75	(B)	23,0	4,80	1,99	0,76	0,29	7,84	34	15,0	99	46	5,10	0,56	0,11	1,32
90 - 110	(B)C	19,2	6,30	2,17	0,56	0,39	9,42	49	8,9	95	56	4,40	0,42	0,10	1,48
140 - 155	C ₁	16,2	7,70	2,27	0,46	0,40	10,83	67	4,9	97	67	3,70	0,34	0,09	
180 - 190	C ₂	13,2	7,50	1,93	0,36	0,39	10,18	77	1,7	90	63	3,30	0,28	0,08	
350 - 370												2,40	0,26	0,11	
Partie dégradée du (B)gd															

* Après correction de la matière organique à raison de 200 m.é./100 g.

Localisation : feuille I.G.N. Saint Florentin 5-6, le long de la Départementale 203 à 2 km au nord-est des Baudières.

Altitude : 160 m.

Position géomorphologique et topographique : interfluve majeur entre Armançon et Serein ; versant exposé au sud-ouest ; pente maximum locale 6 % .

Végétation : futaie de chênes ; espèces acidiphiles (bourdaine, canche flexueuse, germandrée, chevrefeuille...).

Matériau géologique : argiles grises, calcaires, sableuses et glauconieuses de l'Albien supérieur.

Humus épais de 3 à 4 cm, couche L puis F = moder sec.

0 à 5-10 cm : Horizon A₁ :

Gris-violacé - Nette tendance podzolique, on distingue un petit B_{fe} violacé-rougeâtre - Structure peu nette polyédrique subanguleuse - Texture limono-sableuse - Limite inférieure ondulée à transition distincte.

5-10 à 42 cm : Horizon A_{2g} :

Beige et rouille - Texture limono-sableuse - Structure peu nette polyédrique sub-anguleuse, friable - Descentes de matières organiques à la partie supérieure suite à intense activité faunique - Quelques concrétions noires à la partie inférieure - Nombreuses racines fines - Quelques petits éclats de silex - Limite inférieure sub-horizontale à transition nette.

42 à 48 cm : Horizon (B)gd :

Vert très clair à taches brun-rouille - Structure polyédrique anguleuse 10-15 mm assez nette - Nombreuses taches blanches de dégradation - Niveau principal d'arrêt des racines (grosses et moyennes, horizontales) - Limite inférieure sub-horizontale à transition distincte.

48 à 70 cm : Horizon (B) :

Vert-clair à nombreuses taches rouille-vif - Texture argileuse lourde - Très belle structure cubique 30 mm à faces planes lisses et luisantes à nets caractères verticaux et sous-structure polyédrique anguleuse fine - Passage graduel à

70 à 85 cm : Horizon (B)-C :

Peu différent du précédent - Taches rouille moins nombreuses et moins contrastées - Limite inférieure sub-horizontale à transition nette.

85 à 110 cm : Horizon C₁ :

Vert-noirâtre à quelques taches ocres - Texture argileuse - faiblement calcaire - Structure prismatique nette 40 x 90 mm à sous-structure polyédrique nette légèrement verticale - Nombreuses racines fines et moyennes horizontales vers 85 cm = niveau d'arrêt - Limite inférieure faiblement ondulée à transition distincte.

110 à 135 cm : Horizon C_{2Ca} :

Grisâtre - Abondant "mycélium" blanc calcaire - Texture argilo-limoneuse - Structure en très gros prismes (70 x 150 mm) tapissés de très fines racines, à sous-structure polyédrique grossière - Taches ocre-clair peu nombreuses - Passage progressif à

> 135 cm : Horizon C₃ :

Peu différent, "mycélium" blanc calcaire moins abondant.

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE										MATERIE ORGANIQUE %	CARBONE %	N %	C/N	pH EAU	CO ₃ Ca TOTAL %	CO ₃ Ca "ACTIF" %	ELEMENTS GROSSIERS (GRAVIERES) %	DENSITE APPARENTE		
		ARGILE 0 - 2 µm		LIMON FIN 2 - 20 µm		LIMON GROSSIER 20 - 50 µm		SABLE FIN 100 - 200 µm		SABLE GROSSIER 200 - 500 µm											SABLE GROSSIER 500 - 2000 µm	
0 - 5	A'1	16,8	21,2	22,8	35,3	1,1	1,7	1,1	1,7	1,1	10,56	61,4	3,43	17,9	4,0	0		0,6				
12 - 22	A21g	15,9	20,1	23,4	37,2	1,1	1,6	0,7	1,6	0,7	1,49	8,7	0,58	15,0	4,5	0		1,2	1,47			
30 - 42	A22g	19,9	18,4	22,0	36,4	1,0	1,4	0,9	1,4	0,9	0,82	4,8			4,6	0		1,5				
42 - 48	(B)gd	33,5	17,3	17,1	29,7	0,8	1,1	0,5	1,1	0,5	0,52	3,0			4,8	0		1,0				
50 - 70	(B)	46,6	14,8	11,2	25,9	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,36	2,1			5,0	0		0,4	1,43			
70 - 85	(B)-C	42,1	15,7	12,0	29,7	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,33	1,9			5,6	0		0,5				
85 - 110	C1	34,2	17,8	14,2	33,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,40	2,3			8,3	10,3		0,5				
115 - 125	C2Ca	32,8	23,7	15,4	27,1	0,7	0,1	0,2	0,1	0,2	0,28	1,6			8,6	26,5	16,0	0,1	1,63			
120 - 130	C3	33,0	21,4	15,3	28,0	1,2	0,5	0,6	1,2	0,6	0,34	2,0			8,6	25,3	14,5					
150 - 165	C4	26,6	20,6	13,9	34,7	2,6	0,7	0,9	2,6	0,9	0,34	2,0			8,6	23,3	11,0					

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	COMPLEXE ABSORBANT en milliéquivalents/100 g										ALUMINIUM		FER	
		T	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	S/T %	Al ⁺⁺⁺ Jackson	S + AL T %	CAPACITE D'ECH. DE L'ARGILE *	TOTAL HF %	TAMM %	TOTAL HF %	LIBRE DEB. %
0 - 5	A'1	12,0	1,60	0,54	0,27	0,05	2,46	21	4,0	54	2,40	0,17	0,93	0,38	0,41
12 - 22	A21g	7,0	1,00	0,24	0,09	0,02	1,35	19	4,8	88	2,90	0,20	1,30	0,55	0,42
30 - 42	A22g	8,4	1,50	0,38	0,13	0,03	2,04	24	5,6	91	3,80	0,25	1,97	0,72	0,37
42 - 48	(B)gd	14,0	5,40	0,89	0,30	0,08	6,67	48	6,4	93	5,60	0,29	3,34	0,98	0,29
50 - 70	(B)	21,2	13,70	1,59	0,48	0,26	16,03	76	5,6	102	7,20	0,36	4,40	0,98	0,22
70 - 85	(B)-C	20,7	18,70	1,74	0,47	0,36	21,27	100	1,2	Sat.	7,10	0,26	4,05	0,78	0,19
85 - 110	C1	16,2							0,1		5,80	0,17	3,21	0,59	0,18
115 - 125	C2Ca	12,3							0,2		4,90	0,09	3,17	0,46	0,15
120 - 130	C3	10,8	1,13		0,14	0,43									
150 - 165	C4	9,8	1,17		0,14	0,85									

* Après correction de la matière organique
à raison de 200 m.é./100 m.é.

Localisation : feuille I.G.N. Saint Florentin 5-6 ; commune de Rebourseaux ; forêt domaniale de Pontigny.

Altitude : 165 m.

Position géomorphologique : plateau, pente faible, léger interfluve formant replat ; pente maximale locale de 3 pour cent.

Végétation : belle futaie de chênes et hêtres, taillis de charmes.

Matériau géologique : argile de l'Albo-Cénomaniens.

Humus : mull-moder à petite litière.

0 à 4 cm : Horizon A₁ :

Gris-foncé - Texture limoneuse - Structure grumeleuse - Limite inférieure ondulée à transition nette.

4 à 40 cm : Horizons A₂ :

Faiblement panaché beige et jaune-clair - Texture limoneuse - Structure polyédrique de 30 à 60 mm peu développée à tendance massive - Horizon friable - Quelques petites taches rouille - Nombreux nodules ferrugineux noirs, sphériques, durs, de 1 cm de diamètre, surtout abondants entre 30 et 40 cm - Limite inférieure discontinue à transition distincte.

40 à 55 cm : Horizon A/(B) :

Vivement panaché, blanchi, ocre-rouille et noir - Texture limono-argileuse (blanc) et argilo-limoneuse (ocre) - Structure polyédrique à tendance émoussée de 15 à 40 mm, bien développée (ocre) - Très nombreuses taches et nodules rouille et noirs - Très nombreuses zones dégradées, blanchies, plus limoneuses, sans cohésion - Limite inférieure régulière à transition graduelle.

55 à 70 cm : Horizon (B) :

Peu différent du précédent mais beaucoup moins de zones dégradées et de taches rouille - Quelques revêtements argileux rougeâtres sur les faces d'agrégats, surtout visibles sur le profil à l'état sec - Limite inférieure régulière à transition distincte.

70 à 90 cm : Horizon (B) :

Panaché gris-moyen et ocre-rouille - Texture argileuse - Structure polyédrique anguleuse de 30 à 50 mm bien développée à sur-structure prismatique - Quelques petits graviers de silex - Quelques revêtements argileux sur les faces d'agrégats, de teinte rougeâtre, surtout visibles à l'état sec - Limite inférieure régulière à transition graduelle.

90 à 140 cm : Horizon (B)-C :

Panaché gris et ocre-rouille - Texture argileuse - Structure polyédrique à sur-structure prismatique - Quelques graviers de silex - Très gros revêtements argileux gris sur les faces verticales des prismes (couleur : 5 Y 6/2).

à partir de 230 cm : Argile légèrement calcaire.

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE										AZOTE %	C/N	pH EAU	FER		
		ARGILE 0 - 20 µm	LIMON FIN 2 - 20 µm	LIMON GROSSIER 20 - 50 µm	SABLE FIN 50 - 100 µm	SABLE FIN 100 - 200 µm	SABLE GROSSIER 200 - 500 µm	SABLE GROSSIER 500 - 1000 µm	SABLE GROSSIER 1000 - 2000 µm	MATIERE ORGANIQUE %	CARBONE %				TOTAL HF %	LIBRE Deb. %	LIBRE TOTAL
0 - 4	A1	14,0	30,5	30,3	14,2	3,4	5,7	1,5	0,4	13,82	80,2	4,73	16,9	4,3	1,50	0,84	0,56
10 - 24	A21	19,0	28,7	29,7	13,1	3,1	4,7	1,2	0,5	1,08	6,3	0,43	14,6	4,7	2,11	1,13	0,54
24 - 40	A229	32,3	26,7	25,4	9,8	1,9	2,8	0,8	0,3	0,25	1,5			5,0	2,99	1,60	0,54
43 - 54	A/(B)	41,7	24,4	20,8	8,4	1,7	2,2	0,4	0,4	0,24	1,4			5,3	3,70	1,69	0,46
58 - 72	(B)	44,4	21,2	19,6	8,2	1,8	3,2	1,1	0,5	0,21	1,2			5,4	3,57	1,72	0,48
72 - 85	(B)	47,6	20,8	18,6	7,2	1,6	2,8	0,8	0,6	0,21	1,2			5,4	3,87	2,11	0,55
95 - 105	(B)-C	52,1	20,9	16,9	6,5	0,8	1,2	0,7	0,9	0,19	1,1			5,5	4,06	2,34	0,58
125 - 140	(B)-C	51,2	21,8	16,4	7,0	1,1	1,7	0,5	0,3	0,16	0,9				2,31	0,51	0,22
125 - 140	R.I.S. *																

REBOURSEAUX

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	COMPLEXE ABSORBANT en milliéquivalents/100 g.										CAPACITE D'ECH. DE L'ARGILE *	ALUMINIUM		DENSITE APPARENTE
		T	Ca ++	Mg ++	K ⁺	Na ⁺	S/T %	AL +++	S + AL T %	TOTAL HF %	TAMM %		TAMM HF		
10 - 24	A21	6,9	0,40	0,28	0,11	0,036	12	3,4	61	32	3,0	0,23	0,08	1,44	
24 - 40	A229	8,4	1,20	0,81	0,12	0,06	26	3,3	65	39	4,3	0,27	0,06	1,47	
43 - 54	A/(B)	12,7	4,40	1,68	0,20	0,12	50	4,2	83	38	5,3	0,41	0,08	1,59	
58 - 72	(B)	17,8	10,10	2,90	0,34	0,24	76	4,3	Sat.	41	6,5	0,49	0,08	1,62	
72 - 85	(B)	21,3	12,80	3,22	0,31	0,32	78	3,4	94	47	6,7	0,53	0,08	1,57	
95 - 105	(B)-C	21,5	14,40	3,14	0,28	0,40	85	2,7	97	44	6,4	0,56	0,09	1,67	
125 - 140	(B)-C	23,6	18,40	3,18	0,33	0,54	95	1,8	Sat.	45	6,5	0,43	0,07	1,73	
125 - 140	R.I.S. *	24,7								48	6,5	0,34	0,05		

* R.I.S. : Revêtement d'illuviation secondaire.

* Après correction de la matière organique à raison de 200 m.é./100 g.

Localisation : feuille I.G.N. Saint Florentin 3-4 ; coordonnées Lambert : 717,0 x 333,3 ; commune de Flogny-la-Chapelle ; en limite du département de l'Aube ; route de la Chapelle à Mézières.

Altitude : 148 m.

Position géomorphologique et topographique : plaine ; presque en position d'interfluve ; haut d'une pente faible (5 pour cent au maximum) et longue.

Végétation : futaie de chênes ; quelques pins épars ; espèces acidiphiles ; canche flexueuse, germandrée, chevrefeuille etc... mais aussi neutres : aubépine ; pas d'espèces hygrophiles.

Matériau géologique : argiles calcaires de l'Aptien.

Humus = xéro-mull.

0 à 3 cm : Horizon A₁ :

Brun-noir (10 YR 3/2) - Texture limoneuse - Structure grumeleuse - Limite inférieure régulière à transition nette.

3 à 25 cm : Horizon A_{2g} :

Panaché jaune (2,5 Y 6/6) et ocre-rouille (10 YR 7/6) - Texture limono-argileuse - Structure polyédrique émoussée de 10-30 mm peu développée - Quelques petits silex - Limite inférieure régulière à transition nette coïncidant avec des circulations latérales d'eau en hiver.

25 à 35 cm : Horizon A(B) :

Panaché gris-jaunâtre (2,5 Y 6/3) et ocre rouille (10 YR 5/8) - Texture argilo-limoneuse - Structure polyédrique anguleuse de 10 à 20 mm à sur-structure de 20 à 40 mm bien développées - Limite inférieure régulière à transition nette.

35 à 50 cm : Horizon (B)₁ :

Panaché ocre-rouille (10 YR 5/8 = 60 %) et gris (5 Y 6/2 = 40 %) - Texture argileuse lourde - Structure polyédrique de 15 à 30 mm bien développée à sur-structure prismatique de 30 mm x 80 mm - Passage graduel à

50 à 70 cm : Horizon (B)₂ :

peu différent mais ocre-rouille = 80 % et gris = 20 % - Limite inférieure régulière à transition nette.

70 à 90 cm : Horizon (B)-C :

Brun-jaune (1,25 YR 4/4) - Texture argileuse lourde - Structure prismatique mal développée - Toucher onctueux - Effervescence nulle - Limite inférieure régulière à transition très nette.

90 à 170 cm : Horizons C :

Brun-jaune (2,5 Y 5/4) - Texture argileuse lourde - Structure massive - Toucher onctueux - Quelques gravillons blancs - Effervescence faible.

NATIONALE 77 F. 5801

Localisation : feuille I.G.N. Saint Florentin 5-6 ; coordonnées Lambert :
702,8 x 322,1 commune de Pontigny ; carrefour de la
Nationale 77 et de la Départementale 8.

Altitude : 161 m.

Position géomorphologique et topographique : plaine, position d'interfluve,
pente locale nulle.

Végétation : friche, ancienne culture.

Matériau géologique : argiles du Barrémien supérieur dites "argiles panachées".

0 à 20 cm : Horizon A_p :

Brun-gris (1,25 YR 4/4) - Structure polyédrique subanguleuse peu
nette (5 à 15 mm) - Texture sablo-limoneuse - Assez nombreuses
racines fines - Limite inférieure régulière à transition nette.

20 à 30 cm : Horizon A_{2g} :

Brun-jaune (1,25 YR 5/4) - Structure peu nette, polyédrique suban-
guleuse (10 à 30 mm) - Texture sablo-limoneuse - Nombreuses taches
ocres (10 YR 5/8) irrégulières et quelques petites veines grises
(5 Y 6/2) - Limite inférieure régulière à transition distincte.

30 à 38 cm : Horizon A et B :

Horizon de transition où se juxtaposent Ag et (B)gd.

38 à 55 cm : Horizon (B) gd :

Panaché gris-clair (5 Y 6/2) et rouille (5 YR 4/8) - Structure
polyédrique très nette (3 à 20 mm) - Quelques petits revêtements
argileux rougeâtres sur les faces d'agrégats - Dégradation en
zones blanches (à sec) diffuses affectant surtout la partie supé-
rieure de l'horizon, sur les faces d'agrégats - Texture argileuse -
Limite inférieure ondulée à transition distincte.

55 à 100 cm : Horizon (B)-C :

Panaché gris-clair (5 Y 5,5/2), rouille (6,25 YR 5/8) et taches
rouges (2,5 YR 3/6) - Structure polyédrique nette (5 à 40 cm) à
sur-structure prismatique moyenne à grossière - Texture argileuse.

NATIONALE 77

Horizons		Granulométrie %					terre fine %	M.O. %	D. app.	pH eau
Nature	Prof. en cm	A	LF	LG	SF	SG				
Ap	0 - 20	13,7	17,9	16,5	31,3	20,6	100	1,96		6,6
A _{2g}	20 - 30	16,8	20,3	16,7	28,8	17,4	100	0,91	1,60	7,4
(B)gd	38 - 55	43,2	14,8	12,9	18,5	10,6	100	0,51		7,4
(B)-C	55 - 100	45,7	13,6	11,5	20,5	8,7	100	0,22	1,39	4,8
C	130 - 140	32,8	18,0	11,2	26,0	12,0	100	0,18		5,0

	Cations échangeables m.é./100 g.						Fer			Al Libre %
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T	S/T %	Total (HCl) %	Libre %	FL/Ft	
Ap					6,8		1,82	1,55	0,85	1,44
A _{2g}					6,2		1,89	1,50	0,79	1,18
(B)gd					13,4		3,56	2,78	0,78	2,70
(B)-C					16,2		2,82	1,64	0,58	3,20
C	6,90	1,26	0,12	0,09	13,3	63	2,82	1,48	0,53	

LA VILLOTTE A. 7300

Localisation : feuille I.G.N. Auxerre 7-8 ; commune de Villefargeau ; Bois de la Bondonnerie.

Altitude : 168 m.

Position géomorphologique : plaine ; haut de pente faible (de 3 % environ) et longue.

Végétation : petite clairière herbeuse au milieu d'une futaie de chênes, quelques jeunes pins.

Matériau géologique : argiles de l'Albien inférieur.

0 à 15 cm : Horizon A₁ :

Horizon gris, sablo-limoneux, remanié - Nombreuses racines de graminées - Limite inférieure horizontale à transition distincte.

15 à 30 cm : Horizon A_{21g} :

Couleur beige-jaune - Texture sablo-limoneuse - Structure polyédrique émoussée de 20 mm peu développée, horizon friable - Quelques taches gris-verdâtre - Quelques gros nodules ferrugineux noirs durs auréolés de rouille - Limite inférieure horizontale à transition distincte.

30 à 45 cm : Horizon A_{22g} :

Couleur beige-blanchi - Texture sablo-limoneuse - Structure polyédrique émoussée faiblement développée - Horizon tassé - Nombreuses taches noires et très nombreux nodules ferrugineux noirs durs, de 1 à 2 cm de diamètre, représentant 26 % de l'horizon en poids - Limite inférieure horizontale à transition brutale.

45 à 55 cm : Horizon (B)_{gd} :

Couleur blanchâtre - Texture limono-argileuse et sablo-limoneuse - Structure polyédrique anguleuse de 20 mm modérément développée - Taches rouille nombreuses - Limite inférieure horizontale à transition distincte.

55 à 90 cm : Horizon (B) :

Couleur vert-clair - Texture argileuse - Structure cubique et prismatique (30 mm x 50 mm) très bien développée à sous-structure polyédrique anguleuse fine - Nombreuses faces lisses et luisantes, certaines nettement à caractère verticale - Quelques taches rouille
Localement quelques revêtements gris - Quelques zones blanchies.

LA VILLOTTE

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE										MATERIE ORGANIQUE %	CARBONE %	AZOTE %	C/N	pH EAU
		ARGILE 0 - 2 µm	LIMON FIN 2 - 20 µm	LIMON GROSSIER 20 - 50 µm	SABLE FIN 50 - 100 µm	SABLE FIN 100 - 200 µm	SABLE GROSSIER 200 - 500 µm	SABLE GROSSIER 500 - 1000 µm	SABLE GROSSIER 1000-2000 µm							
15 - 30	A219	11,0	17,5	13,5	24,3	20,8	10,4	1,4	1,1	1,13	6,6	0,63	10,4	4,9		
30 - 45	(1)	12,9	17,2	19,0	22,9	18,7	7,8	1,0	0,5	0,43	2,5			4,9		
30 - 45	A229(2)	28,5	17,6	11,0	19,4	15,5	6,5	0,9	0,6	0,65	3,8			4,9		
45 - 55	(B)gd	39,3	16,8	10,4	13,3	13,3	5,5	0,7	0,7	0,45	2,6			4,9		
55 - 90	(B)									0,34	2,0			5,1		

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	COMPLEXE ABSORBANT en milliéquivalents/100 g.										CAPACITE D'ECH. DE L'ARGILE*			ALUMINIUM		MANGANESE	
		T	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S/T	TOTAL HF	LIBRE Deb.	LIBRE TOTAL	TOTAL HF	TAMM	TOTAL HF	TAMM HF	TOTAL HF	LIBRE Deb		
15 - 30	A219	4,0	0,20	0,46	0,152	0,019	21	2,07	1,29	0,62	16	2,40	0,20	0,08	0,587	0,063		
30 - 45	(1)	4,2	0	0,63	0,128	0,020	19	4,56	2,96	0,65	22	3,80	0,44	0,12	0,097	0,008		
30 - 45	A229(2)	9,9	0,60	2,00	0,261	0,060	30	2,64	1,55	0,59	32	2,80	0,23	0,08				
45 - 55	(B)gd	16,1	2,30	4,72	0,336	0,220	47	4,43	2,41	0,54	39	5,00	0,43	0,09				
55 - 90	(B)							4,99	2,19	0,44		6,50	0,44	0,07				

* Après correction de la matière organique à raison de 200 m.é./100g.

(1) nodules de A229
(2) sans nodule

MONTMERCY A. 3568

Localisation : feuille I.G.N. Auxerre 3-4. "Bois de la Folie".

Altitude : 152 m.

Position géomorphologique : haut de versant exposé au nord-ouest, pente d'environ 7 %.

Végétation : céréale.

Matériau géologique : "sables verts" de l'Albien inférieur.

0 à 30 cm : Horizon Ap :

Couleur brun-ocre-gris - Texture sableuse - Structure particulière à tendance polyédrique émoussée de 25 mm, peu développée - Un peu de mélange avec l'horizon sous-jacent et notamment taches ocres - Limite inférieure horizontale à transition brutale.

30 à 53 cm : Horizon A_{2g} :

Couleur brun-ocre - Texture sableuse - Structure particulière meuble - Quelques graviers de grès - Quelques gros nodules rouille foncé, friables - Quelques veines un peu verdâtres, peu contrastées - Limite inférieure horizontale à transition distincte.

53 à 70 cm : Horizon A₃ :

Couleur brun-rouille - Texture sablo-limoneuse - Structure massive à tendance horizontale, légèrement mais nettement induré - Quelques nodules rouille foncé, friables - Veines verdâtres sableuses non indurées horizontales et verticales auréolées de rouille - Limite inférieure horizontale à transition distincte.

70 à 75 cm :

Lits alternés rouille et vert-gris.

75 à 95 cm : Horizon (B) :

Couleur vert-gris (50 %) et rouille vif (50 %) - Texture sablo-argileuse - Structure à tendance polyédrique anguleuse peu nette à sous-structure horizontale - Quelques veines argileuses grises - Limite inférieure à transition graduelle.

95 à 115 cm : Horizon C :

Couleur vert-kaki - Texture sablo-limoneuse - Structure massive, horizon tassé - Quelques veines brun-rouille.

