Contribution à l'étude des sols d'un massif forestier des Basses-Vosges

François Le Tacon

▶ **To cite this version:**

François Le Tacon. Contribution à l'étude des sols d'un massif forestier des Basses-Vosges. Sciences agricoles. Université de Lorraine, 1966. Français. NNT : . tel-02859759

HAL Id: tel-02859759
https://hal.inrae.fr/tel-02859759

Submitted on 8 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SS AVS -TH- KA2

THESES

présentées

à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy

pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

François LE TACON

1ère THESE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS D'UN MASSIF FORESTIER DES BASSES-VOSGES

2ème THESE

PROPOSITION DONNEE PAR LA FACULTE

soutenues le 14 mars 1966 devant la Commission d'Examen

JURY

Président : M. Ph. DUCHAUFOUR

Examinateurs : MM. M. BONNEAU

F. JACQUIN

THESES

présentées

à la Faculté des Sciences de l'Université de Nancy

pour obtenir le grade de

DOCTEUR D'UNIVERSITE

par

François LE TACON

1ère THESE

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES SOLS D'UN MASSIF FORESTIER DES BASSES-VOSGES

2ème THESE

PROPOSITION DONNEE PAR LA FACULTE

soutenues le 14 mars 1966 devant la Commission d'Examen

JURY

Président : M. Ph. DUCHAUFOUR

Examinateurs : MM. M. BONNEAU

F. JACQUIN

UNIVERSITE DE NANCY — FACULTE DES SCIENCES

Doyen : M. AUBRY

Assesseur : M. CAY

Doyens honoraires : MM. CORNUBERT - DELSARTE - URION - ROUBAULT.

Professeurs honoraires : MM. CROZE - RAYBAUD - LAFFITTE - LERAY - JULY - LAPORTE - EICHHORN - GODEMENT - DUBREUIL - L. SCHWARTZ - DIEUDONNE - DE MALLEMANN - LONGCHAMBON LETORT - DODE - GAUTHIER - GOUDET - OLMER - CORNUDERT - CHAPELLE - GUERIN - WAHL.

Maîtres de conférences honoraires : MM. LEINHART - PIERRET.

Professeurs

MM.	URION	Chimie biologique
	DELSARTE	Analyse supérieure
	ROUBAULT	Géologie
	CAPELLE	Mécanique rationnelle
	VEILLET	Biologie animale
	BARRIOL	Chimie théorique
	BIZETTE	Physique
	GUILLIEN	Electronique
	GIBERT	Chimie physique
	LEGRAS	Mécanique rationnelle
	BOLFA	Minéralogie
	NICLAUSE	Chimie
	FAIVRE	Physique appliquée
	AUBRY	Chimie minérale
	COPPENS	Radiogéologie
	DUVAL	Chimie
	FRUHLING	Physique
	HILLY	Géologie
	LE GOFF	Génie chimique
	SUHNER	Physique expérimentale
	CHAPON	Chimie biologique
	HEROLD	Chimie minérale indust.
	SCHWARTZ B.	Exploitation minière
*	MALAPRADE	Chimie
	MANGENOT	Botanique
	GAYET	Physiologie
	BONVALET	Mécanique appliquée
	HADNI	Physique
*	BASTICK	Chimie
*	KERN	Minéralogie
	DUCHAUFOUR	Pédologie
	GARNIER	Agronomie
*	WEPPE	Minéralogie appliquée
	NEEL	Chimie organique indust.
	BERNARD	Géologie appliquée
*	CHAMPIER	Physique
*	GAY	Chimie biologique
*	REGNIER	Physico-chimie
	STEPHAN	Zoologie
*	CONDE	Zoologie
*	WERNER	Botanique
	EYMARD	Calcul différentiel et intégral
	LEVISALLES	Chimie organique
Mme	HERVE	Méthode mathématiques de la physique
*	GOSSE	Mécanique physique

ANNEE SCOLAIRE 1965-1966

* Professeur titulaire à titre personnel

Maîtres de Conférences

Mme	BASTICK	Chimie M.P.C. (Epinal)
MM.	GUDEFIN	Physique
	ROCCI	Géologie
	VUILLAUME	Psychophysiologie
	FRENTZ	Biologie animale
	HORN	Physique propédeutique
	LAFON	Physique (I.N.I.N.)
	MARI	Chimie (I.S.I.N.)
	AUROUZE	Géologie
	FELDEN	Physique théorique et nucléaire
	DEVIOT	Physique du solide
	FLECHON	Physique M.P.C.
Mle	HUET	Mathématique S.P.C.N.
	VIGNES	Métallurgie
	BALESDENT	Thermodynamique chimique appliquée
	BLAZY	Minéralogie appliquée (E.N.S.G.)
	JANOT	Physique M.P.C. (Epinal)
	JACQUIN	Pédologie et chimie agricole
	MAINARD	Physique M.G.P.
	CACHAN	ENtomologie appliquée (E.N.S.A.)
	MARTIN	Chimie M.P.C.
	DEPAIX	Probabilités et statistiques
	LALANNE	Mécaniques (I.S.I.N.)
	OVAERT	Mathématiques
	PAULMIER	Mécanique expérimentale
	VILLERMAUX	Génie chimique
	HILY	Mathématiques MP.C.
	GEORGE	Mathématiques S.P.C.N.
	PAIR	Mathématiques appliquées

N...	Mécanique des fluides (I.N.I.N.)
N...	Physiologie animale

A Monsieur le Professeur DUCHAUFOUR,

C'est grâce à son enseignement et à l'encouragement qu'il m'a toujours prodigué, que j'ai pu réaliser ce travail. Qu'il en soit ici très chaleureusement remercié°

A Monsieur BONNEAU

Directeur de la Station de Recherches sur les sols forestiers et la fertilisation, qui malgré ses lourdes tâches, a bien voulu me guider, et me faire profiter de son expérience, avec une inlassable bienveillance.

A Monsieur JACQUIN

Maître de Conférence à la Faculté des Sciences et à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Nancy, pour ses judicieuses remarques, et pour avoir accepté de juger ce travail.

A Monsieur SOUCHIER

Ingénieur des Eaux et Forêts, chef du laboratoire des sols du Centre de Pédologie du C.N.R.S. de NANCY, qui m'a utilement conseillé pour réaliser certaines analyses.

A Monsieur l'Ingénieur Principal CHENAL
Monsieur l'Ingénieur LAJOURNADE
Monsieur le Chef de District PIERHOLE

et tout le Personnel du Service Forestier ayant la charge du Massif de Ste Hélène, qui m'ont facilité le travail de terrain.

A Mesdames DAMERY et SALMON
Mademoiselle BITCHE

pour leur participation au travail analytique, et à l'ensemble du personnel de la Station de Recherches sur les Sols Forestiers et la Fertilisation.

A L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
ET AU CENTRE NATIONAL DE RECHERCHES FORESTIERES
AU SEIN DESQUELS J'AI PU REALISER CE TRAVAIL

S O M M A I R E

- BUTS DE L'ETUDE ..... p. 1

PREMIERE PARTIE - DONNEES GENERALES - ETUDE DE TERRAIN - CARTOGRAPHIE

CHAPITRE I - DONNEES GENERALES 2

I - Données forestières 2
II - Géographie 3
III - Géologie 4

CHAPITRE II - ETUDE DE TERRAIN ET CARTOGRAPHIE 7

I - Etudes antérieures du massif 7
II - Méthodes de travail 7

- ouverture de fosses 7
- prospection 7
- méthodes analytiques 9
- classification de référence 10

III - Matériaux originels 10

- conglomérat 13
- grès a voltzia à meule 13
- grès à voltzia argileux 13
- Muschelkalk marneux 13
- Alluvions anciennes 13
- Alluvions récentes 14
- limons homogènes non soliflués 14
- limons hétérogènes soliflués 15
- limons remaniés 15
- limons de colmatage 16
- Mélanges limons et produits d'altération du grès 17
- colluviums de pente 17

IV - Unités pédologiques inventoriées 18

- sols d'érosion 18
- sols alluviaux acides 19
- sols bruns acides 20
- sols bruns marmorisés 27
- sols bruns lessivés 29
- sols lessivés, lessivés marmorisés, et lessivés à pseudogley 36

- pseudogleys à nappe perchée ..... p. 42
- Pseudogleys de surface 43
- stagnogleys 44
- gleys et sols tourbeux 44
- Tourbe 44
- sols ocres podzoliques, podzols et podzols hydromorphes 44

V - Représentation cartographique 45

- carte au 1/10 000 45
  - 1er type 45
  - 2e type 46
- représentation au 1/100 000 48

VI - Valeur forestière des sols 48

VII - Associations végétales rencontrées 51

VIII - Raisons du choix de la méthode employée 55

DEUXIEME PARTIE - ESSAI D'INTERPRETATION DES FAITS OBSERVES

CHAPITRE I - GENESE DES SOLS A HORIZON DE PSEUDOGLEY 56

I - Causes possibles d'hydromorphie temporaire 56

II - conséquences et origines possibles d' l'existence d'un niveau imperméable 57

III - Etude et comparaison de deux profils 58

- Description 58
- Etude de la répartition du fer et de l'argile 61
- Superposition des profils I et II 74
- etudes d'autres critères de lessivage 76
  - Alumine libre 76
  - Enrobements 76
  - Humus 77

IV - Modifications dues à l'hydromorphie 77

V - Génèse des sols lessivés à pseudogley ..... p. 79

VI - Difficultés de classifcation 82

VII - Sols à pseudogley à deux couches géologiques 84

CHAPITRE II - LES PHENOMENES PEDOLOGIQUES DANS LE TEMPS 88

I - Rubéfaction des alluvions anciennes 88

II - Sols rouges sur limons anciens 88

- Description 90
- Analyse 90
- Essai de détermination 93

• couleur 93
• épaisseur du profil 93
• texture 93
• lessivage 93
• rapport limon / argile 94
• fer 94
•alumine libre 95
• taux de sesquioxydes dans 1 horizon B 95
• complexe absorbant et type d'argile 95
• taux de saturation 96
• Ph 96
• hydromorphie 96
• conclusions 96

III - Sols lessivés sur limons récents 98

IV - Sols récents 104

V - Conclusion 105

CHAPITRE III - FACTEURS AYANT ORIENTES LA PEDOGENESE 106

I - Zone du complexe alluvions limons 106

- Différenciation des sols à mull 106
*- Différenciation des sols à gley 107
- différenciation des podzols 108

II - Zone gréseuse 109

III - Conclusions 110

- RESUME ET CONCLUSIONS 112

- BIBLIOGRAPHIE 117

BUTS DE L'ETUDE

Une prospection sommaire antérieure du massif forestier de Sainte-Hélène avait permis de déceler la présence d'un ensemble de sols extrêmement variés sur une surface relativement réduite.

Il a paru intéressant de poursuivre cette prospection, afin de déterminer les différents types de sols existants, ainsi que leur répartition, de préciser la nature et l'importance relative des facteurs ayant contribué à leur formation, et d'essayer de différencier les stades successifs de la pédogénèse dans le temps.

Le meilleur moyen de résoudre ces problèmes a semblé être la cartographie à grande échelle, ce qui permettait en outre de se rendre compte si une représentation cartographique était possible, sans trop d'approximation, dans une zone où la succession des sols se faisait de manière particulièrement rapide.

Cette représentation pouvait être envisagée de différentes manières, et il était intéressant d'effectuer plusieurs essais de façon à pouvoir en tirer des conclusions valables pour des études ultérieures.

Un telle étude pouvait également présenter un intérêt pour l'aménagement d'un massif où se posent des problèmes de substitution d'essences.

Enfin, la prospection ayant mis en évidence l'importance des sols à hydromorphie temporaire, il est apparu intéressant de les étudier plus particulièrement.

PREMIERE PARTIE

- DONNEES GENERALES -

- ETUDE DE TERRAIN et CARTOGRAPHIE -

CHAPITRE I : DONNEES GENERALES

I - DONNEES FORESTIERES

La forêt de Sainte-Hélène, qui s'étend sur un millier d'hectares environ, dont 803 en forêt domaniale et 189 en forêt communale, dépend de la conservation des Vosges.

Le hêtre y est l'essence dominante et constitue 59 % du peuplement.

Le chêne est la seconde essence avec 24 %.

Le reste est constitué de pins sylvestres (8 %), de sapins (3 %), de bouleaux (3 %), d'épicéas (1 %) et d'essences diverses (2 %).

Jusqu'en 1789 le massif appartenait en partie au Chapître de Saint-Dié et en partie à l'Abbaye de Saint-Géry d'Epinal.

La presque totalité était traitée en taillis sous futaie avec une révolution de trente ans. Quelques hectares étaient traités en futaie régulière.

A partir de 1877, le régime du taillis sous futaie a été abandonné.

Le massif a été divisé en quatre affectations à régénérer en quatre périodes de trente six ans, la révolution adoptée étant de cent soixante ans.

Actuellement la conversion en futaie est très avancée. En première affectation et partiellement en seconde, le peuplement se présente à l'état de perchis ou de haut-perchis. Ailleurs, entre les anciennes réserves de hêtres ou de chênes, existe un remplissage de hêtres qui se présente à l'état de jeune futaie ou de futaie.

De 1942 à 1951, la production totale a été de 24 262 m3 pour les 803 hectares de la forêt domaniale, soit 3,3 m3 par hectare et par an.

Le dernier aménagement de 1954 prévoyait une réalisation de 3 000 m3 par an soit une possibilité de 3,73 m3 par hectare et par an.

En 1954, le m3 se vendait en moyenne 1 800 anciens francs.

Actuellement, 5 % seulement de la production peuvent fournir des grumes se vendant aux environs de 100 F. le m3.

Tout le reste ne fournit que des produits de valeur très médiocre, essentiellement voués au chauffage.

Le hêtre produit un bois dur présentant un retrait important et par conséquent peu utilisable.

Le chêne est souvent taré et ne fournit pas de bois de qualité.

La forêt ne fournit donc qu'un revenu des plus modestes, état de fait dû essentiellement à l'inadaptation des essences principales.

Depuis longtemps se pose le problème de l'enrésinement, comme d'ailleurs dans toute la zone forestière des Basses-Vosges.

Dans un tel contexte, on peut penser qu'une étude pédologique serait susceptible d'apporter une contribution au choix des essences résineuses à introduire.

II - GEOGRAPHIE

La forêt dans sa région naturelle

La forêt de Sainte-Hélène est située dans le département des Vosges à cinq kilomètres au Sud-Est de Rambervillers.

Elle est rattacher à l'ensemble des collines prévosgiennes, qui font transition entre la plaine lorraine de faible altitude (200 à 250 mètres) à vocation agricole, et le massif des Vosges, montagne d'altitude moyenne, comprise entre 400 et 1 400 m, à vocation forestière : le taux de boisement y atteint 80 %.

Le climat, dit climat lorrain, est intermédiaire entre celui du bassin parisien, encore sous l'influence atlantique, et le climat continental d'Europe centrale.

La proximité du massif montagneux des Vosges se traduit par une augmentation de la pluviosité, qui va croissant d'ouest en est :

- 726 mm à NANCY située à 220 m d'altitude
- 850 mm à Rambervillers " 290 m

et par un léger abaissement de la température moyenne.

La plus grande partie de la forêt est située sur un plateau étroit, orienté Nord-Ouest Sud-Est, d'altitude moyenne comprise entre 360 et 380 m, séparant deux rivières, à l'Est la Mortagne et à l'Ouest un de ses affluents, l'Arantelle.

Ce plateau domine de 80 à 90 mètres la vallée de la Mortagne, à laquelle il se raccorde par un rebord à pente forte (15 à 20 %).

Le rebord a été entamé, perpendiculairement à la vallée de la Mortagne, par les eaux de ruissellement, qui ont donné naissance à plusieurs ravins à profil en V très accentué, appelés localement basses.

Le rebord Ouest est en pente beaucoup plus douce (4 à 8 %), et les basses qui l'entaillent ont un profil nettement moins accusé.

Le rebord Sud, longé par le ruisseau de Dracourt, à une pente intermédiaire de 8 à 10 %.

Le relief du sommet du plateau est très peu marqué. On peut noter un léger relèvement dans la partie Sud.

III - GEOLOGIE

Située dans une zone de transition climatique, la forêt de Sainte-Hélène s'étend également, dans une zone de transition géologique : du faciès détritique à caractère continental ou lagunaire du trias inférieur, on passe au faciès franchement marin du trias moyen.

Le faciès détritique continental, essentiellement constitué de grès dur, se marque dans le relief, et constitue les premiers contreforts des Vosges, par opposition aux roches tendres marno-calcaires des étages suivants, constituant la plaine lorraine au relief peu accentué.

Les principales subdivisions, du trias inférieur au grès bigarré, sont présentes.

Le grès vosgien, réduit à sa partie supérieure, n'affleure que dans une zone étroite, dans la partie Sud-Est de la carte. Il est représenté par le grès vosgien dit "supérieur", grossier, en bancs épais, exploité pour la construction dans une concession située dans la forêt (1) [L 10], et par le conglomérat qui termine cet étage.

L'absence du grès intermédiaire est certainement dûe, à la présence d'une faille, que l'on peut déceler par le pendage anormalement élevé de bancs de conglomérat, et par le fait qu'on ne les retrouve pas de l'autre côté du versant.

(1) Toutes les coordonnées, indiquées dans le texte, par une lettre et un chiffre sont les coordonnées propres de la carte jointe en annexe.

On passe ensuite presque immédiatement au grès à Voltzia, qui constitue la quasi totalité du substratum géologique, de la partie Sud de la carte. On peut tracer approximativement sa limite, en prenant les deux points extrêmes, où il a été trouvé par sondage à la tarière (1 m 20), K_5 à l'Ouest et H_7 à l'Est, ce qui ne correspond pas à la carte géologique qui indique l'existence du grès à Voltzia sur l'ensemble de la carte.

Ce grès à Voltzia existe sous ces deux faciès principaux : à la base le grès à meule, à grains fins micacés, et au somment, terminant le faciès continental du trias inférieur, un grès argileux. Le grès à meule existe sur les pentes Sud et Sud-Ouest ; le grès argileux, plus au Nord et au sommet du plateau.

Des lits argileux de faible puissance terminent le grès à Voltzia. Le Muschelkalk doit se trouver à peu de distance, et il est logique de considérer la ligne joignant les points K_5 et H_7 comme limite entre Bundsandstein et Muschelkalk, bien que, ni les sondages à la tarière, ni les affleurements de carrière ne permettent de préciser la nature du sous-sol profond.

Cependant, la présence en E_5 de Muschelkalk à 1 m 50 de profondeur, et son affleurement en K_1, K_2 et L_1 confirment ce fait. Par conséquent, les deux tiers de la forêt de Sainte-Hélène seraient sur Muschelkalk.

Ce Muschelkalk est uniquement représenté par son faciès moyen, marneux.

Presqu'en contact avec le grès bigarré, dans la partie sud-Ouest, il est représenté par des marnes rouges lie-de-vin, bariolées, puis, un peu plus au Nord, par des marnes grises.

En E_5, on rencontre un calcaire marneux, blanchâtre, qui constitue la partie supérieure du Muschelkalk marneux.

En fait, si le Muschelkalk constitue la plus grande partie du sous-sol de la forêt, il n'affleure que dans la forêt communale de Sainte-Hélène, située à l'Ouest de la vallée de l'Arantelle. Ailleurs il est entièrement recouvert par des dépots récents, comme l'est aussi une petite partie du grès bigarré.

Ces dépots récents constituent une masse très importante et complexe, qui sera étudiée de manière plus détaillée ultérieurement.

Ces dépots sont constitués par des alluvions récentes limitées aux vallées de différentes rivières actuelles, et par des alluvions anciennes de grande épaisseur, pouvant atteindre un cinquantaine de mètres ou plus.

Ces alluvions anciennes sont recouvertes par des limons dont on peut estimer l'épaisseur, en certains endroits, à au moins 3 mètres.

Coupe géologique du massif

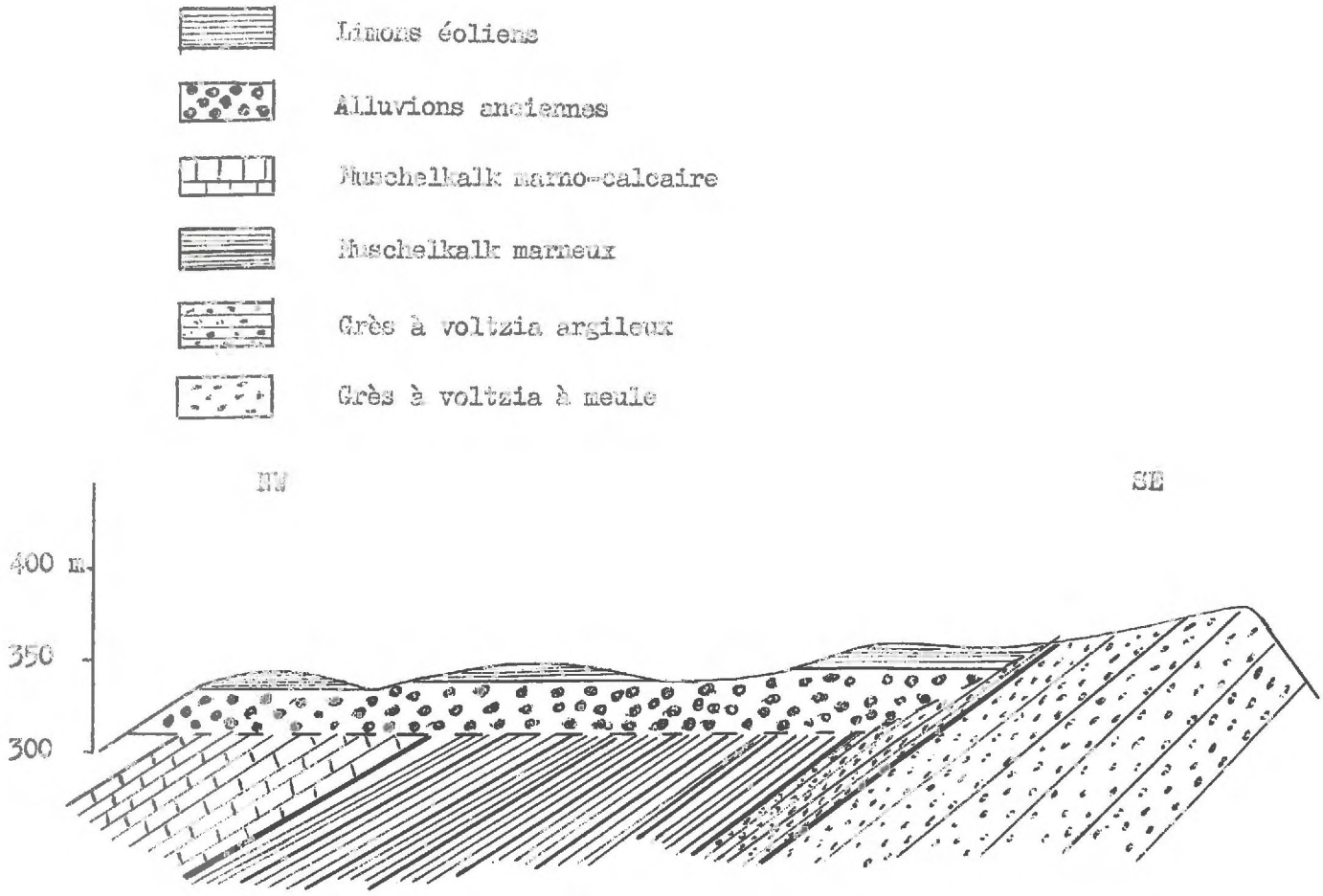


Fig. I

CHAPITRE II : ETUDE DE TERRAIN ET CARTOGRAPHIE.

I - ETUDES ANTERIEURES DU MASSIF

Lors du passage de la forêt au domaine de l'état, et de l'établissement du premier aménagement en 1877, la présence des deux formations, grès et muschelkalk, avait été notée, ainsi que l'existence d'alluvions, et d'un diluvium argileux, correspondant aux limons.

Les sols avaient été définis, comme d'excellents sols forestiers convenant au hêtre et au chêne, ces deux essences devant constituer, seules, le peuplement.

Récemment, la section de Pédologie de la Station de Recherches Forestières avait fait ouvrir plusieurs fosses, disséminées dans le Massif, et avait procédé à l'analyse de ces profils.

L'exemple de pseudogley décrit dans l'ouvrage, "Tableaux descriptifs et analytiques des sols", par Ph. DUCHAUFOUR, a été pris dans la forêt de Sainte-Hélène.

II - METHODES DE TRAVAIL

A - Ouverture de fosses

Après une reconnaissance rapide du Massif, et l'étude des fosses et carrières existantes, il a été ouvert plusieurs fosses supplémentaires, de façon à avoir des profils, répartis sur l'ensemble de la forêt et correspondant, autant que possible, aux différentes unités que l'on pouvait déjà discerner.

Pour les mille hectares du Massif, 27 fosses de 1 m de profondeur ont pû être étudiées, auxquelles il faut ajouter 6 carrières permettant des observations sur plusieurs mètres de hauteur.

B - Prospection

Après ce travail préliminaire, la prospection proprement dite a été entreprise au 1/5 000 à l'aide d'une tarière pédologique, type BISCHWILLER de 1,20 m.

Deux autres moyens supplémentaires d'étude ont pû être utilisés :

a) les fossés de drainage, donnant des profils excellents sur plusieurs dizaines de mètres, et montrant les variations de sol, ainsi que les relations existant entre les différents types.

b) les chablis de hêtre, particulièrement abondants ; ils ont été extrêmement utiles et ont permis souvent de pallier au manque d'observation dans les zones où la tarière ne pouvait pénétrer, du fait de l'abondance de cailloux.

D'autre part, les chablis ont l'avantage de donner des coupes de sol sans modifier la structure des horizons, ce qui n'est pas le cas des prélèvements à la tarière.

Le plan au 1/5 000, qui a servi de document de travail sur le terrain, a été quadrillé par un système de coordonnées rectangulaires, Est Ouest, et Nord Sud, délimitant des surfaces de 1 hectare. Ce quadrillage a ainsi permis le repérage exact des points de sondage.

La direction de prospection a toujours été celle de la plus grande pente, donc dans le sens de la succession la plus rapide des unités.

En début de prospection, chaque hectare était l'objet d'un sondage. En fin de prospection, le sondage est devenu plus lâche dans les zones où, les chaînes de sols se répétaient constamment de la même manière.

Parfois, cependant, un sondage tous les 100 m pouvait se révéler insuffisant, et il était nécessaire d'en effectuer quelquefois tous les 20 m.

A chaque sondage, les observations suivantes étaient notées sur une fiche :

- Nature du peuplement, composition sommaire de la végétation herbacée, nature de l'humus et des horizons, succession de ces horizons, couleur appréciée au code MUNSELL, tecture appréciée à la main, structure, abondance des cailloux, présence de phénomènes d'hydromorphie, et si possible type génétique.

A ce sujet on peut se demander si les observations doivent être purement analytiques, ou si un essai d'interprétation est souhaitable.

En début de prospection, il est certain que ces observations sont parfaitement analytiques. Il est difficile, en effet, à ce stade, d'effectuer une appréciation synthétique immédiate. On ne peut que difficilement rattacher les différents profils les uns aux autres, ou à des fosses préalablement étudiées. L'interprétation des observations et la délimitation des unités se fera ultérieurement par comparaison et regroupement.

Cependant en cours de prospection les relations entre les différentes unités arrivent assez rapidement à être connues ; les observations ne sont plus totalement analytiques.

Avant un sondage, on s'attend à rencontrer tel ou tel sol, et il est possible, qu'inconsciemment certaines observations puissent être inexactes.

Cependant, à partir du moment où il est possible d'interpréter directement sur le terrain, le travail se trouve largement facilité, et le tracé des unités cartographiques peut se faire immédiatement. Les unités sont ensuite reprises, modifiées, subdivisées ou, éventuellement regroupées.

Sur le terrain, il a été recueilli le maximum de données car il est difficile, avant d'entreprendre le travail de report définitif, de décider quelles seront les unités adoptées. Des modifications peuvent être apportées, ne serait-ce que pour des raisons d'impression.

En général, aucun prélèvement systèmatique n'était effectué lors des sondages à la tarière en vue d'une analyse. Lorsqu'un type de sol, différent de ceux observés dans les fosses, était rencontré, chaque horizon était analysé, soit complétement, soit partiellement. Souvent, une analyse de la texture et du fer était suffisante.

C - Méthodes analytiques

Les méthodes utilisées ont été les suivantes :

1 - Analyses granulométriques

- Méthode MERIAUX par densimétrie après dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium pour les analyses courantes et pour la construction des courbes cumulatives.

- Méthode Internationale modifiée par l'emploi de la pipette de Robinson pour l'établissement des courbes de lessivage de l'argile.