MONTMERCY

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	GRANULOMETRIE DE LA TERRE FINE										AZOTE %	C/N	PH EAU
		ARGILE 0 - 2 µm	LIMON FIN 2 - 20 µm	LIMON GROSSIER 20 - 50 µm	SABLE FIN 50 - 100 µm	SABLE FIN 100 - 200 µm	SABLE GROSSIER 200 - 500 µm	SABLE GROSSIER 500 - 1000 µm	SABLE GROSSIER 1000 - 2000 µm	MATIERE ORGANIQUE %	CARBONE %			
0 - 30	Ap	5,6	4,2	4,1	7,0	12,6	59,7	6,4	0,4	0,92	5,4	0,53	10,1	5,5
30 - 53	A ₂ g	5,2	3,3	2,8	4,2	12,0	66,7	5,8	0	0,25	1,5			5,2
53 - 70	A ₃	10,0	2,2	2,1	3,0	10,5	65,7	6,5	0	0,21	1,2			4,8
75 - 95	(B)	18,3	1,9	2,2	3,0	12,1	58,9	3,6	0	0,26	1,5			4,7
95 - 115	C	8,5	2,5	2,7	4,8	20,2	61,0	0,3	0	0,08	0,5			4,6

PROFONDEUR EN cm	HORIZON	COMPLEXE ABSORBANT en milliéquivalents/100 g.										CAPACITE D'ECH. DE L'ARGILE *			ALUMINIUM		
		T	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	S/T %	TOTAL HF %	LIBRE Deb. %	LIBRE TOTAL	TOTAL HF %	TAMM %	TAMM HF			
0 - 30	Ap	4,3							1,38	1,04	0,75	34	1,20	0,10	0,08		
30 - 53	A ₂ g	3,0							1,08	0,58	0,54	48	1,20	0,10	0,08		
53 - 70	A ₃	5,8							1,99	1,01	0,51	54	2,10	0,16	0,08		
75 - 95	(B)	8,3							3,23	1,55	0,48	43	2,70	0,22	0,08		
(B) Zones vertes									2,81	0,59	0,21		3,70	0,27	0,07		
(B) Zones rouille									5,17	3,04	0,59		2,50	0,22	0,09		
95 - 115	C	5,5	1,7	0,37	0,154	0,01	2,234	41	2,39	0,68	0,28	62	1,70	0,09	0,05		

* Après correction de la
matière organique à raison
de 200 m.é./100 g.

ANNEXE N° 2

EXAMENS MICROMORPHOLOGIQUES A LA LOUPE BINOCULAIRE

EXAMENS MICROMORPHOLOGIQUES A LA LOUPE BINOCULAIRE
--

(Grossissement 8 à 50 fois)

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- G. STOOPS, 1971 - Notes provisoires de micromorphologie.
Document multicopié. Gand Geologisch Instituut.
- R. BREWER, 1964 - Fabric and mineral analysis of soils.
J. Wiley, London.
- W. BECKMANN et E. GEYGER, 1967 - Entwurf einer Ordnung der natürlichen Hohlraum-, Aggregat- und Strukturformen im Boden.
In : Die micromorphometrische Bodenanalyse.
Ed. W. KUBIENA Enke Verlag Stuttgart. pp. 163-188.

PLAN D'ETUDE ET DE DESCRIPTION DES LAMES :

- I. MICROSTRUCTURE (méthode GEYGER et BECKMANN).
- II. HOMOGENEITE DE LA LAME.
- III. FOND MATRICIEL
1. Squelette : *fraction grossière supérieure à 2 μ m.*
 2. Plasma : *fraction fine.*
 3. Relations : *entre les deux fractions : distribution relative.*
 4. Vides intrapédiques
- IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.
- V. MATIERE ORGANIQUE.

LN = Lumière "naturelle" = lumière analysée.

LP = Lumière "polarisée" = lumière analysée et polarisée.

FM = Fond matriciel.

PROFIL HERY

HORIZON C₂

II. Zones alpha où quartz de la taille des sables grossiers et glauconie plus petite mais encore assez grosse.

Zones béta où quartz beaucoup plus fin et glauconie plus petite qu'en alpha.

Dans la grande lame, bêta est en noyau à l'intérieur de alpha, passage rapide et assez net mais quelques points de mélange.

III.

ALPHA

1. SQUELETTE :

QUARTZ : très largement dominant ; anguleux sauf les grains les plus gros qui sont nettement émoussés ou arrondis et qui font de 1/2 à 1 mm. Taille médiane : 150 à 300 microns.

GLAUCONIE : abondante. Grains ovoïdes, souvent fracturés et se divisant souvent en fragments. Taille : 2 à 3 fois plus petit que le quartz environnant soit médiane = 100 à 200 microns. Couleur : en LN vert olive clair ou foncé, rarement limpides.

AUTRES MINÉRAUX : très rares, quelques tourmalines pléochroïques.

2. PLASMA :

peu abondant, localisé et concentré en flammèches ou petits secteurs. Couleur en LN : gris ou gris-jaune-verdâtre. En LP : jaune-clair à jaune-orangé + teintes de polarisation rouge et vert. Composition probable : argile + fer ; hyalinité très mauvaise. En LP : allumage souvent préférentiel mais pas d'extinction ni d'allumage général.

3. RELATIONS :

ensemble assez massif. Plasma dans les interstices du squelette ou en travées.

4. VIDES :

quelques métacavités peu nombreuses. Pas de fissures.

BETA

1. SQUELETTE :

QUARTZ : très abondant ; anguleux sauf très rares gros émoussés ; taille médiane : 80 à 125 microns.

GLAUCONIE : presque aussi abondante que le quartz et taille sensiblement du même ordre. Couleur en LN : vert olive clair et foncé plus nombreux grains bruns-ocres. Nombreux grains fragmentés.

AUTRES MINÉRAUX : très rares.

2. PLASMA :

apparemment assez abondant, riche en fer mais non réparti régulièrement. Brunâtre en LN ; difficile à distinguer des glauconies en LP. Composition probable : argile + fer. Très mal hyalin. SQUELSEPIQUE et MASEPIQUE plus ou moins net.

3. RELATIONS :

semble presque porphyrique dans les zones les plus riches en plasma.

4. VIDES :

toute une série de grosses fissures reliées entre elles au coeur de la zone BETA.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.ALPHA

- plus ou moins grandes surfaces presque purement plasmiques (avec parfois du quartz et de la glauconie inclus), gris en LN, bien biréfringent mais sans extinction en LP. Pas nettement associées à des vides. Mal séparées du fond matriciel. Hyalinité mauvaise, contient des micro-quartz et de la M.O.(?) ;

- ferri-argilanes peu nombreux sur cavités, peu épais, peu nets, sans extinction couleur jaune-verdâtre en LN, se séparant mal du fond matriciel ;

- quelques rares concentrations de fer noir en LN, presque opaques en LP, limite nette mais irrégulière, taille petite, cimentant des grains de quartz et de glauconie.

BETA

- le long de la principale fissure : grand ensemble plasmique assez pur (incluant quelques quartz), jaune-grisâtre en LN, assez mal strié, bien biréfringent en LP allant jusqu'à des teintes de polarisation vertes. Pas d'extinction. Hyalinité mauvaise. Mal séparé de la matrice.

PETITE LAME :

même contraste entre des zones alpha à sable grossier et des zones bêta à quartz fin et glauconie ocre.

En BETA, BEL ENSEMBLE PLASMIQUE PUR, JAUNE CLAIR EN LN, STRIE FINEMENT ET REGULIEREMENT DE NOIR, LE LONG D'UNE FISSURE IMPORTANTE. Hyalinité médiocre. En LP couleur jaune-doré jusqu'à rouge et vert de polarisation. Mauvaise extinction.

Commentaires, hypothèses :

zones bêta = descentes de horizon C₁ = zones plus altérées, plus riches en plasma, plus riches en concentrations plasmiqes.

HORIZON C₁

II. lame homogène sauf imprégnations de la matrice par du fer. Couleur brune en LN là où il y a du fer et couleur verdâtre ailleurs.

III.

1. SQUELETTE :

QUARTZ : très abondant, taille médiane plus ou moins 120 microns ; anguleux sauf grains les plus gros (1/3 à 1/2 mm).

GLAUCONIE : à peine moins abondante que les quartz et sensiblement de même taille. Grains ovoïdes, vert-olive clair à foncé en LN, + nombreux grains bruns-ocres. Grains souvent très fragmentés en place.

2. PLASMA :

semble uniquement composé d'argile et de fer. Assez peu abondant, peu visible, entre les grains du squelette ou bien plus abondant et souvent plus riche en fer d'où couleur brune, se confondant alors en LN comme en LP avec les glauconies désagrégées. VO-SQUELETTE assez net.

3. RELATIONS :

tendance porphyrique dans les zones riches en fer et ce malgré la faible abondance de l'argile.

4. VIDES :

assez nombreuses cavités META de 1/2 mm environ. Assez nombreuses fissures qui ont tendance à diviser l'agrégat en sous-agrégats.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.

- sur le pourtour de nombreuses cavités et de quelques fines fissures, argilanes d'argile pure, hyalinité mauvaise, couleur en LN : jaune-verdâtre, jaune-doré en LP à allumage préférentiel mais sans extinction. Mal séparés du reste de la matrice, non striés ;

- quelques petits et grands ferri-argilanes, associés à des fissures ou des chevaux. Couleur en LN : jaune-verdâtre localement, plus souvent orangé-brun-vif, certains striés de brun ou de noir. Bien biréfringents en LP mais sans extinction. Mauvaise hyalinité. Nombreux quartz et glauconies inclus. Mal séparés de la matrice. Certains ne sont plus associés à des vides ;

- quelques rares concentrations de fer, noires en LN, presque opaques en LP, cimentant des quartz et des glauconies, petites, irrégulières.

PETITE LAME :

UN ENORME FERRI-ARGILANE (6 mm x 4), EPAIS, DISLOQUE MAIS PEU EPARPILLE. Etait probablement associé à un vide. En LN : hyalin, orangé-doré, nettement et bien strié, contient quelques rares quartz dans les papules. En LP : parfaitement allumé, jaune-doré extinction "roulante".

Commentaire :

un vrai cutane d'illuviation ; les autres seraient des redistributions d'argile à faible distance (dans l'horizon) ? ou d'illuviation secondaire ?

HORIZON (B)C

II. Lame homogène sauf imprégnations ferrugineuses brunes.

III.

1. SQUELETTE :

QUARTZ : dominant, anguleux, taille médiane : 125 à 170 microns.

GLAUCONIE : abondante, ovoïde, souvent cassée en place, couleur en LN : vert-olive clair et foncé, mais très nombreux grains brun-ocre ou jaune-vert surtout dans les zones imprégnées de fer, parfois le cœur des grains est plus ocre que la périphérie. Certains grains s'allument entièrement : jaune d'or en LP.

AUTRES MINERAUX : pratiquement absents.

2. PLASMA :

semble suffisamment abondant pour entourer entièrement le squelette et occasionner une distribution porphyrique (presque). Couleur, aspect = difficiles à différencier de la glauconie en LN comme en LP. Semble composé de fer et d'argile. Très nettement VO-SQUELSEPIQUE et partout.

3. RELATIONS :

à la limite inférieure du porphyrique.

4. VIDES :

quelques cavités irrégulières ORTHO et META, rares fissures planes et fines.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.

- peu nombreux, argileux, nettement associés à des cavités, fissures ou racines et peu nettement associés à des vides et presque intégrés à la matrice = jaune-verdâtre à jaune-doré en LN, peuvent inclure des petits quartz non striés. Hyalinité mauvaise. En LP : bien biréfringents, pas d'extinction, orientation d'allumage préférentiel. Mal séparés de la matrice ;

- 1 glébulé petit, ferrugineux, noir en LN, cimentant des quartz à contours nets
- quelques zones très imprégnées de fer, cimentant quartz et glauconies, brun-rouge en LN comme en LP, contours diffus et irréguliers donc imprégnations EN PLACE.

HORIZON (B)

II. Lame homogène sauf imprégnations brun-rouille de fer, diffuses et irrégulières.

III.

1. SQUELETTE :

QUARTZ : abondants, anguleux, dimensions médianes : 125 à 170 microns.

GLAUCONIE : abondantes, grains ovoïdes, souvent cassés en place vert-olive clair ou vert-jaune ou vert-olive foncé en LN, rares grains franchement rouille, souvent difficiles à distinguer du plasma verdâtre. En LP très difficiles à distinguer du plasma (avec ces grossissements). Quelques grains ont un allumage complet.

2. PLASMA :

semble uniquement argile + fer. En LN de vert-jaunâtre à jaune jusqu'à brun-rouille selon abondance du fer. Fabrication : VOSEPIQUE et SQUELSEPIQUE + MASEPIQUE, tendance OMNISEPIQUE. Hyalinité mauvaise, semble contenir des petits débris qui ne sont pas du quartz.

3. RELATIONS :

autant de plasma que de squelette, distrib. relative porphyrique nette.

4. VIDES :

assez nombreuses fissures, quelques grosses et nombreuses très fines, assez nombreuses cavités irrégulières ortho. Grosses fissures et bordures d'agrégats sont souvent réaménagés = contours rectilignes, liserés plasmiques réorientés parallèlement à la paroi, n'ayant que rarement tendance à ressembler à des cutanes.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.

- peu nombreux, peu épais, peu nets = argile + fer. En LN : aires nettement concentrées en plasma verdâtre ou jaune souvent associées à des vides, fissures, chenaux mais pas toujours. Hyalinité faible, parfois faiblement striés, toujours mal séparés de la matrice. En LP : allumage préférentiel mais pas d'extinction. Couleurs jaunes jusqu'à rouges et verts de polarisation. Incluent parfois des quartz.

HORIZON (B)d

II. ZONES NORMALES à plasma abondant et très biréfringent.

ZONES "DEGRADEES" très appauvries en plasma ou complètement appauvries. Contact assez tranché. Les zones dégradées comme les zones intermédiaires à tendance dégradée se situent en bordure d'agrégats ou branchées sur des chenaux ou passage de racines.

III. ZONES NORMALES

1. SQUELETTE

QUARTZ : nombreux, anguleux, taille médiane : 100 à 170 microns, quelques gros émoussés (300 microns) et un très gros polycristallin, très émoussé de 2,5 mm.

GLAUCONIE : assez abondante, mêmes dimensions que le quartz. Grains ovoïdes, vert-jaune à brun-rouille, souvent difficiles à distinguer du plasma en LN comme en LP. Souvent très fracturés.

2. PLASMA :

argile + fer, abondant, jaune-verdâtre à rouille selon abondance du fer. Fabrique MASEPIQUE et OMNISEPIQUE. Très peu hyalin, outre le fer, semble constitué de grains assez gros.

3. RELATIONS :

au moins autant de plasma que de squelette, nettement porphyrique.

4. VIDES :

nombreuses cavités ortho, quelques chenaux surtout méta, nombreuses fissures moyennes et fines, certaines nettement méta.

ZONES DEGRADEES1. SQUELETTE :

QUARTZ : très abondant, taille médiane idem + assez nombreux gros + très fins bien visibles. Anguleux. Certains grains semblent cassés voire désagrégés.

GLAUCONIE : peu abondante mais présente en grains ovoïdes, vert-jaune ou vert-ocre en LN. Bien visibles en LN comme en LP.

2. PLASMA :

un peu de plasma argileux résiduel entre les grains de squelette, à peine visible en LN sauf en liserés jaune-verdâtre. Mieux visible en LP. VO-SQUEL décelable.

4. VIDES :

vides seulement d'entassement du squelette et de décollement des zones dégradées des zones riches en plasma.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.ZONES NORMALES :

- assez nombreux ferri-argilanes, jaune-doré à rouille en LN, plus ou moins bien striés de brun, associés à des chenaux ou des fissures, assez peu hyalins, bien biréfringents en LP, s'allumant bien mais s'éteignant mal. Médiocrement séparés de la matrice ;

- quelques grandes zones de concentration plasmique (A seul ou A + fer) verdâtres ou brun-rouille, mal distinctes de la matrice, de formes irrégulières, contours diffus, pas nettement associés à des vides, incluant des quartz et des glauconies ;

- imprégnations de fer tendant à la nodulation : brun-rouille en LN, presque opaques en LP, incluent des quartz et des glauconies, limites nettes et tranchées, irrégulières, fissures internes, donc EN PLACE : tendance à la NODULATION EN PLACE.

- LITHORELIQUES DE GRES FERRUGINEUX : 1 de 5 mm, 2 de 1 mm environ. Contours réguliers et arrondis, tranchés : donc NON EN PLACE. Quasi-opaques en LN comme en LP. Incluent de nombreux quartz anguleux de 1/6 de mm et même quelques micas mais pas de glauconie.

ZONES DEGRADEES :

Pas de traits pédologiques, ni concentration de plasma, ni de fer.

HORIZON A_{22g}II. Lame presque homogène sauf :

- secteurs à imprégnation de fer brunâtres en LN, très diffuses sans contour net
- un tout petit secteur comparable à l'horizon (B)d, zone normale et incluant notamment des grains de glauconie, contenant beaucoup de plasma = résultat d'un brassage biologique ? Ilot résiduel ?

III.

1. SQUELETTE : (toutes zones)

QUARTZ : très nombreux, anguleux, dimension médiane : 1/6 à 1/8 mm soit 125 à 170 microns, mais il y a aussi quelques gros grains de 300 microns environ, émoussés et surtout de nombreux grains beaucoup plus petits (3 à 5 fois plus petits que 120-170 microns soit : 20 à 60 microns.

GLAUCONIE : très rare, grains ovoïdes, vert-jaune à rouille, bien reconnaissables en LN comme en LP.

AUTRES MINÉRAUX : - quelques minéraux émoussés, opaques en LN et LP ; - quelques minéraux à fort relief, striés, plus ou moins pléochroïques dans les verts.

2. PLASMA :ZONES NORMALES NON IMPREGNEES

- plasma argileux très peu abondant, brunâtre en LN (matière organique ?), pratiquement invisible en LP. SILASEPIQUE.

ZONES PLUS RICHES EN FER

- plasma argileux et ferrugineux décelable, visible dans certaines zones (pas toutes), jaune ou brunâtre en LN ; situé entre les gradins de squelette où SQUELSEPIQUE et VOSEPIQUE.

3. RELATIONS : granulaire partout.4. VIDES :

cavités irrégulières ORTHO sauf fins liserés vosépiques dans zones imprégnées de fer, passages de racines ; AUCUNE FISSURE.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES.ZONES IMPREGNEES DE FER

- quelques très petits mais très typiques ferri-argilanes striés, jaune-brun en LN, bien biréfringents en LP, toujours associés à de petits chenaux.

ZONES NON IMPREGNEES DE FER - Néant.

LITHORELIQUE DE GRES FERRUGINEUX

- l de 4 mm. Contour assez régulier et très tranché. Ciment opaque en LN comme en LP. Cimente beaucoup de quartz (aucune glauconie) qui semblent tous de la même taille (1/5 à 1/6 de mm) et plus gros que les quartz de la matrice car on n'y voit pas de quartz très fins.

HORIZON A_{21g}

TRES COMPARABLE A L'HORIZON A₂₂ ZONES NON IMPREGNEES DE FER.

Noter seulement :

- 1 gros quartz polycristallin très émoussé de 5 mm environ (= dragée ?) ;
- 7 fragments de lithorelique de grès ferrugineux. Taille : 2 à 4 mm ;
- nombreuses racines et nombreuses petites pelotes fécales ovoïdes, opaques en LP ;
- quelques très rares glauconies ovoïdes, vert-jaune (5 à 10 pour toute la lame) ;
- localement à quelques endroits, tendance à nodulation du fer ;
- AUCUN PLASMA VISIBLE EN LP.

PROFIL F. 5867 PONTIGNY

HORIZON A'1

I. MICROSTRUCTURE :

pas de fissures, nombreuses cavités rugueuses : STRUCTURE SPONGIEUSE.

II. LAME HOMOGENE

III. FOND MATRICIEL :

1. Fraction grossière :

100 % quartz anguleux - diamètre moyen : 50 μm et beaucoup + petits : 10 μm .

2. Fraction fine :

semble assez abondant en LN, organique, brun-foncé à blanc, flou, irrégulier.
En LP totalement isotrope.

3. Distribution relative : agglomérée.

4. Vides :

aucune fissure, très importante porosité d'entassement, nombreuses cavités irrégulières ortho.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES : Néant.

V. MATIERE ORGANIQUE

imprégne le plasma. + petites boulettes fécales intactes ou le + souvent remaniées.
+ quelques sections de racines fraîches.

HORIZON A2g

I. MICROSTRUCTURE :

pas de fissures, nombreuses cavités irrégulières lisses : STRUCTURE POREUSE.

II. HOMOGENEITE :

lame trop épaisse sur les 3/4 de sa surface : quartz jaune vif sinon : homogène.
à zones imprégnées et encroutées de fer (glébules).

III. FOND MATRICIEL :

1. Fraction grossière :

99 % de quartz dont 95 % de 30 à 50 μm anguleux. Quelques gros grains de 300 à 600 μm , souvent polycristallins, rares plagioclases. Pas de glauconie.

2. Fraction fine :

rare, couleur jaune en LN, semble argileuse. En LP finement et faiblement VO-SQUELSEPIQUE. Domaines jaune-pâle, presque blancs.

4. Vides :

nombreuses cavités ortho, irrégulières ou vaguement circulaires. Diamètre moyen : 200 à 500 μm . Nombreux vides d'entassement, irréguliers, fins, de + ou - 30 μm .

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

complexes nodules ferreux/halos glébulaires. Nodules : diamètre 0,5 à 1 mm + halos. Brun-foncé quasi-opaques en LN, idem en LP, de forme globulaire. Squelette identique au FM. Contours tranchés, forme arrondie mais aussi passage à des imprégnations de fer et formes irrégulières quelconques.

ZONES ROUILLE ASSOCIEES AUX NODULES :

plasma ferri-argileux orangé ou rouille assez vif en LN + assez nombreux petits ferri-argilanes brun-orangé en LN, striés, à bonne orientation, plus tellement en rapport avec des vides actuels. Assez épais, jaune vif en LP.

HORIZON (B)gd

I. MICROSTRUCTURE :

nombreuses fissures irrégulières lisses, nombreuses cavités irrégulières lisses
STRUCTURE JOINTE IRREGULIERE + ou - POREUSE.

II. HOMOGENEITE :

- α) zones "dégradées" sans plasma ;
- β) zones plasmiques non ferriques ;
- γ) zones plasmiques imprégnées de fer.

Disposition irrégulière, à contours diffus, zones contrastées. Exception : contact zones dégradées/zones imprégnées de fer : tranché.

α ZONES DEGRADEES

III.

1. Fraction grossière :

98 % de quartz même taille qu'en A_{2g} + grains arrondis de glauconie verts.

2. Fraction fine :

plasma incolore invisible en LN. Faiblement et très finement VO-SQUEL-SEPIQUE, jaune-pâle en LP.

β ZONES PLASMIQUES NON FERRIQUES

III.

1. Fraction grossière :

idem zones dégradées. Glauconies vertes.

2. Fraction fine :

plasma gris, peu hyalin, verdâtre, micro-ponctué 20 à 30 % du FM. VO-SQUEL. assez net + INSEPIQUE ou faiblement MASEPIQUE.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

petits argilanes peu colorés en LN, de fentes, gris-brun, minces, mal séparés du FM. Orangés vif en LP, bonne extinction. De fentes de cavités et même de gros grains.

γ ZONES PLASMIQUES IMPREGNEES DE FER

IV. Nodules brun-rouille foncé, presque opaques en LN et en LP. Squelette interne identique à celui de FM. Contour irrégulier, assez tranché. Ces nodules sont associés aux zones imprégnées de fer. Plasma brun-noir en LN. Brun-noir assez opaque en LP. Associé aussi à des ferri-argilanes assez peu épais, jaune-foncé en LN, striés, de fente bonne extinction, bien distincts du FM.

LITHORELIQUES : éclats de silex à section triangulaire, 2 à 4 mm, intacts.

V. MATIERE ORGANIQUE : quelques sections de racines fraîches.

HORIZON (B)-CI. MICROSTRUCTURE :

nombreuses fissures irrégulières lisses, nombreuses cavités lisses, STRUCTURE JOINTE, + - IRREGULIERE, ASSEZ POREUSE (artéfact d'imprégnation ?).

II. HOMOGENEITE :

lame homogène mais zones imprégnées de fer brun-noir. Rapports diffus et irréguliers.

ZONES VERDATRES :

III.

1. Fraction grossière :

Quartz anguleux bien striés : 60 à 120 μm , 5 % de glauconie arrondie de 60 à 180 μm tous degrés d'altération : vert-clair, vert-foncé, orangé-brun-rouille en LN. En LP, biréfringence faible ou nulle.

2. Fraction fine :

argileux, ponctué de noir. 30 à 50 % du FM. Gris-verdâtre en LN. Très nettement VO-SQUELSEPIQUE, finement et nettement MOSEPIQUE à MASEPIQUE surtout dans les zones les + riches en argile. Jaune-clair en LP.

3. Distribution relative : PORPHYRIQUE.4. Vides : difficiles à observer vu l'état de la lame.IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

pas de cutanes. Certaines zones voient le plasma verdâtre presque seul mais sans aucune rupture avec le FM. Peut-on parler de concentration plasmique ?

ZONES IMPREGNEES DE FER :

III.

2. Fraction fine :

imprégnation ferrugineuse très irrégulière. Brun-noir en LN, rouge-foncé en LP, presque opaque. La fabrique sépique apparaît là où le fer imprègne moins : VO-SQUEL- INSEPIQUE. Rapports fer/glauconie : certaines globules ferrugineux flous ovoïdes seraient-ils des grains de glauconie libérant leur fer ?

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES : néant.

III.

4. Vides :

(toute la lame) : (artéfacts d'imprégnation ?). Nombreuses fentes désordonnées ortho (vaguement VOSEPIQUES). Nombreuses cavités ortho de forme quelconque. Vides d'entassement fins peu nombreux.