2 - Analyses chimiques

- Capacité totale d'échange T

. Percolation au chlorure de calcium : Après lavage à l'eau, déplacement de l'ion Ca^{++} par du nitrate de potassium et dosage par complexométrie.

. Dans le cas du sol rubéfié, la capacité totale d'échange a été obtenue par percolation à l'acétate d'ammonium.

- Bases échangeables

Après percolation à l'acétate d'ammanium, dosage du calcium, potassium et sodium au photomètre à flamme.

La magnésium a été dosée à partir du percolat par colorimétrie au jaune de titane.

- La somme des bases échangeables S a été obtenue par addition de Ca^{++}, Mg^{++}, K^{+} et Na^{+}.

- Phosphore assimilable
Méthode DUCHAUFOUR Et BONNEAU : double extraction acide puis basique par H_2SO_4 N/250 et NaOH N/10. Dosage par colorimétrie au bleu de molybdène.

- Fer libre : Méthode DEB
Complexation du fer par le tartrate de sodium après réduction par l'hydrosulfite de sodium. Colorimétrie par le sulfocyanure de potassium.

- Fer total
Attaque nitroperchlorique et colorimétrie par le sulfocyanure de potassium.

- Alumine libre : Méthode TAMM
Extraction par acide acétique et acétate d'ammonium : colorimétrie à l'ériochromecyanine.

- Carbone : Méthode ANNE

- Azote total : Méthode ANSCHUTT

- PH : méthode électrométrique à l'eau (25 cc d'eau pour 10 g de sol).

- les cations échangeables (Ca^{++} Mg^{++} K^{+} Na^{+}, ainsi que la capacité totale d'échange et la somme des bases échangeables sont exprimés en milliéquivalents pour 100 grammes de terre fine, séchée à l'air.

- Le carbone, l'azote et le fer sont exprimés en %

- Le phosphore assimilable (P_2O_5) et l'aluminium libre en ‰.

D - Classification

La classification de référence utilisée est la classification française, dont les principes ont été définis lors du congrès de GAND en 1962.

III - MATERIAUX ORIGINELS

L'étude géologique du Massif avait montré que le substratum était constitué essentiellement par 4 formations : Grès bigarré, Muschelkalk, Alluvions et limons.

Or, différentes actions ont, au cours du quaternaire, modifié ce système simple. Le démantellement de ces 4 formations et l'incorporation les uns aux autres, des produits qui en ont résulté, ont abouti à un système complexe de matériaux ayant des caractéristiques différentes, de celles des roches mères initiales.

Au cours des périodes où régnaient des conditions de climat glaciaire ou périglaciaire, les limons ont été affectés par des phénomènes de solifluxion : pendant les phases de dégel, glissement en masse sur les parties profondes constamment gelées, ou sur les roches dures sous-jacentes, là où existait une pente légère. Comme les limons reposaient sur des alluvions sableuses à cailloux roulés, la solifluxion s'est traduite par l'incorporation dans la masse des limons, de cailloux roulés épars.

A cette action de la solifluxion s'est ajoutée celle de la cryoturbation qui est un phénomène beaucoup plus localisé, intéressant des poches à l'intérieur desquelles les différents matériaux ont subi des "plications" et des involutions.

Dans les zones à pente plus forte, les limons ont été et sont encore soumis à des phénomènes de remaniement : Les eaux de ruissellement provoquent un déplacement du matériel déjà solifué, en l'ameublissant et en y incorporant plus complétement, les éléments grossiers des alluvions sous-jacentes.

Enfin, à la rupture de pente qui est brutale, surtout sur les versants Est et Sud, débutent des phénomènes de colluvionnement caractérisés par des déplacements beaucoup plus rapides, et par un mélange encore plus accentué des limons et des alluvions.

Un quatrième phénomène, que l'on peut distinguer des précédents, consiste en l'entraînement d'éléments fins dans des zones déprimées : cet entraînement aboutit à la formation de limons dit "de colmatage".

Ces différentes actions ont abouti à la différenciation d'une vingtaine de matériaux originels qu'il est nécessaire d'étudier plus en détail.

Le tableau n° 1 donne la composition granulométrique des formations essentielles : Pour chacune de ces formations, il a été choisi un exemple qui semblait caractéristique. Les chiffres correspondent aux horizons les plus profonds, de façon à éliminer autant que possible l'influence de la pédogénèse. Ils n'ont qu'une valeur indicative, car la variabilité est importante, surtout pour les matériaux remaniés ou colluvionnés.

TABLEAU I

Composition granulométrique des principaux matériaux -

	Composition de la terre fine en %					Cailloux en % du volume total
Matériaux et profondeur de prélèvement	0 - 2 µ A	2 - 30 µ LF	30 - 50 µ Lg	50 - 200 µ Sf	200 - 2000 µ Sg	
Limons homogènes 180 cm	34.0	39.0	17.5	3.9	4.1	0 %
Limons hétérogènes - 120 cm	31.6	27.4	13.7	11.4	10.6	5 - 10 %
Limons remaniés 120 cm	24.1	31.4	17.2	7.3	15.4	10 - 15 %
Colluvium de pente limono-sableux 80 cm	14.5	18.7	14.8	13.7	38.6	15 - 20 %
Alluvions sableuses anciennes 80 cm	8.7	5.0	2.1	16.9	64.0	40 %
Muschelkalk 180 cm	53.6	36.9	5.0	1.6	1.6	Néant
Grès à faciès argileux 100 cm	27.3	19.1	10.4	35.8	5.9	—
Grès à meule 70 cm	8.0	13.6	6.0	19.0	47.2	—
Mélange limon grès 50 cm	26.1	28.0	13.9	24.9	4.3	—

- CONGLOMERAT

Il a peu d'importance dans le Massif. Là où il affleure, il a été en partie démantelé et donne une formation de composition voisine de celle des alluvions anciennes : sables grossiers et cailloux roulés. Il s'en distingue par sa couleur lie de vin.

- GRES A VOLTZIA A MEULE

Il affleure dans la zone la plus élevée de la forêt, et forme toutes les pentes Sud et Sud-Ouest.

Il se caractérise par son taux d'argile très faible (10 % environ) et par sa forte teneur en sables, essentiellement des sables grossiers (50 %). Très rapidement, vers 1 m de profondeur, son altération est nulle et la pénétration à la tarière impossible.

- GRES A VOLTZIA ARGILEUX

Il constitue le sommet de la partie Sud, et se caractérise par un taux d'argile de 25 à 30 %, un taux de limon de 30 %, et un taux de sables, qui sont presqu'uniquement des sables fins de 40 %. Il ne forme pas, en profondeur, une dalle impénétrable.

Ces deux faciès du grès bigarré se reconnaissent très facilement des autres formations par leur couleur lie de vin.

- MUSCHELKALK MARNEUX

Seul,le Muschelkalk marneux n'est pas recouvert d'éléments récents. C'est une argile limoneuse (50 % d'argile) sans éléments grossiers, très plastique quand elle est imbibée d'eau, et impénétrable en période sèche. L'absence de calcaire est complète. On devrait lui réserver le nom d'argile plutôt que celui de marne.

- ALLUVIONS ANCIENNES

Les alluvions anciennes constituent la masse principale des dépôts récents, sous forme d'une terrasse allongée, adossée au Sud, à une hauteur résultant de l'érosion différentielle du grès bigarré et du Muschelkalk ; elles sont responsables du relief de la majeure partie du Massif. On peut estimer leur épaisseur à une quarantaine de mètres.

Elles se caractérisent par leur hétérogénéité : alternance de lits à sables grossiers, contenant 30 à 40 % de galets ou plus, et de lits sableux sans galets. Ces lits peuvent être horizontaux et parallèles entre eux, ou obliques et plus ou moins entrecroisés.

Les grains de sables formés à 90 % par du quartz, sont très émoussés. Les cailloux roulés formés de 90 % de quartz, de quartzites ou de phtanites sont analogues à ceux du conglomérat, séparant le grès vosgien du grès à voltzia, et ont, par conséquent, déjà été usés au trias.

L'ensemble présente une teinte générale rouge, dûe à des oxydes de fer qui ont cimenté plus ou moins les éléments entre eux. De ce fait, ces alluvions sont résistantes à l'érosion et, lorsqu'elles sont proches de la surface, sans avoir été démantelées, elles constituent un obstacle impénétrable.

Leur origine est manifestement fluviale. Il existe cependant deux lentilles argileuses incorporées dans cette masse avec des galets peu abondants et épars, au moins dans l'une d'elle, et l'on peut être tenté de rapprocher ces argiles des argiles à blocaux.

Malgré leur grande extension, ces alluvions n'apparaissent que très rarement seules en surface, sauf au Nord où une partie du placage limoneux a été décapé, et en quelques rares plaques, à l'amorce d'une rupture de pente.

- ALLUVIONS RECENTES

Les alluvions récentes, des vallées actuelles, occupées par des cultures, n'intéressent qu'une très petite partie du massif forestier.

Leur texture est comparable à celle des alluvions anciennes avec dominance de sables grossiers et présence de cailloux roulés. Elles s'en distinguent par leur manque de cohésion, dû à l'absence des oxydes de fer.

- LIMONS HOMOGENES NON SOLIFLUES

Ils constituent une lentille allongée, occupant tout le sommet du Massif, et ayant une épaisseur maximum d'au moins 5 mètres.

Ils sont caractérisés par une granulométrie extrèmement fine avec 60 % de limons (2 à 50 μ) et par l'absence quasi totale d'éléments grossiers (7 à 8 % de sables) et de cailloux roulés.

Leurs courbes cumulatives sont en général comprises, entre le maximum et le minimum indiqués par CAILLEUX, pour les limons éoliens, quoique parfois, la teneur en argile soit un peu forte, Leurs positions topographiques et géologiques confirment l'hypothèse de leur origine éolienne.

D'autre part, dans les carrières, les coupes ne montrent aucune stratification. Enfin, ils sont parcourus dans toute leur masse par un fin réseau de canalicules, que l'on donne souvent comme caractéristiques des dépôts éoliens, et qui seraient laissés par les anciennes racines des graminées, ayant provoqué la fixation de ces limons.

Leur texture est remarquablement constante, d'une extrémité à l'autre du placage limoneux, ainsi que leur couleur beige clair, qui permet leur reconnaissance rapide;

Ils constituent un matériel peu résistant à l'érosion, mais cependant compact, du fait de leur porosité réduite au minimum.

Aucune trace de calcaire n'a pu être décelée dans ces limons, même dans les parties les plus profondes ; Ce fait résulte soit d'une décarbonatation totale, soit, plus vraisemblablement de l'absence primitive de calcaire, si les particules transportées par le vent proviennent du Massif Vosgien, uniquemment constitué de matériaux gréseux ou cristallins.

- LIMONS HETEROGENES SOLIFLUES

Ils constituent une auréole étroite et complète autour des précédents, et s'en distinguent par la présence de cailloux roulés (5 à 10 %). Leur texture est un peu différente du fait d'une légère augmentation de la teneur en sable qui peut atteindre 20 %.

Ils sont également d'origine éolienne, et la présence d'éléments grossiers ne peut être dûe qu'à l'action de la solifluxion.

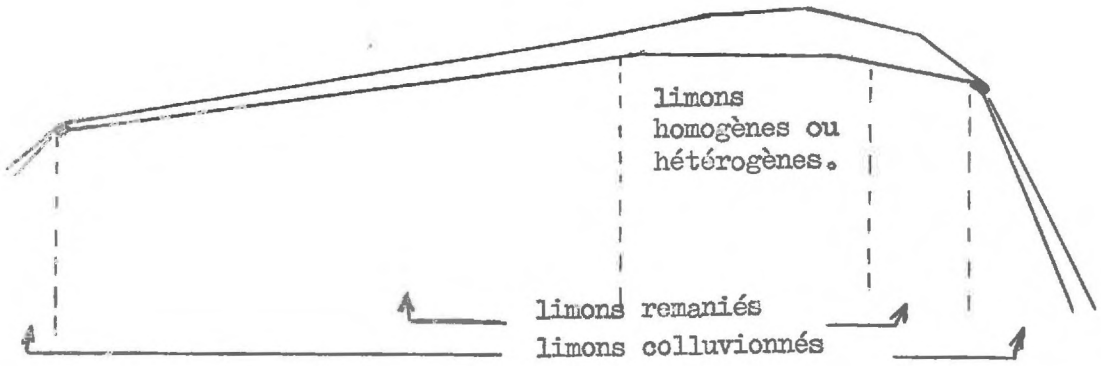
Leur compacité est aussi importante que celle des limons homogènes. Ces deux limons forment donc un matériel ayant des propriétés identiques.

Cependant les limons à cailloux roulés différent par leur épaisseur. Leur auréole concentrique peut être divisée en une zone interne, dont l'épaisseur est d'au moins 1 mètre, et une zone externe, dans laquelle les alluvions sableuses sous-jacentes apparaissent entre 50 et 100 cm.

- LIMONS REMANIES

Ils forment une seconde auréole, autour de la lentille des limons homogènes, correspondant, très exactement, à une augmentation de la pente. Il est remarquable de constater la dissymétrie de cette auréole, corrélative de la dissymétrie du Massif. Elle est large du côté Ouest et Nord-Ouest, là où le versant se raccorde en pente douce avec la Vallée de l'Arantelle, et étroite, ou même absente du côté Est, là où le versant se raccorde à la Vallée de la Mortagne par une pente forte (rive concave). Sur ce versant, on passe très rapidement, d'une pente faible, correspondant à une zone de solifluxion, à une pente forte, correspondant à une zone de colluvionnement ; la zone de pente intermédiaire correspondant au remaniement étant très étroite ou absente.

Fig. II



Ces limons remaniés ont une texture parfois presque identique à celle des limons hétérogènes. Le plus souvent, la charge en cailloux est plus forte ainsi que la teneur en sables, qui peut atteindre 20 à 25 %.

Sous la même désignation, on a donc un matériel dont la texture peut varier, mais dans des limites relativement étroites. Ce matériel reste à dominante limoneuse.

La différence essentielle avec les limons homogènes ou hétérogènes se traduit dans la compacité. Il y a eu déplacement, non plus en masse, mais de manière désordonnée et irrégulière sous l'action des eaux de ruissellement. Le résultat en est un ameublissement, et une augmentation de la porosité, considérables. Sur le terrain, cette différence est très nette lors des sondages à la tarière qui pénètre difficilement dans les limons en place, surtout en période de sècheresse.

C'est cette différence de compacité avec les limons homogènes et hétérogènes, plus que les différences granulométriques, qui ont justifié la distinction cartographique.

- LIMONS DE COLMATAGE

Leur extension est très localisée. On les rencontre dans quelques dépressions, qui ont été colmatées par des limons, provenant de l'érosion de la lentille limoneuse en place.

Leur texture est à peu près semblable à celle des limons en place. Leur épaisseur est très faible, et ne dépasse guère 1 m. Ils reposent, soit sur des alluvions sableuses, soit sur un mélange de limons et d'alluvions. Enfin, leur compacité semble moindre, que celle des limons en place, mais plus forte que celle des limons remaniés ou colluvionnés.

Il est d'ailleurs possible que ces limons de couleur grise, différente de celle des limons en place ou remaniés, aient été mis en place par sédimentation dans de petits étangs disparus. Dans les parties les plus basses de ces dépressions existent en effet des zones tourbeuses, qui pourraient être les restes de ces anciens étangs.

- MELANGE LIMONS ET PRODUITS D'ALTERATION DU GRES BIGARRE

Ce type de matériel ne se rencontre que dans une frange étroite, au contact entre le grès bigarré argileux et les limons éoliens.

Dans cette région, les limons reposent directement sur le grès sans l'intermédiaire des alluvions anciennes. En se dirigeant vers le Sud, on quitte les limons en place et, avant d'être sur le grès proprement dit, on traverse une zone à pente peu accentuée où le matériel originel n'a pas la couleur lie de vin caractéristique du grès, bien que la teneur en sable fin soit de 25 %. D'autre part, la teneur en limon est nettement plus forte que celle du grès argileux.

La texture de ce matériel est à peu près exactement intermédiaire entre celle des limons éoliens et celle du grès ; elle est parfaitement équilibrée.

D'autre part, c'est un matériel assez épais, dépassant 1 mètre, et très meuble.

- COLLUVIUMS DE PENTE

Toutes les pentes dépassant 10 à 15 % sont le siège de phénomènes d'entraînement rapide, par les eaux de ruissellement. Les matériaux qui se déplacent ainsi sont dits "colluvionnés".

Sur les flancs Est et Sud du Massif, existe une bande continue et étroite de produits colluvionnés. Sur le versant Ouest, on ne rencontre des colluvions que là, où des amorces de cours d'eau, ont entamé le plateau et créé des pentes suffisantes.

Sur les pentes correspondant aux alluvions, les éléments fins des limons sont incorporés, au cours de leur descente, aux éléments grossiers sous-jacents. Le matériel nouveau,, ainsi obtenu, est un mélange plus ou moins complet, de 2 formations et, par conséquent, de texture variable.

Le maximum de variabilité est obtenu dans les colluviums de bas de pente, dont l'épaisseur dépasse souvent 1 mètre. On peut rencontrer à peu près tous les types de texture, parfois sur des distances très courtes.

La variabilité sur les pentes proprement dites, là où le colluvium ne dépasse guère 50 cm d'épaisseur est moindre. On peut distinguer une texture limono-sableuse, la plus fréquente, avec 35 à 40 % de sables grossiers et une charge en cailloux variable, et une texture limono-argileuse avec environ 40 à 50 % d'argile et une charge en cailloux faible.

Dans l'ensemble, le brassage le long de ces pentes aboutit à la formation d'un matériel à texture équilibrée et très meuble.

Sur les pentes de grès bigarré presque toujours constituées de grès à meule, le colluvionnement n'intéressant qu'une seule roche mère, ne provoque aucun changement de texture. Le colluvium se distingue du grès initial uniquement par son ameublissement. Comme dans le cas des pentes sur alluvions, l'épaisseur du colluvium est d'environ 50 cm et augmente progressivement, pour dépasser 1 mètre, en bas de pente.

IV - UNITES PEDOLOGIQUES INVENTORIEES

La description des différentes unités inventoriées, ainsi que l'interprétation de différents profils, ne sont possibles, que si l'on admet un certain nombre de faits, dont l'étude fera l'objet de la seconde partie de ce travail.

Ces différents faits peuvent se résumer ainsi :

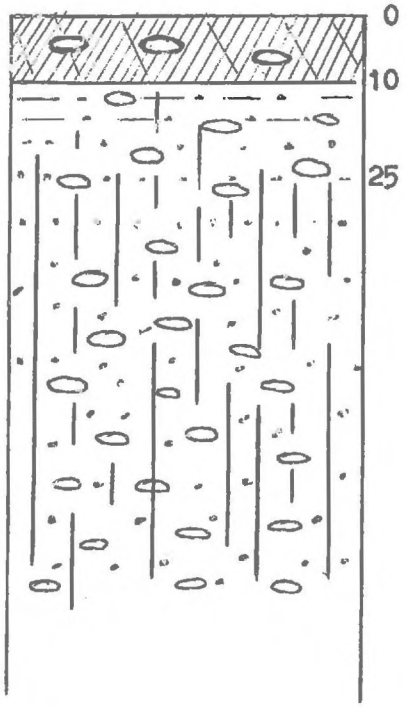
Successivement, les alluvions anciennes, puis les limons les plus anciens, qui les ont recouvertes, ont été soumis, au cours de périodes reculées, à l'action de pédogénèse de climat chaud. Cette action de climats à caractères tropicaux se traduit par la présence d'horizons rubéfiés, fréquents dans tout le massif.

Ces horizons rubéfiés sont le plus souvent recouverts de dépots éoliens plus récents, qui ont été soumis à leur tour à une nouvelle phase de pédogénèse. Cette nouvelle phase a été caractérisée par un lessivage intense, qui s'est traduit par la formation d'un horizon B d'accumulation, imperméable. Cet horizon imperméable, d'origine pédologique a provoqué secondairement l'hydormorphie d'un certain nombre de sols.

A - SOLS D'EROSION

La couverture limoneuse a été entièrement décapée. Les alluvions sableuses sont présentes dès la surface. Le profil n'est absolument pas différenciè.

L'Horizon A_1 qui est soit un mull, soit un moder, repose sur du sable compact coloré par des oxydes de fer déshydratés, soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire d'une couche de quelques centimètres de limons sableux.



A_1 Mull ou Moder

Sables limoneux
parfois absents

C Alluvions anciennes sableuses, à cailloux roulés, rubéfiées.

Fig. III

B - SOLS ALLUVIAUX ACIDES

Ils se sont développés sur les alluvions récentes de la vallée de l'Arantelle.

- texture essentiellement sableuse,
- structure grumeleuse en surface,
- l'humus épais d'une dizaine de cm très noir, à structure grumeleuse est un hydromull.

Les premières taches d'hydromorphie apparaissent à 50 cm, sous forme de plages claires et de taches rouilles plus foncées (10 %), et restent constantes en nombre et en intensité jusqu'à 120 cm. La nappe phréatique n'a pas été trouvée à la tarière (prospection en août).

N.B. - Pour la signification des symboles, voir légende in Fine.

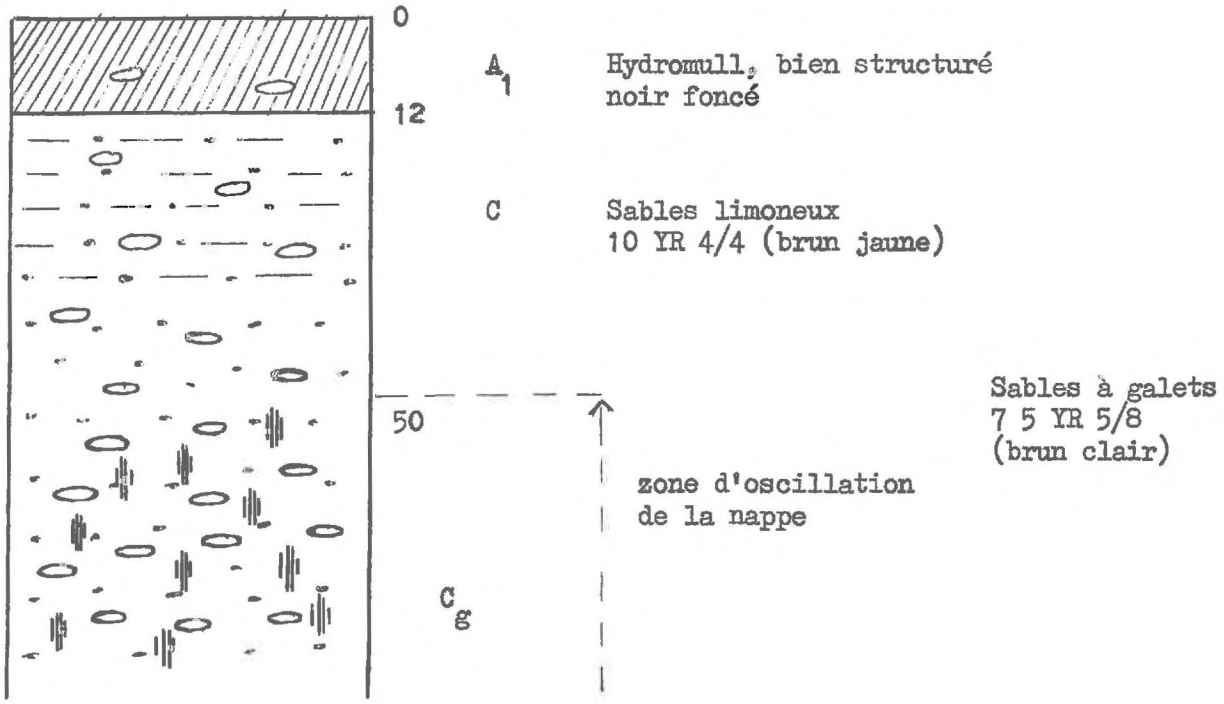


Fig. IV

C - SOLS BRUNS ACIDES

Sous la dénomination de sols bruns acides, il a été cartographié un ensemble de sols ayant comme caractère commun la non évolution du profil. Cet ensemble, cependant, est hétérogène, aussi bien par la variabilité de l'origine génétique, que par la variabilité de l'humus, ou de la texture.

L'humus toujours acide peut être un mull acide, un mull moder, le plus souvent un moder et même beaucoup plus rarement un mor.

La variabilité de la texture est dûe au fait que ces sols se sont développés sur des roches mères différentes, qui présentent souvent elles-mêmes une forte hétérogénéité.

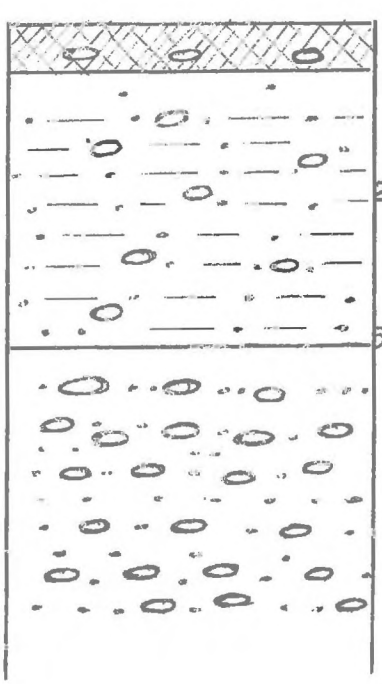
La roche-mère la plus fréquente est un colluvium de pente limono-sableux ou limono-argileux à galets roulés. Il peut très rarement arriver que ce colluvium soit entièrement limoneux sans éléments grossiers.

a) - <u>Exemple de sols bruns acides sur colluvium de pente limono-sableux</u> :

Emplacement E_5 (parcelle 21)

Pente 10 %

Jeune Sapinière



A_1 Mull-Moder

A_1/(B) Structure finement grumeleuse
30 % de cailloux roulés
brun jaune

(B) Structure particulaire
35 % de cailloux roulés
brun vif.

Colluvium

C Alluvions anciennes très compactes
60 % de cailloux roulés.

Fig. V

TABLEAU II

Analyse : sol brun acide sur colluvium limono-sableux

	P_H	M.O. %	C %	N %	C/N	R m.e./100g	Ca m.e./100g	P_2a_5 %	Fe %
A_1 3-9 cm	4,5	15,5	7,75	0,31	25,0	0,30	0,32	0,05	0,53
A_1 / (B) 9-25	5,35	4,4	2,58	0,09	28,6	0,07	0,10	0,02	0,60
(B) 25-50 cm	5,0	0 ,9	0,55			0,07	0,07	0,11	0,70
C 50 →	5,1					0,07	0,26	0,02	0,58

diamètre des particules en μ	A 0-2	L_f 2-20	L_g 20-50	S_f 50-200	S_g 200 à 2 000
A_1	13,4	24,2	12,1	11	22,4
A_1 / (B)	11,8	26,7	17,6	13,3	23,5
(B)	15,0	27,9	13,7	12,4	26,0
C	13,6	28	16,5	10,5	26,5

- Interprétation

- Humus de type moder,
- Sol très peu épais,
- Enracinement entravé dès 50 cm,
Texture équilibrée caractéristique du mélange limons et sables des alluvions anciennes,
- Lessivage nul ou très faible du fer et de l'argile,
- Sol très pauvre en potassium et en phosphore.

Tous ces sols développés, sur un matériel constamment brassé, et sur une pente empêchant tout lessivage vertical du fer et de l'argile, n'ont donc pas évolué.

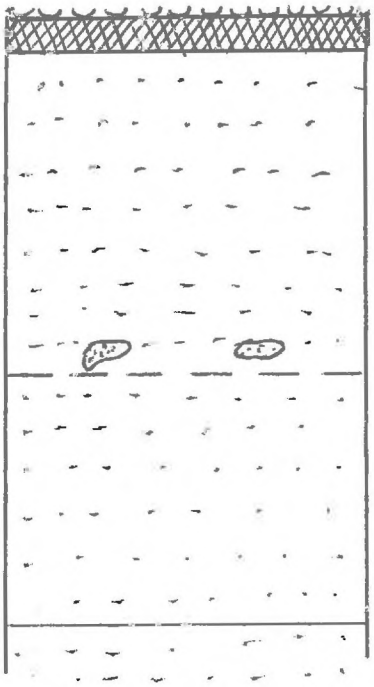
Génétiquement ces sols sont différents de ceux rencontrés sur grès bigarré.

b) - Sols bruns acides sur grès

Sur grès, en station horizontale, où le rajeunissement continuel par colluvionnement ne peut cependant pas être invoqué comme cause de non différenciation, alors que la texture grossière semblait prédisposer au lessivage, on a également des sols bruns acides, comme dans l'exemple décrit ci-dessous.

Sol brun acide sur grès

- emplacement : K_9
- Peuplement : hêtres et chênes avec sous-étage de sapins.
- Description :



1 Ao
5 A_1 Moder - structure particulaire gris foncé

(B) Structure particulaire - meuble
enracinement abondant
5 YR 5/6 (rouge jaunâtre)

60 Transition diffuse entre les 2 horizons (B) et (B)/C

(B)/C Structure massive - compact
2 5YR 4/4 (brun rouge)

fig. VI

TABLEAU III

Analyse : Sol brun acide sur grès

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	P_2O_5 ‰	Fe %
A_1 1-5 cm	3,8	5,35	9,2	0,24	22,3	0,35	0,34	0,03	0,61
(B) 10-15	4,5	1,82	3,15	0,06	30,3	0,08	0,10	0,07	0,53
(B) 55-60	4,4	0,41	0,7			0,21	0,27	0,04	0,55
(B)/C 100	4,3					0,11	0,25	0,06	0,56

Diamètre des particules en μ	A 0-2	L_F 2-20	L_G 20-50	S_F 50-200	S_G 200-2 000
A_1 1-5 cm	12,3	15,2	7,1	10,7	43,8
(B) 10-15	12,0	16,8	7,1	10,6	49,2
(B) 55-60	12,9	17,8	7,5	11,2	49,0
(B)/C 100	12,0	12,0	2,6	7,1	65,8

Nous sommes en présence d'un véritable sol brun acide où l'évolution est entravée par un autre facteur que la pente. DUCHAUFOUR et SOUCHIER admettent pour ce type de sol brun acide une insolubilisation rapide de l'humus, par le fer et l'alumine libérés, empêchant tout lessivage.

Dans ce type de sol sur grès, les propriétés chimiques ne sont pas favorables ; le phosphore en particulier est très peu abondant. Par contre, l'enracinement peut s'effectuer profondément.

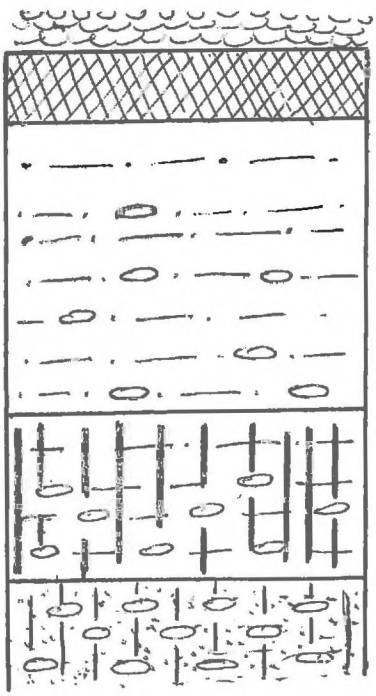
Les sols bruns acides sur colluvium de pente gréseux sont très semblables, l'évolution étant doublement entravée par la pente, et par l'insolubilisation rapide de l'humus.

c) - Un exemple de sol brun acide développé sur colluvium limonosableux (mélange alluvions-limons) est particulièrement intéressant.

- Emplacement ; Peuplement clair de Pins sylvestres agés avec sous-étage de hêtres - J_5 (parcelle 40).

- Strate herbacée : vaccinum myrtillus
Deschampsia flexuosa
Calluna vulgaris

- Pente : 5 %



0 à 8	A_0	épais	
8 à 15	A1	Mor typique	
15 à 65	(B)	Structure finement grumeleuse très meuble - bon enracinement 10 YR 5/4 (brun jaune) puis 7 5YR 6/6 (jaune rouge) 20 % de cailloux roulés	colluvium de pente
65 à 90	II B	Structure polyédrique à tendance lamellaire - traces d'hydromorphie. 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre) 10 % de cailloux roulés.	limon rubéfié et soliflué
90 et +	III C	Alluvions anciennes sableuses compactes. 5 YR 7/8 -rouge jaunâtre) 40 % de cailloux roulés	

fig. VII

Ce profil est complexe et comprend 3 roches mères successives : un colluvium de pente, un limon ancien, représenté par l'horizon II B d'un sol rubéfié, et enfin des alluvions anciennes rubéfiées (III C)

TABLEAU VI

Analyse : sol brun acide à mor sur colluvium

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100 g	Ca m.e./100g	P_2O_5 ‰	Fe %
A_1	3,3	14,21	28,4	0,47	30,2	0,18	0,33	0,10	0,70
(B) 20-25	4,45	2,81	4,8	0,09	31,2	0,31	0,15	0,04	1,12
(B) 50-60	4,5	0,88	1,5	0,04	22	0,09	0,05	0,10	0,95
II B 70-80	4,9	0,51	0,9			0,12	0,10	0,11	2,60

Diamètres des particules en μ	A 0-2	LF 2-20	LG 20-50	SF 50-200	SG 200-2 000
A_1					
(B) 20-25	18,8	21,5	11,8	11,8	29,4
(B) 50-60	14,5	18,7	14,8	13,7	38,6
II B 70-80	25,4	32,5	3,0	12,5	25,4

Le sol brun acide correspond uniquement au colluvium de pente limonosableux, dont la texture est caractéristique.

L'humus est un mor typique. On pourrait s'attendre à rencontrer un profil évolué. Or, le profil est celui d'un sol brun sans la moindre trace d'évolution.

Le taux d'argile reste constant ; en effet, l'augmentation constatée en II B, correspond à un matériel différent.

Le fer ne présente pas/non plus la moindre trace de lessivage. En effet, l'horizon A_1 ayant 28 % de matières organiques, le taux de fer réel est d'environ 1 %. Le taux de 2,6 % en fer de l'horizon II B n'est pas à prendre en considération, cet horizon étant fossile et ayant subi une pédogénèse de climat chaud.

Si la pente peut expliquer l'absence de lessivage, elle ne peut expliquer l'absence de podzolisation visible. Sur des pentes analogues un podzol ou un sol podzolique peuvent parfaitement se développer.

La forte teneur en éléments fins (argile 18 % et limons fins 20 %) et, probablement comme pour le sol précédent, le blocage de la matière organique par le fer et l'alumine libre, peuvent être considérés comme la cause de cette non-différenciation.

Les propriétés de ce sol ne sont guère différentes du premier profil décrit sur colluvium limono-sableux :

- propriété chimiques défavorables,
- de plus ici, présence d'un mor empêchant le retour des éléments minéraux,
- enfin, enracinement entravé dès 50 cm.

D - SOLS BRUNS MARMORISES

Ces sols sont très peu représentés dans le Massif. On les rencontre soit sur colluvium de bas de pente, soit sur grès à faciès argileux.

Dans le premier cas, ils ne différent des sols bruns sur colluvium que par la présence, en profondeur, de traces d'hydromorphie dues à la proximité d'une nappe permanente.

Dans le second cas, ils sont semblables aux sols bruns acides sur grès. La présence de caractères d'hydromorphie est due à la nature du grès peu favorable, en cet endroit, au drainage.

Difficulté de détermination

La détermination de ces sols bruns acides est délicate, non seulement parce que la pénétration de la tarière est souvent impossible du fait de la présence de cailloux roulés, mais surtout, parce que les critères habituels : absence d'augmentation de la teneur en fer et en argile, en profondeur ne peuvent être utilisés qu'avec beaucoup de prudence.

Les matériaux originels résultant d'un brassage le long d'une pente ont une texture variable, si bien qu'une augmentation de la teneur en argile, en profondeur, ne veut pas toujours dire lessivage.

Il en est de même pour la teneur en fer libre qui augmente souvent en profondeur, parce que le colluvium repose sur les alluvions anciennes, ayant subi une pédogénèse de climat chaud.

Le seul critère utilisable est l'absence, en profondeur, d'une structure polyédrique avec ou sans enrobements argileux (le plus souvent, il n'en existe pas). La structure de ces sols bruns reste grumeleuse dans tout le profil devenant parfois particulaire, en B.

On pourra objecter que la présence d'une structure polyétrique en B peut très bien se rencontrer dans un sol brun. A Sainte-Hèlène, il n'existe pas de matériel originel sauf de très rares exceptions (alluvions argileuses anciennes ou Muschelkalk) ayant plus de 30 % d'argile, teneur qui est insuffisante pour provoquer la formation d'un B structural ; la structure polyédrique est en effet la conséquence d'une teneur en argile au moins égale à 30 %, teneur nécessaire pour que le retrait de l'argile puisse, en période séche, provoquer un réseau de fentes de déssication délimitant des unités polyédriques.

Une teneur en argile égale ou supérieure à 30 %, et donc la présence d'une structure polyédrique, ne peuvent être attribuées qu'au lessivage, dans le cas des sols de ce massif.

Limons remaniés et colluvium résultent en effet d'un mélange de limons (teneur initiale en argile de 15 à 35 %) et d'alluvions sableuses ; ils ont par conséquent un taux d'argile inférieur à 30 %.

A Sainte-Hélène, dans la plupart des cas, une structure polyédrique est l'indication d'un horizon argillique et non d'un horizon structural.

E - SOLS BRUNS LESSIVES

Ces sols sont caractérisés par un entrainement du fer et de l'argile de l'ordre de 1,5 à 2, ce qui a pour conséquence la formation d'un horizon B argillique ; cet horizon se différencie nettement à l'oeil de l'horizon A_2, par sa couleur ocre (7 5YR 6/8) et sa structure polyédrique, avec parfois des enrobements visibles.

L'humus est toujours du type mull-moder.

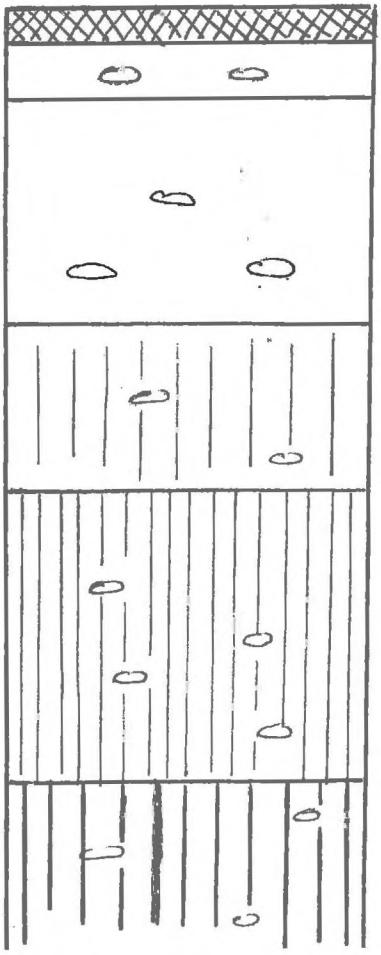
Contrairement aux sols bruns acides, ils constituent un ensemble homogène. Ils se rencontrent essentiellement sur les limons remaniés. Il en résulte que les variations entre les profils, seront dues à celles de ce matériel originel ; charge en éléments grossiers plus ou moins importante suivant l'intensité du remaniement, apparition des alluvions anciennes à plus ou moins grande profondeur.

Dans la partie sud du Massif, sur le mélange limons grès bigarré et sur une partie du grès bigarré, on rencontre également des sols bruns lessivés.

a) - exemple de sols bruns lessivés sur limons remaniés :

Emplacement H_4 (parcelle A_1 : forêt communale de Ste Hélène)
Futaie de hêtres et de chênes
Pente 5 %

Fig. VIII -



A_{11} Mull-moder - structure très finement grumeleuse
5 - 10 % de cailloux roulés

A_{12}

A_2 Structure grumeleuse moins caractéristique.
Enracinement abondant - 25 % de cailloux roulés
10YR 6/3 (brun pâle)

A_2/B Structure devenant anguleuse
10YR 6/4 (brun pâle)

B Structure polyédrique irrégulière
unités de 0,5 à 1 cm
5 - 10 % de cailloux
quelques rares enrobements 7 5YR 6/8
-jaune rougeâtre)

II B Limons rubéfiés 1-2 % de cailloux roulés
5 YR 5/8 (rouge jaunâtre).

Comme la majorité de ceux du Massif, ce profil est complexe ; de 0 à 120 cm le matériel originel est un limon remanié ; à partir de 120 cm le matériel est différent ; nous sommes en présence d'un limon rubéfié et soliflué. Il n'y a donc pas d'horizon C, l'horizon II B étant un matériel totalement différent.

Il n'y a aucune transition nette entre les différents horizons.

TABLEAU V

Analyse : sols bruns lessivés

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	Mg m.e./100g	S	T	S/T	P_2O_5 ‰	Fe %
A_{11}	4,2	10,8	21,6	0,55	19,6	1,25	2,60	1,85	5,70	21	27	0,11	0,82
A_{12}	4,55	3,09	5,3	0,18	17,2	0,29	0,21	0,38	0,88	11	8	0,07	0,99
A_2	4,55	1,29	2,2	0,09	14,3	0,16	0,14	0,40	0,70	6	11,5	0,06	1,10
A_2/B	4,55	0,69	1,2	0,05	13,8	0,43	0,14	0,38	0,95	7	13,5	0,05	1,33
B	4,8	0,23	0,4			0,19	0,32	0,89	1,40	8,5	15	0,10	1,64
II B	5,05	0,32	0,5			0,24	1,39	2,50	4,13	12	34	0,43	2,72

Diamètre des éléments en ‰	A 0-2	LF 2-20	LG 20-50	SF 50-200	SG 200-2 000
A_{11}					
A_{12}	20,2	30,4	18	6	14,9
A_2	18,7	36,9	20,7	6,0	13,8
A_2 / B	23,3	37,4	18,2	5,5	12,5
B	30,2	29,9	16,6	6,1	14,4
II B	47,2	14,5	8,0	6,4	19,7

Indice d'entrainement du fer : 1,6
" " de l'argile : 1,5

La teneur de l'horizon II B en fer libre (2,7 %) et en argile (47,2%) sont identiques à celles de l'horizon II B du sol rubéfié, qui sera ultérieurement décrit.

Le taux de saturation en base est faible, très nettement inférieure à 35 % en B, ce qui interdit de ranger ce sol dans l'ordre des alfisols de la classification américaine, bien que ce ne soit manifestement pas un ultisol.

Nous pouvons résumer ainsi les caractéristiques de ce sol :
- Humus de type mull-moder
- Acidité élevée
- Profil très meuble
- texture équilibrée du fait de l'incorporation d'éléments grossiers aux limons
- Prospection des racines sur une grande profondeur
- Teneur suffisante en potassium

Teneur faible en phosphore assimilable sauf en II B
- Lessivage du fer et de l'argile de 1,5

La détermination de ces sols bruns lessivés est souvent délicate, du fait d'une part de la variabilité des limons remaniés sur la hauteur d'un même profil, et d'autre part du fait de la complexité fréquente de ces profils, qui peuvent résulter de la superposition de deux pédogénèses.

b) - Prenons par exemple le cas de la fosses située en B3.
(parcelle 2)

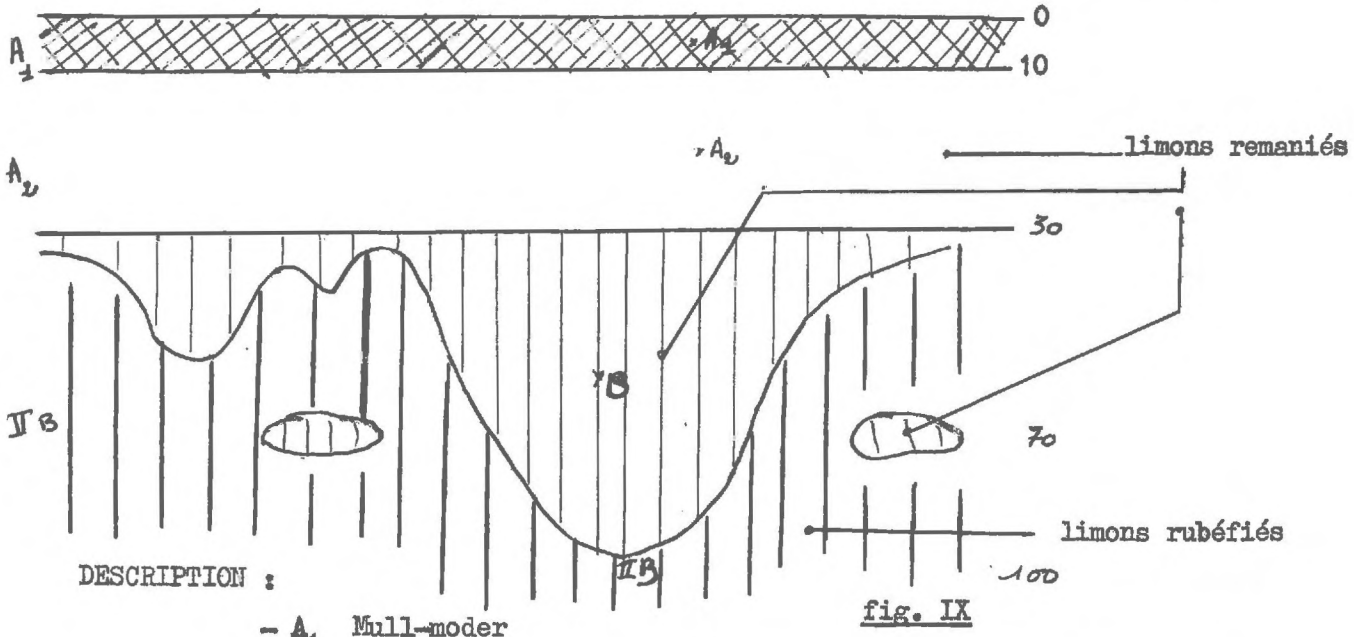


fig. IX

- A_1 Mull-moder
- A_2 Structure finement grumeleuse, 2 5Y 6/4, 2 à 3 % de cailloux roulés (brun jaune pâle)
- B Structure polyédrique, enrobements d'argile, 10 YR 6/4, 5 % de cailloux roulés (brun jaune)
- IIB Structure polyédrique-compact, 15 à 20 % de cailloux roulés 5 YR 5/8 (rouge jaunâtre)

TABLEAU VI

Analyse : Sol brun lessivé à profil complexe

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100 g	Ca m.e./100 g	P_2O_5 ‰	Fe %	T
A_1 0–10	4,2	2,31	4,0	0,15	15,4	0,32	0,68	0,10	1,21	9,6
A_2 10–20	4,2	1,15	2,0	0,07	16,4	0,13	1,0	0,05	1,07	7
B 60–70	4,2	0,60	1,0	0,05	12,0	0,13	0,38	0,07	1,44	8,3
II B 100–110	4,5					0,14	0,73	0,22	2,60	12,4

diamètre des éléments en microns	A 0–2	LF 2–20	LG 20–50	SF 50–200	SG 200–2 000
A_1	19,6	34,5	18,3	7,2	14,5
A_2	24,1	31,4	17,2	7,3	15,4
B	26,8	35,0	17,0	5,8	11,2
II B	44,8	15,9	8,4	3,8	17,6

INTERPRETATION

Pour interpréter ce profil il faut admettre que le matériel originel est constitué d'une couche de limons remaniés, ayant une épaisseur comprise entre 20 et 80 cm, et reposant sur une couche de limons rubéfiés à surface tourmentée.

Cette couche rubéfiée, dont la forte proportion de cailloux roulés peut faire penser qu'elle est solifluée, a de plus été fortement remaniée, peut être par cryoturbation, puisque de petites lentilles de la couche supériare se trouvent incorporées dans sa masse.

On ne peut déceler la présence d'un sol brun lessivé que dans la poche où la couche rubéfiée est située à 80 cm de profondeur.

L'indice d'entrainement du fer (B/A_2) égal à 1,4, ainsi que la structure polyédrique et la présence d'enrobements peu visibles, permettent de conclure dans ce sens.

Ailleurs lorsque la couche rubéfiée apparait à 50 cm ou moins, rien ne permet de mettre en évidence le lessivage : Si on se basait sur les teneurs en fer et en argile, à 20 et à 60 cm, on trouverait respectivement des indices d'entrainement de 2,4 et 2, ce qui serait inexact.

Dans la zone, où est située cette fosse, on passe brusquement dans un intervalle de 1 mètre, à des sols à couche rubéfiée présente dès 20 cm, à des sols bruns lessivés véritables, développés dans des poches de limons non rubéfiés.

L'ensemble a été cartographié sols bruns lessivés, car de toute façon même si on ne peut le mettre en évidence, il y a un léger lessivage actuel.

c) - sol brun lessivé sur grès

Emplacement K_7 (parcelle 50)

Description

0 - 10 cm	Horizon	A_1	Structure grumeleuse, couleur gris-rouge
10-40 cm	"	A_2	meuble , structure finement grumeleuse, excellent enracinement, 7 5 YR 6/4 (brun clair)
40-80 cm	"	B	moins meuble, structure massive, quelques racines 5 YR 5/4 (brun rouge)
80 cm et plus	"	C	Impénétrable, grès non altéré.

TABLEAU VII

Analyse : Sol brun lessivé sur grès

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	Mg m.e./100g	P_2O_5 ‰	Fe %	T m.c./100g
A_1 0-3	4,7	6,57	12,7	0,31	20,5	1,06	2,78	1,67	0,10	0,79	16
A_2 5-15	4,7	1,29	2,2	0,07	18,4	0,27	0,25	0,38	0,05	0,77	6
A_2 30-40										0,86	
B 45-55										1,25	
B 65-70	4,85	0,18	0,3			0,27	0,35	0,64	0,07	1,08	6
C 80-90										1,00	

diamètre des éléments en microns	A 0-2	LF 2-20	LG 20-50	SF 50-200	SG 200-2 000
A_1 0-3	23,7	24,1	13,7	20,7	2,4
A_2 5-15	13,1	31,7	19,5	28,0	4,5
A_2 30-40	17,7	33,3	18,4	23,7	5,9
B 45-55	26,7	25,1	15,5	26,0	3,7
B 65-70	27,2	20,8	11,6	36,0	2,7
C 80-90	23,3	17,1	9,0	46,1	2,9

INTERPRETATION

Les teneurs en fer libre et en argile des horizons A_2 et B, permettent de penser, qu'il y a effectivement eu lessivage. Les indices d'entrainement sont respectivement de 1,6 et 2.

La teneur en fer libre passe nettement par un maximum aux environs de 60 cm. Il en est de même pour la teneur en argile, qui passe par un maximum aux environs de 70 cm.

Cependant en A_1 la teneur en argile est de 23,7 %, donc égale à celle de l'horizon C. S'il y a eu lessivage comme le montre la variation de la teneur en fer libre, l'hétérogénéité de la roche mère doit intervenir au même titre que le lessivage.

A l'oeil il est difficile de distinguer l'horizon B. Il est peu différent de la roche mère, aussi bien par sa couleur, que par sa teneur en argile. Il n'existe pas de structure polyédrique. Cette absence de structure polyédrique doit être due au faible taux d'argile (27 % en B).

On peut distinguer l'horizon A_2 de l'horizon B, à l'oeil, du fait de la différence de structure, et d'une légère décoloration.

Malgré cette faible différenciation du profil, ces sols développés sur grès ont été cartographiés comme sols bruns lessivés.

Ils sont d'ailleurs très proches des sols développés sur limons remaniés. Leur texture bien équilibrée diffère légèrement de celle des limons remaniés, par une teneur en argile un peu moindre, et une proportion plus élevée en sables fins.

Il n'existe pas de cailloux dans le profil.

Malgré la structure massive en B, la pénétration des racines se fait sans trop de difficulté.

L'humus malgré son C/N élevé est plus proche d'un mull que d'un moder.

La teneur en potassium échangeable est suffisante. La teneur en phosphore assimilable est faible.

F - SOLS LESSIVES - SOLS LESSIVES MARMORISES - SOLS LESSIVES A PSEUDOGLEY

a) - Sols développés sur limons

Ces sols constituent un ensemble parfaitement homogène du point de vue génétique. Ils se caractérisent par un entrainement du fer et de l'argile supérieur à 2, et ne diffèrent que par leur degré d'hydromorphie.

Dans les sols lessivés typiques il n'y a aucune ségrégation du fer. Ces sols constituent une exception dans le massif.

Les sols lessivés marmorisés présentent un début d'hydromorphie qui se manifeste dans l'horizon d'accumulation par un début de migration latérale du fer, localisé sur les faces des unités structurales, et en particulier au niveau des enrobements argileux.

L'horizon d'accumulation des sols lessivés à pseudogley, présente un aspect bigarré très marqué ; en outre il se différencie un horizon A_{2g}, qui n'existe pas dans les sols lessivés marmorisés.

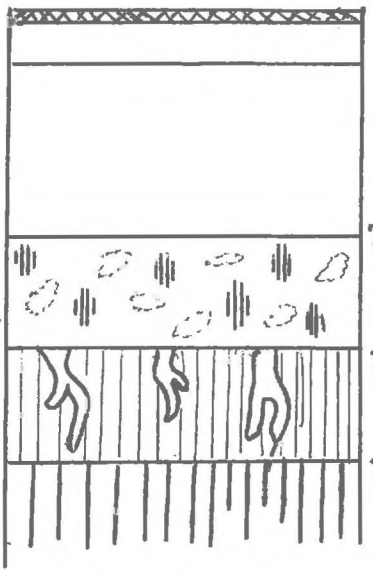
Les propriétés de ces sols développés, soit sur limons homogènes, soit sur limons hétérogènes, présentent des variations continues, et ne peuvent être étudiées séparémment.

Les propriétés des deux profils I et II étudiés ultérieurement, lors de l'essai d'interprétation de la génèse des sols à pseudogley, représentent deux aspects de cette/continue, et peuvent servir d'exemple type.
gamme

Une description très détaillée de ces 2 profils sera donnée dans la deuxième partie. Néanmoins il est nécessaire ici d'en donner une description sommaire.

Profil nº I - Emplacement H_4 (parcelle A_1 forêt communale de Sainte Hélène)

Sol lessivé à pseudogley profond



0
5 A_{11} Mull moder
A_{12} Structure finement grumeleuse 2 5Y 6/4 (jaune gris)

A_2 Absence de structure - bon enracinement
2 5Y 7/4 (jaune pâle)

70 Enracinement peu dense
matrice 2 5Y 7/4 (jaune pâle)
A_{2g} 10 - 20 % de taches rouilles
10 - 20 % de taches plus claires

120. . . Plancher de la nappe temporaire
Structure polyédrique
B_g 2 5Y 7/8 (ocre)
nombreuses bandes décolorées verticales

150
IIB limon ancien rubéfié

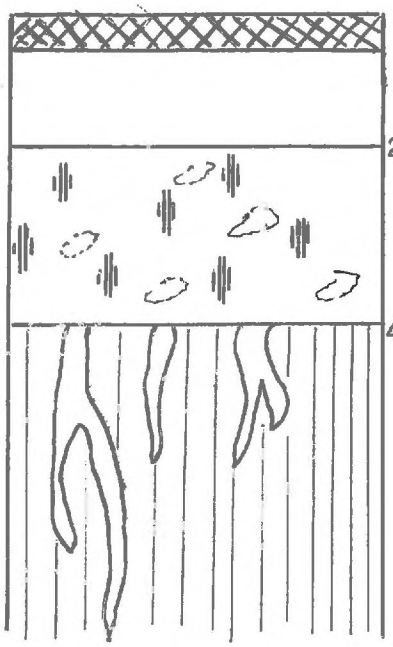
fig. X

	PH	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	Mg m.e;/100g	P_2O_5 ‰	Al libre ‰	T	S/T	Fer libre
A_1	4,4	9,96	19,9	0,56	17,8	1,21	4,20	2,41	0,10		22	35	
A_2	5,1	0,41	0,7			0,11	0,73	0,46	0,10	2,7	4	32,5	0,78
B_g	5,2	0,18	0,3			0,19	1,30	1,30	0,11	3,0	9	30	1,90

Diamètre des éléments en microns	A 0-2,	If 2-20	Lg 20-50	Sf 50-200	Sg 200-200
A_1					
A_2	16	49	23	6,5	7,1
B_g	33,5	35	17	4,7	4,7

TABLEAU VIII

Profil n° II - Emplacement



0 A_o Moder légèrement hydromorphe

5 A_1

A_2 peu épais sans structure 2 5Y 7/4 (jaune pâle) bon enracinement

20

A_{2g} Enracinement faible
matrice 2 5Y 7/4 (jaune pâle)
10 - 20 % de plages rouilles
10 - 20 % de plages claires

45 . . . . . Plancher de la nappe temporaire

B_g Structure polyédrique
matrice 2 5Y 7/8 (ocre)
Nombreuses bandes décolorées verticales.

fig. XI

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100 g	Ca m.e./100g	Mg m.e./100g	P_2O_5 ‰	Al libre %	Fer libre %	T m.e./100g	S/T
A_1	3,8	14,94	29,9	0,67	22,3	1,31	1,55	0,83	0,11			26	14,2
A_{2g}	4,7	0,41	0,7			0,28	0,25	0,11	0,05	2,8		5,5	11,6
B_g	5,05	0 ,14	0,2			0,22	0,44	1,46	0,09	3,2		10	21
B_g	5,1	0,09	0,1			0,19	1,53	2,16	0,10	3,1		10	32,8
B/C	5,35	0,09				0,21	2,32	2,33	0,10	3,2		11,5	42,0

Diamètre des éléments en microns	A 0-2	Lf 2-20	Lg 20-50	Sf 50-200	Sg 200-2000
A_1					
A_{2g}	12,5	52	22	5,2	5,8
B_g	33	39	15,5	2,9	3,1
B_g					
B/C					

TABLEAU n° IX

INTERPRETATION

Les indices d'entrainement du fer et de l'argile sont supérieurs à 2, ce qui justifie le classement de ces sols dans les sols lessivés.