PROFIL REBOURSEAUX

HORIZON A₂₂₉

- I. Vides intra-agrégats : fissures pratiquement absentes ; nombreuses cavités lisses, reliées souvent par de fins canalicules lisses contournés. Structure poreuse à tendance spongieuse.
- II. Deux grands types de zones alternent sans limites nettes :
Zones alpha : brun-foncé et nombreuses imprégnations noires en LN.
Zones bêta : brunâtre clair sans imprégnations noires (en LN).
- III. FOND MATRICIEL :
1. Fraction grossière :
 (toutes zones) très nombreux petits quartz anguleux (0,02 à 0,05 mm) et quelques gros quartz émoussés (0,5 à 1 mm).
 2. Fraction fine = plasma :
Zones alpha : plasma présent, de couleur brun-foncé en LN, localement plus concentré. Juste décelable en LP, jaune doré, très éparpillé en très petits domaines, insépique à tendance vosépique.
Zones bêta : plasma presque invisible, finement vosépique.
 4. Vides :
 (toutes zones) : nombreux chenaux et chambres (0,25 à 1 mm) ; quelques cavités ovoïdes de grande taille (1 à 3 mm) plus ou moins remplies par de la matière minérale assez lâche.
- IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :
- Zones alpha : nombreux fins ferri-argilanes, nets, jaune-doré en LP, de chenaux et de chambre très souvent associés à de nombreux ferrimanganes noirs lesquels peuvent passer à des imprégnations ferri-manganiques à limites peu nettes.
Zones bêta : nombreux ferri-argilanes orangés de petits chenaux, très nets, striés, peu hyalins.
En outre : un gros grano-tubule rempli uniquement de quartz grossier et quelques tubules à remplissage lâche de matériel minéral pauvre en plasma.
- V. MATIERE ORGANIQUE : quelques racines fraîches.

Commentaire :

trois faits principaux :

- très forte activité faunique responsable des chambres et des tubules ;
- imprégnation irrégulière mais importante par le fer et (sans doute) le manganèse, redistribution liée à des engorgements saisonniers ;
- abondance des ferri-argilanes signe de notables redistributions d'argile au sein de l'horizon A₂.

HORIZON (B)₁

- I. Vides intra-pédiques : quelques fissures dans deux directions perpendiculaires. Nombreuses cavités lisses ouvertes et fermées. Structure crevassée et poreuse.
- II. Lames présentant des zones imprégnées de fer brun-noir en LN = zones alpha.

III. FOND MATRICIEL :1. Fraction grossière :

(toutes zones) quelques gros quartz (0,25 à 1 mm), nombreux très petits quartz de la taille des limons.

2. Fraction fine = plasma :

Zones alpha : plasma abondant, bien visible en LN car brun ou brun-noir, argileux et ferrugineux ; brun-rouge en LP. Assemblage plasmique non différent de celui des zones bêta : finement INS- MA- VO-SEPIQUE.

Zones bêta : plasma abondant, jaune-clair en LN, très bien visible en LP, jaune-clair, argileux. Assemblage plasmique INS-MA- VO-SQUEL-SEPIQUE net et bien développé. Nombreux faisceaux de filaments plasmiques flexueux jaunes sans direction préférentielle.

3. Distribution relative :

(toutes zones) tendance nettement porphyrique.

4. Vides :

(toutes zones) quelques fissures, nombreux chenaux, chambres et cavités ovoïdes, la plupart ORTHO. Nombreuses très fines fissures, à peine visibles, META.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :Zones alpha :

- quelques petits nodules ferrugineux de formes irrégulières (brun-noir en LP) ;
- quelques rares petits ferri-argilanes orangés de chenaux, peu nets, peu distincts du fond matriciel ;
- quelques manganés noirs de vides ou de grains ;
- deux traits de grande taille (1 à 3 mm) purement argileux, orangés en LN, qui semblent être d'anciens ferri-argilanes non striés, désagrégés et un peu dispersés, réincorporés à la matrice, s'allumant mal en LP.

Zones bêta :

rien sinon quelques traits purement argileux, jaune-clair en LN, s'allumant assez bien en LP, liés plus ou moins à des chenaux mais peu hyalins et contrastant peu avec le fond matriciel.

Une lithorelique :

grain ferrugineux, émoussé, opaque, dimension maximale : 8 mm.

V. MATIERE ORGANIQUE : quelques racines fraîches.Commentaires :

cutanes argileux pratiquement absents mais beaucoup de réorganisation du plasma en filaments, notamment autour des vides.

HORIZON (B)-C (95-105 cm)

- I. Assez nombreuses fissures surtout très fines et quelques cavités lisses et fermées. Structure jointe irrégulière.
- II. Lames localement imprégnées de fer brun-noir en LN (= zones alpha, 50 % de la surface totale).

III. FOND MATRICIEL :1. Fraction grossière :

(toutes zones) quelques très gros quartz polycristallins très émoussés (1 à 6 mm), quelques quartz monocristallins de 0,5-1 mm ; nombreux quartz très fins de la taille des limons.

2. Fraction fine = plasma :

Zones alpha : plasma ferrugineux bien visible en LN car coloré en brun-noir ; plasma argileux peu visible en LN et en LP car masqué. En LP, jaune-clair, peu différent des zones bêta à assemblage plasmique finement mais nettement VO-SQUEL-SEPIQUE (surtout le long de microfissures et sur les plus gros grains).
Zones bêta : plasma pratiquement invisible en LN car incolore. En LP, plasma argileux visible, jaune-clair, assemblage plasmique INS-MA-VO-SQUEL-SEPIQUE (surtout le long des microfissures et sur les gros grains).

3. Distribution relative : porphyrique.4. Vides : voir I.IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :Zones alpha :

assez nombreux petits manganes noirs de grains ou de petites fissures. Très rares petits papules argileux orangés semblant résulter de la fragmentation de ferri-argilanes aujourd'hui complètement disparus.

Zones bêta :

néant.

Quelques lithoreliques ou nodules ferrugineux :

(1,5 à 10 mm). Contours très nets, formes émoussées ou arrondies, à squelette quartzueux limono-sableux et ciment ferrugineux brun-rouge ou noir en LN.

V. MATIERE ORGANIQUE : très rares racines fraîches.Commentaire :

absence de cutanes argileux. Par contre, réorganisation partielle du plasma dans le fond matriciel sous forme de filaments et de faisceaux de filaments le long de microfissures ou au contact des plus gros grains (quartz et nodules ferrugineux).

HORIZON (B)-C (125-140 cm)

I. Assez nombreuses grosses fissures irrégulières, selon deux directions perpendiculaires et nombreuses fissures fines. Nombreuses cavités lisses le plus souvent fermées. Structure jointe irrégulière.

II. Zones alpha : imprégnées irrégulièrement de fer, couleur brun-noir en LN.

Zones bêta : sans imprégnation de fer, presque incolores en LN.

Ces deux types de zones sont très imbriquées de façon complexe. Proportions approximatives : 50/50.

III. FOND MATRICIEL :1. Fraction grossière :

(toutes zones) quelques rares gros quartz (0,5 à 1 mm) émoussés et très nombreux petits quartz de la taille des limons.

2. Fraction fine = plasma :

Zone alpha : plasma coloré en jaune-brun ou en brun-noir (en LN) par le fer. Il est jaune d'or ou brun-rouge en LP. Assemblage plasmique non différent des zones bêta : INS-MA-VO-SQUEL-SEPIQUE. finement mais nettement.

Zone bêta : plasma presque invisible en LN car incolore. En LP, bien visible, jaune très clair, presque blanc. Très nombreux petits domaines biréfringents disposés dans tous les sens avec localement tendance à former des faisceaux de filaments liés à des fissures ou à des gros grains. Assemblage plasmique INS-MA-VO-SQUEL-SEPIQUE à tendance OMNISEPIQUE.

XXX.

3. Distribution relative : porphyrique.

4. Vides : voir I.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

Zones alpha :

nombreux nodules ferrugineux à limites nettes mais irrégulières à tendance tout de même ovoïde, à squelette quartzeux limoneux. Dimensions 0,5 à 4 mm. Il en existe aussi de tout petits (environ 0,1 mm). Très nombreux manganés noirs, fins, de chenaux et de chambres, plus particulièrement concentrés à un secteur de la lame. Tendance au colmatage des vides. Petits ferranes brun-foncé colmatant des microfissures. Rares petits papules orangés, purement argileux, isolés dans le fond matriciel.

Zones bêta :

néant.

Lithoreliques :

quelques rares graviers de roche siliceuse à grain très fin (chaille ?).

V. MATIERE ORGANIQUE : quelques rares racines fraîches.

Commentaire :

absence de redistribution d'argile (pas d'argilanes visibles) mais réorganisation en place du plasma argileux et actives redistributions des sesquioxydes (manganés, nodules ferrugineux).

PROFIL F. 5403 FORET DE MONT SAINT SULPICE

HORIZON A22g

II. DEUX TYPES DE ZONES CONTRASTEES MAIS A LIMITES DIFFUSES :

- α) ZONES CLAIRES + ou - dégradées en LN, sans plasma en LP souvent associés à des vides, mais pas toujours.
- β) ZONES ROUILLES en LN, sans plasma en LP.

α ZONES CLAIRES

III.

1. Fraction grossière :

98 % quartz, majorité SF et LG anguleux + SG rares, subarrondis. 1 % plagioclases + 1 % de glauconie en grains arrondis intacts, brun-rouille, peu biréfringents en LP. Arrangement aléatoire.

2. Fraction fine :

presque absente, peu colorée. Très finement squelsépique. Surtout visible à plus fort grossissement.

4. Vides :

très fins vides d'entassement de formes quelconques. + assez nombreuses cavités semi-régulières + ou - arrondies ou elliptiques, certaines contenant encore des racines. + quelques chenaux. + quelques fentes désordonnées.

β ZONES ROUILLE

Travées irrégulières à contours irréguliers et limite non tranchée. 50 % de la surface totale.

III.

1. Fraction grossière : idem aux zones claires.

2. Fraction fine :

peu abondante mais nette en LN (brun-doré ou brun-rouille) comme en LP (rouille orangé). Finement mais nettement et très développés VO-SQUEL-SEPIQUE. Localement le plasma occupe 40 % de la surface, le + souvent 10 %.

3. Vides : idem aux zones claires.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES COMMUNS A TOUTE LA LAME :

- une grosse lithorelique arrondie : contenu : multiples grains de quartz + 2 imprégnations de fer presque opaques ;
- quelques petits nodules ferrugineux rouille foncé (taille SG), les uns sans squelette, arrondis à contour tranché, les autres à squelette identique à la matrice, arrondis, irréguliers, contour tranché.
- quelques néo-ferrans minces, couleur foncée, de vides et chenaux ;
- sur la lithorelique et la fissure courbe associée : mince ferri-argilane orangé peu différent d'une imprégnation ;
- gros tubule forme irrégulière mais remplissage à squelette identique + débris racines fraîches, plasma argilo-humique foncé + granules organiques noirs (pellets)

HORIZON (B)gd

II. TROIS TYPES DE ZONES TRES CONTRASTEES, A LIMITES DIFFUSES

- α ZONES BLANCHIES "DEGRADEES", SANS PLASMA : idem aux zones blanchies de l'horizon A22.

Fraction grossière identique. Fraction fine identique presque absente, invisible et incolore en LN, jaune-pâle et finement VO-SQUEL-SEPIQUE en LP. Pas de traits pédologiques.

β ZONES IMPREGNEES DE FER, ROUILLE EN LN

III.

1. Fraction grossière :

squelette identique mais relativement moins abondant car plasma plus abondant (fer + argile).

2. Fraction fine :

fer + argile abondant, brun-foncé en LN, rouille foncé en LP. Nettement VO-SQUEL-SEPIQUE.

3. Porphyrique : 30 à 40 % de plasma.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

- ferranes et néo-ferranes de fissures, de cavités et de fentes, pas vraiment détachés de la matrice avec passage graduel : NEO-FERRANES ET FERRI-ARGILANES SOUVENT ASSOCIES. Imprégnation. Teinte rouille-foncé vif. Nombreux. Se trouvant aussi sur faces d'agrégats ;
- FERRI-ARGILANES striés de fentes planes et de fissures. Couleur orangé-foncé à zones plus noires. Aspect finement ponctué de noir. Passage assez progressif vers la matrice. Assez épais mais peu nombreux. Fortement orientés et orientation continue.

γ ZONES GRISES PLASMIQUES

III.

1. Fraction grossière : identique.

2. Fraction fine :

abondante 40 à 50 %. En LN, beige-clair, fort peu colorée. Très sépique : fortement VO-SQUEL-MASEPIQUE.

3. Porphyrique

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

ARGILANES striés de fente et de fissures, beige-brun peu colorés en LN, bonne orientation et extinction continue en LP. Semblent ponctués de très nombreux petits points noirs. Tranchent peu sur le reste du fond matriciel. Passage en continuité avec les ferri-argilanes des zones rouilles.

III.

4. Vides (TOUTE LA LAME)

très nombreuses fentes planes, courbes et désordonnées, moyennes et fines. + vides d'entassements nombreux et fins (surtout dans les zones dégradées) + assez nombreuses cavités plus ou moins irrégulières et chenaux.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES COMMUNS A TOUTE LA LAME :

- quelques rares nodules arrondis opaques, rouille-foncé, contour tranché, squelette interne ;
- quelques sections et débris de racines fraîches.

HORIZON (B)-CI. MICROSTRUCTURE :

fissures lisses courbes et cavités lisses = structure jointe régulière à irrégulière.

II. HOMOGENEITE :

α Zones à fond matriciel gris-jaune en LN.

β Zones imprégnées de fer, orangées à rouille-foncé.

Disposition relative : contrastée, diffuse, irrégulière, entremêlée.

α ZONES GRISES

III.

1. Fraction grossière :

idem horizons précédents. Glauconie rare à très rare. Quelques grains encore verts. La plupart arrondis, rouille-foncé, presque méconnaissables, quelques uns se désagrègent.

2. Fraction fine :

couleur LN : gris-brunâtre. Hyalinité très faible, aspect flou et micro-ponctué ; de 20 à 50 % selon les zones. Arrangement : nettement VO-SQUEL-SEPIQUE et nettement MO - MASEPIQUE DANS LES ZONES A PLASMA TRES ABONDANT. Beaucoup moins net là où le plasma est plus rare.

3. Distribution : PORPHYRIQUE.4. Vides :

très nombreuses fentes planes et désordonnées, fines et moyennes. Assez nombreux chenaux à section régulière arrondie. Vides d'entassement très rares, très petits.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

quelques argilanes minces de fissures et de chenaux. En LN : gris, flous et ponctués, pas toujours faciles à distinguer du VOSEPIQUE. En LP : brun-noirâtre, extinction unique.

β ZONES ROUILLE

III.

1. Fraction fine :

couleur en LN : jaune-orangé-vif à rouille-foncé presque opaque. Composition globale : argile + fer.

2. Plasma :

50 à 60 %. Biréfringent en LP, très sépique mais difficile à observer car imprégné de fer. VO-SQUEL-MO-MASEPIQUE.

3. Porphyrique4. Vides :

peu de vides, seulement fentes planes et désordonnées.

IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

Les domaines prennent parfois l'allure de glébules ferrugineux à contour irrégulier, + ou - nets.

- glébules à squelette idem, à contours tranchés, légèrement irréguliers, ciment opaque en LN, rouge foncé en LP.

- quelques ferri-argilanes jaune-doré en LN, minces, de fentes et de chenaux, jaune-doré en LP, passant parfois à ferri-Mn brun-foncé.

V. MATIERE ORGANIQUE (Totalité de la lame) : quelques sections de racines fraîches.

HORIZON A_{2g}I. MICROSTRUCTURE :

pas de fissures, pas d'agrégats, cavités irrégulières lisses, STRUCTURE POREUSE.

II. LAME HOMOGENE

III.

1. Fraction grossière :

100 % de quartz. Trois familles principales :

- gros arrondis 450 à 600 µm ;
- moyens anguleux de 120 à 300 µm, moyenne 200 µm ;
- anguleux très fins 10 à 30 µm et moins.

2. Fraction fine :

Argilo-humique. En LN : teinte brune, peu abondante mais fort colorée. En LP : rien de visible, SILASEPIQUE.

3. Distribution relative : agglomérée.IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

nombreux nodules ferrugineux à contours tranchés, irréguliers, à ciment ferrugineux noir opaque en LN comme en LP. Squelette : quartz anguleux, semble identique à celui du FM. Mais 80 % de plasma ferrugineux (jusqu'à 95 % pour certains). Diamètre des nodules : 1 à 3,5 mm, plus une famille de 0,2 à 0,4 mm.

V. MATIERE ORGANIQUE :

semble imprégner en rouille-brun la fraction fine (opaque en LP), sans forme visible.

HORIZON (B)_{gd}I. MICROSTRUCTURE : STRUCTURE JOINTE IRREGULIERE.II. HOMOGENEITE :

- α zones dégradées)
- β zones plasmiques grises) contrasté, contact diffus, irrégulier.
- γ zones rouille ou rouges)

α ZONES DEGRADEES

III.

1. Fraction grossière :

100 % de quartz = 100 % FM. Quelques gros un peu émoussés : 300 à 600 µm. Quelques moyens anguleux de 90 à 150 µm. Très nombreux très petits anguleux de 30 µm et moins.

2. Fraction fine :

Pas de plasma. Couleur gris-blanc presque incolore en LN. En LP : seul visible du limon fin, SILASEPIQUE.

β ZONES GRISES PLASMIQUES

III.

1. Fraction grossière : idem zones dégradées mais peu abondant.

2. Fraction fine :

argileuse, peu hyaline mais pur, 80 % environ du FM. Gris-jaunâtre en LN. En LP, jaune-vif. Très nettement sépique généralisée. Dans la plupart des zones, belle organisation nette VO-SQUEL-MASEPIQUE. Dans les zones les moins organisées : VO-SQUEL-INSEPIQUE .

3. Distribution relative : PORPHYRIQUE.γ ZONES ROUILLE OU ROUGES

III.

1. Fraction fine :

argilo-ferrique ou ferro-argileuse, de 70 % à 100 % (papules). Brun-rouille à rouille-foncé en LN. Brun-rouille à opaque en LP. Biréfringence faible à biréfringence nulle = opaque. Assez sépique sous le fer.

3. Distribution relative : PORPHYRIQUEIV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

1. PAPULES NOMBREUX rouille-foncé vif, finement striés (débris de ferri-argilanes épais) fragmentés ou dilacérés, ou émiettés, souvent fragments arrondis. En LP, soit aucune biréfringence ou au contraire extinction parfaite et orientation totale.
2. PAPULES RARES, gris-verdâtres et brunâtres, striés en LN, encore biréfringents en LP, bonne orientation.

HORIZON (B)-CI. MICROSTRUCTURE : STRUCTURE JOINTE IRREGULIERE.II. HOMOGENEITE :

1 travée "dégradée". Zones grises plasmiques contrastant avec zones plasmiques rouille. DEFERRIFICATION EN COURS (?)

α ZONES GRISES PLASMIQUES

III.

1. Fraction grossière : comme horizon (B)gd.2. Fraction fine :

gris-verdâtre en LN. Argileuse, peu hyaline, finement ponctuée de noir. 50 à 60 % du FM. En LP : jaune-clair, finement et nettement VO-SQUEL-INSEPIQUE et faiblement MASEPIQUE. Passage progressif à des argilanes atypiques.

3. Distribution relative : PORPHYRIQUEIV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

le long de très fines fissures ou de petites cavités, assez nombreux argilanes très fins, jaune-clair en LN, + jaunes, + clairs et + hyalins que le plasma du FM. Biréfringents, assez bien orientés en LP. Contraste faible à nul avec FM. Limite pas nette avec le FM. Extinction parfois incomplète et irrégulière. Le plus souvent bien orientés.

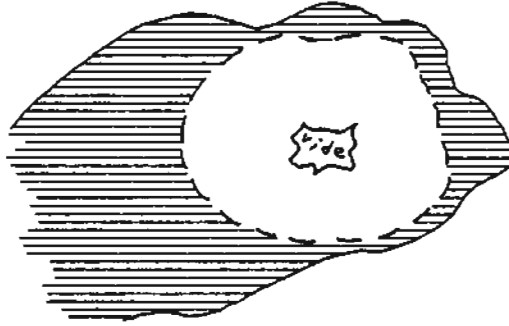
β ZONES ROUILLE

III.

1. Fraction fine :

En LN brun-rouille + ou - foncé à noir. Noire notamment le long de grains de quartz.

En LP : + ou - opaque, biréfringence + ou - développée en dessous du fer.
Contours irréguliers diffus sauf une exception : déferrification en rond
dans une zone rouille. Contour arrondi régulier net, centré sur des vides.
(voir dessin ci-dessous)



IV. TRAITS PEDOLOGIQUES :

- quelques ferri-argilanes striés, bonne extinction, + ou - cassés et + ou - fonctionnels, de fissures ;
- PAPULES orange-vif ou rouille foncé, striés, + ou - crevassés, arrondis, certains à belle extinction totale, d'autres non biréfringents en LP.

TRAITS PEDOLOGIQUES A CHEVAL SUR LES DEUX ZONES :

Aire plasmique pure, moitié gris-clair verdâtre, bien orientée, assez biréfringente, extinction roulante, moitié rouille vif foncé avec biréfringence par transparence. SEMBLE SE DEFERRIFIER !

ANNEXE N° 3

DIFFRACTOGRAMMES DE RAYONS X

D I F F R A C T O G R A M M E S D E R A Y O N S X

Fractions inférieures à 2 micromètres

Argiles saturées par du magnésium

Chauffages à différentes températures

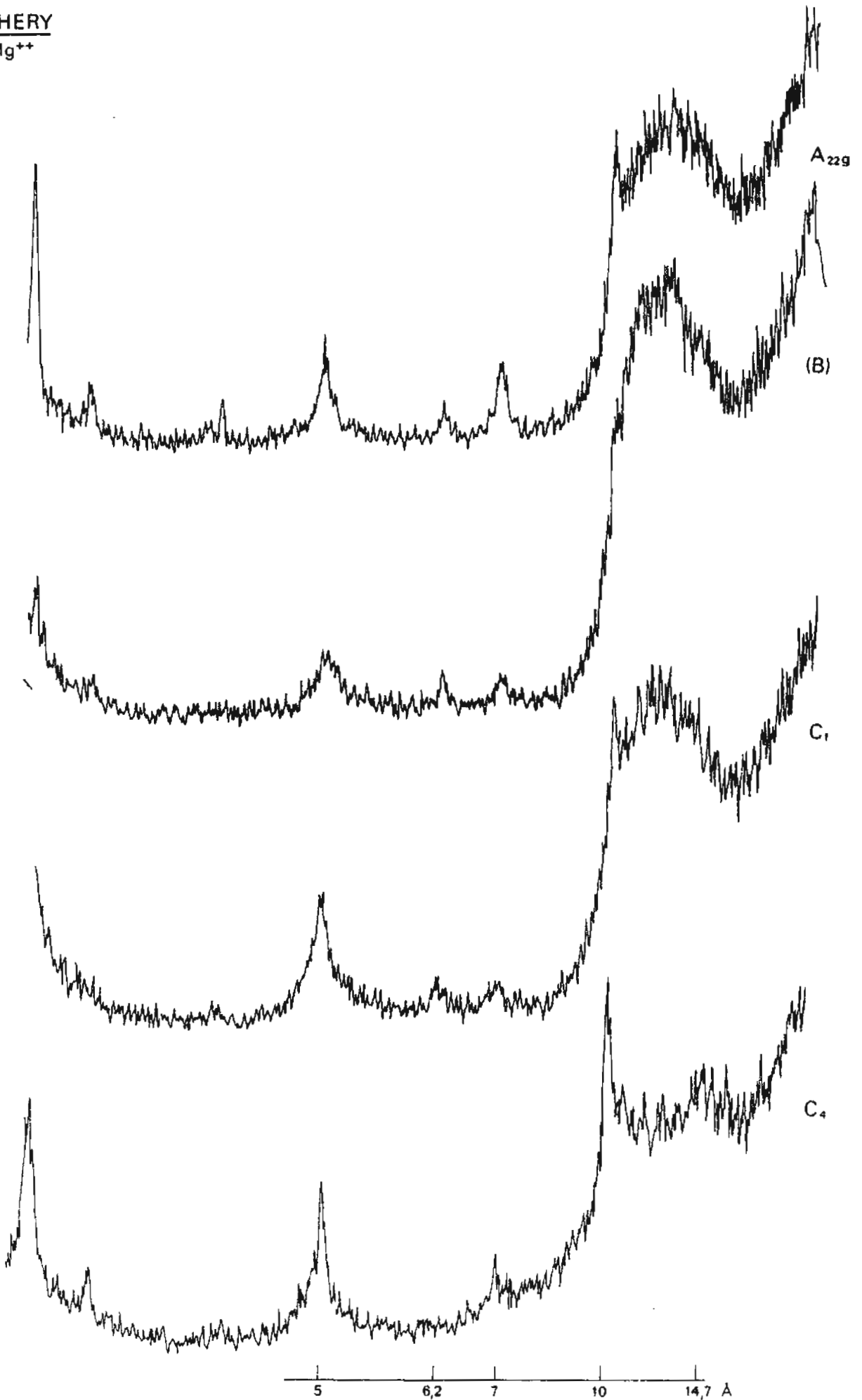
Traitements à l'éthylène-glycol = EG

Diagrammes réalisés au Laboratoire des Sols

de l'INRA à Versailles par M. HERVIO

PROFIL HERY

Argiles - Mg⁺⁺



PROFIL HERY
Argiles - Mg⁺⁺

Chauffage à 300° C

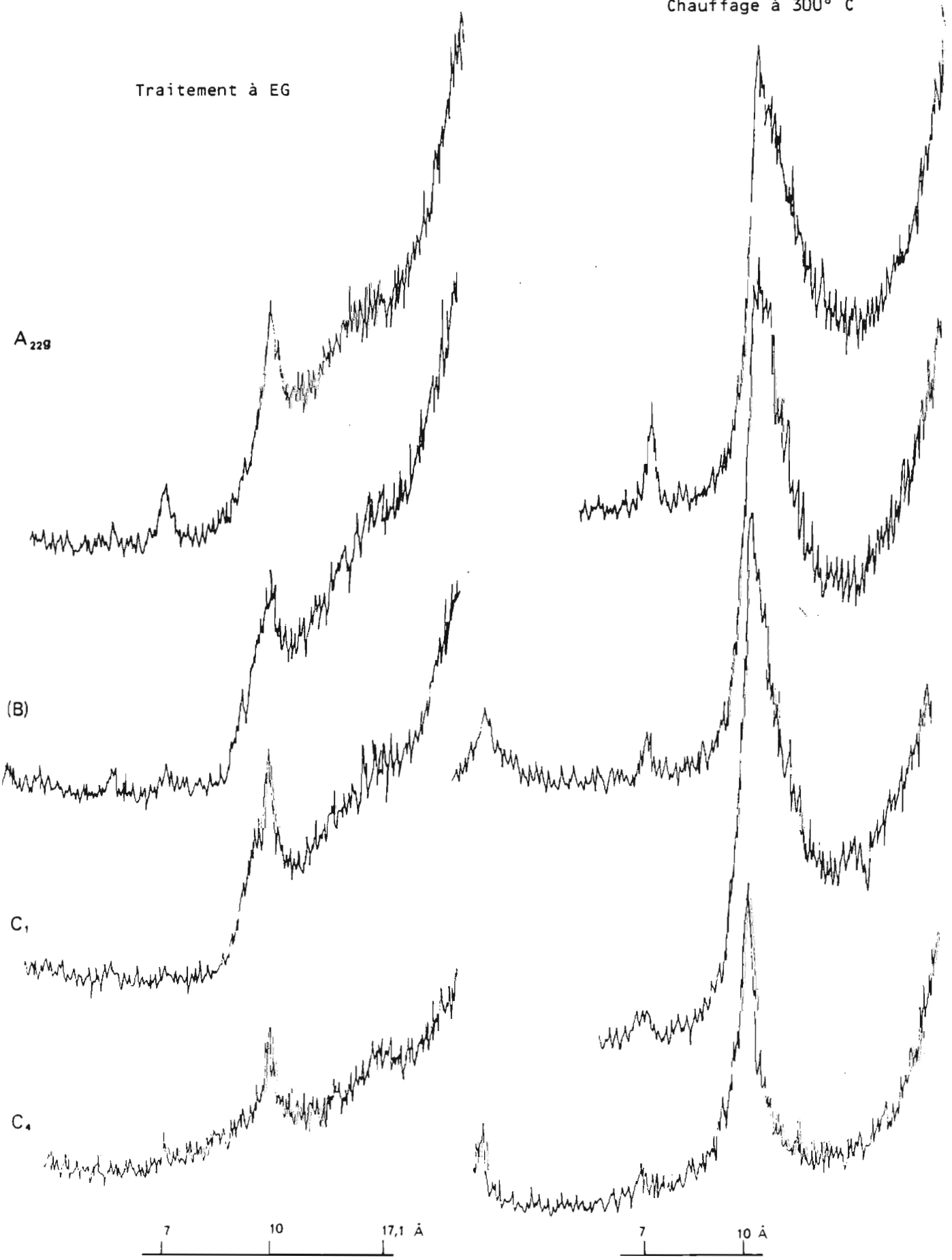
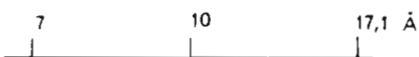
Traitement à EG