Propriétés chimiques

Les limons étaient à l'origine convenablement pourvus en potassium (0,31 m.e.) en calcium (2,3 m.e.) et en magnésium (2,3 m.e.), comme le pontre la teneur en ces éléments de l'horizon C.

Par contre la teneur en Phosphore assimilable était faible (0,10‰).

Le lessivage a provoqué un appauvrissement par migration en profondeur des bases échangeables, sans que la teneur en P_2O_5 assimilable semble avoir varié .

A cet appauvrissement du au lessivage s'est ajouté, quand l'hydromorphie est apparue, une nouvelle disparition des bases échangeables, (désaturation du complexe absorbant, augmentant avec l'intensité de l'hydroporphie), et également du phosphore, qui en A_{2_g} et en B_g devient suffisant.

Propriétés physiques

A ces propriétés chimiques peu favorables, s'ajoutent de mauvaises propriétés physiques.

- Structure fondue en A_2 et en A_2
- Compacité élevée de l'horizon B^g_g
- Présence d'une nappe temporaire, au niveau de laquelle l'enracinement est presque nul.

Ces sols seront donc d'autant plus défavorables que l'horizon B_g sera proche de la surface.

Lorsque cet horizon est situé à plus de 70 cm, le volume prospecté par les racines devient suffisant, comme c'est par exemple le cas pour le profil n° 1.

Par contre dans le profil n° II, l'enracinement est limité dès les premières dizaines de centimètres, du fait de la présence de la nappe temporaire et du plancher, à faible profondeur. D'autre part pour ce profil n° II, dans la zone de prospection des racines, les propriétés chimiques sont plus défavorables que pour le profil n° I.

Un certain nombre de sols développés sur des matériaux divers Muschelkalk marneux, alluvions argileuses et limons de colmatage, ont été cartographiés comme sols lessivés à pseudogley, bien qu'ils diffèrent sensiblement des sols typiques développés sur limons.

b) - Sols développés sur Muschelkalk marneux

Exemple : fosse située en K_1

Description

0 - 1 cm	Horizon A_1	Mull très peu visible - structure grumeleuse grumeaux de 3 à 8 mm 5 Y 7/3 (jaune pâle)
1 - 15 cm	Horizon A_2	Structure grumeleuse 2 5Y 6/4 (brun jaune pâle)
15-45 cm	Horizon A_{2g}	Structure fondue. Matrice 2 5Y 6/4 (brun jaune pâle) 5-10 % de taches rouilles 5-10 % de taches plus claires
45-100 cm	Horizon B_g	Teinte générale 5 YR 7/3 (ocre) 30 % de bandes verticales décolorées 30 % de plages 10 YR 5/8

Analyse

	P_H	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	Mg m.e./100g	P_2O_5 ‰	Fe %	T m.e./100g	S/T
A_1	5,05	2,40	4,1	0,16	15,0	0,63	2,02	0,95	0,07	6,95	9,5	38
A_{2g} 30-35	4,85	0,78	1,3	0,06	13,0	0,15	0,86	0,62	0,09	0,98	7	23
Bg 45-55	5,0	0,23	0,4			0,31	2,90	4,20	0,07	1,51	15	50
Bg 70-80	5,35	0,14	0,2			0,36	8,80	8,75	0,07	1,11	15	100

Diamètre des éléments en microns	A 0-2	Lf 2-20	Lg 20-50	Sf 50-200	Sg 200-2000
A_1	20	44,3	22,2	4,9	2,6
A_{2g} 30-35	17,9	49	21,3	5,0	3,8
Bg 45-55	41,8	35,9	15,3	2,3	0,7
Bg 70-80	41,9	36,4	15,1	2,0	0,4

TABLEAU n° X

L'originalité de ces sols par rapport à ceux développés sur limons, réside dans leur richesse en bases échangeables, ce qui se traduit dans le profil par l'existence d'un mull, à C/N de 15, dont la faible épaisseur traduit une forte activité.

L'indice d'entrainement de l'argile est supérieur à 2, alors que celui du fer n'est que de 1,5. Il est donc légèrement inexact du fait de ce faible entrainement du fer, confirmé par d'autres analyses, de classer ce sol parmi les sols lessivés à pseudogley.

Bien qu'en valeur absolue, ces sols soient riches en éléments échangeables, on notera la désaturation relative du complexe absorbant en B_g et $A2_g$, au niveau du plancher de la nappe, et dans la zone d'oscillation de cette nappe.

Si la teneur en bases échangeables est forte, la teneur en phosphore est faible.

Les propriétés physiques sont défavorables du fait, comme pour les sols précédents, de l'existence d'une nappe temporaire, et de l'extraordinaire compacité des horizons $A2_g$ et B_g en période sèche.

c/ Sols à hydromorphie temporaire provoquée par la présence d'alluvions argileuses

Sur une surface réduite (E 5 et F 5), existe une petite lentille d'alluvions anciennes très argileuses, recouvertes de limons remaniés ayant une épaisseur de 40 à 70 cm. Ce niveau argileux, situé à faible profondeur, a provoqué la formation d'une nappe temporaire et la différenciation d'horizons hydromorphes, très semblables à ceux observés dans les sols lessivés à pseudogley.

Ici la présence d'un horizon imperméable n'est donc pas due à un phénomène pédologique, mais à une discontinuité géologique.

Néanmoins le profil est très semblable à celui d'un sol lessivé, ce qui justifie le rattachement de ces sols aux sols lessivés.

Cependant ils ont été cartographiés ainsi, uniquement parce que la multiplicité des unités risquait de rendre l'impression de la carte beaucoup trop onéreuse.

d/ Sols développés sur limons de colmatage

Il existe dans le massif quatre zones déprimées, colmatées par un matériel à texture fine, provenant probablement de l'érosion de la lentille des limons homogènes et hétérogènes.

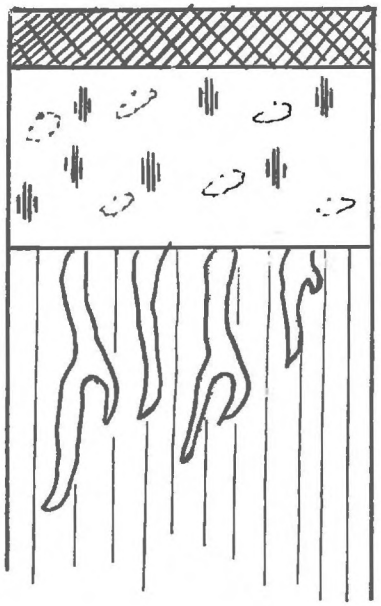
L'interprétation des sols qui s'y sont développés est particulièrement délicate. Les caractères d'hydromorphie sont très variables d'aspects.

Sur la carte, ces sols n'ont pas été distingués des sols lessivés à pseudogley, bien que l'hydromorphie ne soit pas due au lessivage, mais plutôt à la position topographique.

Cependant leurs propriétés physiques et chimiques ne sont guère différentes de ces sols lessivés à hydromorphie temporaire. C'est pour cette raison et pour ne pas compliquer la représentation cartographique, qu'il a été décidé de ne pas créer une unité supplémentaire.

G - PSEUDOGLEYS A NAPPE PERCHEE

Ils constituent trois petites zones très localisées sur limons homogènes. Leur étude ne peut se disjoindre de celle des sols lessivés à pseudogley, qui sera ultérieurement effectuée.



A_1 Moder hydromorphe gris plastique
enracinement dense

A_{2g} Structure fondue
taches rouilles et plages grises
matrice jaune pâle

. . / . Plancher de la nappe temporaire

B_g Structure polyédrique
réseau très dense de bandes décolorées verticales
matrice ocre

fig. XII

Nous ne donnerons que les caractéristiques essentielles de ces sols, l'ensemble de leurs propriétés se déduisant de celles des sols à pseudo-gley, dont ils dérivent comme nous le verrons dans la seconde partie.

La différence essentielle réside dans le fait que l'hydromorphie est présente dès la surface. L'humus est un moder hydromorphe, l'horizon A_2g débute immédiatement sous l'horizon organique.

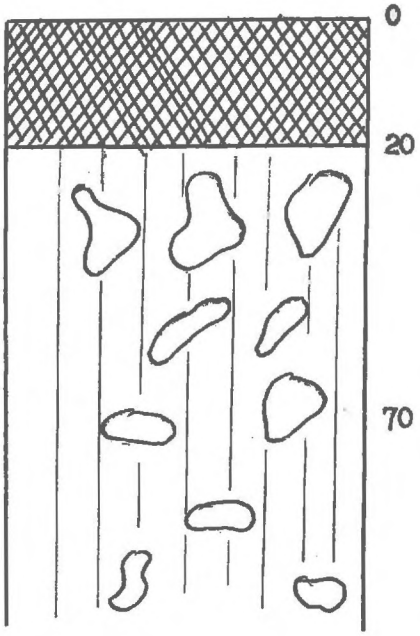
L'horizon B_g, parcouru par un réseau très dense de bandes verticales décolorées, débute entre 30 et 35 cm.

Cette accentuation de l'hydromorphie temporaire se traduit par des difficultés accrues d'enracinement et par une plus grande pauvreté en éléments minéraux assimilables, des différents horizons.

H - PSEUDOGLEYS DE SURFACE

Ils forment une zone très réduite, correspondant à la présence dès la surface du faciès argileux des alluvions anciennes.

Leur faible extension ne justifiait pas une étude détaillée.



A_1 Anmoor gris épais
Fortement plastique

$(B)_g$ matrice ocre vif
60 % de plages décolorées blanchâtres

(B)/C matrice ocre vif
20 % de plages décolorées blanchâtres

fig. XIII

La teneur en argile est constante dans tout le profil. L'hydromorphie est maxima au sommet du profil et diminue en profondeur. Contrairement aux pseudogleys à nappe perchée, il n'y a aucune traces de lessivage.

I - STAGNOGLEYS

Ils ne différent des pseudogleys de surface, que par une hydromorphie encore plus accentuée, du fait de l'absence de drainage topographique. Leur existence est également liée au faciès argileux des alluvions anciennes. Ils ne sont représentés qu'en un seul endroit du massif en I 4.

L'horizon supérieur, situé immédiatement sous l'anmoor épais de 25 cm, est presque entièrement décoloré (90 % de plages blanches).

Pseudogleys de surface et stagnogleys représentent les cas extrêmes d'hydromorphie temporaire, et constituent des sols particulièrement défavorables à la végétation forestière.

J - GLEYS ET SOLS TOURBEUX

Ces sols caractérisés par l'existence d'une nappe permanente et d'un horizon entièrement réduit parfois immédiatement situé sous l'horizon organique, qui est soit un anmoor, soit très proche d'une véritable tourbe, constituent un complexe souvent impossible à cartographier en détail. De tels complexes existent tout le long du rebord est du massif et forment une étroite bande continue au bas des pentes.

K - TOURBE

Il existe une tourbière véritable, située au sommet du plateau en E 2, dont l'existence est liée à la lentille d'alluvions anciennes à faciès argileux, et à une faible dépression où l'évacuation de l'eau se fait difficilement.

L - SOLS OCRES PODZOLIQUES, PODZOLS ET PODZOLS HYDROMORPHES

Les sols de la série podzolique sont très peu répandus dans le massif. Ce sont les sols ocres podzoliques qui sont les mieux représentés. Ils se rencontrent sur conglomérat, et en quelques rares endroits sur grès bigarré.

Les podzols sont encore moins répandus. Ils sont typiques sur alluvions anciennes à faciès sableux. Il y a différenciation d'un horizon lessivé cendreux épais et des deux horizons d'accumulation caractéristiques B_h et B_{fe}.

Les podzols hydromorphes n'ont pu être observés sur la totalité de leur profil. La forte proportion de cailloux roulés interdisait en effet la pénétration de la tarière.

Néanmoins la présence d'un hydromor et d'un horizon cendreux infiltré de matière organique, ainsi que leur position topographique, sont suffisantes pour classer ces sols dans les podzols hydromorphes humiques à nappe permanente.

V - REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

Carte au 1/10 000.

L'échelle définitive adoptée a été le 1/10 000. Cette échelle permet de rendre compte, avec suffisamment d'exactitude des nombreuses variations observées, tout en n'aboutissant pas à une représentation détaillée à l'extrême et difficilement lisible.

Deux types de représentation ont été envisagés et effectués. En cartographie, en effet, il existe deux tendances ; l'une utilise la couleur pour la représentation des textures superficielles et une surcharge en noir pour la représentation des types génétiques. L'autre tendance utilise au contraire la couleur pour les types génétiques et la surcharge en noir pour les textures.

1er type

Le premier type envisagé était essentiellement basé sur les matériaux originels dont on s'était attaché à représenter toutes les variations de faciès et de texture. On s'était attaché à représenter aussi bien la texture superficielle que la texture de profondeur, donc l'ensemble du profil.

Ce mode de représentation avait l'avantage de mettre en relief les propriétés physiques, qui dépendent essentiellement des matériaux originels. Or, ce sont les propriétés physiques qui conditionnent la plus ou moins grande fertilité des sols de ce massif.

Les propriétés physiques, en effet, sont extrêmement variables, alors que les propriétés chimiques, au contraire, sont relativement constantes, sauf dans le cas des sols développés sur Muschelkalk.

Enfin, ce mode de représentation mettait l'accent sur l'importance des matériaux originels, qui ont orienté la pédogénèse, et sont à l'origine des types génétiques, comme nous le verrons.

Ces matériaux originels étaient représentés par des couleurs et leurs variations de faciès par un système de trames.

Le type génétique était représenté par une surcharge en noir.

Cette carte, malgré ces avantages, a été cependant abandonnée pour plusieurs raisons.

Elle était compliquée, donc de représentation onéreuse et surtout était difficilement lisible, car elle mettait en relief des nuances difficilement compréhensibles pour un lecteur ne pouvant effectuer des observations sur le terrain.

2ème type

Le deuxième type de représentation envisagé était basé sur les types génétiques. C'est finalement ce type qui a été adopté avec en couleur le type génétique et en surcharge les matériaux originels.

Cette représentation a l'avantage d'être plus simple que la précédente, de tenir cependant compte des matériaux originels et enfin d'être généralisable.

Ainsi chaque surcharge en noir de la carte correspondant à un matériel déterminé, délimite des familles de peu d'étendue qui sont pratiquement des séries.

En effet dans une représentation cartographique plus traditionnelle, il n'y aurait eu que 5 types de matériaux : alluvions, muschelkalk, grès bigarré limons et grès vosgien.

A l'intérieur de chaque sous groupe il y aurait donc eu 5 familles au maximum, qui auraient été divisées en séries suivant les variations de profil (apparition de cailloux roulés, charge plus ou moins grande en cailloux, différence de compacité, etc...)

Or ici nous avons fait intervenir toutes ces variations à l'intérieur des 5 grands types de matériaux. Nous avons en effet montré comment différents phénomènes ont au cours du quaternaire modifié ce système simple et provoqué la formation d'un système très complexe de matériaux originels qu'il était nécessaire de distinguer pour la compréhension et l'interprétation des faits observés.

Les familles se sont ainsi trouvées pulvérisées en véritables séries et n'apparaissent plus en tant qu'ensembles synthétiques.

Par exemple, les sols lessivés à pseudogley sur limons homogènes et les sols lessivés à pseudogley sur limons hétérogènes, constituent en réalité deux séries et non deux familles, la seule différence étant la présence ou l'absence de cailloux roulés.

Le choix des couleurs qui sont utilisées pour la représentation des unités génétiques, ne relève pas d'une logique rigoureuse.

En principe, la couleur apparaît au niveau du sous-groupe : elle peut apparaître au niveau de la classe ou du groupe lorsque ces grandes divisions ne sont représentées que par un seul sous-groupe.

Dans un cas cependant, la couleur apparaît au niveau de la série : il a été distingué deux séries de sols lessivés à pseudogley , suivant que l'horizon B_g apparaît à plus ou moins 70 cm. Il aurait été plus logique au lieu de distinguer ces deux séries par une différence de teinte, d'utiliser une seule teinte plate et de la tramer, par exemple, lorsque l'horizon B_g apparaît à plus de 70 cm.

En fait, la première solution a été retenue, surtout, pour des raisons d'impression.

En adoptant de tels principes, nous avons abouti à une représentation cartographique très simple, mais valable pour l'étude à grande échelle d'une petite zone comme le massif de Sainte Hélène.

Représentation au 1/100 000

Dans une région où les sols sont aussi variables, une représentation au 1/100 000, échelle adoptée pour la couverture de la France, est très approximative. Il est possible à partir d'une carte détaillée à grande échelle de tirer un extrait à peu près représentatif de la réalité.

Mais, on peut se demander, avec une prospection lâche nécessairement envisagée, dans le cas d'une carte au 1/100 000, si on ne se ferait pas une idée très éloignée de la réalité.

VI - VALEUR FORESTIERE DES SOLS

Si l'établissement d'une carte à caractères uniquement pédologiques est indispensable pour la compréhension des facteurs ayant influencé la pédogénèse, cette carte n'est guère utilisable sous cette forme pour des applications pratiques.

Il est nécessaire de regrouper les unités afin de présenter un ensemble ne comportant que quelques groupes de sols, de manière à ce que l'aménagiste puisse en tirer parti.

Il est possible de dégager tout d'abord un ensemble de conclusions valables pour la totalité du massif.

Si l'on excepte la zone située sur Muschelkalk, tous les sols du reste du massif ont en commun des caractéristiques liées à la pauvreté des trois roches mères essentielles; limons, alluvions et grès.

La teneur en phosphore assimilable est toujours faible et ne dépasse guère o, 10 $\%_0$.

Les principaux cations échangeables, Ca, Mg et K sont en faible quantité. Le plus important, le potassium, est toujours en quantité inférieure à 0,2 m.e. pour 100 grammes de sol, ce qui est insuffisant.

Le Ph est légèrement inférieur à 5.

Ces caractères sont en corrélation avec le type d'humus qui est le plus souvent un mull-moder. Le C/N est compris entre 15 et 20.

Dans l'ensemble les propriétés chimiques, ne sont pas très favorables. Elles représentent ce que l'on trouve le plus fréquemment dans les zones forestières, qui n'ont pas été utilisés par l'agriculture, justement pour cette raison.

Les propriétés chimiques étant relativement uniformes, ce seront surtout les propriétés physiques qui détermineront les différences de fertilité.

Trois facteurs interviennent essentiellement :

- l'hydromorphie temporaire caractérisée par une nappe perchée, qui limite le volume de sol prospecté par les racines.
- l'existence d'un niveau compact entravant la pénétration des racines mécaniquement et qui a donc le même effet que le facteur précédent.
- l'ydromorphie permanente qui est très défavorable à une végétation forestière normale.

Il est donc possible de déterminer trois groupes de sols de fertilité décroissante.

Le groupe I subdivisé en I_a et I_b comprend tous les sols, où il n'existe aucun facteur limitant l'enracinement sur au moins 80 cm de profondeur.

De plus chimiquement ce sont les sols les plus riches ; en effet, au moins dans le cas du complexe alluvions-limons, la couche limoneuse rubéfiée contenant une quantité importante de phosphore assimilable (0,20 % à 0,40 %) a été plus ou moins incorporée au sol.

A ces sols bruns lessivés, il a été adjoint les sols lessivés à pseudogley profond situés sur limons ; l'horizon hydromorphe présent à plus de 70 cm de profondeur ne doit pas entravé l'enracinement.

Le groupe I_b comprend tous les sols acides ou ocres podzoliques situés sur grès bigarré. Ils sont moins favorables que les sols bruns lessivés surtout par leur texture sableuse, mais constituent de bons sols forestiers.

Le groupe II comprend tous les sols, où l'enracinement est limité à partir d'une zone comprise entre 50 et 70 cm.

Le groupe II_a correspond à tous les sols lessivés à horizon de pseudogley compris entre 50 et 70 cm.

Le groupe II_b correspond à tous les sols bruns acides situés sur colluvium de pente limono-sableux. Si les propriétés physiques sont favorables dans les horizons A_1 et (B), l'enracinement est impossible à partir de 40-50 cm, du fait de la présence des alluvions anciennes très compactes contenant 50 à 70 % de cailloux roulés.

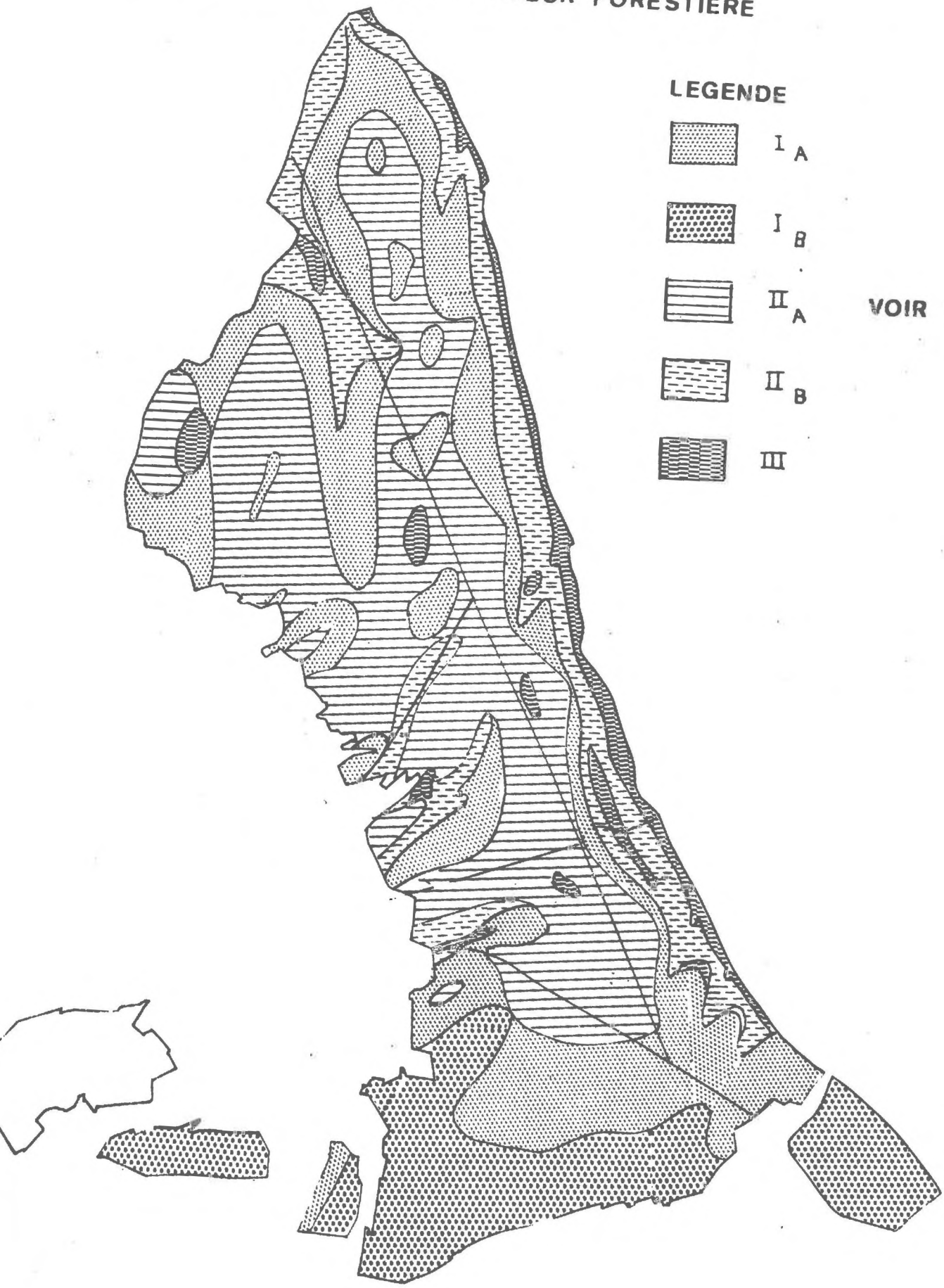
Enfin le groupe III, le moins important comprend tous les sols défavorables :

Pseudogley à nappe perchée, pseudogley de surface, stagnogley, gley tourbes et podzols.

Les sols situés sur Muschelkalk n'ont pas été classés dans cet ensemble, car ils constituent un groupe à part, ne pouvant s'intégrer dans une hiérarchie ainsi établie pour un complexe, qui malgré son apparente diversité, forme un tout.

CARTE DES SOLS

EN FONCTION DE LEUR VALEUR FORESTIERE



VII - ASSOCIATIONS VEGETALES RENCONTREES

Il n'a pas été entrepris une étude floristique proprement dite. Néanmoins à chaque sondage il était noté ;

Le type de peuplement et la composition de la strate herbacée, au moins les espèces essentielles, ce qui permet de donner un aperçu des associations végétales rencontrées (Prospection Juillet-Août).

a/ Association acidiphile à Deschampsia Flexuosa

Cette association comprend par ordre de fréquence :

Deschampsia flexuosa
Luzula albida
Lonicera periclymenum
Prenanthes purpurea
Ilex aquifolium
Polytrichum formosum
Pteris aquilina
Oxalis acetosella
Hedera Helix
Melamyrum pratense
Poa sylvatica
Vinca minor.

Cet ensemble comprend donc en majorité des espèces appartenant au groupement écologique, caractéristique des "moder" acides, et quelques espèces appartenant à celui du "mull" forestier acide. L'humus correspondant à cette association est d'ailleurs très généralement de type intermédiaire entre le mull forestier et le moder ; il est le plus souvent de type mull-moder.

Les trois premières espèces sont presque constamment présentes, les autres présentes ou non.

Cette association couvre les neuf dixièmes du massif et se rencontre sur un grand nombre de types de sols.

sols bruns
sols bruns lessivés
sols lessivés
sols lessivés marmorisés
sols lessivés à pseudogley profond.

Malgré cette disparité génétique tous ces sols ont en commun un certain nombre de caractères, que traduit justement cette association acidiphile.

Ces caractères communs sont la pauvreté en éléments minéraux assimilables et l'acidité ; le Ph est en effet partout inférieur à 5.

Par contre ces sols diffèrent par leurs propriétés physiques, surtout dans les horizons profonds.

Or, la végétation ligneuse prospecte ces horizons profonds et il est par conséquent indispensable de déterminer leurs propriétés.

Il ne semble pas qu'il soit possible ici de mettre en évidence les propriétés des horizons profonds uniquement par l'examen de la végétation herbacée.

Cette végétation herbacée ne prospecte que les 10 ou 20 premiers centimètres, dont les propriétés chimiques sont d'ailleurs modifiées par le jeu du cycle biologique.

Dans les premiers centimètres, la teneur en potassium est multipliée par 3-5, la teneur en phosphore assimilable par 1,5-2, la teneur en calcium par 15 - 20 et même 50.

b/ Association acidiphile à vaccinium myrtillus

Très localement l'association précédente peut passer à un type plus acidiphile qui comprend :

Vaccinium myrtillus
Calluna vulgaris
Dicranum scoparium
Hypnum schreberi

Cette association, caractéristique de l'humus brut, correspond à un sol de la série podzolique, si la texture est suffisamment grossière.

Si la proportion d'éléments fins est suffisante, le type de sol ne sera pas différent de ceux observés sous l'association à canche flexueuse.

Trois ou quatre autres associations peuvent être observées et correspondent cette fois à des unités pédologiques bien définies.

c/ association à molinie

L'association à canche flexueuse se modifie assez profondément lorsque l'hydromorphie temporaire affecte les horizons supérieurs.

Il y a apparition de la bourdaine, Rhamnus frangula, et surtout de la molinie, molinia coerulea qui peut former un tapis dense lorsque le couvert n'est pas trop important.

La présence de ces deux plantes coïncide souvent parfaitement avec l'existence d'un plancher imperméable situé à 40 cm ou moins et avec celle d'un moder hydromorphe.

d/ Association à aulne et à Carex

L'hydromorphie permanente se traduit par l'existence d'un ensemble d'espèces hygrophiles dont quelques une sont facilement reconnaissables.

La végétation arborescente comprend surtout

Alnus glutinosa
Coryllus avellana.

La strate herbacée comprend un très grand nombre d'espèces dont

Carex maxima
Ranunculus repens
Spiraea Ulmaria
Deschampsia coespitosa
Polysticum Felix mas

L'humus correspondant est un anmoor.

e/ Association à Sphagnum

Le passage aux zones tourbeuses se traduit par la disparition progressive de ces espèces au profit de Sphagnum sp.

Corrélativement l'humus passe progressivement d'un anmoor à une tourbe véritable.

f/ Association du Muschelkalk

) - Association mésophile

Sur le muschelkalk marneux on rencontre une association totalement différente des associations acidiphiles précédemment décrites.

Le peuplement est un taillis sous futaie à réserves de hêtres et surtout de chênes. Le taillis est surtout composé de hêtres, de charmes, de salix et de cornus mas.

La strate herbacée est principalement composée de :

Rubus sp.
Rubus idaeus
Stachys sylvatica
Geranium robertianum
Ficaria ranunculoïdes
Glechoma hederacea
Milium effusum
Epilobium durieaei
Hypnum pulchrum
Ranunculus repens.

Ces espèces appartiennent pour la plupart au groupement écologique caractéristique du mull actif.

Toutes les espèces acidiphiles , sauf Malampyrum pratense, rencontrées sur les autres formations ont disparu, quoique les sols soient génétiquement très semblables dans les deux cas.

Les différences de Ph sont très faibles . En surface le Ph ne dépasse guère 5 sur muschelkalk, alors que sur les autres formations il est légèrement inférieur à 5.

Par contre la teneur en bases échangeables (Ca, K, Mg) est nettement plus élevée sur muschelkalk.

) Association hygrophile

Lorsque l'horizon de pseudogley est très proche de la surface il y a apparition de :

Spiraea ulmaria
Circaea lutetiana
puis de :
Juncus effusus

Corrélativement l'humus devient un hydromull.

On notera que la molinie est presque toujours absente, comme d'ailleurs la bourdaine, alors que l'hydromorphie temporaire atteint atteint la même intensité que celle qui existe sur les sols identiques développés sur limons.

CONCLUSION

Dans le cadre de ce massif une étude très sommaire de la végétation permet donc de différencier les différents états de l'humus : Mor, mull-moder, mull actif, moder hydromorphe, hydromull, anmoor et tourbe.

Ces différents états de l'humus sont en corrélation avec la richesse en éléments minéraux du sol et avec la nature et l'intensité de l'hydromorphie, quand elle affecte les horizons de surface.

Par contre la végétation herbacée ne reflète pas la nature des horizons profonds. Par exemple il ne semble pas que l'on puisse mettre en évidence un horizon de pseudogley situé à plus de 50 cm, ou un niveau compact d'alluvions anciennes impénétrables aux racines, même proche de la surface.

Ce sont pourtant des facteurs qui doivent avoir une grande influence sur les possibilités de la station.

VIII - RAISONS DU CHOIX DE LA METHODE EMPLOYEE

On peut se demander, pourquoi nous n'avons pas utilisé la méthode française de cartographie des stations qui permet un gain de temps considérable.

Cette méthode exposée dans le Précis de Pédologie de Ph DUCHAUFOUR consiste à établir au préalable un certain nombre de corrélations :

- Corrélations sol-peuplement

Les différentes essences ayant des exigences différentes, leur répartition est fonction des caractéristiques du sol.
De même, suivant ces mêmes caractéristiques, un essence donnée aura une vitalité variable.

- Corrélation sol-végétation

De nombreuses études ont permis de déterminer différents "groupes écologiques" reflétant certaines caractéristiques du sol en relation avec les types d'humus.

- Corrélations sol-topographie

Ces corrélations étant parfaitement connues, il est ensuite possible de délimiter des zones à potentialité égale de production, appelées stations, en n'effectuant qu'un minimum de sondages.

Dans le massif étudié il était difficile d'établir de telles corrélations, sauf celles concernant le sol et la topographie.

En effet ce massif n'a pas toujours été un unité ; il a appartenu au cours de mêmes époques, à plusieurs propriétaires différents. De ce fait il a été traité de manières différentes et souvent de manière an-archique.

Les différentes modifications apportées par l'homme pendant, plusieurs siècles, font qu'actuellement il est fort difficile, par l'examen du peuplement, qui est aussi variable que possible, de déterminer les zones d'égales potentialité.

De même nous pouvons supposer que ces dégradations anciennes, sont une des causes de l'uniformation de la végétation herbacée et du type humus.

En effet, s'il est possible, comme nous l'avons vu au chapître précédent, de distinguer différents états de l'humus et autant d'associations végétales, les neuf dixièmes du massif correspondent à un mull-moder acide, malgré l'extrême diversité des sols.

Ces faits, sont analogues à ceux observés, par Ph DUCHAUFOUR, dans les chênaies dégradées de l'Ouest de la France.

Dans ces sonditions il était nécessaire ici de procéder à une étude par sondages systématiques, qui seule pouvait permettre la mise en évidence des différentes unités pédologiques, d'autant plus que différents phases de pédogénèses anciennes ont joué un rôle fondamental, comme nous le verrons dans la deuxième partie.

DEUXIEME PARTIE

- ESSAI D'INTERPRETATION

DES FAITS OBSERVES -

CHAPITRE I - GENESE DES SOLS A HORIZON DE PSEUDOGLEY

L'importance des sols à hydromorphie temporaire et l'adoption d'une représentation cartographique à caractères génétiques, ont nécessité une étude approfondie de la génèse des sols à horizon de pseudogley.

Les sols à pseudogley ont été étudiés par de nombreux Auteurs étrangers. En France, plusieurs travaux récents sont consacrés à leur étude.

- DESAUNETTES a proposé en 1958 une classification pratique des sols hydromorphes.

- DEJOU en 1963 dans son étude des sols du Centre Nivernais, a étudié des sols hydromorphes sur limons.

- Mme PERIGAUD, en 1963, s'est attachée plus particulièrement à leurs propriétés et leurs possibilités d'amélioration (Brenne).

- PLAISANCE en forêt de CHAUX (Jura) a étudié des sols semblables et leurs aptitudes forestières.

1 - CAUSES POSSIBLES D'HYDROMORPHIE TEMPORAIRE

Dans le Massif, il est possible de distinguer trois causes principales d'hydromorphie temporaire.

Dans la zone de fluctuation de la nappe permanente, pouvant exister dans une cuvette déprimée et mal drainée, l'hydromorphie, en un point donné, est temporaire, et devient de plus en plus accentuée vers le centre de la dépression, pour devenir permanente dans les parties les plus basses.

Une seconde cause possible est l'accumulation simultané, dans le sol, des eaux de ruissellement, et des eaux infiltrées, dans les alluvions, qui réapparaissent en bas de pente.

Ces deux causes sont externes au sol lui-même.

Il en existe une troisième, de beaucoup la plus fréquente, indépendante de la position topographique et inhérente au sol lui-même ; cette cause d'hydromorphie temporaire est l'existence à plus ou moins grande profondeur d'un niveau argileux imperméable.

II - CONSEQUENCES ET ORIGINES POSSIBLES DE L'EXISTENCE D'UN NIVEAU IMPERMEABLE

Tous les sols développés sur limons sont caractérisés par l'existence d'un tel niveau imperméable, limono-argileux, ocre-rouille, parcouru par un réseau de marbrures blanchâtres décolorées, caractéristiques des horizons de pseudogley et constituant le plancher de la nappe temporaire. Cette nappe apparaît immédiatement après une pluie et disparaît plus ou moins rapidement.

Cet horizon imperméable est situé à une profondeur variable, comprise entre 30 et 120 cm.

Lorsqu'il est situé à 30 cm de profondeur, les caractéristiques du profil sont essentiellement dominés par l'hydromorphie. Que l'horizon imperméable soit dû à l'existence de deux couches géologiquement différentes ou qu'il soit secondaire et résulte d'un processus pédologique, le sol appartient aux pseudogleys à nappe perchée.

Par contre, lorsque cet horizon argileux se trouve à 1 mètre de profondeur, les caractères d'hydromorphie ne sont plus que secondaires et, génétiquement, le sol appartient à une classe différente suivant que l'horizon d'accumulation d'argile, est ou n'est pas, la conséquence d'un processus de lessivage.

Pour les sols de la Brenne dont l'hydromorphie est liée aux sols eux-mêmes, Mme PERIGAUD estime sans être affirmative que cette hydromorphie s'est superposée à une évolution antérieure, en l'occurence, un lessivage ancien intense.

Pour les sols de la forêt de CHAUX, PLAISANCE estime également que le lessivage est intervenu dans leur formation, et que ces sols sont au moins en partie d'origine ancienne.

A Sainte Hélène, la cartographie détaillée a montré que sur tout le placage limoneux, existaient deux "couches" superposées, l'une limoneuse claire (2 5Y 7/4), l'autre limono-argileuse plus foncée (2 5Y 7/8), toujours située sous la précédente.

Jamais la couche inférieure n'apparaît seule, et jamais la couche supérieure ne dépasse 1 mètre. Une telle constance fait immédiatement penser à la possibilité d'une liaison entre ces deux couches.

C'est pour ces raisons, qu'en première approximation, dans les descriptions qui vont suivre, ces couches ont été respectivement appelées horizon A_2 et B.

Deux profils situés dans des conditions analogues, sous futaie de hêtres et de chênes en mélange, ont été étudiés d'une manière détaillée afin de déterminer si une telle liaison pédologique existe et, dans cette hypothèse de préciser la nature de cette liaison.

Le profil n° 1 est situé en bordure de la route forestière allant de la pépinière au village de Sainte Hélène (H4). Le profil n° 2 est situé près de la route forestière centrale au lieu dit "la croix du soldat" (F5).

III - ETUDE ET COMPARAISON DE DEUX PROFILS

A - Description

P R O F I L n° 1

Horizon A_1 : Mull-moder, structure à peine différenciée, agrégats extrèmement fins.
0 - 5 cm Transition peu nette avec l'horizon inférieur. Enracinement abondant de la strate herbacée.

Horizon A_{12} : Horizon nettement influencé par la matière organique. Structure grumeleuse irrégulière : grumeaux anguleux de 3 à 5 mm. Très meuble. Enracinement très abondant.
5 - 30 cm 2 5Y 6/4 (jaune gris)

Horizon A_2 : Absence de structure. Canalicules très fins et nombreux, devenant encore plus abondants à la partie inférieure de
30 - 70 cm l'horizon. Forte compacité en période de sécheresse. Enracinement abondant. 2 5 Y 7/4 (jaune pâle)

Horizon A_{2g} : de 70 à 90 cm : Structure fondue ayant une légère tendance à devenir polyédrique.
2 5 Y 7/4 avec 10 à 15 % de plages 10 YR 7/6 (jaune)

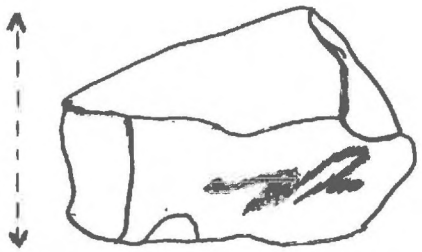
70 - 120 cm

de 90 à 120 cm : structure polyédrique peu nette. Juxtaposition de 4 couleurs.
Matrice 2 5Y 7/4, 10 à 20 % de plages gris clair
2 5Y 7/2, 10 à 20 % de plages ocre
10 YR 7/6, 2 à 3 % de concrétions rouille 7 5YR 7/2.

Transition diffuse avec l'horizon sous-jacent. Enracinement peu abondant.

Horizon B_g : De 120 à 150 cm, traversé par des bandes décolorées verticales blanchâtres pulvérulentes.

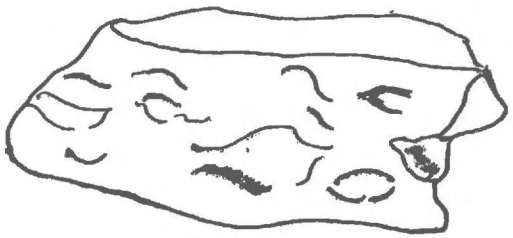
120 à 170 cm Très compact. Structure polyédrique remarquable. Gros polyèdres de 3 à 4 cm de longueur, souvent aplatis.



Les faces des polyédres sont souvent décolorées et pulvérulentes, surtout celles de ceux bordant les bandes blanches. Nombreuses concrétions d'oxyde de fer et de manganèse sur les faces des polyédres. Présence constante de clay-skins très nets. L'intérieur des polyédres de couleur 2 5Y 7/8 (jaune gris) est traversé par un réseau de canalicules dont les parois sont rouille foncé.

La partie inférieure de ce niveau tend à avoir une structure lamellaire.

De 150 à 170 cm, structure polyédrique ayant tendance à devenir prismatiforme. Transition brutale avec l'horizon inférieur.



Horizon II B : Prélèvement à la tarière. Structure impossible à déterminer. Trainées blanchâtres verticales.

170 - 200 cm : 7 5 YR 5/8 (jaune rougeâtre) à la partie supérieure, puis 5 YR 5/8 (rouge jaune) entre 150 et 200 cm, à nouveau 7 5 YR 5/8.

A partir de 210 cm , nombreux cailloux roulés empêchant le prélèvement.

P R O F I L 2

Horizon Ao
1 à 2 cm

Horizon A_1 : Moder légèrement hydromorphe, très noir. Structure très
5 à 10 cm finement grumeleuse à particulaire. Transition nette avec horizon inférieur.

Horizon A_{12} : Structure grumeleuse; grumeaux de 1 à 5 mm en moyenne, parfois 1 cm, de forme angulaire. Enracinement dense. 2 5Y 7/4 (jaune pâle)

Horizon A_2 : Structure fondue. Nombreux canalicules. Enracinement
10 à 20 cm abondant. 2 5Y 7/4 (jaune pâle)

Horizon A_{2g} : De 20 à 30 cm : identique à A_2 , mais 1 à 2 % de taches rouilles 10 YR 7/6. Structure fondue

20 - 45 cm De 30 à 45 cm : Structure fondue à légère tendance polyédrique. Enracinement peu abondant. Juxtaposition de 4 couleurs. Matrice 2 5Y 7/4 ; 10 à 20 % de plages claires : 2 5Y 7/2 - 20 à 25 % de plages rouilles ; 10 YR 7/6 ; 2 à 3 % de taches rouille foncé 7 5Y 6/6. Transition nette avec l'horizon sous-jacent.

Horizon B_g : Structure polyédrique à grosses unités de 3 à 5 cm de longueur, ayant tendance à devenir lamellaire vers 80 cm. Clay skins. Nombreuses bandes décolorées verticales, surtout à la partie supérieure. Couleur dominante 10 YR 6/6 (jaune) ; quelques rares taches rouilles 7 5Y 6/8. Abondantes concrétions d'oxydes de fer et de manganèse.

45 à 180 cm

- de 90 à 180 cm : prélèvement à la tarière. Couleur identique. Absence presque totale de bandes décolorées verticales.

Horizon B/C : Teinte générale 2 5Y 7/6 (jaune). 30 % de plages 10 YR 6/6
180 - 200 cm

Horizon II B : Transition très brutale. Couleur générale 7 5YR 6/8 (jaune rouge)
210 à 260 cm traces d'hydromorphie importante dans la zone de transition

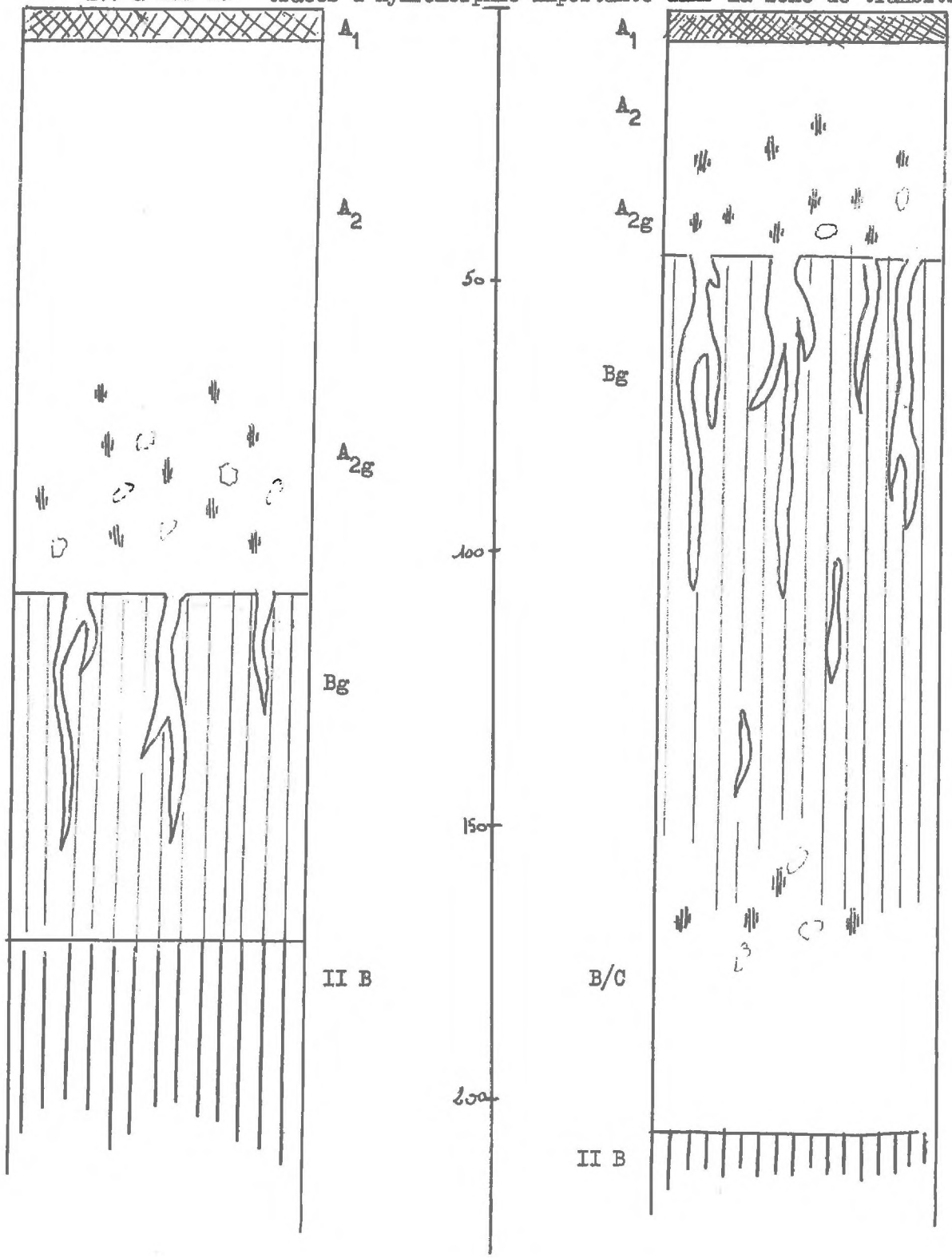


FIG. XIV

Morphologiquement ces 2 profils distants de 1 800 m différent essentiellement par la profondeur d'apparition de l'horizon limono-argileux (Bg) 120 cm pour le profil I, 45 cm pour le profil II.

Deux autres différences peuvent être remarquées ; l'horizon limono argileux du profil II présente un aspect plus bigarré que celui du profil I.

D'autre part, l'humus dans un cas est un moder légèrement hydromorphe et dans l'autre cas, un mull moder.

Sous l'horizon limono-argileux, apparaît brutalement dans les 2 cas, respectivement à 170 et 210 cm, un horizon rubéfié jaune rouge (II B) Une étude ultérieure le confirmera ; nous sommes en présence des restes d'un ancien sol.

Dans ce chapitre, nous ne tiendrons compte que de la partie située au-dessu du limon rubéfié.

B - Etude du fer et de l'argile

Des prélèvements ont été faits tous les 10 cm et sur chaque échantillon, le dosage du fer libre ainsi qu'une analyse granulométrique ont été effectués, ce qui a permis de dresser les graphiques de répartition du fer libre et de l'argile en fonction de la profondeur.

I - PROFIL I

Nous ne tiendrons compte que des 170 premiers centimètres. A partir de cette profondeur, on passe en effet au limon ancien plus riche en fer et en argile.

Les deux courbes du fer et de l'argile sont concordantes et permettent de penser à un lessivage (Fig. XV et XVI)

On peut en effet distinguer un horizon A_2 de 100 cm environ et un horizon B beaucoup moins épais de 60 cm. Cette disproportion entre les 2 horizons s'explique aisèment si l'on admet que l'accumulation du fer et de l'argile a dû s'effectuer sur une plus grande épaisseur. Du fait de l'hétérogénéité de la roche mère, il est impossible de le mettre en évidence.

Nous sommes en présence d'un profil incomplet par sa partie inférieure, que se confond avec l'horizon II B du sol fossile.

Si nous calculons les indices d'entrainement du fer et de l'argile en prenant les valeurs maxima et minima, nous obtenons respectivement 2,37 et 2,1, ce qui permet de classer ce sol dans la classe des sols lessivés, en admettant que la roche mère soit bien homogène.

L'examen des couches cumulatives des prélèvements effectués à 35 cm (A_2), 135 cm (B_g) et 185 cm (limon ancien) permet de conclure en faveur de l'homogénéité du matériel initial jusqu'à 170 cm (fig. XVII)

Les courbes des horizons A_2 et B_g sont constamment situées l'une au-dessus de l'autre, leur décalage correspondant à la quantité d'argile ayant migré par lessivage.

On peut comparer les éléments supérieurs à 2 microns des horizons A_2 et B en les ramenant à 100 % de façon à éliminer l'argile.

Tableau comparatif des limons et des sables

Horizons A_2 et B_g

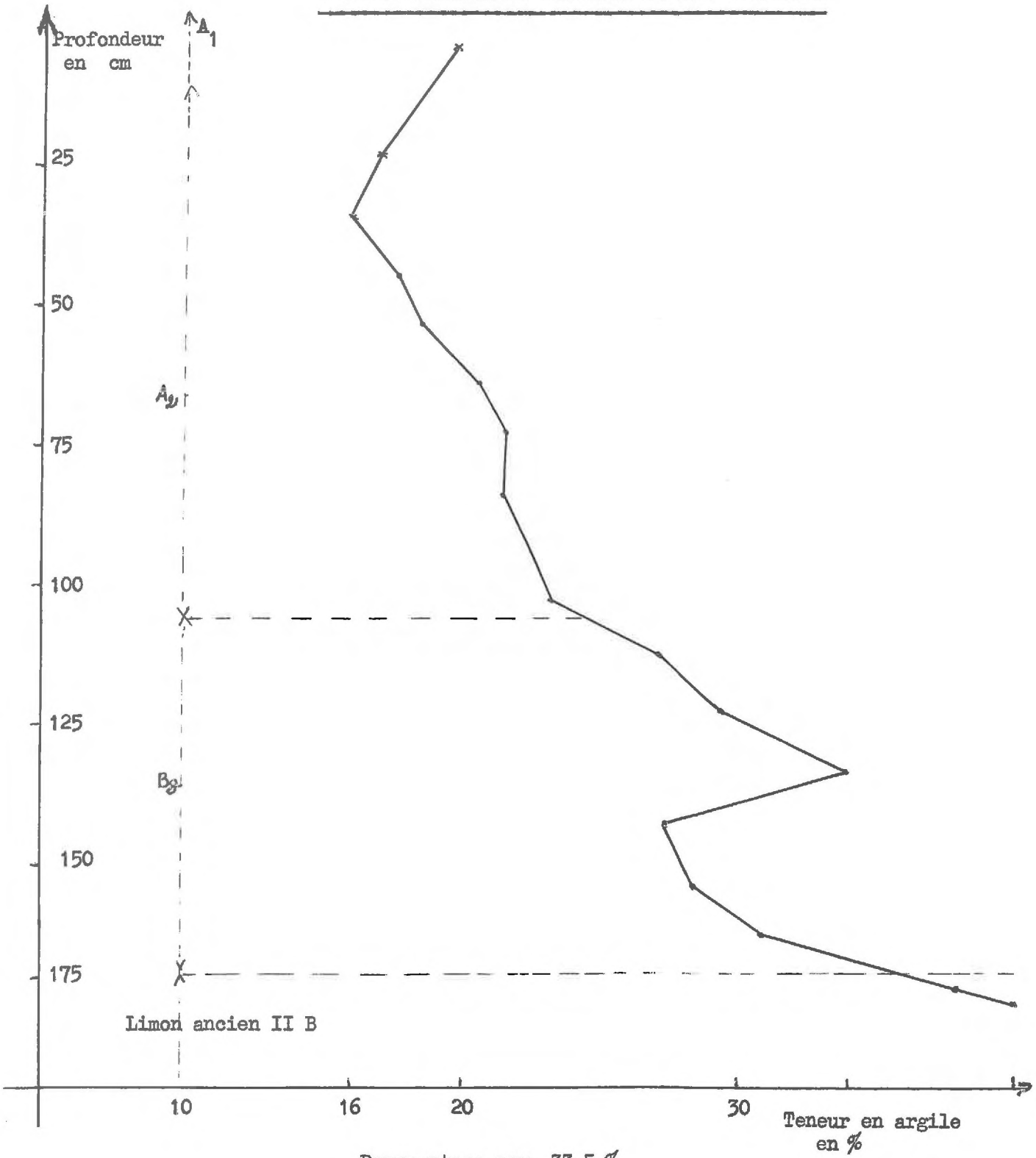
	Lf	Lg	Sf	Sg	
A_2	49	23	6,5	7,1	Pourcentage réel
B_g	35	17	4,7	4,7	
A_2	57,6	27	7,6	8,3	Pourcentage corrigé
B_g	57,3	28	7,7	7,7	
Différence	+ 0,3	- 1	- 0,1	+ 0,6	

TABLEAU XI

La concordance est à peu près parfaite sauf pour les limons grossiers, pour lesquels on observe une légère différence de 1,0 %.