A_{22g}

(B)

C₁

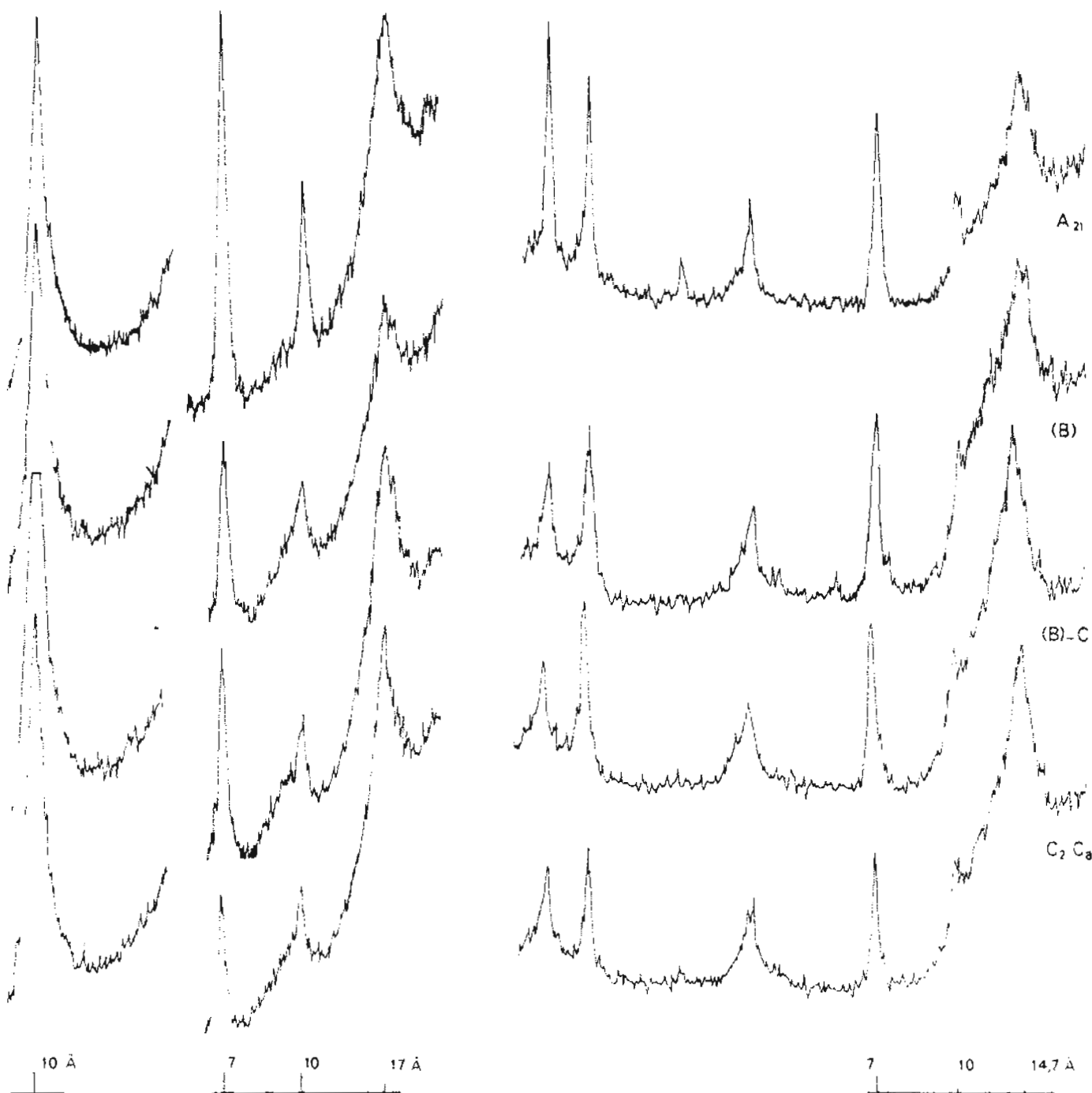
C₄



PROFIL PONTIGNY
Argiles - Mg⁺⁺

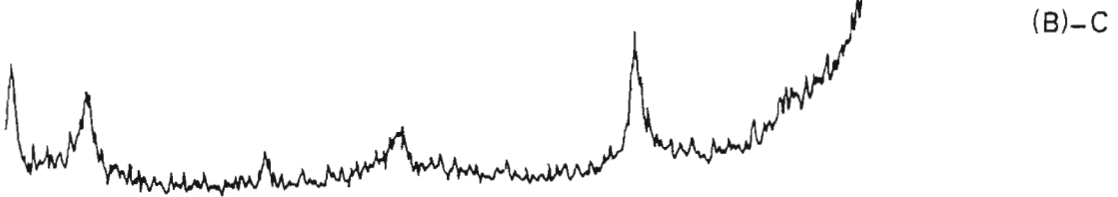
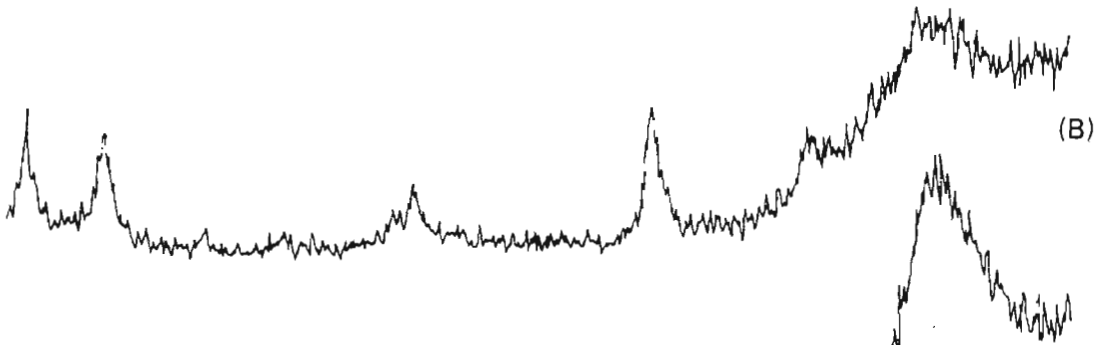
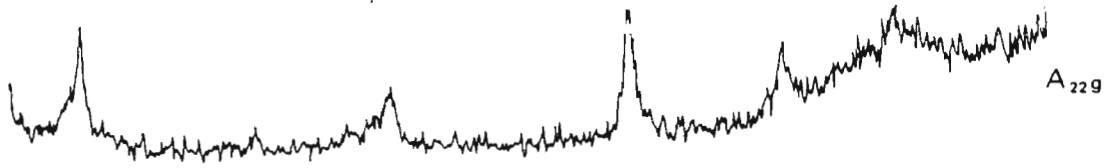
Chauffage
à 400° C

Traitement à EG



PROFIL REBOURSEAUX

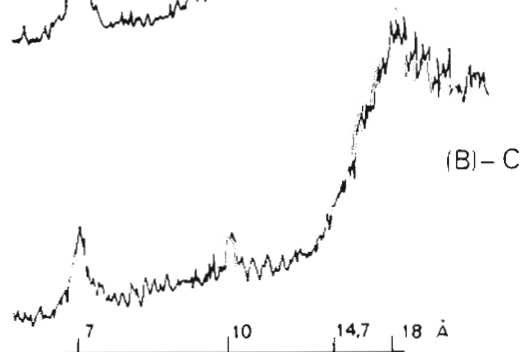
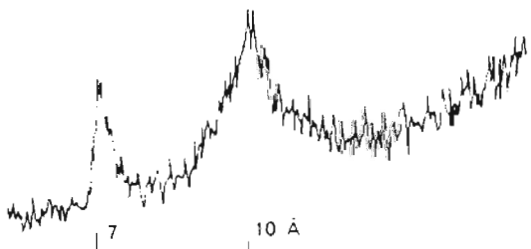
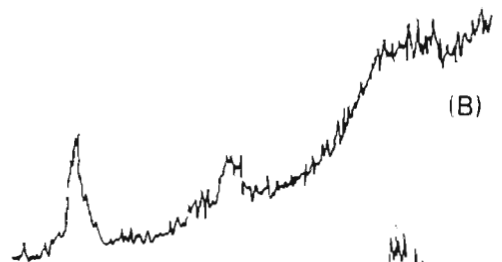
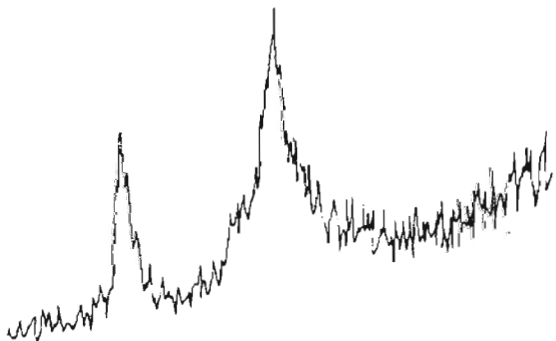
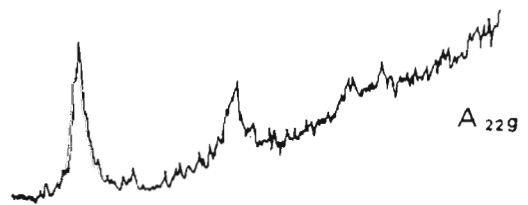
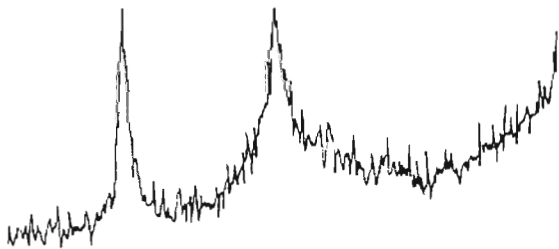
Argiles - Mg⁺⁺



7 10 14,7 Å

Chauffage 450° C

Traitement à EG

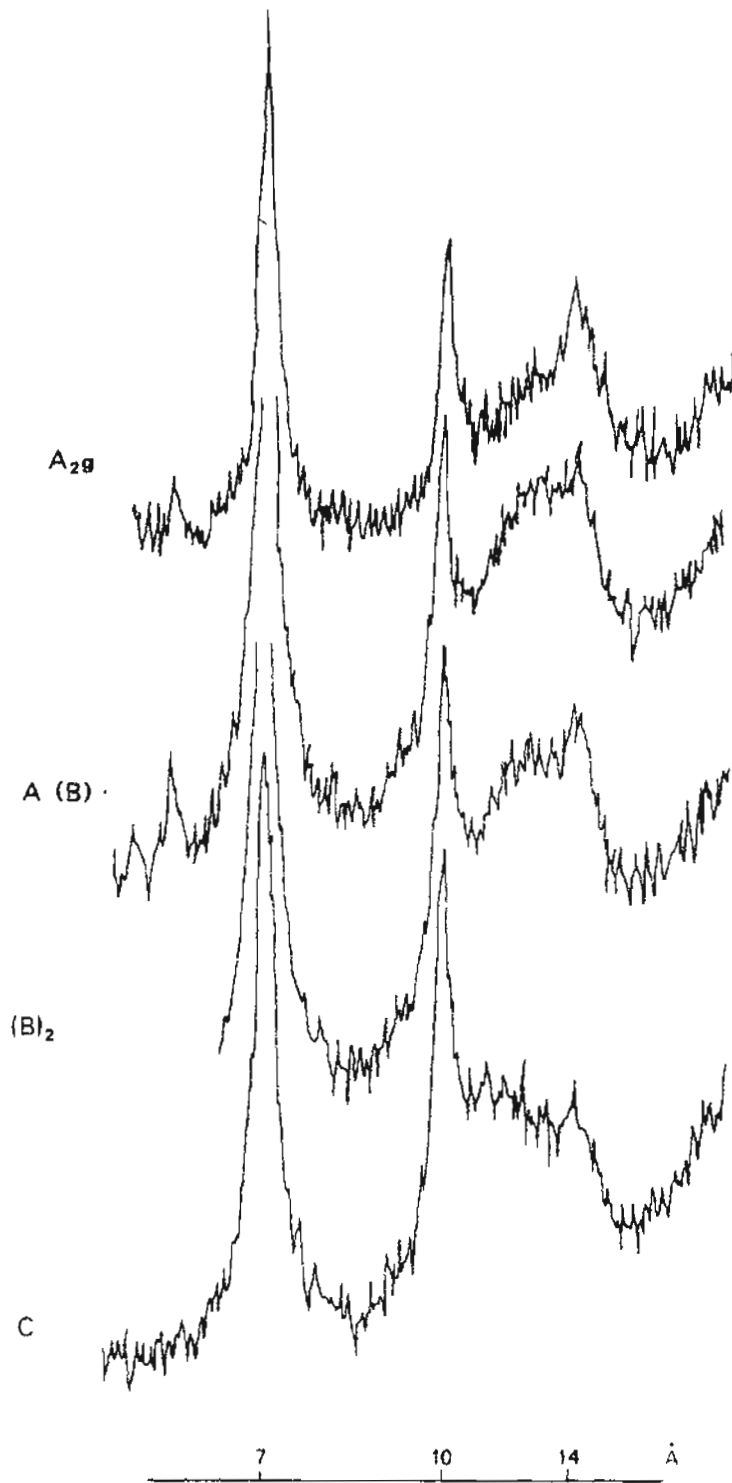


7 10 Å

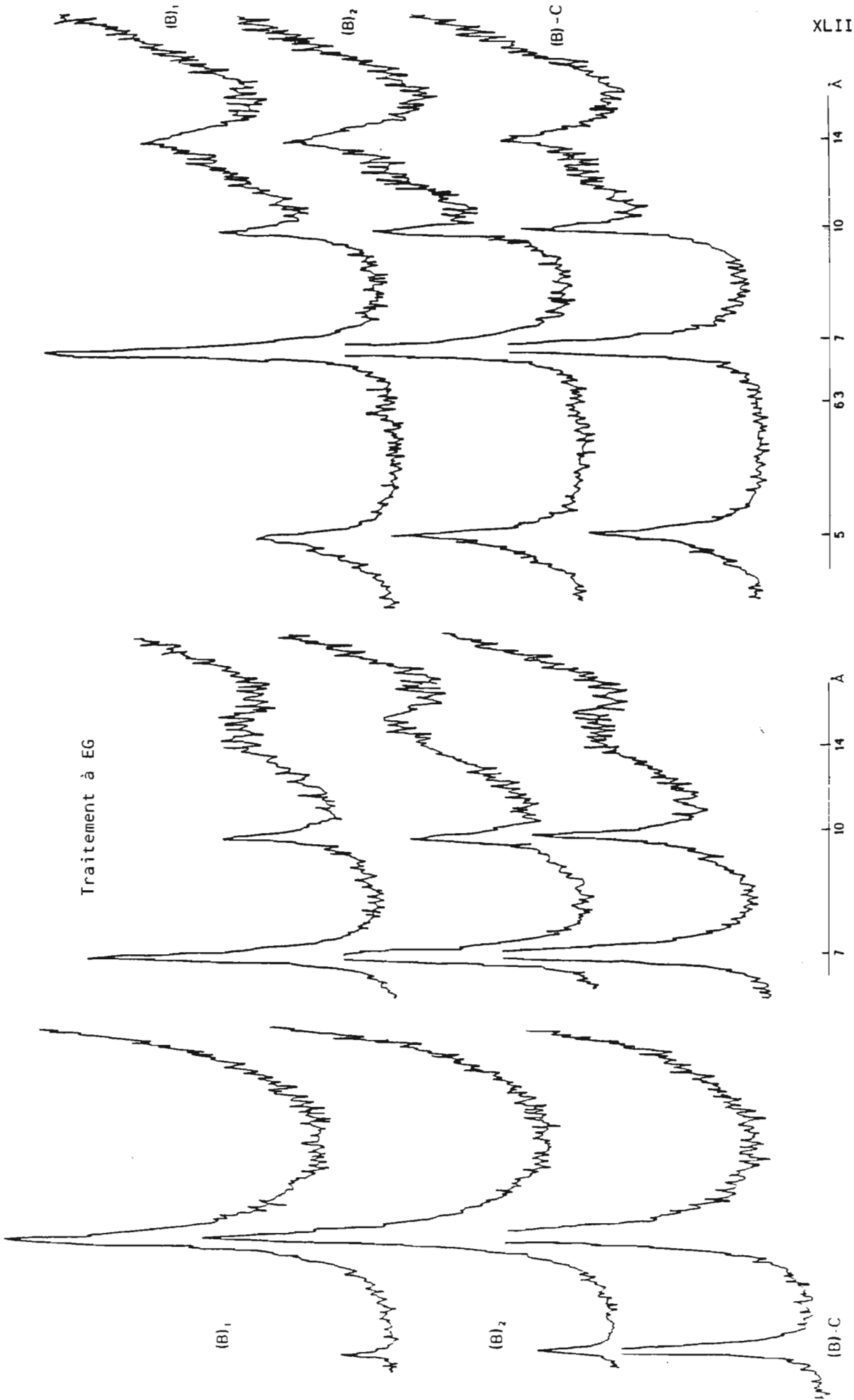
7 10 14,7 18 Å

PROFIL FLOGNY (1972)

Argile - Mg⁺⁺

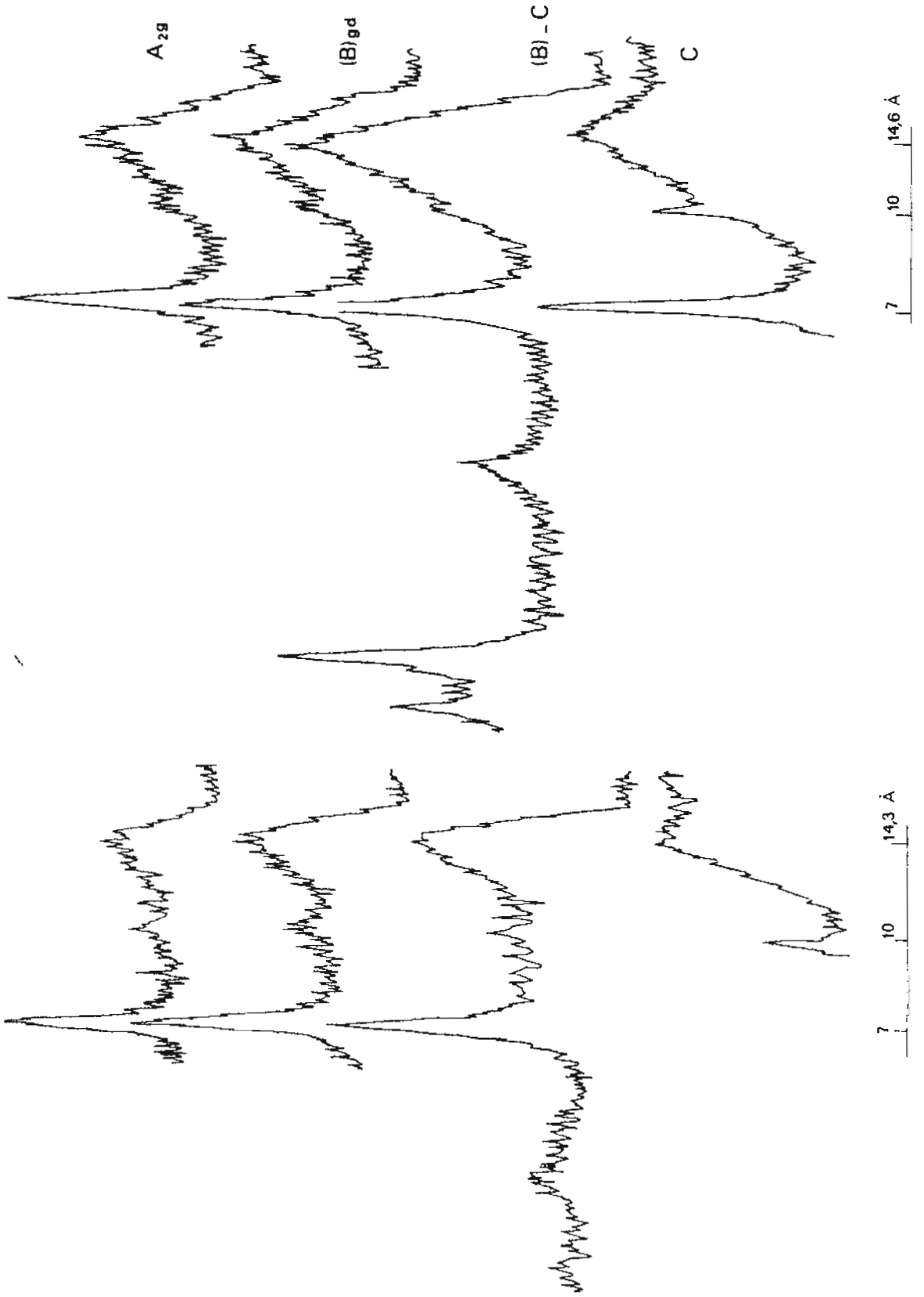


Chauffées à 450° C



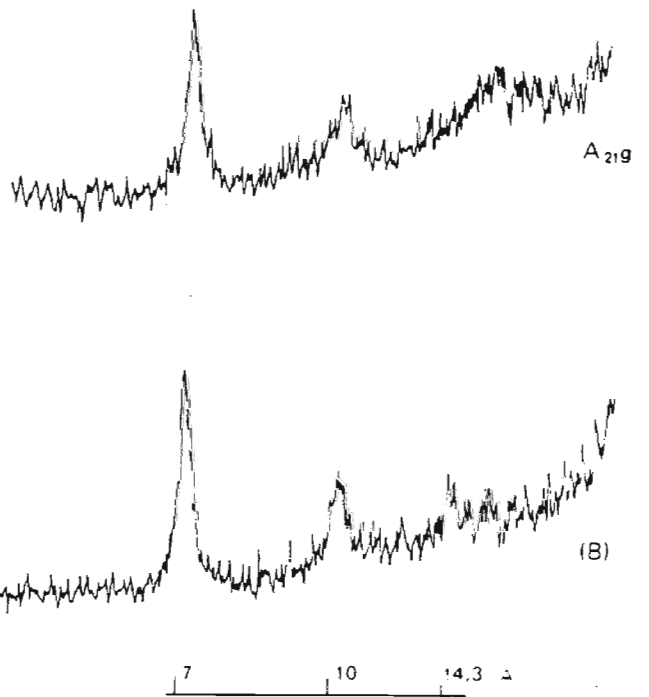
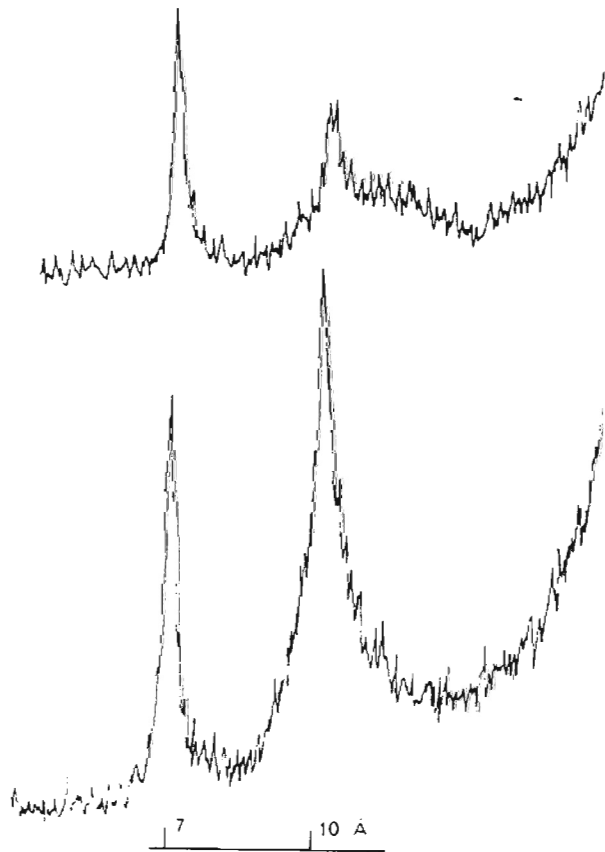
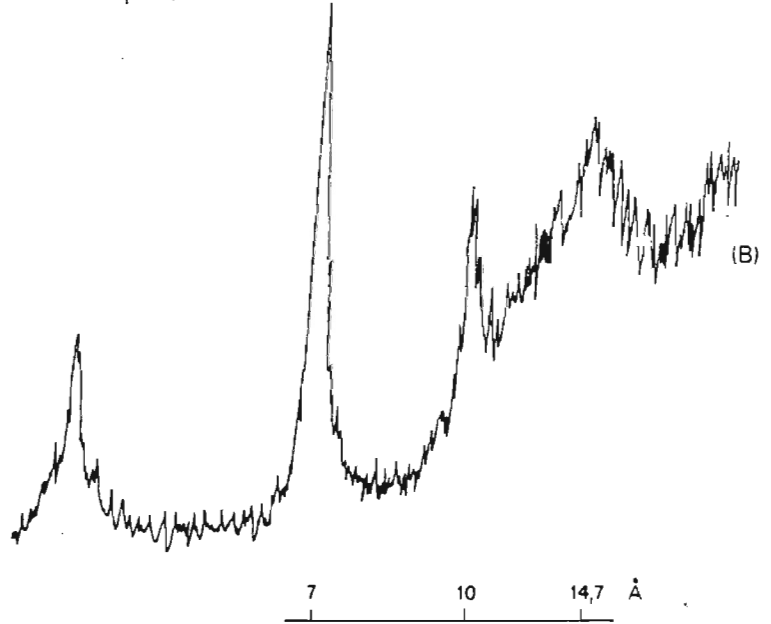
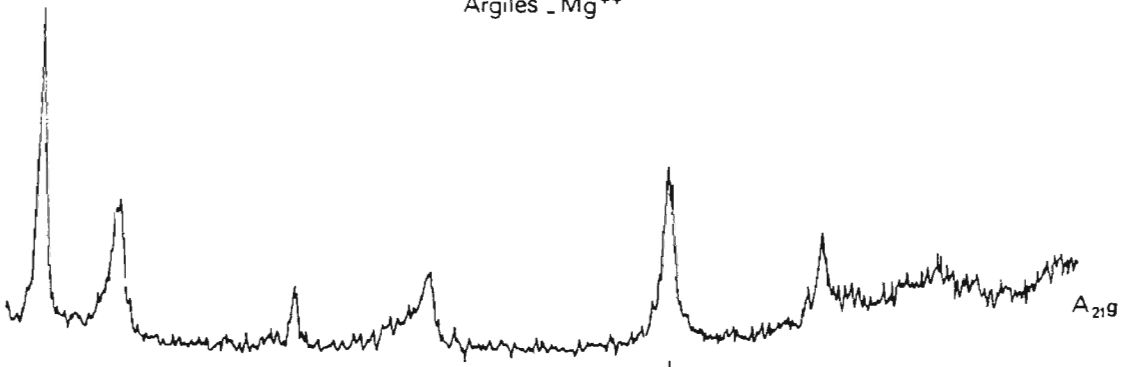
PROFIL NATIONALE 77

Argiles - Mg⁺⁺ apres prétraitement au citrate



PROFIL LA VILLOTTE

Argiles - Mg⁺⁺



Traitement à EG

Chauffage à 400° C

PROFIL MONTMERCY

Argiles - Mg⁺⁺

XLVI.

Chauffage à 400°

Traitement EG



10 °

17 °

10 °

7 °

14.7 °

10 °

7 °

ANNEXE N° 4

ETUDE DES MINERAUX LOURDS

ETUDE DES MINERAUX LOURDS

Cette étude a été réalisée par Gilbert LUCOTTE et Alain BUISSON sous la direction de Louis COUREL à l'Institut des Sciences de la Terre de DIJON. 9 échantillons ont été analysés :

Profil HERY	(25 - 35 cm)	horizon A _{22g}
	(65 - 85 cm)	horizon (B) ₁
Profil PONTIGNY	(35 - 53 cm)	horizon A _{22g}
	(67 - 80 cm)	horizon (B)-C
Profil FLOGNY	(7 - 20 cm)	horizon A _{2g}
	(47 - 57 cm)	horizon (B)
Profil REBOURSEAUX	(30 - 40 cm)	horizon A _{22g}
	(95 - 105 cm)	horizon (B)-C ₁
Profil GERMIGNY	(0 - 15 cm)	horizon Ap

(sol lessivé dégradé développé sur limons anciens).

Trois fractions granulométriques ont été étudiées séparément puis regroupées :

fraction I : 45 à 90 micromètres ;
fraction II : 90 à 180 micromètres ;
fraction III : 180 à 500 micromètres.

	FRACTION I				FRACTION II				FRACTION III				T.P. %
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
GERMIGNY A	0,87	64	88	36	0,16	82	81	46	0,21	82	84	82	0,27
REBOURSEAUX A	0,23	67	87	35	0,27	82	88	49	0,09	99	76	76	0,18
REBOURSEAUX (B)	0,17	73	87	35	0,34	80	87	60	0,43	99	89	36	0,33
HERY A	0,70	54	83	53	0,21	72	72	64	0,57	96	97	66	0,46
HERY (B)	0,52	67	88	40	0,16	67	66	73	0,50	94	88	77	0,43
PONTIGNY A	0,15	39	82	60	0,11	7	75	41	0,17	57	96	83	0,14
PONTIGNY (B)	0,07	55	82	60	0,09	68	81	89	0,49	90	97	73	0,12
FLOGNY A	0,15	45	84	62	0,59	34	81	67	0,65	99	100	51	0,43
FLOGNY (B)	0,08	42	87	82	0,90	72	93	64	5,97	94	100	100	0,27

1 = % pondéral en minéraux lourds de chaque fraction.
2 = % pondéral de minéraux lourds magnétiques par rapport aux minéraux lourds totaux de chaque fraction.
3 = % des minéraux lourds opaques par rapport aux minéraux lourds magnétiques.
4 = % des minéraux lourds opaques par rapport aux minéraux lourds non magnétiques.
T.P. = Teneur pondérale = % pondéral de minéraux lourds par rapport à la somme des trois fractions I + II + III.

TABLEAU A : MINERAUX LOURDS :

teneurs pondérales, proportions des minéraux lourds magnétiques et des opaques.

Le tableau A montre bien que la teneur pondérale en minéraux lourds est faible ou très faible (0,12 à 0,46 %). On constate également que les minéraux opaques sont extrêmement abondants.

Les minéraux opaques :

ils proviennent surtout d'une altération des grains transparents. Leur pourcentage est voisin dans les horizons A et (B) ce qui semble indiquer un degré d'altération semblable au sein du profil.

Les ultrastables :

Le rutile est le plus fréquent des minéraux titanés. Les zircons sont le plus souvent fortement arrondis. Les tourmalines sont surtout brunes mais aussi parfois vertes ou bleues. Elles sont souvent arrondies à très arrondies, ce qui indique un sédiment très évolué.

Les métastables :

là staurotide est le minéral du métamorphisme le plus abondant. Disthène, andalousite et grenat sont très rares et très altérés. Epidotes et amphiboles, minéraux facilement altérables, sont pratiquement absents (sauf à REBOURSEAUX où ils sont cependant très peu abondants).

	Opaques	Zircon	Tourmalines	Brookite + Rutile + Anatase	Sphène	Disthène	Epidote + Amphiboles	Staurotide
GERMIGNY A	2009	312	100	76	41	17	8	75
REBOURSEAUX A	1365	169	109	33	18	13	9	44
REBOURSEAUX (B)	2752	162	183	22	16	14	4	81
HERY A	3682	422	264	65	0	49	0	122
HERY (B)	3314	519	227	68	0	32	2	152
PONTIGNY A	961	253	28	59	2	67	2	13
PONTIGNY (B)	1032	74	45	11	1	8	2	17
FLOGNY A	3693	330	115	25	0	62	1	61
FLOGNY (B)	2592	47	30	32	1	1	0	12

TABLEAU B : MINERAUX LOURDS.

Teneurs en "par million" des principales espèces représentées par rapport à l'ensemble des fractions (I + II + III).

Cortèges :

dans tous les échantillons, les minéraux ubiquistes (tourmalines, zircon, titanés) sont les plus nombreux (75 à 80 % de l'ensemble). L'association minéralogique ubiquistes + métamorphiques correspond à un cortège du Crétacé moyen (TRESCARTES, 1971). A quelques variations près, les cortèges sont semblables dans les horizons A et dans les (B). En outre, l'échantillon issu d'un sol lessivé dégradé sur limon ancien (GERMIGNY A) ne paraît pas différent des 8 horizons de planosols.

En conclusion, l'étude des minéraux lourds confirme l'homogénéité des profils et souligne le caractère crétacé des horizons A et (B) des planosols, ce qui est un argument supplémentaire pour exclure l'hypothèse d'une couverture allochtone éolienne d'origine lointaine.

	Rutile + anatase + brookite	sphène	Zircon	Tourmalines	Sillimanite	Disthène	Staurotide	Andalousite	Grenat	Epidote + Hornblende verte
GERMIGNY A	12,0	6,5	49,4	15,8	0	2,7	11,9	0	0,3	1,3
REBOURSEAUX A	8,2	4,5	42,0	27,1	0	3,2	10,9	0	1,2	2,3
REBOURSEAUX (B)	4,5	3,3	33,4	37,8	0	2,9	16,7	0	0,4	0,8
HERY A	7,0	0	45,3	28,4	0,6	5,2	13,0	0,2	0,3	0
HERY (B)	6,7	0	51,2	22,4	0,7	3,2	15,0	0,5	0,2	0,2
PONTIGNY A	13,3	0,4	57,3	6,4	1,2	15,1	3,0	0,1	2,2	0,4
PONTIGNY (B)	6,3	0,4	43,1	25,8	1,0	4,4	9,9	2,9	5,0	1,1
FLOGNY A	4,2	0	55,0	19,2	0,7	10,3	10,2	0,2	0,1	0,1
FLOGNY (B)	26,5	0,9	37,6	23,6	0	0,7	9,8	0,2	0,4	0,4

TABLEAU C : Pourcentages des diverses espèces de minéraux lourds après élimination des opaques et des autres minéraux non significatifs (en % de leur somme).

ANNEXE N° 5

DONNEES ANNEXES RELATIVES AU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

DONNEES ANNEXES RELATIVES
AU FONCTIONNEMENT HYDRIQUE

1. NATURE DES DISPOSITIFS DE MESURE :

le dispositif complet s'est constitué petit à petit selon les besoins. il comporte :

- A. Des PLUVIOMETRES posés au sol, donc sous un couvert forestier (futaie). Installés le 23 mai 1977, relevés à chaque mesure neutronique donc à des intervalles de temps variables. Incidents : parfois renversés par des animaux.
- B. Des PIEZOMETRES COURTS destinés à suivre l'existence d'une nappe "hypodermique". Profondeur d'installation limitée au sommet des horizons (B) argileux soit environ 40 à 45 cm dans les deux sites. Installation (le 22 février 1978) de tubes en PVC crépinés sur 10 cm sans aucune précaution particulière.
- C. Des PIEZOMETRES PROFONDS destinés à caractériser une éventuelle nappe profonde située au niveau des horizons C ("sables verts" réputés aquifères) du site d'HERY. Premier piézomètre installé le 22 février 1978 jusqu'à environ 155 cm.

Afin d'éviter le colmatage de la crépine et d'éliminer toute circulation (ascendante ou descendante) de l'eau entre tube et sol, des précautions ont été prises lors de l'installation. La solution technique retenue a été celle d'un tube extérieur enfoncé à force et d'un tube intérieur crépiné (voir schéma ci-contre).

Les résultats de ce premier piézomètre profond ayant paru douteux, il en a été installé un deuxième à HERY le 21 mars 1980 ainsi qu'à PONTIGNY selon le même principe.

Relevés le plus souvent possible (au moins à chaque mesure neutronique) et vidés à l'aide d'une petite pompe manuelle.

D. Des TENSIOMETRES A MANOMETRES A MERCURE

Installés (à HERY seulement) le 10 mars 1978 respectivement à 46, 56, 69, 88 et 108 cm (voir figure B). Précautions d'installation : il a été recherché le meilleur contact possible entre la bougie poreuse et le sol. Pour cela, les cannes ont été enfoncées dans un trou de diamètre légèrement inférieur à celui des bougies et ces dernières ont été mises en contact avec le sol par l'intermédiaire d'une boue faite avec l'horizon considéré lui-même.

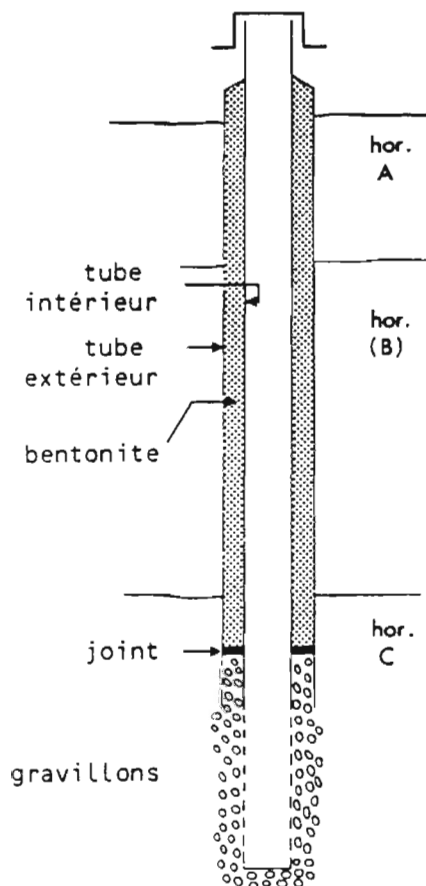
E. Des TUBES pour mesures GAMMA-NEUTRONIQUES :

Deux tubes d'aluminium par site installés le 23 mai 1977 : jusqu'à 179 et 277 cm à HERY jusqu'à 148 et 201 cm à PONTIGNY.

Ces tubes ont été enfoncés à force dans un pré-trou réalisé avec une tarière de diamètre un peu inférieur. Les mesures peuvent concerner la densité humide grâce à une sonde à rayons gamma ou les humidités volumiques à l'aide d'une sonde à neutrons rapides (matériel de marque NEA).

Les mesures ont été d'abord réalisées dans les deux tubes de chaque site afin de pouvoir déceler d'éventuelles anomalies liées à un défaut d'installation. Une très bonne concordance ayant été constatée entre les deux tubes de chaque site, nous avons limité les mesures au tube le plus profond à dater du 7 décembre 1979. Deux pannes de la sonde ont été à déplorer :

- du 9 novembre 1977 au 25 janvier 1978,
- et du 16 mars au 25 mai 1981.



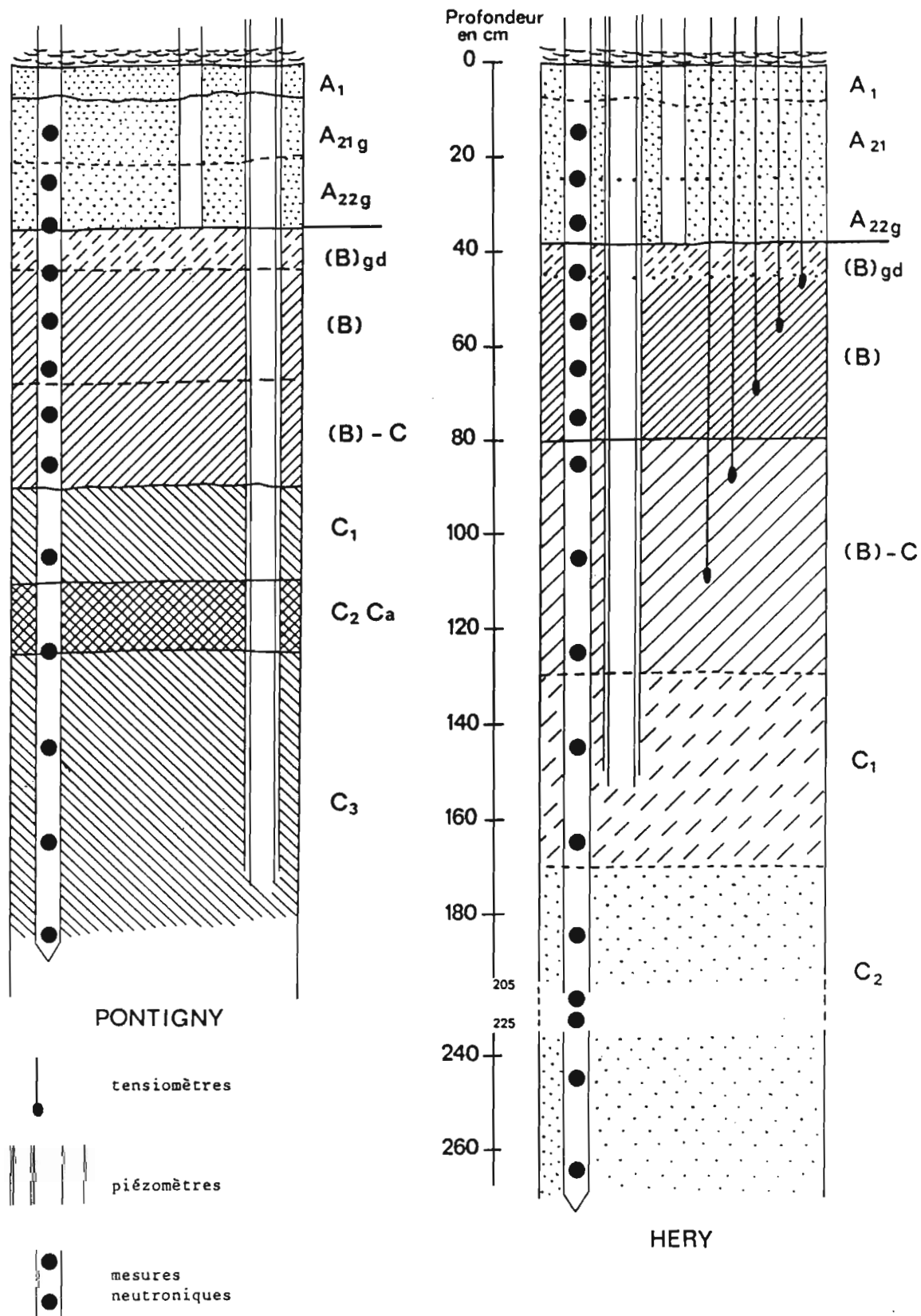


FIGURE B : DISPOSITIFS DE MESURES ET PROFILS PEDOLOGIQUES.

2. PRECIPITATIONS : NOMBRE DE JOURS ET INTENSITE

1971 à 1980	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Minimums	11	3	4	5	7	1	3	4	3	5	9	4	117 (1971)
Maximums	18	20	23	17	20	16	14	18	16	25	21	19	174 (1979)
Moyennes	14,5	12,2	14,0	10,9	13,8	10,9	9,1	9,9	8,4	12,2	14,1	13,6	134,6

TABLEAU D : Nombre de jours de pluie à LORDONNOIS.

D A T E S	A	B	C	D	E
	LORDONNOIS	AUXERRE			
	de 6h. à 6h.	6h. à 6h.	de 6h. à 18 h.		
	en mm	en mm	en mm	en heures	rapport C/D
19 Février 1977	22	15,9	15,5	12,0	1,3
3 Mai	15	16,7	0,8	0,8	1,0
18 Juin	44	26,3	7,5	3,8	2,0
16 Août	41	25,7	3,0	1,6	1,9
6 Octobre	15	24,6	4,5	1,3	3,5
3 Novembre	22	8	1	-	-
24 Janvier 1978	24	15,7	15,3	7,8	2,0
20 Mars	28	19,9	17,2	12,0	1,4
18 Mai	20	16,5	14,0	3,3	4,2
10 Mars 1979	15	11	4	-	-
10 Juin	24	9	6	-	-
15 Août	21	21,3	6,7	4,8	1,4
13 Octobre	18	15,8	15,7	5,8	2,7
5 Novembre	15	11	5	-	-
30 Janvier 1980	22	12	8	-	-
3 Février	25	22,5	8,8	7,3	1,2
26 Mars	15	11	4	-	-
28 Juin	16	9	4	-	-
20 Juillet	21	16,5	14,5	7,8	1,9
25 Août	15	tr	0	-	-
16 Octobre	32	24,5	19,2	3,9	4,9
17 Décembre	16	12	0	-	-
3 Janvier 1981	28	20,0	2,9	7,8	0,4
3 Février	27	12	4	-	-
12 Mars	19	9	5	-	-
10 Mai	16	9	4	-	-
2 Juin	46	25,2	0	0,3	-
21 Septembre	24	23,3	0,1	0,1	1,0
15 Décembre	35	26,1	8,3	7,8	1,1

TABLEAU E : LORDONNOIS. Précipitations quotidiennes > 15 mm record de leur mois (il y en a donc d'autres). Comparaisons aux mêmes dates avec la station d'AUXERRE.
Colonne E = C/D = intensité moyenne des fortes pluies diurnes.

3. HUMIDITES NEUTRONIQUES : ETALONNAGE

(Réalisation et rédaction : R. DARTHOUT)

La sonde gamma-neutronique, introduite dans un tube d'accès, permet de mesurer à différentes profondeurs les densités apparentes humides et les humidités volumiques du sol. On peut en déduire la densité apparente sèche, indispensable pour obtenir avec précision des valeurs d'humidité.

La relation entre le nombre de coups = N et l'humidité volumique (θ cm³/cm³) est, entre certaines limites, de la forme :

$$N = \gamma\theta + \delta$$

En toute rigueur, N étant proportionnel à la quantité totale d'atomes d'hydrogène présents, il faut déterminer la part exacte représentée par l'eau libre seule. L'étalonnage consiste à donner aux paramètres γ et δ les valeurs caractéristiques intrinsèques d'un horizon donné, en se référant aux faits suivants :

- dans les sols sableux la pente des droites est plus forte et le sol sec absorbe moins de neutrons ralentis d'où une diminution de l'ordonnée à l'origine ;
- inversement, dans les sols argileux, la pente est plus faible et l'ordonnée à l'origine plus élevée.

Par ailleurs, pour un sol donné, la densité apparente sèche ρ_s intervient et la forme générale de la relation devient :

$$N = (A\rho_s + B) \theta + (\rho_s + D)$$

En suivant ces formules, on a paramétré des "faisceaux" de droites d'étalonnage.

Les profils hydriques obtenus par la méthode de pesées sur carottes lors de la mise en place des tubes ont été comparés avec les profils hydriques calculés par divers faisceaux paramétrés.* Cette méthode (M. NORMAND, 1973) utilise un programme d'automatisation des calculs (programme USETA du Laboratoire des Sols de l'I.N.R.A. Versailles).

Les densités apparentes mesurées à la sonde gamma ont été vérifiées par des mesures réalisées au densitomètre à membrane jusqu'à 1 m de profondeur, sur une fosse ouverte à proximité immédiate du site.

Trois semaines après l'installation du dispositif on a effectué de nouvelles mesures de densité à la sonde gamma pour s'assurer de la constance de cette valeur essentielle (absence de perturbation consécutive à l'installation des tubes).

Un premier essai a montré qu'il n'était pas possible d'utiliser un faisceau d'étalonnage unique sur toute la hauteur des profils. La succession d'horizons très contrastés au plan textural ne le permettait pas. Les profils ont donc été découpés en tranches successives ayant chacune leur propre faisceau d'étalonnage.

A titre d'exemple, nous présentons les relations en fonction de la densité sèche de deux faisceaux :

Faisceau 1 (HERY et PONTIGNY 0 à 30 cm)
 $N = (16011 \rho_s + 32643,64) \theta + 3366,66 \rho_s + 497,33$

Faisceau 10 (HERY 115 à 255 cm)
 $N = (-85881,8 \rho_s + 192672,71) \theta + 6383 \rho_s - 3831,95$

* des carottages effectués par la suite en période sèche et à proximité des tubes ont fourni de nouveaux profils hydriques gravimétriques qui ont permis de contrôler les profils hydriques calculés.

Ainsi la complexité de l'étalonnage a été accrue, mais on a pu améliorer de manière sensible la corrélation entre les profils hydriques gravimétriques et les profils hydriques neutroniques. Pour l'ensemble des mesures les résultats sont plus satisfaisants à HERY ($r = 0,983$) qu'à PONTIGNY ($r = 0,924$).