PROFIL I

TENEUR EN ARGILE EN FONCTION DE LA PROFONDEUR



Pourcentage max. 33,5 %
Pourcentage min. 16 %
Indice d'entrainement 2,1

FIG. XV

PROFIL I

Teneur en fer libre en fonction de la profondeur

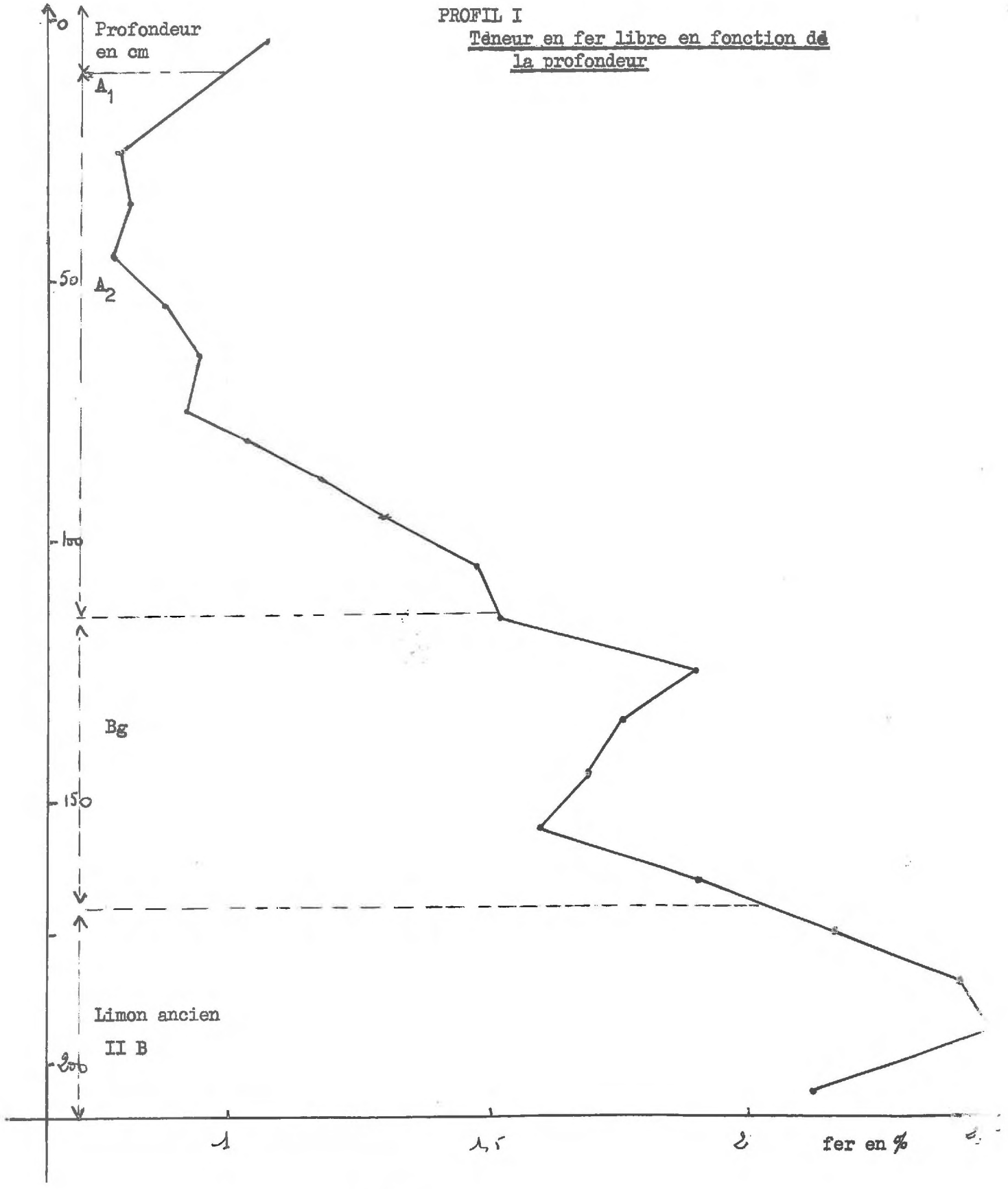


FIG. XVI

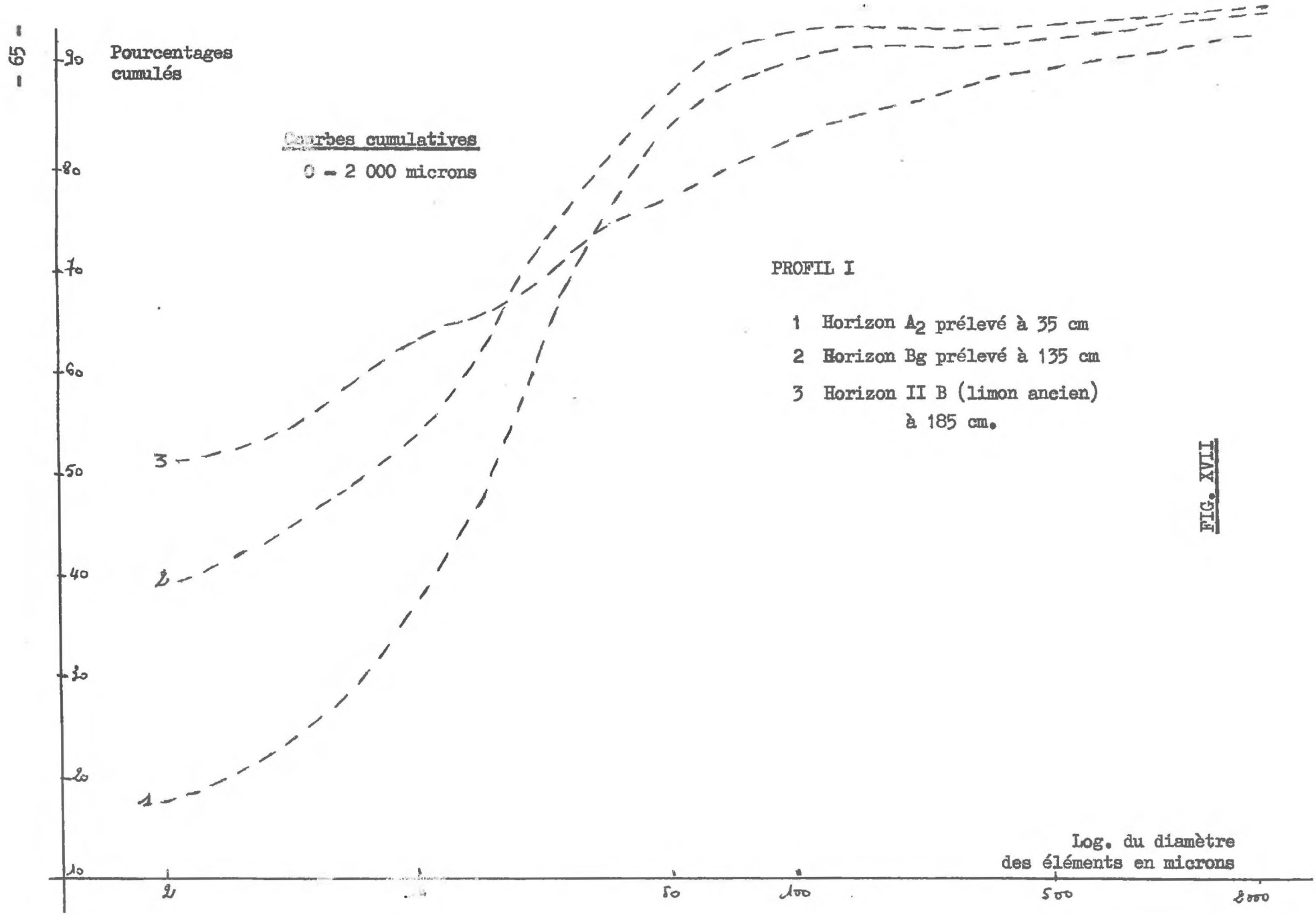

Pourcentages cumulés
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Courbes cumulatives
0 - 2 000 microns
3
2
1
PROFIL I
1 Horizon A2 prélevé à 35 cm
2 Horizon Bg prélevé à 135 cm
3 Horizon II B (limon ancien) à 185 cm.
2
50
100
500
2 000
Log. du diamètre des éléments en microns

FIG. XVII

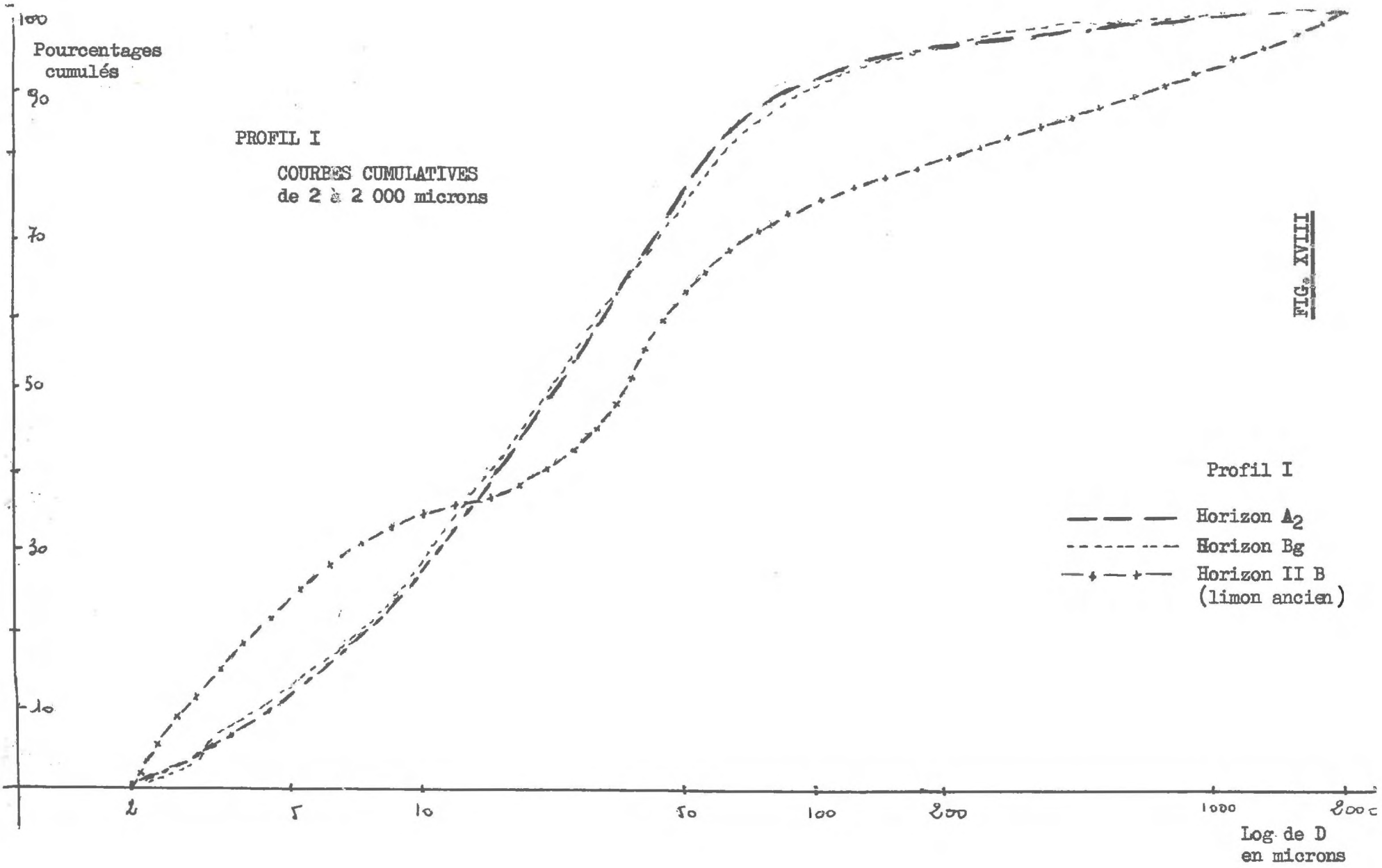
La courbe cumulative du limon ancien recoupe les courbe des 2 horizons A_2 et B_g, ce qui semble indiquer un matériel différent (fig. XVII).

Une nouvelle confirmation de cette interprétation peut être obtenue en utilisant les 3 courbes cumulatives précédentes.

On peut en effet construire 3 nouvelles courbes cumulatives en ne tenant compte que des fractions comprises entre 2 et 2 000 microns. De cette façon on élimine l'argile.

Par ce procédé (fig. XVIII) on obtient la superposition presque parfaite des courbes des horizons A_2 et B_g. Par contre la courbe de l'horizon II B du limon rubéfié , ne se superpose pas aux 2 premières.

Il semble donc bien que les différences granulométriques observées entre les horizons A_2 et B_g soient uniquement dues au lessivage.


100
Pourcentages cumulés
90
70
50
30
10
PROFIL I
COURBES CUMULATIVES
de 2 à 2 000 microns
FIG. XVIII
Profil I
Horizon A2
Horizon Bg
Horizon II B
(limon ancien)
2
5
10
50
100
200
1000
2000
Log de D
en microns

II - PROFIL II

Ici, le limon ancien apparaît à une profondeur plus importante ce qui permet d'effectuer un bilan sur 210 cm.

Comme le précédent profil, on peut distinguer deux horizons : un horizon A_2 de 35 à 40 cm et un horizon B_g de 130 à 140 cm. Comme pour le profil 1, nous observons une disproportion entre les horizons lessivés et d'accumulation, mais cette fois au bénéfice de l'horizon B_g (fig. XIX et XX)

En effet, le limon ancien est suffisamment profond pour que l'horizon B_g puisse être mis en évidence sur toute son épaisseur.

Par contre, le très faible développement de l'horizon A_2 ne peut s'expliquer que par sa disparition partielle du fait de l'érosion

Enfin, si l'on compare les courbes du fer et de l'argile, il n'y a correspondance que dans leur partie supérieure.

A partir de 1 m et jusqu'à 2,30 m, le taux d'argile est constant en dépit de petites variations.

Le taux d'argile de l'horizon B_g proprement dit est identique à celui de l'horizon B/C. Il n'y a pas de "ventre" d'accumulation. Il est donc impossible de dire d'après la courbe de l'argile si la différence entre A_2 et B_g est due au lessivage.

Par contre, la courbe du fer libre montre ce "ventre" d'accumulation et, par conséquent, une différence entre B_g et B/C.

On peut attribuer l'absence de différence entre le taux d'argile des horizons B_g et B/C, soit à une accumulation diffuse sur une plus grande épaisseur que dans le cas du fer, soit à une légère hétérogénéité en profondeur du matériel initial. On peut également penser à une destruction d'argile en B_g mais le taux d'alumine libre étant constant dans tout le profil, il ne semble pas que ce fait ait pu jouer ici.

L'existence de ce "ventre" d'accumulation du fer libre permet cependant de penser que seul le lessivage intervient dans la différenciation des deux horizons A_2 et B_g .

Les courbes cumulatives correspondant à des prélèvements effectués à 15 cm (A_2) et 140 cm (B), le confirment.

Nous obtenons comme pour le précédent deux courbes superposées qui ne se chevauchent jamais. (fig. XXI)

Le bilan effectué en faisant abstraction de l'argile se traduit par le tableau suivant :

Tableau comparatif des limons et des sables

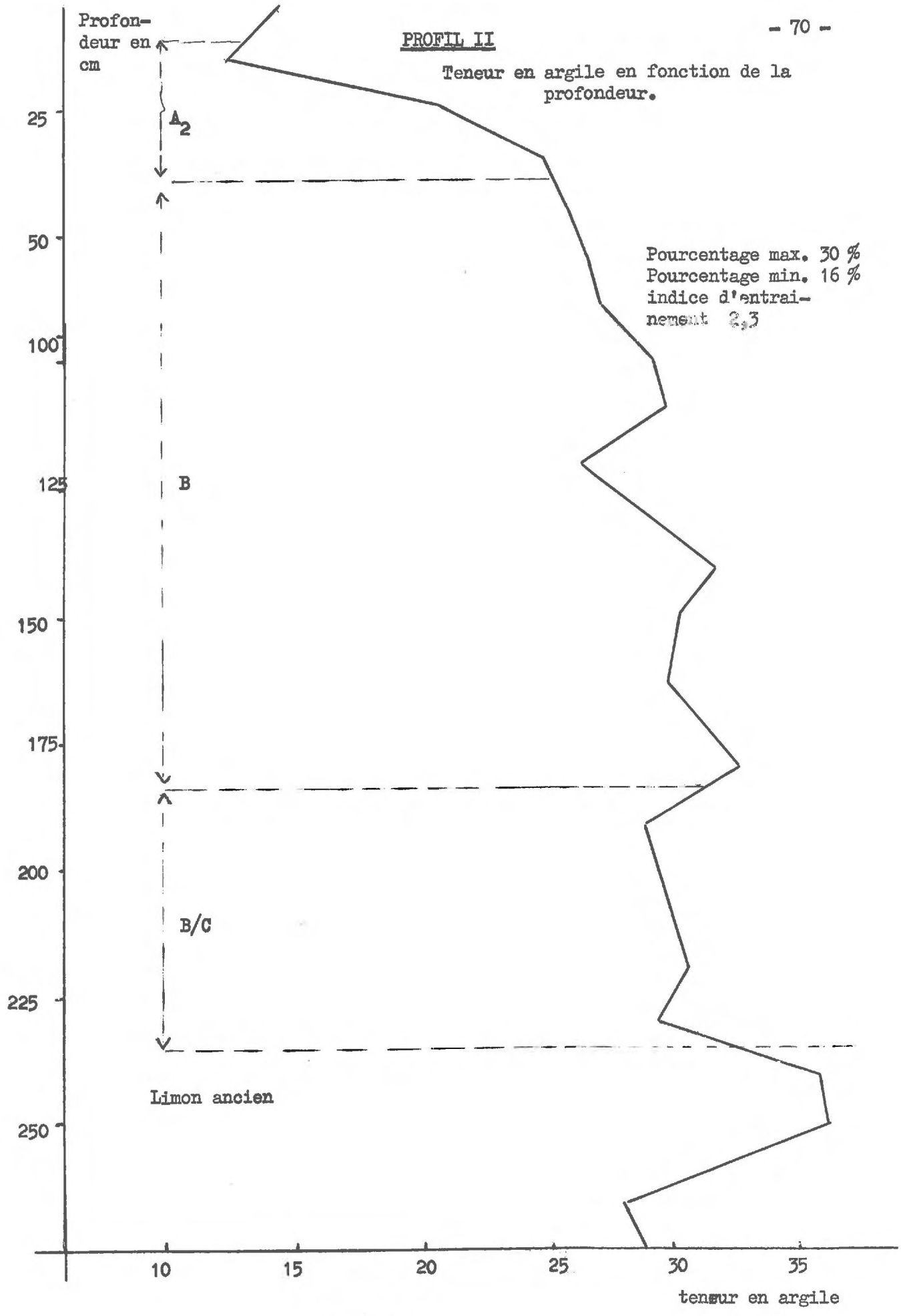
Horizons A_2 et B_g

	Lf	Lg	Sf	Sg	
A_2	52	22	5,2	5,8	Pourcentage réel
B_g	39	15,5	2,9	3,1	
A_2	60,1	25,9	6,1	6,8	Pourcentage corrigé
B_g	64,4	25	4,7	5	
Différence	+ 4,3	+ 0,9	+ 1,4	+ 1,2	

TABLEAU XII

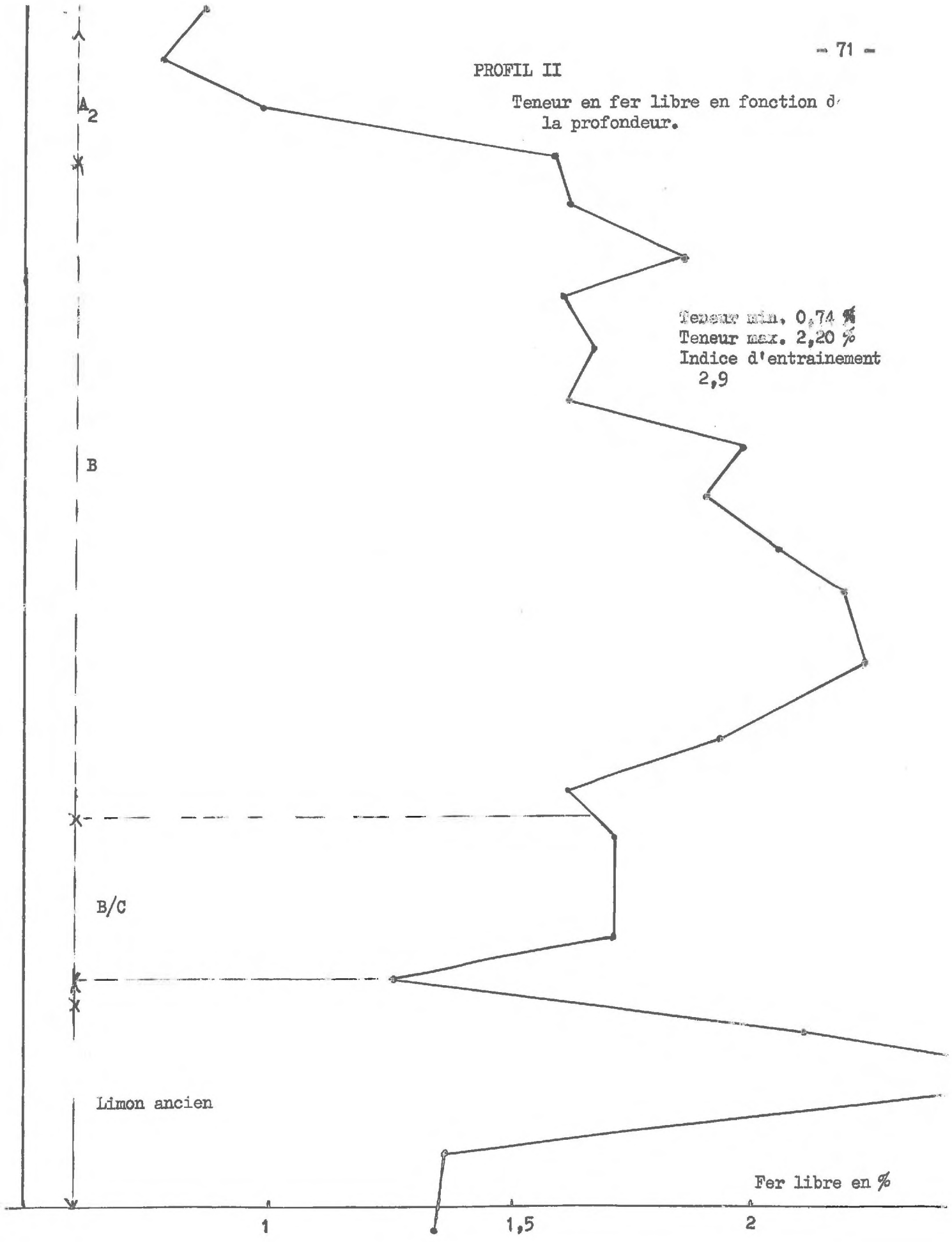
La concordance est légèrement moins bonne que pour le profil I mais, néanmoins, elle est suffisante pour penser à l'identité initiale de la texture des 2 horizons.

De même, comme pour le profil n° I, les courbes cumulatives des horizons A_2 et B_g, effectuées de 2 à 2 000 microns donc sans tenir compte de l'argile, se superposent (fig. XXII) et permettent de conclure dans le même sens.


Profondeur en cm
PROFIL II
Teneur en argile en fonction de la profondeur.
25
50
100
125
150
175
200
225
250
A_2
B
B/C
Limon ancien
Pourcentage max. 30 %
Pourcentage min. 16 %
indice d'entrainement 2,3
10
15
20
25
30
35
teneur en argile

PROFIL II

Teneur en fer libre en fonction de la profondeur.



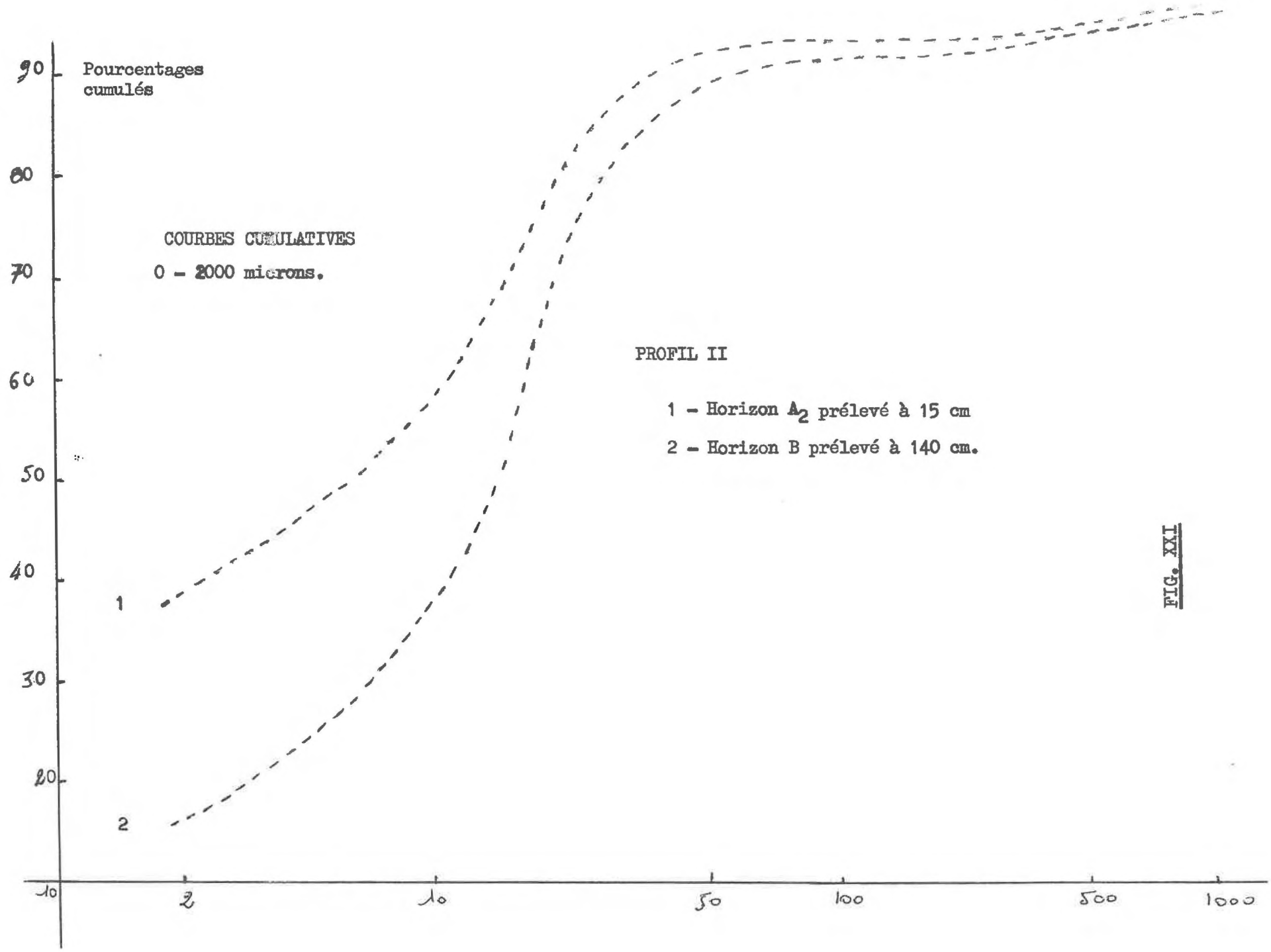

Pourcentages cumulés
90
80
70
60
50
40
30
20
10
2
10
50
100
500
1000
COURBES CUMULATIVES
0 - 2000 microns.
PROFIL II
1 - Horizon A_2 prélevé à 15 cm
2 - Horizon B prélevé à 140 cm.
1
2

FIG. XXI

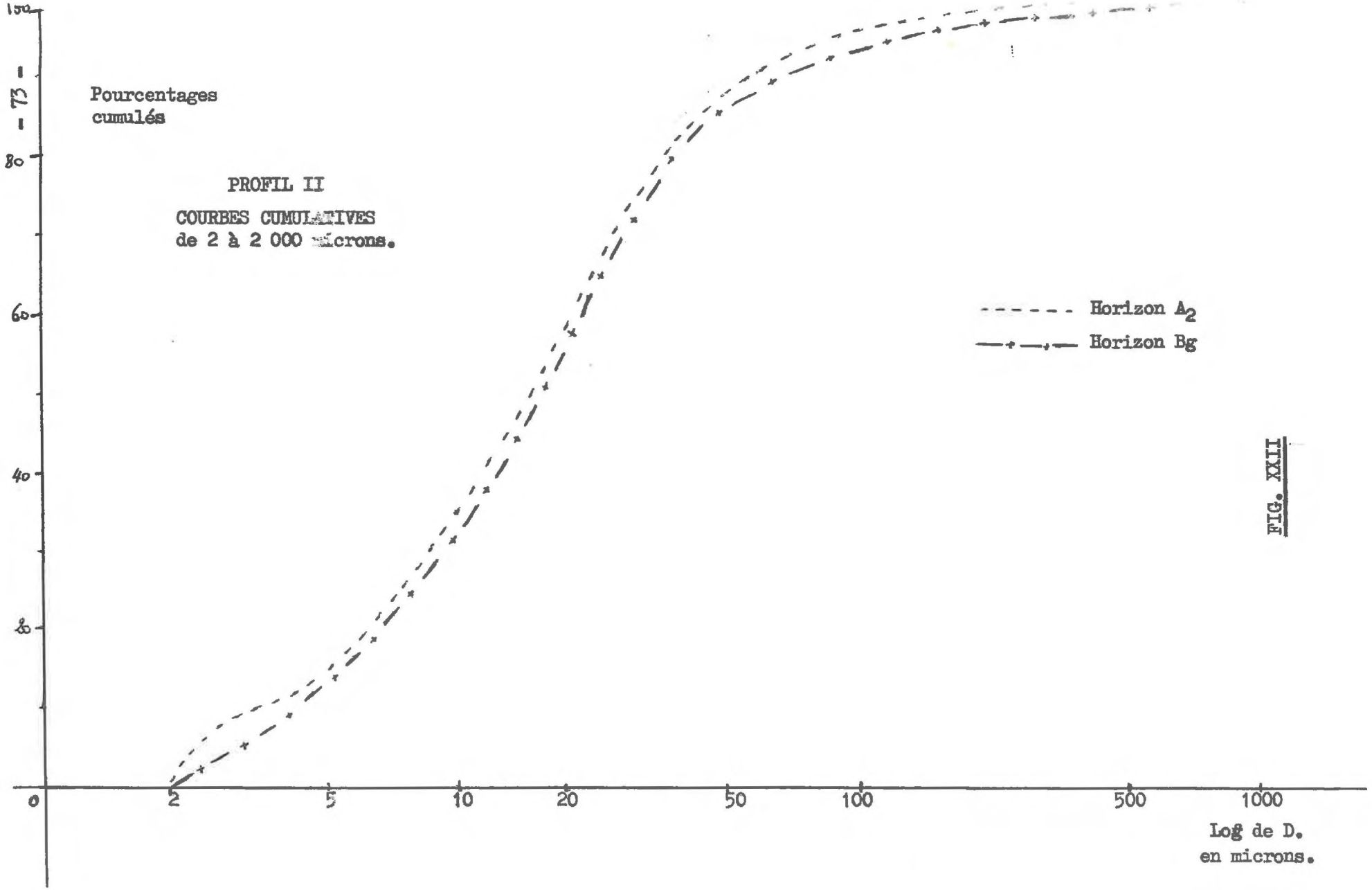

Pourcentages cumulés
PROFIL II
COURBES CUMULATIVES
de 2 à 2 000 microns.
Horizon A_2
Horizon Bg
100
80
60
40
20
0
2
5
10
20
50
100
500
1000
Log de D.
en microns.