Profondeur en cm	H E R Y				P O N T I G N Y			
	Tube n° 1		Tube n° 2		Tube n° 4		Tube n° 5	
15	1,36	1,36	1,27	1,30	1,445	1,35	1,34	1,35
25	1,395	1,37	1,315	1,32	1,43	1,35	1,31	1,35
35	1,385	1,38	1,27	1,30	1,45	1,42	1,40	1,42
45	1,32	1,30	1,255	1,25	1,41	1,40	1,37	1,40
55	1,25	1,30	1,245	1,25	1,395	1,40	1,425	1,42
65	1,305	1,32	1,315	1,32	1,44	1,45	1,49	1,45
75	1,425	1,40	1,395	1,40	1,535	1,52	1,535	1,52
85	1,50	1,50	1,42	1,42	1,56	1,55	1,585	1,55
105	1,66	1,65	1,63	1,65	1,58	1,59	1,635	1,59
125	1,64	1,65	1,64	1,65	1,61	1,65	1,685	1,65
145	1,65	1,65	1,635	1,65			1,69	1,68
165			1,67	1,67			1,715	1,70
185			1,68	1,68				
205			1,695	1,69				
225			1,655	1,65				
	A	B	A	B	A	B	A	B

TABLEAU F : Densités apparentes
 A. Obtenues à la sonde gamma
 B. Retenues pour les calculs d'humidité après confrontation avec les mesures au densitomètre à membrane.

Profondeur en cm	H E R Y		P O N T I G N Y	
	Tube n° 2		Tube n° 5	
	1	2	1	2
15	25,7	25,1	23,7	22,8
25	24,5	23,2	28,1	24,0
35	33,7	34,7	27,8	26,8
45	39,9	39,0	31,4	31,2
55	39,4	39,5	29,9	29,9
65	34,9	36,0	27,0	26,7
75	31,4	32,7	24,0	25,3
85	29,6	26,8	22,7	22,6
105	20,8	20,7	21,5	21,1
125	21,6	21,5	18,1	20,7
145	20,5	20,3	19,6	20,0
165	18,4	17,4	17,8	18,7
185	16,7	16,6	18,7	18,5
205	16,8	17,3		
225	19,1	17,6		

TABLEAU G : Comparaison entre les humidités pondérales neutroniques /après étalonnage (1) et gravimétriques (2)/au 23 Mai 1977.

4. ANALYSE DES COMPTAGES NEUTRONIQUES BRUTS (Figures 23 et 24) ET RELATIONS AVEC LES EVENEMENTS METEOROLOGIQUES

H O R I Z O N	COMPTAGES BRUTS			HUMIDITES VOLUMIQUES
	Valeur mesurée maximale = 100 %	Valeur mesurée minimale = 0 %	différence	fourchette en %
HERY - 35 cm	740	418	322	24,1
- 45 cm	750	594	156	12,0
- 85 cm	665	573	92	7,1
- 125 cm	590	487	103	8,4
- 165 cm	572	440	132	11,1
- 205 cm	528	400	128	11,0
- 245 cm	488	360	128	11,6
PONTIGNY - 15 cm	704	241	463	34,3
- 35 cm	720	492	228	16,0
- 45 cm	698	529	169	13,6
- 65 cm	666	503	163	12,9
- 85 cm	621	476	145	12,2
- 105 cm	604	478	126	11,2
- 125 cm	602	440	162	13,7
- 165 cm	607	449	158	12,2

TABLEAU H : Comptages bruts : intervalles de variations et correspondance en humidité volumique.

On notera que le découpage des périodes n'est pas le même pour les deux sites car les deux sols n'ont pas réagi de la même façon aux périétés climatiques. Les déficits en eau et les excès d'eau sont ceux calculés par les bilans hydriques, méthode de Turc, avec une réserve de 110 mm à HERY et 150 mm à PONTIGNY. Les % d'humidités correspondent à une expression standard. Il s'agit de % par rapport à la variation maximale observée au cours des cinq années.

HERY - Tube n° 2 - mesures de 15cm à 265cm

PERIODE DU 23 MAI AU 9 NOVEMBRE 1977 (mesure n° 1 à 11)

Climat : de février à juillet inclus, les pluies ont été anormalement abondantes (458 mm au lieu de 313 en moyenne). En août, septembre et octobre, il est tombé 193 mm (dont 142 mm en août) au lieu de 175 mm en moyenne.

Recueil pluviomètre : 339 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 5,4 mm

Entre les niveaux 35 et 165, les horizons semblent demeurer saturés d'eau de manière stable. Seul phénomène notable et curieux : un dessèchement net et régulier à partir du 21 juillet du niveau 205 et surtout du niveau 245 cm. Ce phénomène de profondeur ne peut pas être mis en relation avec une cause climatique puisque, justement, 1977 connaît un été très pluvieux succédant à un printemps arrosé. Une hypothèse peut être proposée : il pourrait s'agir d'une nappe phréatique profonde se retirant.

PERIODE DU 9 NOVEMBRE 1977 AU 25 JANVIER 1978 : la sonde est en panne.

PERIODE DU 25 JANVIER AU 3 AOUT 1978 (mesure n° 12 à 23)

Climat : du 1er novembre au 30 avril, les pluies ont à nouveau été particulièrement abondantes (503 mm au lieu de 341 mm en moyenne). En mai, juin et juillet il est tombé 147 mm soit 14 % de moins qu'en moyenne.

Recueil pluviomètre : 374 mm

Déficit en eau : 24 mm

Excès d'eau : 185 mm en février, mars et début avril.

Au 25 janvier, les niveaux les plus profonds ont retrouvé leur humidité maximale (retour de la nappe phréatique ?). Tous les niveaux de 35 cm à 245 cm se trouvent donc à leur maxima. Un très léger dessèchement s'amorce dans les 50 premiers centimètres du profil. A partir du 6 juillet le niveau 245 cm commence à se dessécher comme l'année précédente.

PERIODE DU 3 AOUT AU 6 DECEMBRE 1978 (mesures n° 23 à 30)

Climat : en août, septembre et octobre les précipitations ont été très peu abondantes : 59 mm au total alors que la moyenne pour ces trois mois est de 175 mm. C'est la période la plus sèche de toute l'expérience (Tableau 32). Novembre aussi a été sec : 23 mm au lieu de 60 mm en moyenne.

Recueil pluviomètre : 75 mm (en 124 jours)

Déficit en eau : 159 mm

Excès d'eau : 0

De 35 à 85 cm le dessèchement est rapide, très important (il atteint de 20 à 0 %). Pour les couches 125, 165 et 205 cm, il est à la fois retardé dans le temps, moins poussé (il n'atteint que 40 à 20 %) et plus progressif. Le niveau 245 cm poursuit son dessèchement.

PERIODE DU 6 DECEMBRE 1978 AU 21 MAI 1979 (mesures n° 30 à 36)

Climat : février, mars et avril 1979 sont fortement arrosés (269 mm au lieu de 143 mm en moyenne). Décembre 1978 et mai 1979 également : respectivement 100 mm et 86 mm au lieu des 57 mm et 66 mm en moyenne. (Total : 455 mm).

Recueil pluviomètre : 388 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 218 mm

Cet excès d'eau ne débute qu'en janvier ou février après reconstitution de la réserve du sol.

Du 6 décembre au 24 janvier, la réhumectation se fait rapidement et atteint les valeurs hivernales habituelles, en ce qui concerne les niveaux les plus superficiels (35, 45 et 85 cm). Le niveau 125 cm montre un comportement particulier : sa réhumectation est lente, progressive et n'atteint au 21 mai que 67 %. Les niveaux plus profonds ne manifestent aucune réhumectation et demeurent à des valeurs de 30 ou 20 % ; et ceci malgré des précipitations exceptionnellement abondantes.

LVI.

PERIODE DU 21 MAI AU 10 OCTOBRE 1979 (mesures n° 36 à 40)

Climat : juillet et septembre sont plutôt secs, août est plutôt humide, juin est "normal". Au total pour les quatre mois on enregistre 177 mm de pluies au lieu de 226 en moyenne.

Recueil pluviomètre : non relevé le 10 octobre.

Déficit en eau : 104 mm

Excès d'eau : 0

Pour les niveaux 35, 45 et 85 cm le dessèchement est rapide et quasi-total (passage de 80 % à 0 %). Il en est de même pour la couche 125 cm mais la réhumectation n'était pas complète et la dessiccation est plus progressive. En ce qui concerne les trois niveaux les plus profonds figurant sur le diagramme 23, la perte d'eau se poursuit lentement pour atteindre environ 10 % (de la variation maximale, expression standard).

PERIODE DU 10 OCTOBRE 1979 AU 30 JUILLET 1980 (mesures n° 40 à 56)

Climat : toute cette période est excédentaire en ce qui concerne les précipitations par rapport aux moyennes ; soit 733 mm au lieu de 514.

Recueil pluviomètre : environ 691 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 283 mm jusqu'au 30 mars 1980

Les niveaux 35 et 45 cm se réhumectent très rapidement et se retrouvent à un taux de 60 ou 80 % dès le 7 novembre. Les niveaux 85 et 125 cm se réhumectent également mais avec retard. Un comptage de 60 % est atteint à 85 cm le 7 décembre 1979 et seulement le 9 avril pour la couche située à 125 cm. Cette dernière amorçe sa dessiccation estivale dès le mois de juillet. Les horizons profonds ne sont pas affectés par la réhumectation superficielle et se maintiennent à des valeurs inférieures à 20 %.

PERIODE DU 30 JUILLET AU 30 SEPTEMBRE 1980 (mesures n° 56 à 58)

Climat : il pleut 80 mm durant ces deux mois soit nettement moins que la moyenne (122 mm).

Recueil pluviomètre : 32 mm environ (?)

Déficit en eau : 58 mm

Excès d'eau : 0

Le dessèchement est rapide et important pour les niveaux 35, 45 et 85 cm (moins de 15 %). Il s'opère un peu plus lentement à 125 cm. Aucun changement en profondeur.

PERIODE DU 30 SEPTEMBRE 1980 AU 15 JANVIER 1981 (mesures n° 58 à 63)

Climat : 300 mm

Recueil pluviomètre : 232 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 132 mm

Au cours de cette période, la réhumectation se fait progressivement et affecte les 45 premiers centimètres. Elle est terminée (70 à 90 %) au 15 janvier 1981 jusqu'à 85 cm. En revanche le niveau 125 cm reste sec. Les couches encore plus profondes demeurent invariables, semblant hors d'atteinte des aléas climatiques.

PERIODE DU 15 JANVIER AU 7 JUILLET 1981 (mesures n° 63 à 70)

Climat : précipitations de 476 mm (336 mm en moyenne pour la même période).

Recueil pluviomètre : 388 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 130 mm du 15 janvier à la fin mars et 56 mm en juin, soit au total : 186 mm.

C'est une période de saturation ou d'engorgement par l'eau des horizons superficiels (15 à 85 cm). Le niveau situé à 125 cm se singularise à nouveau à la fois par sa réhumectation tardive (réalisée seulement au 25 mai) et peut-être aussi par un début de dessèchement précoce. Les horizons très profonds restent immuables.

PERIODE DU 7 JUILLET AU 8 OCTOBRE 1981 (mesures n° 70 à 75)

Climat : 175 mm de pluies à Lordonnois.

Recueil pluviomètre : 120 mm

Déficit en eau : 19 mm

Excès d'eau : 0

C'est une période de dessèchement progressif qui affecte toutes les couches du sol jusqu'à 125 cm inclus. Aucune variation n'est observable à 165 cm et plus bas.

PERIODE DU 8 OCTOBRE 1981 AU 7 JANVIER 1982 (mesures n° 75 à 80)

Climat : 282 mm de précipitations.

Recueil pluviomètre : 241 mm

Déficit en eau : 0

Excès d'eau : 163 mm

Noter d'abord que la phase de dessèchement se prolonge jusqu'au 22 octobre à 85 cm et jusqu'au 10 décembre à 125 cm. Au 7 janvier 1982 la réhumectation complète est acquise pour tous les horizons jusqu'à 85 cm. A cette même date elle débute à peine à 125 cm. Les niveaux très profonds persistent dans leur invariance.

PONTIGNY - Tube n° 5 - mesures de 15cm à 185cm

PERIODE DU 23 MAI AU 9 NOVEMBRE 1977 (mesures n° 1 à 11)

Durant cette période, deux dessiccations se marquent qui culminent le 5 août et le 9 novembre. Elles ont tendance à se confondre au delà de 65 cm mais n'excèdent pas 60 %.

PERIODE DU 9 NOVEMBRE 1977 AU 23 MAI 1978 (mesures n° 11 à 18)

La réhumectation à plus de 80 % est réalisée dès le 25 janvier pour tous les niveaux. Elle s'y maintient de façon continue jusqu'au 23 mai. Les quelques variations des horizons les plus superficiels ne sont que des péripéties de peu d'importance.

PERIODE DU 23 MAI AU 6 DECEMBRE 1978 (mesures n° 18 à 30)

La dessiccation débute le 8 juin en ce qui concerne les niveaux supérieurs, plutôt fin juin ou début juillet pour les horizons profonds. Le dessèchement maximal est atteint le 24 août pour le niveau 15 cm et de plus en plus tard à mesure qu'il s'agit d'un niveau plus profond. Il se maintient jusqu'au 6 décembre 1978. On notera que la dessiccation du profil de PONTIGNY débute presque deux mois avant celle du profil d'HERY ; elle est très importante et subsiste environ 90 jours. Il est vrai que cette période a été particulièrement sèche.

PERIODE DU 6 DECEMBRE 1978 AU 21 MAI 1979 (mesures n° 30 à 36)

La réhumectation hivernale s'amorce au 27 décembre mais seulement en surface à 15 et 35 cm. En profondeur elle est, à cette date, modeste ou nulle.

LVIII.

La réhumectation complète (plus de 80 %) est réalisée au 24 janvier 1979 jusqu'à 65 cm, au 28 février pour les niveaux 85, 105 et 125 cm, il faut attendre le 25 avril pour ce qui concerne le niveau 165 cm.

PERIODE DU 21 MAI AU 10 OCTOBRE 1979 (mesures n° 36 à 40)

Du 21 mai au 26 juillet se produit un dessèchement très important qui affecte toutes les couches du sol. Les comptages bruts se maintiennent à moins de 20 % et atteignent 0 % le 10 octobre. S'agit-il vraiment du maximum de sécheresse ou d'un léger incident lié au fonctionnement de la sonde ?

PERIODE DU 10 OCTOBRE 1979 AU 6 MAI 1980 (mesures n° 40 à 52)

La réhumectation est complète (plus de 70 %) au 7 novembre pour le niveau 35 cm ; au 14 novembre pour les niveaux 45 et 65 cm ; au 7 décembre pour la couche située à 85 cm ; au 9 janvier pour 105 cm et seulement au 26 février pour les deux niveaux les plus profonds. Le décalage dans le temps de la réhumectation hivernale est donc particulièrement net.

PERIODE DU 6 MAI AU 30 SEPTEMBRE 1980 (mesures n° 52 à 58)

Cette période voit se produire un dessèchement intense mais progressif et cela pour tous les niveaux de façon assez parallèle.

PERIODE DU 30 SEPTEMBRE 1980 AU 25 MAI 1981 (mesures n° 58 à 67)

La réhumectation est lente, progressive. On ne dépasse 50 % que le 9 décembre 1980 pour les niveaux 15, 35, 45 et 65 cm. Il faut attendre le 15 janvier 1981 pour dépasser les 50 % à 85 et 105 cm. Au 29 janvier 1981 cette réhumectation n'a pas affecté les niveaux les plus profonds 125 et 165 cm alors qu'elle est réalisée le 25 mai : malheureusement nous ne disposons pas de mesures entre ces deux dates (pannes).

PERIODE DU 25 MAI AU 8 OCTOBRE (mesures n° 67 à 75)

Les horizons se comportent très différemment les uns des autres. A 15 et 35 cm, le dessèchement atteint son maximum (20 à 30 %) vers le 1er septembre, puis on note un début de réhumectation. Les niveaux 45, 65 et 85 cm se dessèchent progressivement jusqu'à environ 20 % mais la réhumectation n'est pas amorcée au 8 octobre. Enfin, les niveaux les plus profonds (105, 125 et 165 cm) subissent également un assèchement mais avant d'avoir été aussi complètement réhumectés que les années précédentes. On notera en outre une nette dessiccation entre le 10 et le 23 juin (mesures n° 68 et 69) affectant les niveaux 15, 35, 45, 65 et 85 cm. Il n'est tombé en effet que 0,7 mm de pluies durant ces 13 jours (à Auxerre). Après quoi, ces mêmes horizons ont tous marqué une sensible réhydratation entre le 23 juin et le 7 juillet (mesures n° 69 et 70) suite à des précipitations de 84,3 mm en 14 jours (à Auxerre).

PERIODE DU 8 OCTOBRE 1981 AU 7 JANVIER 1982 (mesures n° 75 à 80)

La réhumectation se complète à plus de 80 % dans les niveaux les plus superficiels (15, 35 et 45 cm). A 65 et 85 cm la réhumectation atteint également 80 % mais la période de dessèchement d'été et d'automne s'est prolongée jusqu'au 22 octobre. En ce qui concerne les niveaux les plus profonds (105, 125 et 165 cm) ils ne sont pratiquement pas atteints par la réhumectation au 7 janvier 1982 (comptages bruts inférieurs à 50 %) dernière mesure de la chronique.

ANNEXE N° 6

DONNEES ANNEXES RELATIVES AUX BILANS ISOQUARTZ

DONNEES ANNEXES RELATIVES AUX BILANS ISOQUARTZ.

1. PROFIL PONTIGNY

PRESENTATION DU PROFIL et DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

A. APPROCHE QUALITATIVE.

Le profil est développé dans une argile grise, calcaire, sableuse et glauconieuse de l'Albien supérieur.

Les renseignements qualitatifs proviennent de :

- examens microscopiques de lames minces ;
- examens à la loupe binoculaire des fractions $> 20 \mu\text{m}$;
- diffraction des rayons X sur les fractions $< 2 \mu\text{m}$ et limons ;
- analyses thermiques différentielles et thermo-pondérales des "argiles";
- détermination et comptages des "minéraux lourds" et des "minéraux légers".

La glauconie en grains est présente, mais en moins grande quantité que pour le profil d'HERY. Elle est absente des horizons A. Dans l'horizon (B)₁ elle apparaît sous ses deux formes (intacte vert-foncé et altérée vert-ocre) principalement dans les fractions de 50 à 200 μm (sables fins). Dans les horizons (B)₂ et C les grains de glauconie semblent intacts et ne se rencontrent que dans les fractions sables fins.

En ce qui concerne les minéraux lourds, les cortèges des horizons A et (B) sont très semblables. Seuls sont présents en quantité notable les opaques (plus des deux tiers), le zircon, le disthène, le rutile, la tourmaline. La somme des minéraux lourds n'excède pas 0,14 % pondéral des fractions 50-500 μm . La muscovite est présente mais elle n'a pas pu être évaluée. Les feldspaths, peu abondants, sont représentés principalement par l'orthose.

La nature des minéraux des fractions "argile" ne varie guère d'un horizon à l'autre, seules les proportions semblent se modifier :

Importance des pics	Quartz	Kaolinite	Minéraux 10 Å non gonflants	Minéraux à 14 Å gonflant à 17 Å mais refermant à 10 Å après chauffage à 400°C.
Horizons A	2	3	2	2
Horizons (B)	1	2	2	4
Horizons C	1	2	2	4

Les diagrammes d'ATD ne présentent ni les pics caractéristiques du quartz ni ceux de la kaolinite. Goethite et hydroxydes n'apparaissent que dans l'horizon C. Les ATP, par contre, mettent en évidence l'existence d'une certaine quantité de kaolinite dans tous les horizons, vue l'importance des pertes au feu.

B. APPROCHE QUANTITATIVE.

a) "Squelettes granulométriques" :

Malgré l'existence de grains de glauconie dans les fractions sables fins des horizons (B) et C, les "squelettes granulométriques" sont bien homogènes (voir figure C et chapitre III).

De 0 à 150 cm, il n'apparaît pas de discontinuité granulométrique et les horizons C, quoique calcaires, pourront constituer de bons horizons de référence lors de la réalisation du bilan de matières.

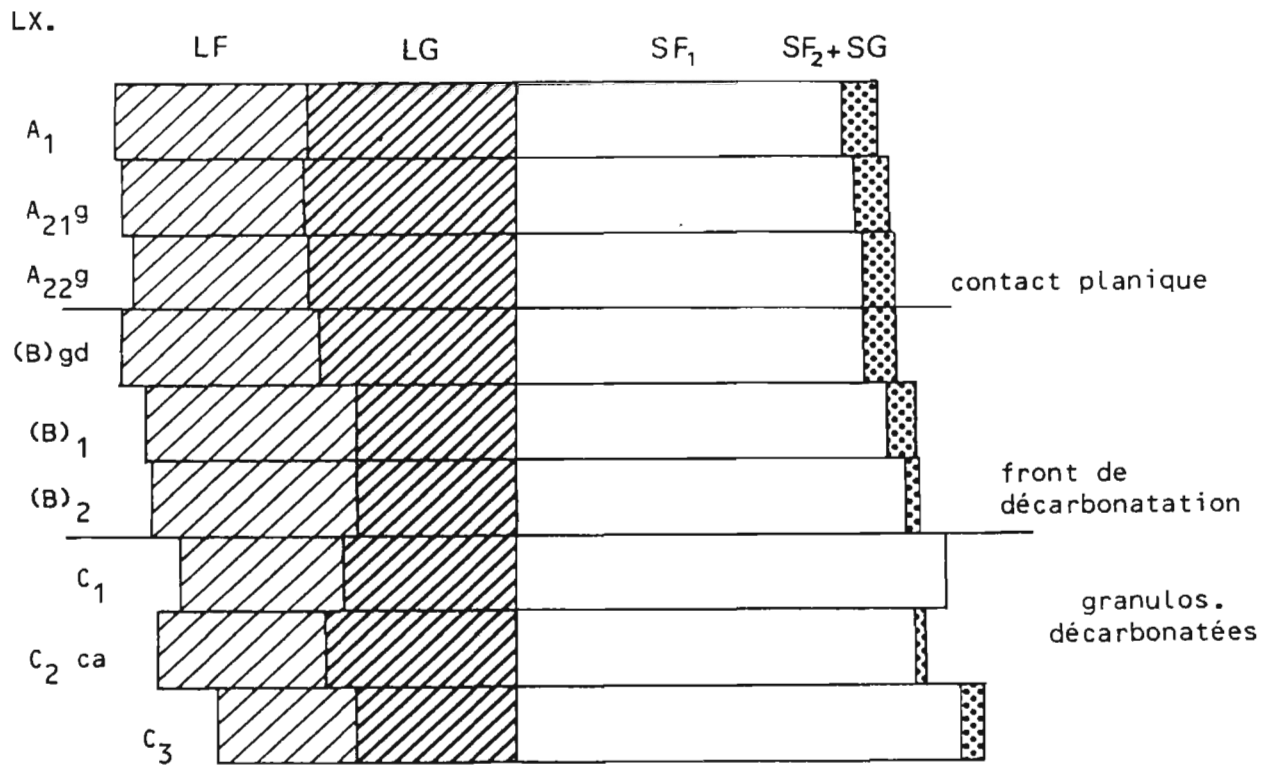


FIGURE C : "Squelettes granulométriques".

b) Analyses chimiques totales (Tableau i) :

Les fractions < 2 μm sont assez semblables entre elles. Seul l'horizon A₂₁ est nettement plus riche en SiO₂.

Par rapport aux fractions argileuses du profil d'HERY, il y a plus d'Al₂O₃ et beaucoup moins de Fe₂O₃ (environ 8 % au lieu d'à peu près 16 %). Ces différences pourraient être le reflet de la présence de kaolinite en quantité notable et de l'existence d'une glauconite très déferrifiée ou bien d'un mélange glauconite + illite.

Les limons fins, riches en aluminium et relativement riches en fer, s'avèrent cependant plus riches en Al₂O₃ et beaucoup moins riches en Fe₂O₃ que les limons fins du profil d'HERY. On peut raisonnablement penser que c'est la conséquence d'une plus grande abondance de kaolinite grossière et/ou de feldspaths et d'une moindre quantité de glauconite.

Les limons grossiers présentent de très fortes teneurs en SiO₂. Ils sont certainement constitués essentiellement de quartz et contiennent peu d'autres minéraux.

Enfin, la présence de grains de glauconie transparait dans les résultats de l'analyse chimique des sables fins (50 - 100 μm) des horizons (B) et C.

Quelles que soient les fractions granulométriques considérées, les teneurs en SiO₂ s'élèvent fortement dans l'horizon A₂. C'est sans doute l'indice d'une accumulation relative du quartz et des feldspaths correspondant au départ des minéraux phylliteux.

c) Composition des glauconies :

La glauconie en grains a pu être isolée par séparation magnétique dans deux fractions granulométriques.

Ces résultats sont très voisins de ceux obtenus pour les cinq glauconies du profil d'HERY. Les deux échantillons analysés proviennent de deux horizons C encore calcaire : on pourra les considérer comme représentant encore des glauconites "intactes".

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	Perte au feu
HORIZONS TOTAUX									
A ₂₁	87,3	5,38	1,89	1,16	0,32	0,18	0,15	0,99	
A ₂₂	85,2	6,81	2,72	1,43	0,41	0,19	0,11	0,93	
(B) ₁	69,7	12,58	5,99	2,34	1,18	0,15	0,49	0,79	
(B) ₂	70,8	12,76	5,53	2,29	1,23	0,11	0,66	0,83	
C ₂ Ca *	74,2	12,60	6,16	2,34	1,35	0,12	0,95	0,91	
FRACTION < 2 µm									
A ₂₁	54,6	18,48	6,76	2,36	3,29	0,17	0,12	1,05	14,70
(B) ₁	46,7	18,97	8,61	2,80	3,55	0,20	0,12	0,57	16,30
(B) ₂	47,1	17,83	7,74	2,68	4,28	0,13	0,12	0,54	16,70
C ₂ Ca *	46,4	21,08	8,26	2,92	3,64	0,17	1,03	0,52	16,20
LIMONS FINS (2 - 20 µm)									
A ₂₁	88,7	5,39	1,04	1,86	0,40	0,38	0,38	1,63	2,90
(B) ₁	73,5	13,23	3,59	2,84	0,66	0,27	0,41	1,57	6,50
(B) ₂	72,2	13,98	3,30	3,05	0,81	0,23	0,52	1,52	3,70
C ₂ Ca *	63,1	16,62	5,69	3,67	1,77	0,15	0,56	1,14	9,40
LIMONS GROSSIERS (20 - 50 µm)									
A ₂₁	97,8	1,64	0,39	1,06	0,18	0,22	0,27	1,50	0,30
(B) ₁	92,3	3,03	1,60	1,45	0,41	0,19	0,31	1,66	0,90
(B) ₂	91,4	3,24	1,86	1,55	0,43	0,08	0,22	1,74	0,80
C ₂ Ca *	87,6	4,59	3,32	1,82	0,79	0,08	0,30	1,75	-
SABLES FINS (50 - 100 µm)									
A ₂₁	100,3	0,72	0,50	0,67	0,05	0,05	0,07	0,28	0,40
(B) ₁	95,1	2,25	2,29	1,25	0,33	0,05	0,17	0,40	1,30
(B) ₂	94,1	2,00	2,39	1,31	0,33	0,04	0,20	0,40	1,60
C ₂ Ca *	88,2	3,29	4,21	1,96	0,67	0,07	0,21	0,44	2,45

TABLEAU i :
ANALYSES CHIMIQUES TOTALES (EN %) DES HORIZONS ET DES PRINCIPALES
FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

* Valeurs obtenues après exclusion du CO₃Ca.

HORIZON	EN % DE L'ECHANTILLON TOTAL								Perte au feu
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	
HORIZON C ₁ 50-100 µm	47,7	11,15	17,96	6,50	2,77	1,22	0,05	0,53	10,8
HORIZON C ₂ 100-200 µm	46,0	10,58	17,90	7,48	3,08	1,02	0,04	0,13	12,2

TABLEAU J : COMPOSITION DE DEUX GLAUCONIES.

C. DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ.

a) Reconstitutions minéralogiques des limons et sables par voie chimique :

Nous ne reviendrons pas sur les principes de ces reconstitutions car ils ont été définis précisément à propos du profil d'HERY.

Notons seulement que l'erreur faite en négligeant les minéraux phylliteux contenus dans les fractions limons fins n'est plus acceptable. En effet, ces fractions 2 - 20 µm représentent environ 20 % en ce qui concerne les horizons A et 15 % des horizons (B). La reconstitution minéralogique des limons fins devra donc tenir compte, même de façon approximative, de la présence de glauconite plus ou moins altérée et de kaolinite grossière.

La méthode du C.P.B. de NANCY n'ayant pas pu être mise en oeuvre, seules les voies de reconstitution 3 et 4 ont pu être suivies.

VOIE 3 : RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE A PARTIR DES ANALYSES TOTALES
(HORIZONS TOTAUX).

	Quartz	Glauconie en grains	Orthose	Albite + Anorthite	Muscovite	Rutile	Somme des 7 Minéraux Σ	Somme granulo- métrique $\frac{\bar{L} + \bar{S}}{2}$ non calcaire
HORIZON A ₂₁	74,4	0,4	4,2	1,5	2,2	0,8	83,5	81,9
HORIZON (B) ₁	42,1	4,0	2,5	2,4	4,1	0,5	55,6	50,7
HORIZON (B) ₂	43,7	6,8	2,2	2,9	3,8	0,6	60,0	55,0
HORIZON C _{2Ca}	36,3	9,9	1,9	1,6	0	0,5	50,2	45,7

TABLEAU K :
RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE DES $\frac{\bar{L} + \bar{S}}{2}$
(VOIE 3) EN % DE LA TERRE FINE TOTALE
CALCULS SANS KAOLINITE SUR LA BASE DE Fe_2O_3 .

Les résultats du tableau K sont à l'évidence imparfaits, notamment en ce qui concerne les minéraux peu représentés sur lesquels les erreurs relatives sont certainement très importantes. La colonne de droite $\frac{\bar{L} + \bar{S}}{2}$ (granulométrie) est à comparer à la colonne Σ . Il est ainsi possible de vérifier la qualité de la reconstitution.

VOIE 4 : RECONSTITUTION MINÉRALOGIQUE A PARTIR DES ANALYSES TOTALES
(FRACTIONS GRANULOMÉTRIQUES).

Pour les limons fins des horizons (B) et C. Nous avons fondé les calculs sur l'hypothèse qu'il existait des produits de composition exactement intermédiaire entre celle de la glauconite intacte et celles des fractions $< 2 \mu m$ actuelles. Pour l'horizon A₂₁ l'hypothèse a été faite que Fe_2O_3 et MgO ne provenaient plus de glauconite intacte mais seulement de minéraux phylliteux identiques à ceux de la fraction $< 2 \mu m$. Ces bases de calcul étant incertaines, les résultats seront sujets à caution.

HORIZONS	Limons fins (2-20 μm)	Limons grossiers (20-50 μm)	Sables fins (50-100 μm)	Sables fins *	Sables grossiers *	$\Sigma =$ quartz total de $\frac{\bar{L} + \bar{S}}{2}$
A ₂₁	73,3 (14,4)	91,7 (20,9)	96,4 (34,9)	62 (0,7)	98 (2,1)	(73,0)
(B) ₁	54 (7,6)	84 (8,9)	87 (21,4)	80 (0,5)	96 (0,8)	(39,2)
(B) ₂	53 (7,9)	82 (9,4)	85,5 (24,1)	80 (0,1)	96 (0,3)	(41,8)
C _{2Ca}	37,6 (3,7)	77,4 (8,9)	76,6 (18,2)	45 (0,2)	96 (0,2)	(31,2)

* Estimation par comptage.

TABLEAU L :
TENEURS EN QUARTZ OBTENUES PAR LA VOIE 4.
- EN % DE LA FRACTION CONSIDÉRÉE
- EN % DE LA TERRE FINE TOTALE.

HORIZONS	Limons fins ** (2-20 μ m)	Limons grossiers (20-50 μ m)	Sables fins ¹ (50-100 μ m)	Sables fins ² *	Sables grossiers *	Σ = glauconie en grain totale de $\frac{L}{L+S}$
A ₂₁	0	2,5 (0,6)	2,3 (0,8)	0	0	1,4
(B) ₁	14,4 (2,0)	9,0 (1,0)	12,3 (3,0)	15 (0,1)	0	6,1
(B) ₂	12,5 (1,9)	11 (1,3)	12,6 (3,6)	15	0	6,8
C ₂ Ca	21,6 (2,1)	18,5 (2,1)	23,5 (5,6)	40 (0,2)	0	10,0

* Estimation par comptage.

** Hypothétique.

TABLEAU M :
TENEURS EN GLAUCONITE EN GRAINS OBTENUES PAR LA VOIE 4
- EN % DE LA FRACTION CONSIDEREE
- EN % DE LA TERRE FINE TOTALE.

On notera que la roche-mère de Pontigny est 3 à 4 fois moins riche en grains de glauconie que celle de Héry.

b) Déterminations du quartz par dissolution sélective
(Méthode Kiely-Jackson)

Nous ne présenterons ici que les résultats concernant la dissolution sélective des horizons totaux (voie 5) et des fractions "argiles" (tableaux N et O). Le complément à 100 % correspond normalement (dans le premier tableau) à la somme $\frac{K}{Kaolinite + minéraux lourds + matières organiques + calcaire + l'humidité}$. Dans le deuxième tableau, le complément à 100 % ne peut correspondre qu'à la kaolinite + minéraux titanés.

HORIZONS TOTAUX	QUARTZ	ARGILES MICACEES *	FELDSPATHS			Σ	COMPLEMENT à 100 %
			K	Ca	Na		
HORIZON A ₂₁	72,7	7,97	4,15	0,16	1,75	86,7	13,3
HORIZON (B) ₁	41,7	26,61	2,45	0,11	1,01	71,9	28,1
HORIZON (B) ₂	42,6	27,83	2,18	0,05	0,64	73,3	26,7
HORIZON C ₂ Ca	35,0	21,89	1,90	0,11	0,37	59,3	40,7

TABLEAU N :
RESULTATS FOURNIS PAR LA METHODE KIELY-JACKSON APPLIQUEE AUX HORIZONS TOTAUX
(EN % DE LA TERRE FINE TOTALE).

* A 7,4 % de K₂O, par hypothèse de calcul.

FRACTIONS < 2 μ m	QUARTZ	ARGILES MICACEES *	FELDSPATHS			Σ	COMPLEMENT à 100 %
			K	Ca	Na		
HORIZON A ₂₁	15,7	31,07	1,18	0,24	0,82	49,0	51,0
HORIZON (B) ₁	4,0	29,72	0,79	0,08	0,82	35,4	64,6
HORIZON (B) ₂	3,7	40,39	0,39	0,08	0,41	45,0	55,0
HORIZON C ₂ Ca	2,9	42,56	0,53	0,24	0,41	46,6	53,4

TABLEAU O :
RESULTATS FOURNIS PAR LA METHODE KIELY-JACKSON
APPLIQUEE AUX FRACTIONS INFERIEURES A DEUX MICROMETRES
(EN % DE L'ECHANTILLON TOTAL).

* A 7,4 % de K₂O, par hypothèse de calcul.

L'estimation des argiles micacées (minéraux phylliteux 2/1 potassiques) est très difficile. La méthode de dissolution sélective fournit une valeur pour le K_2O de ces argiles. Mais il est ensuite impossible de savoir avec précision quel coefficient il faut utiliser pour passer du % de K_2O des argiles aux taux d'argiles micacées. Le chiffre utilisé ici (7,4 %) correspondrait à de la glauconite absolument intacte. Il est très certainement trop élevé puisque la teneur en K_2O de la fraction granulométrique "argile" n'excède en aucun cas 2,9 % (tableau i).

Les évaluations des argiles micacées sont donc certainement très sous-estimées.

La dissolution sélective au pyrosulfate de sodium des minéraux autres que le quartz et les feldspaths permet d'appréhender les teneurs en quartz des fractions $< 2 \mu m$.

Les valeurs présentées dans le tableau 0 correspondent à :

- 2,43 % de la terre fine totale pour l'horizon A₂₁
- 1,77 % de la terre fine totale pour l'horizon (B)₁
- 1,48 % de la terre fine totale pour l'horizon (B)₂
- 0,72 % de la terre fine totale pour l'horizon C₂Ca

c) Récapitulation :

L'ensemble des données acquises par les trois voies différentes est rassemblé dans le tableau P .

Les teneurs en quartz très fin $< 2 \mu m$ ont été ajoutées aux résultats obtenus par les voies 3 et 4 qui ne concernaient que les fractions /sables + limons/.

	VOIE 3	VOIE 4	VOIE 5	MOYENNE pondérée retenue pour le bilan isoquartz
	Reconstitution à partir des analyses chimiques totales courantes		Méthode Kiely-Jackson	
	HORIZON TOTAL	SOMME DES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES	(HORIZON TOTAL)	
HORIZON A ₂₁	76,8	75,4	72,7	74,8
HORIZON (B) ₁	43,9	41,0	41,7	42,5
HORIZON (B) ₂	42,2	43,3	42,6	42,5
HORIZON C ₂ Ca	37,0	31,9	35,0	36,1

TABLEAU P :

TENEURS EN QUARTZ OBTENUES PAR LES TROIS VOIES DE CALCUL
(RESULTATS EXPRIMES EN % DE LA TERRE FINE TOTALE).

	VOIE 3	VOIE 4	VOIE 5	MOYENNE
HORIZON C ₂ Ca	50,3	43,4	47,6	49,1

TABLEAU Q :

TENEURS EN QUARTZ DE L'HORIZON C₂Ca
(RESULTATS EXPRIMES EN % DE LA TERRE FINE DECARBONATEE).

2. PROFIL REBOURSEAUX

PRESENTATION DU PROFIL et DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

A. APPROCHE QUALITATIVE.

Ce sol est développé dans une argile non calcaire et non glauconieuse de l'Albo-cénomaniens.

Les informations qualitatives dont nous disposons proviennent :

- examens microscopiques : pas de glauconie en grains ; quartz quasi-exclusif dans les fractions sables ;

- rayons X : la kaolinite est présente dans tous les horizons. En A il y a aussi des minéraux à 10 Å et d'autres à 14 Å non gonflants. Dans les horizons (B)-C les minéraux à 10 Å ne sont pratiquement plus visibles sur les diagrammes, par contre on observe un pic très net et très large de 14 à 16 Å, ce pic se déplaçant jusqu'à 18 Å avec l'éthylène-glycol. Les horizons (B) présentent une composition intermédiaire : présence simultanée de pics étroits à 7 et 10 Å et de pics larges à 14-16 Å. Il semble donc y avoir différenciation verticale dans la nature des fractions "argile" : kaolinite, illite (ou glauconite) et smectites en (B) ; kaolinite et smectites dominantes en (B)-C ;

- ATD : la forme des courbes indique que la kaolinite est peu abondante, du même ordre de grandeur dans tous les horizons : 5 à 10 %. Quant au quartz, il n'est pas visible, il doit donc rester inférieur lui aussi à 5-10 % ;

- ATP : des calculs très hypothétiques et seulement semi-quantitatifs réalisés sur les courbes thermo-pondérales fournissent les résultats suivants :

		QUARTZ	KAOLINITE	ILLITE	SMECTITES
FRACTIONS < 2 µm	Hor. A en %	8	3	48	41
	Hor. (B) en %	4	5	23	69
	Hor. (B)-C en %	3	8	0	89

B. APPROCHE QUANTITATIVE.

a) "Squelettes granulométriques" :

Les chiffres du tableau R montrent que, dans son ensemble, le profil REBOURSEAUX paraît homogène. Dans le détail, on décèle cependant de nombreuses petites variations touchant presque toutes les fractions (imperfections de l'analyse granulométrique ?).

	EN % DE LEUR SOMME					
	LF	LG	SF1	SF2	SG1	SG2 + SG3
A21	35,5	35,2	16,5	4,0	6,6	2,2
A22g	35,4	36,7	16,2	3,8	5,8	2,0
A/(B)	39,5	37,6	14,4	2,8	4,1	1,6
(B)1	41,9	35,7	14,4	2,9	3,7	1,3
(B)2	38,3	35,3	14,7	3,2	5,7	2,8
(B)-C1	39,8	35,6	13,7	3,0	5,3	2,6
(B)-C2	43,6	35,3	13,6	1,7	2,5	3,3

TABLEAU R :
PROFIL REBOURSEAUX. "SQUELETTES GRANULOMETRIQUES".

b) Analyses chimiques totales - Le problème du potassium (tableau S) :

Pour ce profil, nous avons fait analyser tous les horizons de façon à pouvoir effectuer ensuite un bilan isoquartz plus précis. Lorsqu'on considère les analyses totales des horizons totaux, on constate divers gradients depuis les horizons les plus profonds jusqu'au A21 :

- croissance pour SiO₂ et Na₂O
- décroissance de Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO et CaO.

K_2O présente un comportement curieux car il manifeste sa valeur minimale en (B)-C₂ (l'horizon pourtant le plus argileux), passe par un maximum en (B)₁ et A/(B) puis diminue en A. Il ne s'agit pas d'erreurs d'analyse car un autre dosage réalisé dans un autre laboratoire (pour la détermination du quartz selon la méthode Kiely-Jackson) fournit des résultats tout-à-fait similaires.

Si l'on s'intéresse aux analyses chimiques des différentes fractions granulométriques, on s'aperçoit de deux anomalies :

- d'une part, les fractions "argile" sont d'autant plus riches en K_2O que l'on s'élève dans le profil et que l'on se rapproche de la surface. C'est le contraire que l'on connaît pour les quatre autres profils dont nous possédons les analyses ;

- d'autre part, si l'on compare la composition chimique des limons fins, limons grossiers et sables fins (50-100 μm) de (B)₁ et de (B)-C₂, on découvre des différences du simple au double qui ne peuvent pas s'expliquer par la pédogénèse.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂	Perte au feu
HORIZONS TOTAUX									
A ₂₁	87,3	6,24	1,99	1,46	0,27	0,58	0,20	0,95	3,9
A ₂₂₉	83,1	7,75	2,99	1,64	0,38	0,59	0,18	0,93	4,3
A/(B)	76,0	10,77	4,40	1,90	0,63	0,55	0,21	0,92	6,7
(B) ₁	72,1	12,66	4,89	1,90	0,80	0,47	0,35	0,85	8,9
(B) ₂	71,3	12,85	5,26	1,63	0,78	0,34	0,43	0,85	9,8
(B)-C ₁	69,4	13,04	5,52	1,35	0,73	0,23	0,43	0,87	10,2
(B)-C ₂	69,4	13,23	5,89	1,20	0,78	0,16	0,56	0,92	10,8
FRACTION < 2 μm									
A ₂₁	53,5	19,09	7,22	2,64	1,14	0,34	0,14	1,42	13,9
A ₂₂₉	50,7	21,73	8,02	2,81	1,33	0,24	0,03	1,20	12,5
A/(B)	51,4	21,92	8,51	2,77	1,39	0,20	0,07	1,00	12,1
(B) ₁	50,5	22,87	9,08	2,49	1,48	0,15	0,01	0,78	11,7
(B) ₂	48,8	22,68	8,85	2,12	1,38	0,13	0,03	0,73	12,3
(B)-C ₁	49,0	22,68	8,49	1,87	1,29	0,12	0,03	0,75	11,8
(B)-C ₂	52,2	21,73	7,59	1,61	1,26	0,12	0,03	0,73	11,5
FRACTION LIMONS FINS (2-20 μm)									
A ₂₂₉	82,9	7,8	1,73	2,12	0,27	0,93	0,43	1,20	
(B) ₁	77,1	10,0	2,72	2,40	0,46	0,89	0,56	1,17	
(B)-C ₂	83,5	5,9	3,45	1,23	0,20	0,30	0,38	1,45	
FRACTION LIMONS GROSSIERS (20-50 μm)									
A ₂₂₉	88,6	4,7	0,81	1,48	0,10	0,67	0,42	0,70	
(B) ₁	86,2	5,5	1,50	1,55	0,17	0,70	0,45	0,65	
(B)-C ₂	90,3	2,8	1,79	0,80	0,10	0,19	0,42	0,73	
FRACTION SABLES FINS 1 (50-100 μm)									
A ₂₂₉	92,1	2,3	0,70	0,83	0,08	0,12	0,32	0,63	
(B) ₁	91,3	2,7	1,67	0,90	0,13	0,12	0,36	0,38	
(B)-C ₂	94,8	2,1	2,20	0,48	0,10	0,09	0,36	0,35	
FRACTION SABLES FINS 2 (100-200 μm)									
A ₂₂₉	90,9	1,7	1,13	0,53	0,08	0,11	0,36	0,17	

TABLEAU S :
ANALYSES CHIMIQUES TOTALES (EN %) DES HORIZONS
ET DES PRINCIPALES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.
PROFIL REBOURSEAUX.

Pour interpréter ces deux faits, on doit faire appel à une hétérogénéité minéralogique d'origine sédimentaire : l'horizon (B)₁ s'est formé au sein d'un matériau beaucoup plus riche en K₂O que celui où s'est développé l'horizon (B)-C₂. Les seuls minéraux riches en potassium que l'on peut mettre en cause sont l'orthose, la glauconite et la muscovite. La glauconite n'a pas été décelée dans ce profil. La muscovite, par sa micro-division, pourrait être rendue responsable de l'accroissement du K₂O dans les fraction argile des horizons de surface.

Des remarques semblables pouvant être faites pour Na₂O des fractions limons, nous aboutissons à la conclusion suivante : il existerait une hétérogénéité minéralogique au sein du profil, touchant la muscovite, l'orthose et l'albite.

En conséquence, le bilan isoquartz (dont une des bases essentielles est l'homogénéité du matériau initial) sera perturbé pour K₂O et Na₂O (et peut-être même pour d'autres oxydes, par contre-coup).

C. DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ.

a) Reconstitutions minéralogiques des limons et sables par voie chimique :

VOIE N° 3 : RECONSTITUTION A PARTIR DES ANALYSES TOTALES (HORIZONS TOTAUX).

Le principe en est simple même s'il est critiquable. De l'analyse totale de l'horizon, il est soustrait successivement :

- ce qui appartient à la fraction inférieure à 2 μm (dont la composition chimique et les % granulométriques sont connus) ;
- les oxydes "libres" de fer et d'aluminium (faute de mieux, valeurs des analyses Deb et Tamm exprimées en % de Fe₂O₃) ;
- l'anorthite, l'albite et [orthose + muscovite] (dont les teneurs ont été estimées respectivement à partir de CaO, Na₂O et K₂O) ;
- TiO₂ considéré comme équivalant à du rutile.

Le résidu d'Al₂O₃ permet d'apprécier les proportions entre orthose et muscovite. Le SiO₂ qui reste finalement est considéré comme étant du quartz.

Le seul moyen de vérifier la vraisemblance du résultat réside dans la comparaison entre la somme des 6 minéraux et le % granulométrique des [limons + sables] exprimés de la même façon, à savoir en % de la terre fine totale.

Les résultats (tableau T) semblent plausibles. Ils permettent de quantifier les variations anormales de l'albite, de l'orthose et de la muscovite. On notera la difficulté de séparer convenablement orthose et muscovite.

	QUARTZ	ALBITE	ANORTHITE	ORTHOSE	MUSCOVITE	RUTILE	Σ	%
							DES 6 MINERAUX	DE L + S GRANULOMETRIQUE
A ₂₁	71,4	4,6	0,9	7,5	(9,4) 1,9	0,8	87,1	84,5
A _{22g}	64,9	4,6	0,8	7,6	(9,6) 2,0	0,7	80,6	79,9
A/(B)	53,3	4,1	0,9	4,6	(9,3) 4,7	0,6	68,2	68,0
(B) ₁	45,2	3,5	1,7	6,5	(8,1) 1,6	0,6	59,1	57,1
(B) ₂	44,3	2,5	2,1	5,9	(5,9) 0	0,5	55,3	52,0
(B)-C ₁	43,3	1,5	2,1	3,7	(4,4) 0,7	0,5	51,8	50,3
(B)-C ₂	40,7	0,8	2,7	2,3	(3,5) 1,2	0,6	48,3	47,7

TABLEAU T :

RECONSTITUTION DES [LIMONS + SABLES] (VOIE 3) EN % DE LA TERRE FINE TOTALE.

VERIFICATION PAR COMPARAISON AVEC LES VALEURS GRANULOMETRIQUES.

VOIE N° 4 : RECONSTITUTION A PARTIR DES ANALYSES TOTALES
(FRACTIONS GRANULOMETRIQUES)

Pour ces calculs nous avons affecté le potassium à la somme (orthose + muscovite) à raison de 12 % de K_2O . Na_2O a été imputé à l'albite, CaO à l'anorthite. TiO_2 a été pris tel quel comme du rutile et Fe_2O_3 a été comptabilisé sous cette forme comme représentant les oxydes et hydroxydes de fer plus ou moins cristallisés. Une fois les déductions en Al_2O_3 de l'anorthite et de l'albite faites, la teneur résiduelle en Al_2O_3 permet de faire par le calcul la part entre orthose et muscovite. Le résidu de SiO_2 , après toutes les soustractions, est considéré comme étant du quartz (tableau U).

	LIMONS FINS (2-20 μm)	LIMONS GROSSIERS (20-50 μm)	SABLES FINS (50-100 μm)	SABLES FINS (100-200 μm)	SABLES GROSSIERS (200-2000 μm)	Σ = QUARTZ TOTAL DE L + S
A229	67,2 18,82	76,3 22,05	86,5 11,07	86,7 2,60	100* 6,2	60,74
(B) ₁	61,6 14,23	73,9 14,56	85,9 6,79	100* 1,60	100* 2,80	39,98
(B)-C ₂	75,4 14,78	84,5 13,44	91,4 5,58	100* 0,80	100* 2,60	37,20

* Hypothétique.

TABLEAU U :
TENEURS EN QUARTZ DES LIMONS + SABLES (VOIE 4)
- EN % DE LA FRACTION CONSIDEREE
- EN % DE LA TERRE FINE TOTALE

b) Dissolution sélective (Méthode Kiely-Jackson) Horizons totaux (Voie n° 5) :

Faute de moyens plus importants, nous n'avons pu faire réaliser que les analyses sur les horizons totaux, nous ne connaissons donc pas, pour ce profil, les teneurs en quartz des fractions inférieures à 2 micromètres.

En ce qui concerne les principes et les difficultés de la méthode, se reporter à la page 170.

Les résultats sont consignés dans le tableau . Le complément à 100 % englobe normalement la kaolinite, les minéraux lourds, les matières organiques et l'humidité. Nul doute que les estimations des argiles micacées sont très nettement insuffisantes suite à l'utilisation d'un taux en potassium de ces argiles tout-à-fait inadapté.

	QUARTZ	"ARGILE MICACEES" *	FELDSPATHS			Σ	COMPLE- MENT à 100 %
			- K	- Ca	- Na		
HORIZON A ₂₁	66,7	7,3	5,8	0,40	4,66	84,86	15,1
HORIZON A229	63,5	9,1	6,1	0,49	4,47	83,66	16,3
HORIZON A/(B)	50,7	14,6	5,4	0,45	4,10	75,25	24,7
HORIZON (B) ₁	43,0	17,0	4,3	0,37	3,54	68,21	31,8
HORIZON (B) ₂	43,7	15,8	3,0	0,32	2,29	65,11	34,9
HORIZON (B)-C ₁	44,1	13,0	2,7	0,29	1,52	61,61	38,4
HORIZON (B)-C ₂	40,7	13,0	1,5	0,41	1,15	56,76	43,2

TABLEAU V :
RESULTATS FOURNIS PAR LA METHODE KIELY-JACKSON APPLIQUEE AUX HORIZONS TOTAUX
(EN % DE LA TERRE FINE TOTALE). *(à 7,4 % de K_2O , comme hypothèse de calcul).

c) Récapitulation :

L'ensemble des valeurs acquises par les trois voies est présenté dans

le tableau W . Les teneurs en quartz très fin < 2 μm n'ont pas pu être ajoutées à celles obtenues par les voies 3 et 4 qui ne concernent que les fractions /sables + limons/. C'est pourquoi, afin d'obtenir une moyenne pondérée, nous avons donné priorité nettement à la méthode Kiely-Jackson car elle est globale et directe.