FIG. XXII

C - Superposition des Profils I et II

L'examen des courbes cumulatives des deux horizons A_2 et B_g des profils I et II montre qu'elles sont presque superposables deux à deux. Le matériel initial était donc identique au départ, et le lessivage a été égal en intensité dans les deux cas.

cependant, le résultat a été la différenciation de 2 profils dissemblables par l'absence de la partie inférieure en I, due à l'insuffisance d'épaisseur du limon, et par l'absence en II de la partie supérieure due à l'érosion.

Pour obtenir un profil complet, on peut donc essayer de superposer les profils I et II ;

L'utilisation des courbes de lessivage de l'argile ne donne guère de résultats, probablement du fait de la microhétérogénéité du limon initial.

Par contre, on peut supposer que la teneur en fer libre était initialement indépendante de la microhétérogénéité de la texture et constante sur toute l'épaisseur du limon.

La superposition des courbes du fer libre a été effectuée en faisant coincider les parties correspondant aux horizons B_g et qui sont seules communes (fig. XXIII).

On obtient ainsi une courbe complète presque parfaitement symétrique par rapport à un axe correspondant à la teneur initiale en fer libre. On peut estimer cette teneur à 1,5 % en faisant la moyenne des teneurs maxima et minima observées en A_2 et B. Les 2 surfaces S_1 et S_2 sont ainsi presqu'égales.

On peut estimer aussi que la teneur initiale en fer libre était proche de la teneur minimum observée en B/C, c'est à dire 1,27 %.

Dans ce cas, S_1 est très nettement inférieur à S_2. Cette hypothèse peut être aussi valable que la première. En effet, si $S_1 = S_2$, il faut admettre que la pédogénèse s'est traduite uniquement par un lessivage du fer libre initial, sans libération nouvelle de fer libre.

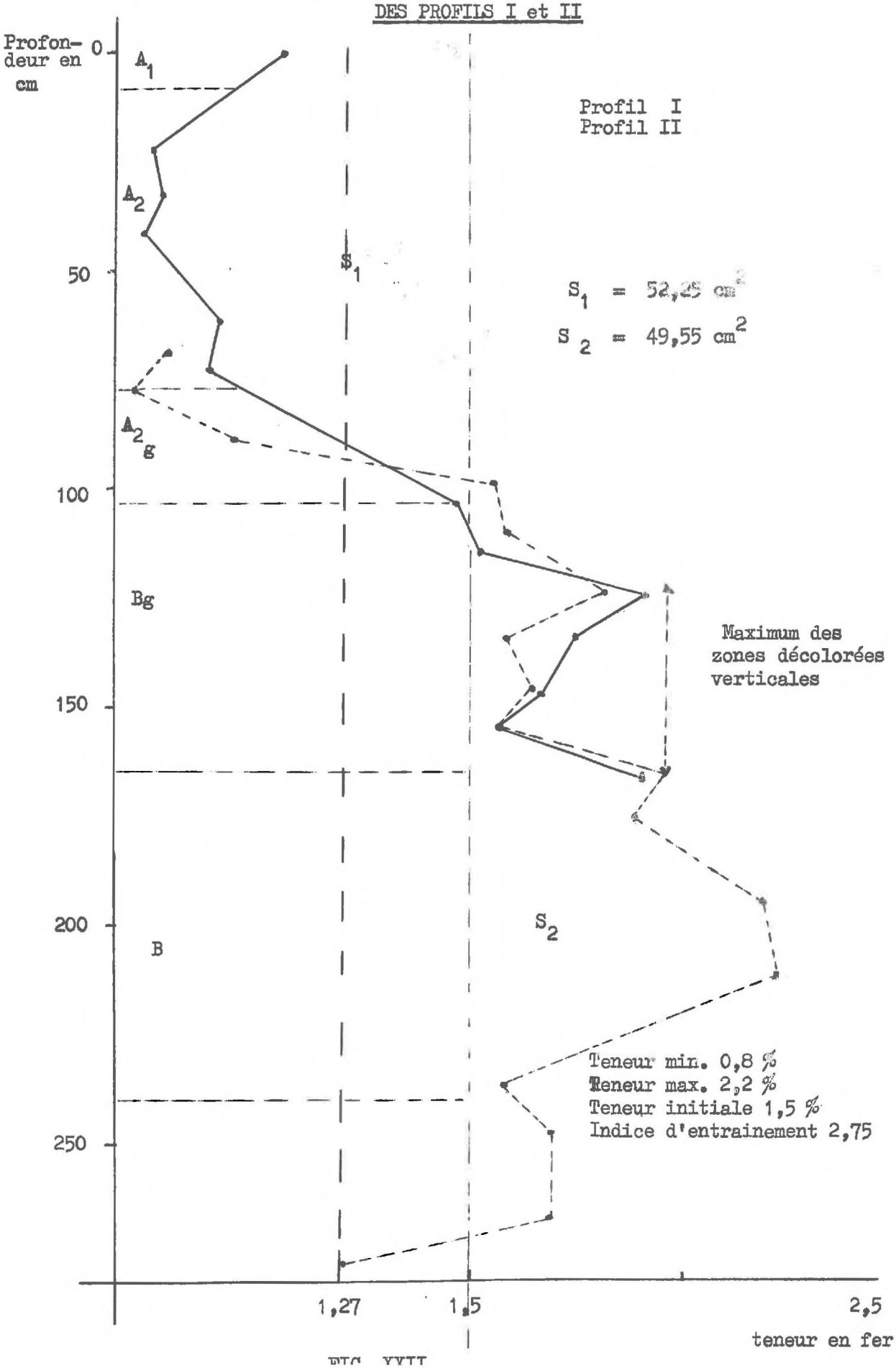
Par contre, l'hypothèse $S_1 < S_2$ traduit un lessivage du fer libre initial, et du fer libre libéré secondairement, par altération des silicates dans les horizons supérieurs.

Cette courbe théorique du fer permet de concevoir un profil complet qui se serait ainsi développé sur 2,70m d'épaisseur, ce qui semble considérable. L'horizon A_2 aurait environ 1,20 m et l'horizon B 1,30 m à 1,40 m. L'indice d'entrainement du fer serait de 2,75 et celui de l'argile de 2,1 à 2,3.

Ce profil semble donc bien être celui d'un sol lessivé.

SUPERPOSITION DES COURBES DE LESSIVAGE DU FER

DES PROFILS I et II



D - Etude d'autres critères de lessivage

1 - Alumine libre

Un travail récent de DUCHAUFOUR et SOUCHIER a montré que le critère de l'alumine libre pouvait servir à caractériser l'évolution physicochimique des profils.

Ces Auteurs admettent les teneurs moyennes suivantes en alumine libre :

- moins de 2 $\%_0$ dans les sols bruns lessivés,
- 3 à 6 $\%_0$ dans les sols bruns acides et les sols ocre-podzoliques,
- plus de 10 $\%_0$ dans l'hoziron B des podzols.

Pour les 2 profils étudiés, nous obtenons une teneur de 3 $\%_0$ en alumine libre, ce qui place exactement ces sols entre les sols bruns lessivés caractérisés par une faible altération des silicates et un entrainement modéré de l'argile et de fer, et les sols ocre-podzoliques ou bruns acides caractérisés par une forte altération, véritable pozolisation chimique sans entrainement.

Dans les 2 profils I et II, la teneur en alumine libre étant constante dans tous les horizons, l'entrainement de cet élément est nul et la destruction d'argile observée dans certains cas par des Auteurs étrangers, inexistante.

2 - Enrobements

Dans les horizons B, les enrobements argileux sont très visibles. Les faces des polyèdres ont été prélevées par grattage et les pellicules ainsi obtenues soumises à l'analyse granulométrique.

A l'endroit du prélèvement, le taux d'argile moyen était de 30 % environ, celui des pellicules obtenues par grattage de 48 %. La différence, bien que significative, est faible car les enrobements semblaient uniquement constitués d'argile. Malgré la grosseur des unités structurales à chaque grattage, on devait enlever non seulement les enrobements mais aussi une partie du limon non enrichi.

Il est également possible qu'il y ait eu un entrainement purement mécanique, des limons fins, dans les fentes de dessication.

3 - Humus

L'humus de ces deux sols est en accord avec les caractères de lessivage intense.

Il est du type mull moder pour le profil I, avec un C/N élevé de 17,8 et un Ph de 4,4.

Le cas du profil II est un peu différent. L'hydromorphie plus proche de la surface a modifié l'horizon organique en augmentant le C/N qui est de 22,3 et en abaissant le Ph qui est de 3,8.

IV - MODIFICATIONS DUES A L'HYDROMORPHIE

Il semble donc que la différenciation d'un horizon limoneux reposant sur un horizon limono argileux soit la conséquence d'un lessivage particulièrement important.

Actuellement, le caractère de sol lessivé est masqué par l'hydromorphie qui a provoqué des modifications importantes dans le profil. La partie supérieure de l'horizon B présente un réseau de bandes verticales blanches, diminuant de densité avec la profondeur, pour disparaître à peu près complétement en B/C.

Le fer a à peu près entièrement disparu de ces bandes, par migration latérale.

Indice d'entrainement local	:	12
partie blanche	:	0,30
partie rouille de bordure	:	3,40

Chiffres empruntés à Ph. DUCHAUFOUR : "Description et Analyse du Pseudogley - Tableaux analytiques des sols".

Ces caractères d'hydromorphie, décrits par PLAISANCE sous le nom de marmorisation contrastée, caractérisent l'horizon B_g.

Si des migrations latérales du fer se produisent au niveau des bandes verticales, on peut penser que l'hydromorphie provoque également des migrations verticales secondaires surimposées aux migrations antérieures dûes au lessivage.

Examinons en effet la courbe théorique de lessivage du fer obtenue par superposition des courbes des profils I et II.

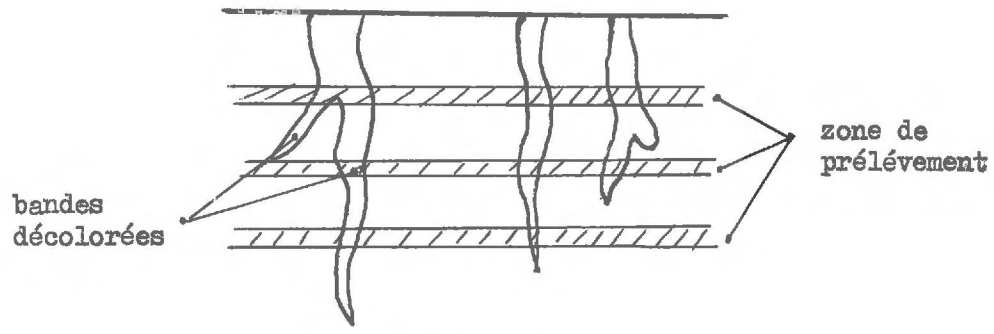
On constate, aussi bien pour les profils I et II, au niveau maximum des bandes décolorées, une diminution de la teneur en fer libre sur 40 cm environ. Cette diminution peut s'expliquer de différentes manières.

- On peut supposer qu'il y a eu, soit migration ascendante, soit migration descendante du fer. L'allure de la courbe ne permet pas de trancher.

- D'autre part au niveau du plancher imperméable, les oxydes de fer et de manganèse précipitent mutuellement, et constiuent de petites concrétions. Le fer immobilisé dans ces conrétions n'est probablement pas extrait lors de l'extraction par la méthode DEB. On peut donc estimer, que cette diminution de la teneur en fer libre au niveau du plancher de la nappe peut être due à la formation de conrétions d'oxydes de fer et de manganèse.

- Enfin on peut avancer une troisième explication. Au niveau où l'on observe cette diminution de la teneur en fer libre, du fait de la présence de nombreuses bandes décolorées, cette teneur en fer libre est très variable. On peut supposer qu'à ce niveau donc, les échantillons n'étaient pas représentatifs et qu'accidentellement pour les 2 profils les parties décolorées ont été prélevées en quantité supérieure à la réalité.

Cependant comme les prélèvements ont été effectués dans un plan horizontal sur une faible épaisseur, et comme d'autre part six échantillons accusent cette diminution de la teneur en fer libre, on peut en grande partie éliminer cette dernière éxplication.



Horizon Bg

Enfin l'hydromorphie provoque dans l'horizon A_2, qui devient alors A_{2g}, des migrations et des reprécipitations de fer très localisées. En A_{2g} on observe en effet une couleur générale de plages pâle, identique à celle de l'horizon A_2 initial et parsemée de plages gris clair (10 à 20 %) d'où le fer a en partie disparu, de plages jaune rouille (20 à 25 %), où le fer a migré et de taches franchement rouille (2 à 5 %), surtout à la partie inférieure de l'horizon A_{2g}. Par opposition à la marmorisation contrastée de l'horizon B, PLAISANCE a appelé ce phénomène "marmorisation [illegible]".

V - GENESE DES SOLS A PSEUDOGLEY

En utilisant les résultats obtenus par cette étude, et les données des différents auteurs ayant étudié les pseudogleys, données exposées dans le Précis de Pédologie de P. DUCHAUFOUR, nous pouvons essayer de décrire les différents processus qui ont abouti à la formation de ces sols à pseudogley observés dans le massif.

Dans un premier temps le lessivage provoque la formation d'un horizon d'accumulation, qui devient progressivement imperméable.

En période de pluie, au dessus de cet horizon imperméable, se forme une nappe perchée temporaire.

En période de sécheresse, elle disparaît. L'horizon B, du fait de sa forte teneur en argile doit présenter des fentes de dessication.

L'eau de la nappe perchée pénètre préférentiellement en B par ces fentes de dessication, puis à partir de ces fentes, réhumecte la masse de l'horizon B entraînant le fer par l'intermédiaire de matières organiques réductrices (Etude de BETREMIEUX, HENIN, BLOOMFIELD, LOSSAINT), le fer reprécipitant en bordure des fentes.

En effet, si l'on observe en plan horizontal le système des bandes décolorées verticales de l'horizon B_g, on s'aperçoit qu'elles constituent un réseau polygonal tout à fait semblable à celui formé par les fentes de dessication dans un matériel argileux asséché, d'où cette idée que les veines décolorées correspondent à des fentes de dessication.

On observe souvent la présence de racines dans ces zones décolorées. Il est fort probable qu'elles n'ont pas de rôle dans la formation de ces bandes verticales et que leur présence est simplement dût au fait que les fentes de dessication constituent des zones de passage préférentielles pour les racines.

L'existence d'une nappe perchée temporaire doit également être la cause de la marmorisation floue de l'horizon A_{2g}. Dans cet horizon non structuré, donc parfaitement homogène, l'eau chargée de matières organiques réductrices se répartit de manière uniforme et provoque des migrations localisées de fer sans direction préférentielle.

Ainsi, pour les sols de Sainte-Hélène, on peut admettre que la marmorisation de l'horizon B et celle de l'horizon A_2 sont les conséquences d'un seul et même phénomène, l'imperméabilisation de l'horizon B par lessivage.

Ces deux types de marmorisation ne sont donc pas d'âge différent.

On peut d'autre part estimer que l'intensité de marmorisation est sous la dépendance de 2 facteurs : l'érosion et la végétation.

Dans la quasi totalité du Massif, l'érosion a enlevé une grande partie de l'horizon A_2 ce qui a pour conséquence.

- de rapprocher le niveau de la nappe de la surface,
- d'augmenter sa durée et sa hauteur, le volume du sol où se répartit l'eau étant moindre.

Si l'on compare les profils I et II, on constate que dans le 1er cas la marmorisation, aussi bien de B_g que celle de A_{2g}, est moins marquée que dans le cas du profil II.

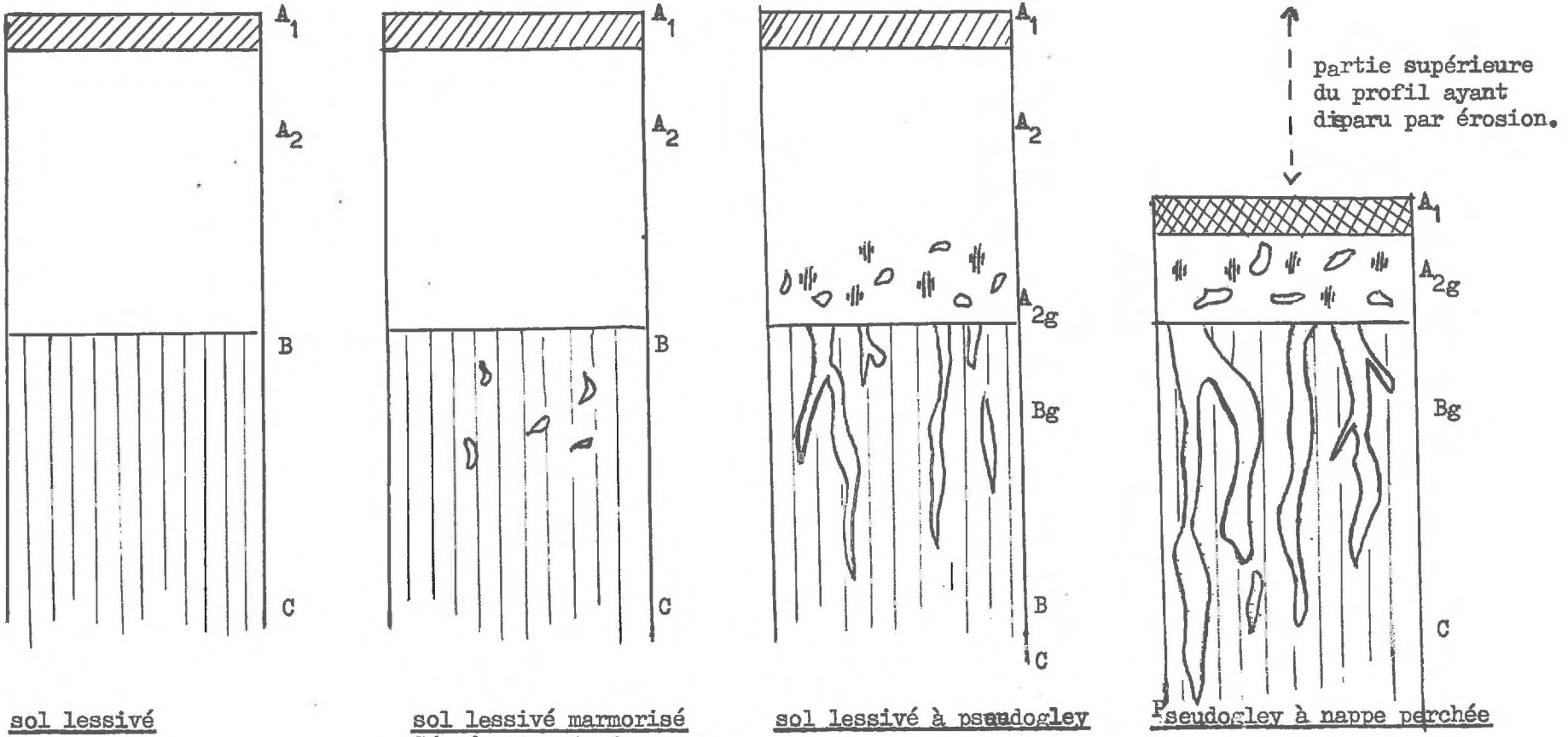
Il existe des profils où l'horizon B_g est situé à 30 cm de la surface et où, par conséquent, l'érosion a été plus important. La marmorisation est nettement plus marquée que dans le cas des profils I et même II : en B_g, trainées verticales décolorées plus nombreuses et plus profondes, en A_{2g}, migrations et reprécipitations de fer plus abondantes.

La végétation ligneuse intervient en pompant une grande quantité d'eau et en interceptant une partie des eaux de pluies. Son élimination au profit d'une végétation herbacée produira le même effet que l'érosion de l'horizon A_2, c'est à dire une augmentation de la réduction et de la migration du fer.

Mais il est difficile de penser que la disparition de cette végétation ligneuse puisse provoquer la remontée de l'horizon B_g puisque cet horizon n'existe que du fait de la présence d'un niveau argileux.

FIG. XXIV

EVOLUTION D'UN SOL LESSIVE VERS UN PSEUDOGLEY A NAPPE PERCHEE =



sol lessivé

sol lessivé marmorisé
Ségrégation du fer sur les faces des unités structurales -Absence de A_{2g}

sol lessivé à pseudogley

Apparition d'un horizon A_{2g}

Pseudogley à nappe perchée

Absence de A_2 - hydromorphie dès la surface.

VI- DIFFICULTES DE CLASSIFICATION

La cartographie a montré l'existence sur tout le placage limoneux de sols lessivés à pseudogley ayant un horizon A_2 d'épaisseur variable, comprise entre 30 et 120 cm. Cette différence ne s'explique que par l'action de l'érosion.

Tous ces sols ont donc subi quel que soit leur aspect actuel, une évolution première identique. Secondairement, ils ont tous acquis des caractères d'hydromorphie dont l'intensité varie avec le degré d'érosion.

Les sols très érodés sont hydromorphes dès la surface :

- l'horizon A_1 est en général un moder hydromorphe ; l'horizon A_{2g} commence immédiatement sous l'horizon A_1 ;
- le profil est A_1 A_{2g} B_g .

Les caractères d'hydromorphie apparaissent ensuite de plus en plus profondément, l'horizon A_{2g} étant séparé de l'horizon A_1 par l'horizon A_2 non modifié.

Nous passons donc progressivement d'un sol appartenant à la classe des sols hydromorphes, et au groupe des pseudogleys à nappe perchée, à un sol appartenant à la classe des sols à mull et au groupe des sols lessivés.

La limite entre les 2 classes ne peut être qu'arbitraire. Il a été décidé ici d'utiliser comme critère l'apparition de l'horizon B_g à moins de 40 cm ce qui correspond à peu près à l'existence de phénomènes de réduction directement sous l'horizon A_1 .

On aboutit à mettre deux sols ne présentant que de faibles différences, ayant subi une pédogénèse absolument identique, et ne différant que par une érosion un peu plus intense, dans deux classes différentes.

On arrive à hésiter pour savoir si tel sol appartient à la classe des sols hydromorphes, ou à celle des sols à mull, et même à les changer de classe selon que l'on adopte 30 ou 40 cm pour la profondeur de l'horizon B_g.

Il est néanmoins certain, qu'à partir d'un certain degré, ce sont les caractères d'hydromorphie qui dominent et qui bouleversent, non seulement les propriétés physiques, mais également les propriétés chimiques. Il est intéressant de noter la dégradation du complexe absorbant de l'horizon B avec l'accentuation de l'hydromorphie.

TAUX DE SATURATION EN FONCTION DE LA PROFONDEUR DE L'HORIZON B_g

	B_g à 120 cm A	B_g à 45 cm B	B_g à 30 cm C
A_1	35	14,2	5,3
A_{2_g}	32,5	11,6	5,5
B_g	30	21	12,1
B		38,8	
C		42	

TABLEAU XIII

Initialement, en B le taux de saturation était de 38 à 40 %. Il passe à 30 % quand l'horizon de pseudogley est peu marqué, puis à 20 % environ quand l'hydromorphie se rapproche de la surface, alors qu'en B il est toujours élevé. Enfin, dans le cas du pseudogley véritable, ce taux de saturation est passé à 12 % en B_g .

I. N. R. A.
STATION d'AGRONOMIE
Dne St-Paul - 84140 MONTFAVET

VII - SOLS A PSEUDOGLEY A DEUX COUCHES GEOLOGIQUES

L'étude des deux profils précédents, et la comparaison des nombreux sondages avec ces 2 profils, permettent d'attribuer au lessivage la formation de la quasi totalité des horizons de pseudogley.

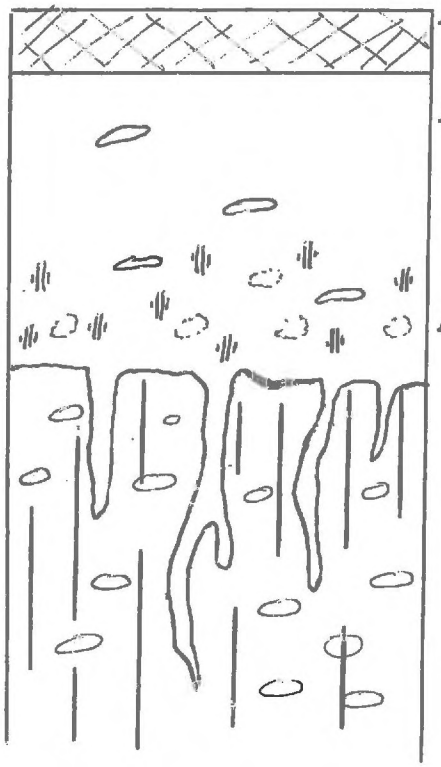
Cependant, si cette conclusion peut être généralisée à 95 % pour le Massif de Sainte Hélène, il existe quelques cas où cette conclusion n'est plus valable.

Nous avons vu, dans l'étude des profils I et II qu'il existait en profondeur un limon rubéfié plus riche en argile que les horizons supérieurs.

En bordure du placage limoneux, les limons récents sont peu épais et soliflués. Du fait de cette faible épaisseur si les limons rubéfiés existent encore, nous allons observer deux horizons superposés, l'un limoneux, l'autre limono-argileux imperméable, présentant des marbrures décolorées verticales.

Morphologiquement le profil a l'aspect de celui d'un sol lessivé à pseudogley, mais génétiquement il est totalement différent.

Un tel sol a été observé en un seul endroit sur un front de carrière -C4 parcelle 4).



A_1 Mull moder

A_2 Horizon beige clair, structure grumeleuse bien pénétré par les racines - assimilé à un A_2

A_{2g} Horizon compact - structure fondue - 10-20 % de taches rouilles - concrétions d'oxydes de fer et de manganèse assimilé à un horizon A_{2g}

II Bg très compact - structure en gros polyèdres aplatis - réseau de bandes décolorées verticales - assimilé à un horizon Bg

SOL A PSEUDOGLEY A DEUX COUCHES GEOLOGIQUES

FIG. XXV

Analyse : Sol à pseudogley à deux couches géologiques

	Ph	C %	M.O. %	N %	C/N	K m.e./100g	Ca m.e./100g	P_2O_5 ‰	Fe %
(A_2)	4,6	0,88	1,50	0,05	17,6	0,12	0,28	0,02	0,99
(A_{2g})	5,4	0,16	0,25			0,12	0,44	0,12	1,15
II B_g	5,3	0,23	0,40			0,20	1,03	0,15	2,60

Diamètre des éléments en microns	A 0-2	Lf 2-20	Lg 20-50	Sf 50-200	Sg 200-2000
(A_2)	18,4	44,5	24,1	3,6	6,1
(A_{2g})	23,2	45,8	21,3	3,4	4,4
II B_g	51	22,5	15,8	4,0	7,6

TABLEAU XIV

L'analyse ne met pas en évidence l'hétérogénéité de ce profil. Si on considère en effet les teneurs en fer et en argile des différents horizons, on pourrait parfaitement conclure au lessivage.

Cependant jamais dans les limons récents même enrichis en argile par lessivage, une teneur en argile supérieure à 50 % n'a été observée, alors qu'elle est courante dans les limons rubéfiés.

Il en est de même pour la teneur en fer libre qui au maximum atteint 2,2 % dans les horizons B développés sur limons récents alors que dans ce profil la teneur en fer libre est de 2,6 %.

La teneur en P_2O_5 assimilable de 0,15 ‰ est également un indice d'hétérogénéité : la teneur en P_2O_5 assimilable des limons récents ne dépasse que très rarement 0,10 ‰.

Enfin si nous effectuons les courbes cumulatives de 2 à 2 000 microns (fig. XXVI) donc en éliminant l'argile, nous constatons que les courbes des deux premiers prélèvements coincident, alors que celle de l'horizon II Bg, diffère notablement des deux premieres, au moins dans sa partie supérieurs.

C'est surtout l'observation du profil en place qui est l'argument essentiel : il y a manifestement deux couches qui différent par leur degré de solifluxion. La couche ancienne est nettement plus chargée en cailloux que la couche supérieure.

Enfin des traces de rubéfaction sont encore visibles dans la couche inférieure, correspondant à l'horizon II Bg.

A la tarière, il est impossible de distinguer un tel sol d'un véritable sol lessivé à pseudogley, mais il est très probable que ces pseudogleys à deux couches géologiquement différentes, sont peu fréquents. Leur existence n'est possible qu'en bordure du placage limoneux, là où les limons récents sont très peu épais ; d'autre part, les limons anciens ont une faible extension et sont souvent réduits à des poches.