	VOIE 5 KIELY-JACKSON	VOIE 3	VOIE 4	MOYENNE pondérée retenue
HORIZON A219	66,7	71,4		68,3
HORIZON A22	63,5	64,9	60,7	63,5
HORIZON A/(B)	50,7	53,3		51,6
HORIZON (B) ₁	43,0	45,2	40,0	43,2
HORIZON (B) ₂	43,7	44,3		43,9
HORIZON (B)-C ₁	44,1	43,3		43,9
HORIZON (B)-C ₂	40,7	40,7	37,2	40,2

TABLEAU W :
DETERMINATIONS DU QUARTZ ET MOYENNE PONDEREE RETENUE.
PROFIL REBOURSEAUX.

3. PROFIL FLOGNY

PRESENTATION DU PROFIL et DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ

A. APPROCHE QUALITATIVE.

La roche-mère est une argile lourde, jaune, faiblement calcaire, de l'Aptien.

L'étude des "minéraux légers" a montré qu'il n'existait pas de glauconie en grains dans les horizons A et qu'elle était très rare en (B).

Par diffractométrie aux rayons X, il est apparu que la composition minéralogique des fractions "argile" de ce sol est particulièrement complexe. On note, en outre, peu de différences d'un horizon à l'autre. Kaolinite, illite et vermiculite seraient toutes trois abondantes. Il faut y ajouter de petites quantités d'interstratifiés 10-14 A, des intergrades gonflants ou non, et de la goethite.

Ce profil ayant été insuffisamment analysé, nous ignorons d'une part les pourcentages, même approximatifs, de la kaolinite et, d'autre part, s'il existe des minéraux phylliteux dans les limons fins.

B. APPROCHE QUANTITATIVE.

a) "Squelettes granulométriques" :

L'étude granulométrique (Chapitre III) de ce profil avait permis d'exclure une hétérogénéité majeure. Cependant, lorsqu'on examine attentivement les chiffres (tableau X), on constate deux anomalies :

- d'une part, des variations notables touchent les fraction > 100 μm : les trois premiers horizons sont nettement plus riches en sables que les niveaux plus profonds. Cette divergence porte sur des valeurs absolues faibles mais très grandes en valeurs relatives (presque douze fois plus de > 100 μm en A_{2g} qu'en (B)). A ce fait, deux explications possibles : soit "dérive" granulométrique liée à une modification graduelle de la sédimentation ; soit contamination superficielle à partir des sols voisins ou des formations géologiques proches (lesquelles sont sableuses, tant l'Albien inférieur, au-dessus, que le Barrémien supérieur, au-dessous).

- D'autre part, à mesure que l'on monte dans le profil, il y a une diminution régulière des limons fins au profit des limons grossiers. Pour l'instant, il n'est pas possible de dire s'il s'agit à nouveau d'une "dérive" d'origine sédimentaire ou si c'est là un effet de la pédogenèse.

	LF	LG	SF ₁	SF ₂	SG ₁	SG _{2 + 3}	CO ₃ Ca	LF/LG
A ₁	49,2	29,0	15,1	2,4	2,5	1,7	0	1,70
A _{2g}	50,1	27,6	15,0	2,7	2,8	1,6	0	1,82
A(B)	52,8	26,3	14,3	2,5	2,8	1,3	0	2,01
(B) ₁	62,6	24,5	12,3	0,3	0	0,3	0	2,56
(B) ₂	60,4	23,9	15,0	0,2	0,2	0,2	0	2,53
(B)-C	63,2	21,8	14,4	0,5	0,2	0	0	2,90
C ₁	52,3	20,8	23,6	1,2	0,6	1,4	10,0	2,51
C ₂	53,8	21,6	23,8	0,4	0,2	0,2	3,6	2,49
C ₃	48,8	29,2	21,6	0,2	0,2	0	1,1	1,67

TABLEAU X :
FLOGNY "SQUELETTES GRANULOMETRIQUES".

Enfin, le passage d'horizons C carbonatés à des horizons (B) non calcaires occasionne aussi une certaine distorsion. Par comparaison des analyses granulométriques de l'horizon C₂ avant et après décarbonatation, on peut définir la distribution du CO₃Ca et en estimer les pourcentages : 0,5 % en LF, 2,2 % en LG et 0,9 % en SF (en % de la terre fine totale).

Il est sûr, en tous cas, que ces petites hétérogénéités granulométriques vont perturber certains bilans isoquartz et qu'elles vont laisser planer un certain doute quant à leur validité générale.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	CaO	Na ₂ O	TiO ₂	Perte au feu
HORIZONS TOTAUX									
A _{2g}	78,6	10,39	3,85	1,48	0,32	0,41	0,18	1,28	6,2
(B) ₁	59,9	21,17	7,13	2,60	0,83	0,48	0,18	1,02	10,4
(B) ₂	61,4	21,17	6,98	2,70	0,88	0,46	0,19	0,98	9,8
C ₂	62,9	18,86	6,05	3,10	0,95	0,62 *	0,19	0,95	8,7
* + 3,5 % de CO ₃ Ca									
FRACTIONS < 2 μm									
A _{2g}	47,3	27,21	8,91	2,96	1,86	0,08	0,34	1,48	12,0
(B) ₁	44,5	27,97	9,71	3,05	2,19	0,04	0,27	0,77	13,2
(B) ₂	44,7	28,73	9,29	3,23	2,12	0,04	0,27	0,77	12,7
C ₂	46,7	27,40	9,09	4,34	2,09	0,08	0,30	0,87	10,1
LIMONS FINS (2 à 20 μm)									
A _{2g}	85,8	6,24	1,63	1,54	0,17	0,14	0,28	1,68	2,1
(B) ₁	77,3	12,28	3,85	2,35	0,40	0,08	0,24	1,57	3,5
(B) ₂	74,3	13,61	3,56	2,52	0,53	0,15	0,22	1,50	4,0
C ₂	72,1	15,50	3,53	3,02	0,73	0,27	0,24	1,35	4,6
LIMONS GROSSIERS (20 à 50 μm)									
A _{2g}	95,0	2,27	1,59	0,77	0,08	0,06	0,09	0,70	
(B) ₁	95,5	2,08	1,04	0,75	0,07	0,11	0,20	0,80	
(B) ₂	92,3	2,65	1,34	0,84	0,12	0,06	0,08	0,65	
C ₂	89,3	3,40	1,84	0,99	0,20	1,46	0,07	0,77	
SABLES FINS (50 à 100 μm)									
A _{2g}	96,5	1,13	1,22	0,49	0,03	0,13	0,08	0,25	
(B) ₁	98,0	1,13	0,87	0,54	0,03	0,06	0,07	0,18	
(B) ₂	97,2	1,51	1,24	0,60	0,05	0,08	0,05	0,23	
C ₂	94,6	1,51	1,19	0,64	0,08	0,76	0,04	0,22	

TABLEAU Y :
ANALYSES CHIMIQUES TOTALES (EN %) DES HORIZONS
ET DES PRINCIPALES FRACTIONS GRANULOMETRIQUES.

b) Analyses chimiques totales (tableau Y) :

L'horizon A₂ pris dans sa totalité apparait comme très appauvri en aluminium, fer, potassium et magnésium. Corrélativement, il est enrichi en silice et titane.

Les fractions < 2 µm sont assez semblables entre elles. Seul l'horizon A₂ présente un peu moins de fer, de potassium et de magnésium.

Dans les fractions limons fins on note encore des proportions notables d'Al, de Fe et de K qui sont l'indice, probablement, de la présence d'une certaine quantité de minéraux phylliteux (muscovite ?).

On constate enfin que les limons grossiers et les sables fins sont relativement riches en Fe₂O₃.

C. DETERMINATIONS DES TAUX DE QUARTZ.a) Reconstitutions minéralogiques des limons et sables par voie chimique :VOIE 3 : RECONSTITUTION A PARTIR DES ANALYSES TOTALES
(HORIZONS TOTAUX)

Il a d'abord été soustrait ce qui correspond à la fraction < 2 µm (dont la composition et le pourcentage granulométrique sont connus). Il n'y a pas eu de correction des amorphes. L'anorthite, l'albite et l'orthose + muscovite ont été évaluées respectivement à partir des résidus de CaO, Na₂O et K₂O puis soustraits. Le résidu d'aluminium a servi à distinguer les proportions entre orthose et muscovite. TiO₂ est considéré comme du rutile. Le SiO₂ restant fournit le taux de quartz recherché.

On aboutit au tableau ci-dessous dont les valeurs, sauf celles du quartz, demeurent assez approximatives.

HORIZON	QUARTZ	ALBITE + ANORTHITE	CaCO ₃	ORTHOSE	MUSCOVITE	RUTILE	SOMME DES 7 MINERAUX	SOMME GRANULO- METRIQUE L + S
A _{2g}	61,7	2,3		2,0	3,6	0,8	70,4	71,02
(B) ₁	28,9	2,6		1,0	6,0	0,6	39,1	36,93
(B) ₂	31,2	2,6		1,0	7,0	0,6	42,4	40,83
C ₂	31,5	3,7	3,5	1,0	8,3	0,5	48,5	49,78

De forts résidus positifs existent en fer et en aluminium.

VOIE 4 : RECONSTITUTION A PARTIR DES ANALYSES TOTALES
(FRACTIONS GRANULOMETRIQUES)

Des reconstitutions par fractions ont pu être réalisées sur LF, LG, SF₁ (50 - 100 µm).

Pour le limon fin, l'hypothèse simplificatrice a été émise qu'il y existait des argiles minéralogiques présentant la même composition que celles < 2µm. Le calcul a été fait sur MgO pour en déterminer les pourcentages.

HORIZON	QUARTZ	MINERAUX PHYLLITEUX	MUSCOVITE	ORTHOSE	ALBITE + ANORTHITE	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Σ
A _{2g}	74,6	9,1	6,5	3,7	2,7	1,6	0,8	99,0
(B) ₁	61,0	18,5	15,2	0	2,0	1,4	2,1	100,2
(B) ₂	55,2	25,5	14,5	0	2,1	1,3	1,2	99,8
C ₂	48,7	35,2	12,8	0	2,4	1,0	0,4	100,5

TABLEAU Z :
RECONSTITUTION DES LIMONS FINS.
PROFIL FLOGNY.

b) Dissolution sélective (voie 5) :

Nous n'avons pu appliquer la méthode Kiely-Jackson qu'à la terre fine totale des quatre horizons. Nous n'avons donc pas pu déterminer la quantité de quartz contenue dans les fractions $< 2 \mu\text{m}$.

HORIZON	QUARTZ TOTAL	ARGILES MICACEES (à 7,4 % de K ₂ O)	FELDSPATHS			Σ	COMPLE- MENT A 100 %
			K	Ca	Na		
A _{2g}	56,52	14,6	2,29	0,30	1,24	74,95	25,0
(B) ₁	27,02	30,7	0,89	0,28	0,19	59,08	40,9
(B) ₂	28,17	31,3	1,18	0,33	0,48	61,46	38,5
C ₂	32,28	35,3	1,23	0,28	0,67	69,76	30,2

TABLEAU AA :
RESULTATS FOURNIS PAR DISSOLUTION SELECTIVE.
PROFIL FLOGNY.

Les résultats obtenus pour les feldspaths sont probablement assez approximatifs. Quant à l'évaluation des argiles micacées, elle n'est présentée que pour mémoire car elle est basée sur la valeur arbitraire de 7,4 % de K₂O uniformément appliquée aux quatre horizons. Les taux de quartz paraissent les plus crédibles car il y a peu de feldspaths, et parce qu'il y a sans doute de faibles erreurs relatives sur ces pourcentages élevés.

c) Récapitulation (tableau AB) :

HORIZON	Reconstitution par voie chimique quartz de $I + S$		Dissolution sélective (Kiely-Jackson) quartz de l'hor. total VOIE 5	Valeur retenue (moyenne pondérée)
	Horizon total VOIE 3	Somme des fractions granulométriques VOIE 4		
A _{2g}	61,7	58,64	56,52	58,3
(B) ₁	28,9	26,81	27,02	27,5
(B) ₂	31,2	28,28	28,17	29,05
C ₂	31,5	33,40	32,28	32,2

TABLEAU AB :
DETERMINATIONS DU QUARTZ.
PROFIL FLOGNY.

ANNEXE N° 7

LA FERROLYSE : DESCRIPTION DES DIFFERENTS STADES

LA FERROLYSE : DESCRIPTION DES DIFFERENTS STADES

Citons tout d'abord largement la description qu'en donne BRINKMAN lui-même (1969).

① "Le processus proposé pour la ferrolyse comporte une séquence de cycles répétés comprenant chacun une phase anaérobie et une phase aérobie. L'oxydation de la matière organique fournit l'énergie qui entraîne le cycle entier de la ferrolyse (la destruction d'argile par ferrolyse est beaucoup plus efficace - elle demande dix fois moins de matières organiques - que par attaque et complexation par les acides organiques).

② - Durant la phase anaérobie, le fer libre est réduit avec oxydation concomitante de la matière organique et formation d'ions hydroxyl. Le fer ferreux déplace les cations échangeables et les cations déplacés sont lessivés (ou partiellement lessivés, et seulement durant la première partie de la phase réduite, dans le cas de l'aluminium).

③ - Au cours de la phase aérobie qui suit, le fer ferreux est oxydé, produisant de l'hydroxyde ferrique et des ions hydrogènes. Les ions hydrogènes déplacent le fer ferreux échangeable et corrodent les couches octaédriques des minéraux argileux sur leurs bords. En même temps, il y a diffusion équivalente d'hydrogène contre l'aluminium, un peu de magnésium et les autres ions libérés des bords des réseaux octaédriques.

④ Ainsi, à chaque cycle, des cations sont lessivés et une partie du réseau argileux est détruite. Avec une ferrolyse prolongée, un sol à hydromorphie saisonnière, même s'il est originellement saturé en bases, peut éventuellement évoluer en un sol gris, instable, limoneux ou sableux, avec une faible teneur en argile et une faible capacité d'échange cationique (CEC).

Stade initial de la ferrolyse :

⑤ à ce stade, les bases échangeables sont éliminées pour être par la suite remplacées par l'aluminium (surtout) provenant du réseau après oxydation, et le pH dans la phase oxydée baisse ; dans la phase réduite, il reste relativement élevé durant tout le cours du processus. Outre l'attaque des ions du réseau, l'hydrogène attaque aussi le potassium lentement libéré (fixé) dans l'illite, formant ainsi de l'illite gonflante...

Stade principal de la ferrolyse :

⑦ à ce stade, l'aluminium échangeable et les autres ions provenant du réseau argileux sont éliminés et la fraction argileuse est progressivement détruite. La silice passe en solution à partir des bords des réseaux tétraédriques nonsoutenus et est aussi lessivée. Les minéraux argileux de type 2/1 avec une CEC élevée sont détruits plus lentement et les argiles 1/1, en raison de leur faible CEC aussi bien qu'à cause de leur plus grande proportions en ions octaédriques, sont moins susceptibles de ferrolyse.

⑨ En fonction de la quantité d'eau lessivante transitant dans le sol au début de la phase réduite, une partie plus ou moins grande de l'aluminium déplacée par le fer ferreux est lessivée. Le reste est retenu dans l'horizon et précipite quand le pH s'élève au-dessus de 5,5 en raison de la formation des ions hydroxyl concurremment à la réduction du fer. En même temps, de l'aluminium supplémentaire déplacé par le fer ferreux et neutralisé par les ions hydroxyl, est précipité. L'aluminium se trouve alors sous la forme de fragments de couches octaédriques constitués d' $Al(OH)_3$ et un peu de $Al(OH)_2H_2O$ qui équilibre les charges sur et entre les feuillettes des argiles 2/1.

Ceci fixe l'épaisseur des feuillets de l'argile auparavant gonflante à 14 Å et bloque effectivement une partie de leur CEC. C'est le mécanisme d'intercalation d'aluminium = formation de soil-chlorite (chloritisation).

Ainsi, en fonction du degré de lessivage, la destruction d'argile ou bien la chloritisation peut être le mécanisme dominant de la diminution de la capacité d'échange du sol".

Nous allons voir maintenant dans quelle mesure cette description de la ferrollyse correspond ou ne correspond pas avec les différents faits établis au cours de nos recherches.

POINT ①

Nous avons vu (chapitre IV) que la base des horizons A_{2g} et le sommet des horizons (B) connaissent chaque année des alternances rapides, phases d'engorgement/phases d'aération, qui occasionnent certainement (au moins les plus prolongées d'entre elles) des alternances de phases de réduction puis d'oxydation du milieu.

POINT ②

Aucune de nos analyses ne caractérise vraiment les horizons durant leur phase de réduction. Cependant, nous constatons effectivement aujourd'hui à la fois la désaturation importante des horizons A des planosols de Champagne humide (chapitre II, 3°) et le départ en solution dans les eaux de drainage latéral des cations Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, K⁺ et Na⁺.

POINT ③

Il existe en effet des ions H⁺ fixés en position échangeable dans les sols en période d'aération (chapitre VI) plus particulièrement dans les horizons A₂ et A₁.

POINT ④

Ce point pourrait s'appliquer à nos planosols dont certains sont développés dans une roche-mère calcaire. Mais la forte différenciation texturale observée pourrait résulter uniquement d'un départ latéral de matières en suspension (appauvrissement).

POINTS ⑤ et ⑥

Le rôle prépondérant de Al⁺⁺⁺ échangeable a été mis en lumière au chapitre VI ainsi que l'extrême acidité minérale qui s'y trouve liée. Plus loin dans le même chapitre, aussi bien en ce qui concerne HERY que FLOGNY, nous avons constaté que les argiles micacées (respectivement glauconite et illites) perdaient leur potassium et acquerraient des propriétés de gonflement (du moins une certaine proportion d'entre elles).

Les phénomènes décrits par BRINKMAN comme caractéristiques du stade initial de la ferrollyse semblent pouvoir se reconnaître dans les quatre principaux profils étudiés.

TABLE DES FIGURES

	n°		pages
I.	1.	Carte géologique de l'est du Bassin Parisien.	5
	2.	La Champagne Humide - Le secteur étudié.	8
	3.	Lithologie schématique du Crétacé inférieur.	10
	4.	Filiation des sols développés dans les matériaux argileux.	19
	5.	Distribution schématique des sols développés sur marnes albo-cénomaniennes.	19
II.	6.	Morphologie de quatre micropodzols.	27
	7.	Planche photos couleurs micromorphologie.	hors texte
	8.	Relation entre le pH eau et la CEC estimée de la fraction "argile".	59
	9.	Relation entre le pH eau et la CEC estimée de la fraction "argile" exemple de 6 profils.	60
	10.	Relation entre $V = S/T$ et le pH eau selon cinq types d'horizons.	63
	11.	Fer "libre" et fer total en fonction de la profondeur pour 17 profils.	69-70
III.	12.	Texture des 111 horizons A de planosols.	80
	13.	"Squelettes granulométriques" des sept familles et de trois horizons profonds particuliers.	81
	14.	Comparaison des histogrammes de "squelette" des horizons A et (B).	83
	15.	Histogramme des valeurs de l'IDTp des 62 profils.	87
	16.	La texture des horizons A ₂ est étroitement liée aux faciès lithologiques venant successivement à l'affleurement.	88
	17.	Ecart brut et situation spatiale relative des profils du secteur-test.	90
IV.	18.	Localisation des 2 stations météorologiques et des 2 sites d'étude.	95
	19.	Présence et absence d'une nappe hypodermique à Héry et Pontigny.	109
	20.	Présentation simultanée des hauteurs d'eau dans les piézomètres de Héry et des comptages neutroniques bruts obtenus à 125 cm pour la même période.	111
	21.	Présentation simultanée des niveaux de l'eau dans les deux piézomètres profonds de Héry et des comptages neutroniques bruts obtenus à 165 cm.	112
	22.	Données piézométriques et comptages neutroniques bruts à Pontigny.	113
	23.	Héry. Comptages neutroniques bruts à différents niveaux.	116
	24.	Pontigny. Comptages neutroniques bruts à différents niveaux.	117
	25.	Héry. Hauteurs d'eau dans le piézomètre superficiel et comptages neutroniques bruts correspondants.	118
	26.	Pontigny. Présentation simultanée des hauteurs d'eau dans le piézomètre superficiel et des comptages neutroniques bruts correspondants.	118
	27.	Humidités volumiques en fonction du temps. Le niveau 55 cm de Pontigny.	123
	28.	Evolution du potentiel total sous conditions naturelles en 1978.	128
	29.	Héry, 1978. Profils de potentiel instantané et profils hydriques.	129
	30.	Héry, 1979. Profils de potentiel instantané et profils hydriques.	130

n°		pages
31.	Héry, 1980. Réhumectation. Profils de potentiel instantané et profils hydriques correspondants.	132
32.	Relations pF / humidités volumiques. Profil Héry.	134
33. }	Relations humidités / pF. Mesures de laboratoire. Héry, horizons A _{2g} , (B)d et (B).	{ 135
34. }		{ 136
35. }		{ 136
36.	Relation entre porosité totale et humidité volumique établie sur mottes.	137
37.	Présentation schématique du bilan hydrique et des comptages neutroniques bruts de l'horizon 35 cm à Héry.	139
38.	Présentation schématique des bilans hydriques décadaires et des comptages neutroniques bruts de l'horizon 55 cm à Pontigny.	140
38.bis	Héry. Bilans volumiques aux humidités extrêmes.	141
39.	Héry. Ecoulement et lieux de prélèvement des eaux.	147
39.bis	Héry. Comparaison entre argiles en suspension dans les eaux et argiles de l'horizon A _{2g} .	148
40.	Diffractogrammes des matières en suspension dans l'eau d'Héry-Ruisseau le 4 février 1982.	150
V..	41. Principes d'établissement des bilans isoquartz.	159
	42. Héry - "Squelettes granulométriques".	163
	43. Représentation schématique des bilans isoquartz de Héry et Pontigny.	206
VI..	44. Différentes formes de fer et leur extraction par différents réactifs.	213
	45. Fer des réseaux cristallins et fer libre en pour mille de la terre fine totale.	215
	46. Relation entre D Al et le fer des oxydes bien cristallisés.	220
	47. }	{ 225
	48. }	{ 226
	49. }	{ 227
	50. Granulométrie détaillée des fractions < 2µm. Comparaison entre Héry et Flogny.	236
	51. }	{ 238
	52. }	{ 239
	53. Flogny. Comportement des argiles saturées par K ⁺ .	241
	54. Flogny. Apparition d'une reflexion d 003 de pseudochlorite.	242
	55. Fer des réseaux cristallins et fer libre des sous-fractions "argile". Comparaison entre Héry et Flogny.	244
	56. Héry et Flogny. Devenir des différentes sous-fractions "argiles" de bas en haut des solum. Schéma.	248
	57. Datation relative des matériaux entre Armançon et Armance.	254
VII.	58. Schéma de la pédogénèse. Processus successifs et/ou simultanés.	261
	59. Séquences évolutives comparées des trois types de sols.	267
	60. Trajet granulodynamique du profil Héry.	274
ANNEXES		
A	Morphologie schématique du profil Héry.	I
	Diffractogrammes des principaux profils.	XXXVIII à XLVI
B	Dispositifs de mesures et profils pédologiques	L
C	Pontigny. "Squelettes granulométriques".	LX

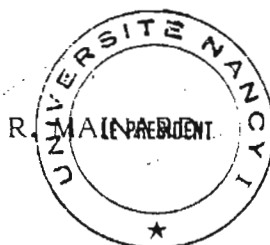
NOM DE L'ETUDIANT : BAIZE Denis

NATURE DE LA THESE : Doctorat ès sciences

VU, APPROUVE ET PERMIS D'IMPRIMER

NANCY, le 25 OCT. 1983 n° 1630

LE PRESIDENT DE L'UNIVERSITE DE NANCY I



Thèse de Doctorat d'Etat

Université de NANCY I — Faculté des Sciences

Année : 1983

Discipline : **Pédologie**

Nom de l'auteur : **Denis BAIZE**

Résumé : Sont étudiés des sols acides à forte différenciation texturale issus de matériaux sédimentaires argileux du Crétacé inférieur (Champagne humide, Yonne et Aube). Des études macro- et micro-morphologiques, granulométriques, physico-chimiques et minéralogiques ont été menées. En outre le régime hydrique de ce type de sol a pu être étudié *in situ* durant cinq ans grâce à des techniques simples : piézométrie, tensiométrie, humidimétrie neutronique. Quatre bilans isoquartz de matière ont pu être établis qui ont permis de souligner que ces sols se sont différenciés par départ latéral de *minéraux argileux des horizons supérieurs sans accumulation notable en profondeur*. Il s'agit donc bien de planosols primaires dont la genèse n'est pas liée à un climat particulier mais seulement à la conjonction de deux facteurs stationnels : roches-mères argileuses denses et topographie sub-horizontale.

MOTS-CLÉS :

PÉDOLOGIE, PÉDOGENÈSE, PLANOSOLS
BASSIN PARISIEN, AUBE, YONNE, CRÉTACÉ INFÉRIEUR
ROCHES SÉDIMENTAIRES, SOL NATUREL
CHAMPAGNE HUMIDE, SOLS DIFFÉRENCIÉS
SOLS { BILANS ISOQUARTZ, GRANULOMÉTRIE, MORPHOLOGIE
FONCTIONNEMENT HYDRIQUE, APPAUVRISSEMENT