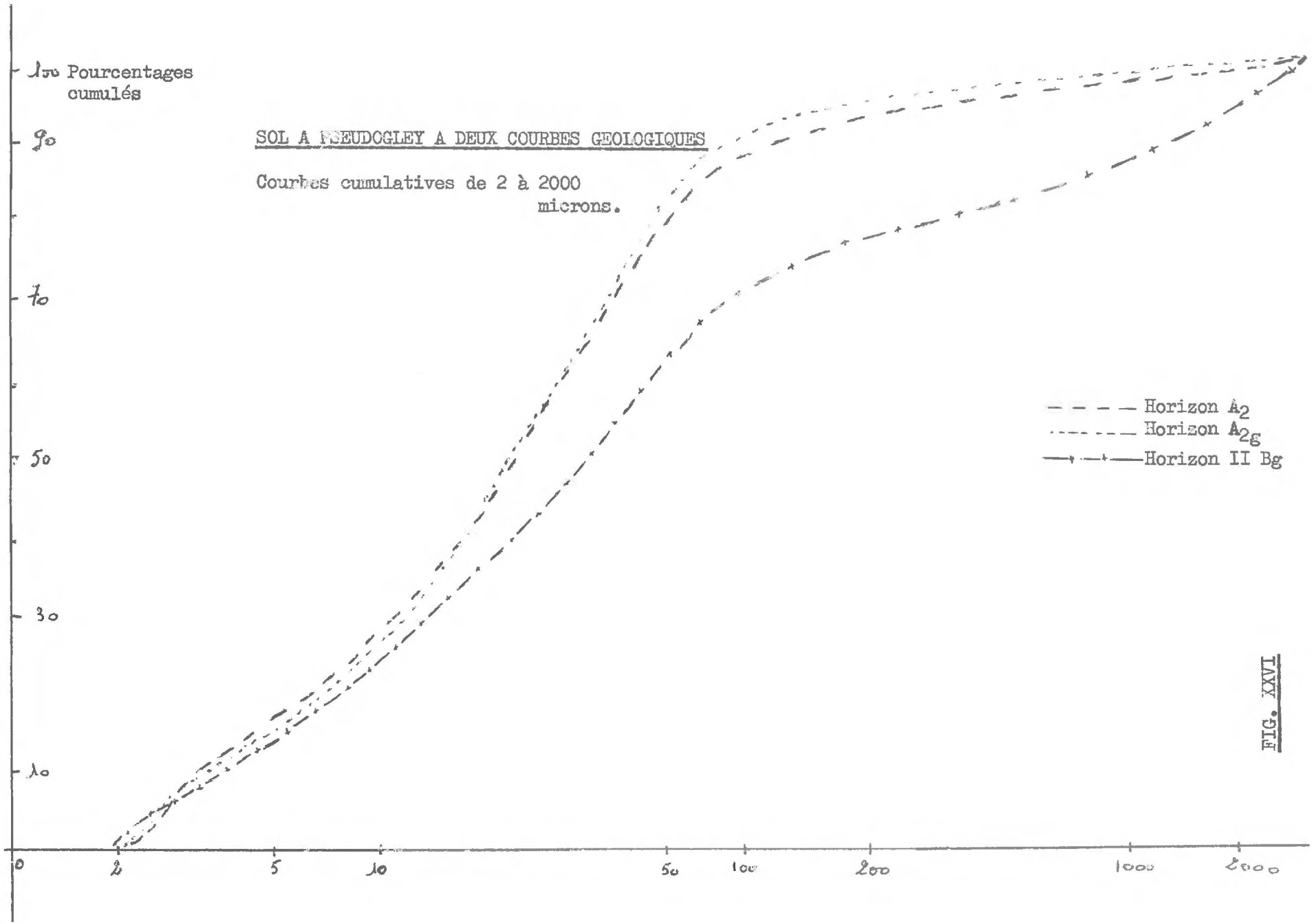

100 Pourcentages cumulés
90
70
50
30
10
SOL A PSEUDOGLEY A DEUX COURBES GEOLOGIQUES
Courbes cumulatives de 2 à 2000 microns.
Horizon A_2
Horizon A_{2g}
Horizon II Bg
0
2
5
10
50
100
200
1000
2000

FIG. XXVI

CHAPITRE II - LES PHENOMENES PEDOLOGIQUES DANS LE TEMPS

Très rapidement l'étude systématique du Massif a montré que, seule l'existence de plusieurs pédogénèses successives, pouvait expliquer certains caractères difficilement compréhensibles, comme par exemple, la fréquence des formations rubéfiées.

Il est possible de distinguer avec certitude 3 périodes précédées probablement par une autre plus ancienne et plus difficilementidentifiable.

I - RUBEFACTION DES ALLUVIONS ANCIENNES

L'ensemble des alluvions anciennes présente une couleur rouge brique constante quelle que soit la profondeur. Les cailloux roulés sont souvent enrobés de pellicules d'oxyde de fer qui peuvent aussi cimenter entre eux les éléments de toutes les grosseurs.

Aucun horizon pédologique proprement dit n'est visible dans les différentes carrières, bien qu'il soit peut être possible de distinguer à la partie supérieure de ces alluvions une zone un peu plus rubéfiée.

L'absence de véritables horizons et la présence d'une rébéfaction intense sur plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur semblent indiquer que ces alluvions n'ont pas été soumises à une pédogénèse de climat chaud après avoir été mises en place. La rubéfaction se serait donc produite antérieurement au dépôt sur un matériel repris ensuite par un cours d'eau.

Rien ne permet de dater ces alluvions. Cependant, en France, des dépôts identiques rubéfiés sont fréquents et sont habituellement attribués à la fin du pliocène.

II - SOLS ROUGES SUR LIMONS ANCIENS

Le placage limoneux recouvrant les alluvions anciennes s'est constitué en deux temps. On peut en effet distinguer deux couches superposées ayant chacune été soumises à l'action de deux climats différents.

La couche la plus ancienne n'existe plus que par lambeaux et le plus souvent ne s'est conservée qua dans des poches assez localisées. Elle se distingue facilement par sa couleur rouge brique très semblable à celle des alluvions, alors que le limon supérieur est de couleur ocre.

Dans la carrière de Saint-Gorgon, une poche de limons anciens est bien conservée ainsi qu'un sol à peu près complet développé à la partie supérieure de ces limons. Ce sol n'est pas recouvert à cet endroit par le second placage limoneux qui a été enlevé par l'érosion. Il existe seulement, juste au dessus du sol fossile, un colluvium de pente limono-sableux.

Trois horizons sont visibles : un horizon lessivé (II A2), un horizon d'accumulation rouge brique (II B) et un horizon (B/C) beige rouge. L'horizon organique a disparu et probablement une partie de l'horizon A2 .

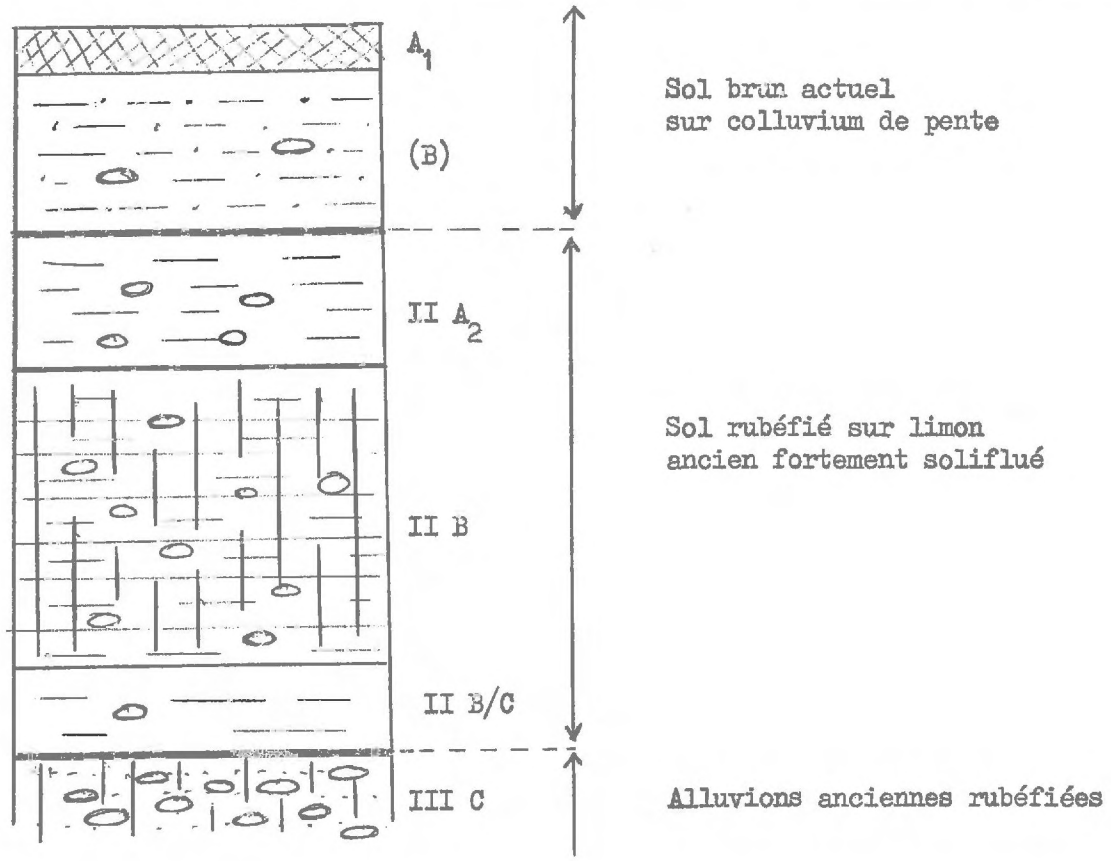


FIG. XXVII

A - Description

A_1 0 - 5 cm	:	Mull Moder	Sol brun actuel sur colluvium de pente
(B) 5 - 45 cm	:	Limons sableux très meubles. Structure finement grumeleuse. Enracinement très abondant. 10 à 15 % de cailloux roulés. 10 YR 6/4 - (brun jaune clair) - Transition brutale avec l'horizon sous-jacent.	
II A_2 45 - 85 cm	:	Structure polyédrique très irrégulière unités de 5 à 8 mm. Très compact. Nombreux canalicules. Couleur générale 5 YR 5/8 (rouge jaune) - 40 % de plages plus claires 5 YR 6/8. Pas de clay-skin Rares cailloux roulés	Sol fossile sur limons anciens
II B 85 - 150 cm	:	Structure polyédrique à tendance lamellaire. 30 % de cailloux présentant une patine ferrugineuse ainsi que des unités structurales. Clay-skins visibles. Rares canalicules. 2 5YR 4/6 (rouge)	
II B/C	:	Structure polyédrique tendant à devenir nuciforme. Quelques enrobements. 1 à 2% de cailloux roulés. Existence de canalicules. Teinte générale 7 5YR 5/8 (brun) 30 % de plages 2 5YR 4/8 (rouge). Transition brutale avec les alluvions	
II C	:	Alternance de lits sableux et de lits sableux à 70 % de cailloux roulés. 5 YR 5/8 (rouge jaune)	Alluvions rubéfiées.

B - ANALYSE

Voir page suivante

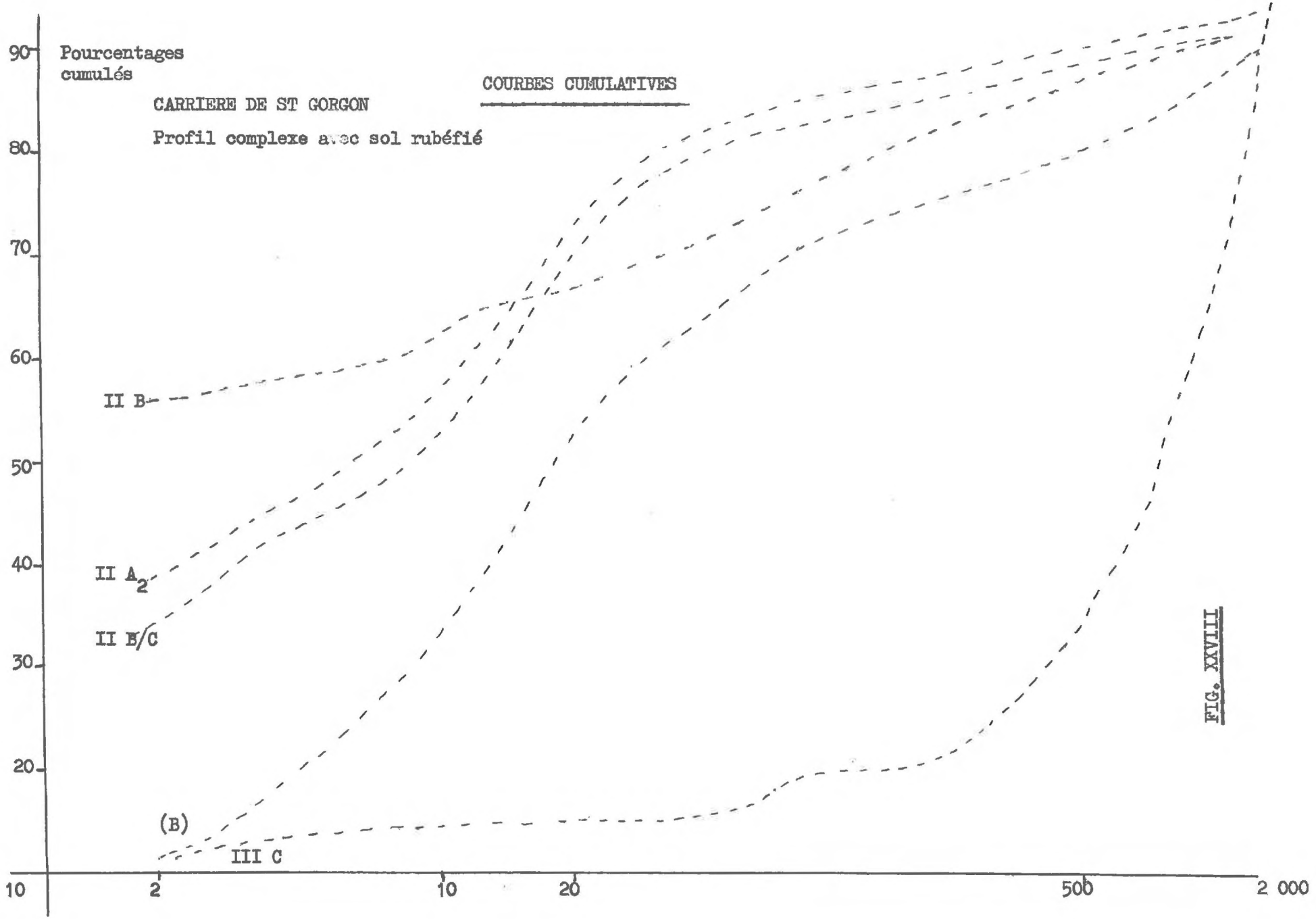

Pourcentages cumulés
COURBES CUMULATIVES
CARRIERE DE ST GORGON
Profil complexe avec sol rubéfié
90
80
70
60
50
40
30
20
II B
II A2
II B/C
(B)
III C
10
2
10
20
500
2 000

FIG. XXVIII

CARRIERE DE St GORGON

Analyse :

PRofil complexe avec sol rubéfié

	Ph	T m.e.	K m.e.	Ca m.e.	Mg m.e.	Na m.e.	S/T	Al.libre ‰	Fe libre %	Fe total %	Fe libre / Fe total
(B)	4,4	6,25	0,15	0,05	0,02	0,02	0,04	2,7	0,92	1,68	0,54
II A_2	4,9	13,5	0,16	1,5	1,5	0,05	23,3	3,4	2,14	3,76	0,57
II B	4,9	21,4	0,16	2,65	3,05	0,06	27,6	4,6	3,76	5,64	0,66
II B/C	5,1	16,12	0,14	1,8	1,65	0,05	22,7	4,3	2,10	3,90	0,53
III C	5,0	4,6	0,04	0,07	0,02	0,02	0,03	2,3	1,66	3,30	0,49

Diamètre des éléments en microns	A 0-2	Lf 2-20	Lg 20-50	Sf 50-200	Sg 200-2000	limon f / argile
(B)	12	36	16,5	7,7	19,7	3
II A_2	39,5	26	15	4,1	9	0,65
II B	57	11	5	5,4	15,2	0,19
II B/C	36	33	12	3,5	6,4	0,97
III C	12	3	0	3	83,4	

TABLEAU XV

C - Essai de détermination

La discussion qui va suivre ne concerne que les limons rubéfiés, autrement dit les horizons II A_2, II B et II BC.

1) Couleur

La couleur rouge brique de l'horizon II B, probablement dûe à des oxydes de fer déshydratés comme l'hématite ou peu hydratés comme la goethite, fait immédiatement penser à une pédogénèse sous climat chaud, à période sèche prolongée. Cette couleur se rapproche plus des sols rouges tropicaux (5 à 7 5YR) que des sols beiges tropicaux.

Des couleurs identiques se rencontrent dans les ultisols de la classification américaine.

2) Epaisseur du profil

Elle est faible et ne devait guère dépasser 1,50 m. Seuls les sols ferrugineux tropicaux auxquels appartiennent les sols beiges ont un aussi faible développement. Les sols ferrallitiques atteignent généralement 3 m d'épaisseur au moins.

3) Texture

Les courbes cumulatives de ce profil complexe montrent 3 textures différentes, correspondant aux 3 matériaux superposés.

La courbe du colluvium limono-sableux est intermédiaire entre les 3 couches du limon ancien et celle des alluvions ; en effet, ce colluvium résulte du brassage d'un limon récent, en place à quelques dizaines de mètres de là, et des alluvions.

Les 3 courbes du sol fossile présentent deux anomalies :

- l'horizon A_2 lessivé est aussi riche en argile que l'horizon B/C d'autre part, la courbe de l'horizon B recoupe celle des 2 autres horizons.

Ces anomalies peuvent s'expliquer soit par une légère hétérogénéité du limon, ce dernier en effet étant très fortement soliflué, soit dans le cas de l'horizon B par l'existence de pseudosables formés secondairement.

4) Lessivage

Malgré ces anomalies, on peut estimer que la forte proportion d'argile de l'horizon B est dûe à l'action du lessivage. En effet, l'enrichissement en argile est corrélatif d'un enrichissement en fer.

La présence de clay-skins est également en faveur de l'existence d'un horizon argillique.

L'indice d'entrainement de l'argile est de 1,47 et celui du fer un peu plus élevé, puisque de 1,7.

5) Rapport limon/argile

Un critère souvent utilisé pour distinguer sols ferrugineux et sols ferralitiques est le rapport de la fraction comprise entre 02 et 20 microns et la fraction inférieure à 2 microns.

Il est toujours supérieur à 0,15 en sols ferrugineux et inférieur à 0,25 en sols ferrallitiques. Ici, en A_2 et B/C, il est nettement supérieur à 0,15, mais seulement de 0,19 en B.

6) Fer

La teneur en fer libre (2,14 % en A_2 et 3,76 % en B) est très élevée comparativement aux sols plus récents du reste du Massif, même les plus évolués :

Sols lessivés	A_2	0,8 %
	B	2,2 %
Sols bruns lessivés	A_2	1,D %
	B	1,6 %
Sols bruns sur colluvium	(B)	0,70 %
Sols bruns acides ou ocre-podzoliques sur grès		0,55 à 0,60 %
Horizon B_2 des podzols		1,0 %

Le rapport fer libre sur fer total est élevé dans tout le profil (0,57 en A_2 , 0,66 en B et 0,53 en B/C) et indique une forte altération.

Il est intéressant de comparer ces chiffres avec ceux donnés par MAIGNIEN pour les sols du Sénégal.

Ce rapport est de 0,5 à 0,6 pour les sols de type ferrugineux et de 0,4 à 0,7 pour les sols de type ferrallitique.

Dans le premier type, ce rapport diminue légèrement avec la profondeur alors que dans le second, il augmente pour parfois atteindre 0,90 %.

Ici, ce rapport est maximum en B et diminue en B/C, ce qui est également en faveur de l'existence du lessivage. L'accumulation de fer libre en B résulte d'une part de l'altération dans cet horizon et, d'autre part, d'une migration à partir de A_2 d'où un rapport fer libre / fer total plus élevé qu'en A_2 .

Enfin, la différence entre fer libre de B et fer libre de A_2 est sensiblement égale à la différence entre fer total de B et fer total de A_2 : 1,62 contre 1,88. En B, l'augmentation du fer libre est donc égale à l'augmentation du fer total, ce qui est une nouvelle confirmation de l'action du lessivage.

7) Alumine libre

La teneur en alumine libre est supérieure à celle des sols bruns lessivés (2 % environ) et lessivés (3 %) de la région, mais inférieure à celle existant dans les sols de la série podzolique : 3 à 6 % pour les sols bruns acides et ocres podzoliques, 10 % dans l'horizon B_2 des podzols (chiffres empruntés à Ph. DUCHAUFOUR).

Ici, il ne semble donc pas qu'il y ait eu une forte libération d'alumine, ni, par conséquent, de ferralitisation, quoique la méthode TAMM ne permettant pas l'extraction de l'alumine cristallisée sous forme de gibsite, il soit impossible d'être entièrement affirmatif.

8) Taux de sesquioxydes dans l'horizon B

En B, la teneur en sesquioxydes libres, alumine (AL_2O_3) et fer (Fe_2O_3), est de 6,30 (0,93 + 5,37). Le taux d'argile étant de 57 %, le pourcentage de sesquioxydes libres par rapport à l'argile est de 11,05 %. Par conséquent, cet horizon B n'est pas un horizon oxique, le critère de caractérisation d'un tel horizon étant une teneur en sesquioxydes supérieur à 12 % par rapport à l'argile. Cependant nous sommes juste à la limite, des ultisols et oxisols.

9) Complexe absorbant et type d'argile

Dans l'horizon II B, le complexe absorbant est de 21,4 m.e. (acétate d'ammonium à Ph 7) ce qui correspond à 37 m.e. pour 100 g d'argile.

Il est donc possible de définir approximativement le type d'argile qui serait donc à dominante d'illite.

Or, l'illite est considérée comme une argile se formant surtout en climat tempéré ; il est cependant possible d'expliquer cette apparente contradiction par le fait que la majeure partie de cette argile était déjà présente lors de la mise en place de la roche mère, donc avant la pédogénèse. La teneur initiale du limon en argile devait être de 35 à 40 %.

10) Taux de saturation

En B, le taux de saturation est de 27,6 %. Généralement dans les sols ferrugineux ce taux est supérieur à 40 % devenant souvent très élevé en profondeur alors que dans les sols ferrallitiques, ce taux de saturation est inférieur à 40 %.

Dans la classification américaine, la distinction entre Alfisols et Ultisols se fait essentiellement par le taux de saturation en B qui est inférieur à 35 % dans les ultisols. Dans la classification américaine, ce sol fossile se placerait dans l'ordre des ultisols.

11) Ph

Il est légèrement inférieur à 5 donc nettement plus bas que les valeurs habituellement trouvées dans les sols ferrugineux, où il oscille aux alentours de 6.

12) Hydromorphie

Aucune trace d'hydromorphie n'est visible dans le profil décrit. Cependant dans plusieurs sondages effectués, l'horizon B montrait des caractères d'hydromorphie marqués : présence en B de nombreuses trainées verticales décolorées.

13) Conclusions

La plupart de ces caractéristiques autorisent le rapprochement de ce sol fossile avec les sols ferrugineux tropicaux de la classification française.

D'autres caractères : le taux de saturation en base très faible, le Ph, la couleur et le rapport limon / argile en B de 0,19, autoriseraient une analogie avec les sols faiblement ferrallitiques.

D'après la classification américaine, ce sol appartient à l'ordre des ultisols, sols à horizon argillique très fortement désaturé avec absence d'horizon oxique, et au sous ordre des ochrults ou à celui des Aquults en cas d'hydromorphie.

D'après la classification belge, ce sol appartiendrait aux ferrisols.

En résumé, nous pouvons conclure avec évidemment certaines réserves que ce sol fossile est un sol lessivé désaturé ferrugineux, très faiblement ferrallitique. En effet, ce sol a été soumis après sa formation à des conditions climatiques différentes ; il a été recouvert par une nouvelle cuche limoneuse ayant par la suite plus ou moins disparu et ayant été remplacée par un colluvium de faible épaisseur (60 cm). Cette faible épaisseur ne soustrait pas entièrement le sol fossile à l'action de la pédogénèse actuelle.

Il n'est donc pas impossible que certaines caractéristiques originelles de ce sol aient été modifiées.

La plupart du temps, il est d'ailleurs impossible de distinguer des horizons. Il ne reste qu'une zone rubéfiée, correspondant probablement à l'horizon II B. Tous ces sols sont donc pour la plupart tronqués. Souvent aussi ils ont entièrement disparu.

Néanmoins, ces réserves étant faites, il est intéressant d'essayer de déduire de ces caractères les conditions climatiques qui régnaient lors de cette pédogénèse ancienne, en admettant que des conditions climatiques données induisent toujours le même type de sol.

Le caractère tropical qui régnait lors de la formation de ce sol est quasi certain.

Il est toujours difficile de donner des précision supplémentaires sans risque d'erreurs. Le caractère faiblement ferrallitique permet de penser à l'influence d'un faciès plus humide que le climat tropical preprement dit.

MAIGNIEN dans le Sud Ouest du Sénégal a étudié le passage des sols ferrugineux aux sols ferrallitiques.

Dans la zone de transition règne un climat tropical humide qui doit être comparable à celui qui régnait lors de cette pédogénèse ancienne :

Température moyenne annuelle	27 °
Température minimale moyenne annuelle	20°
Température maximale moyenne annuelle	35°
Pluviosité 1 200 à 1 500 mm	
Saison des pluies 4 à 5 mois	
Végétation forêt xérophile.	

D - Essai de détermination de l'âge de ce sol

Le matériel sur lequel s'est constitué ce sol ancien est un limon manifestement d'origine éolienne.

En aucun cas, ce matériel ne peut être considéré comme un faciès limono-argileux des alluvions anciennes, bien que la teneur en cailloux roulés puisse atteindre 30 % ; en effet, ces limons toujours situés à la partie supérieure des alluvions, reposent directement sans transition sur les éléments grossiers sous-jacents, et ne présentent aucune trace de stratification entrecroisée.

La présence des cailloux roulés s'explique facilement par la solifluxion.

Il est remarquable de constater que les phénomènes de solifluxion n'ont pas perturbé les horizons du sol fossile. Par conséquent, la pédogénèse est postérieure à la solifluxion.

Ce sol fossile, développé sur un matériel éolien soliflué, donc mis en place au cours d'une période froide, est d'âge quaternaire.

Rien ne permet de le rattacher à l'une des 3 périodes interglaciaires. Cependant, on admet que pendant les deux premières interglaciaires régnait un climat plus chaud que le climat actuel, la flore du deuxième interglaciaire indiquant déjà une influence tempérée.

Nous avons vu que le climat qui régnait lors de la pédogénèse était très chaud à caractère tropical et ne peut correspondre à celui qui régnait au deuxième interglaciaire.

Par conséquent ce sol rubéfié pourrait dater des premières phases du quaternaire.

III - SOLS LESSIVES SUR LIMONS RECENTS

Alluvions anciennes et limons anciens sont recouverts , nous l'avons vu, par une couche limoneuse d'épaisseur variable atteignant souvent 3 m d'épaisseur. Ces limons récents reposent directement sur les alluvions anciennes ou par l'intermédiaire des limons anciens rubéfiés, quand ils ont été conservés, comme dans le cas des profils I et II précédemment étudiés.

Si nous reprenons les analyses granulométriques du Profil I, nous constatons que la courbe n°3 d'un échantillon prélevé à 185 cm dans le limon rouge est identique à la courbe de l'horizon B du sol fossile étudié dans la carrière de St Gorgon.

Dans le profil II, le limon récent repose sur l'horizon B du limon ancien, l'horizon A_2 ayant disparu.

Les sols lessivés secondairement hydromorphes, développés sur les limons récents, ont été étudiés dans un chapitre précédent.

Rappelons leurs caractéristiques essentielles :

- profil complet atteignant 2,5 m
- indice d'entrainement du fer 2,75
- indice d'entrainement de l'argile 2,3.

Ce sont des sols très évolués dont la formation a dû s'étendre sur une très longue période. On ne peut pas en effet expliquer autrement l'entrainement du fer à plus de 2 m de profondeur.

De plus, bien qu'étant en Station horizontal, les 4/5 de ces sols sont très fortement érodés. Initialement, l'épaisseur de l'horizon A_2 devait être de l'ordre de 1 à 1,20 m. Actuellement, sauf pour de rares exceptions, elle est surtout comprise entre 50 et 70 cm et parfois réduite à 30 cm.

Il est difficile de concevoir une érosion aussi importante lors de la période forestière actuelle. Cette période forestière a débuté dès la fin de la dernière glaciation. Il faudrait donc admettre que l'érosion de ces sols lessivés s'est produite juste à la fin du Wurm ou pendant le Wurm.

La formation de ces sols auraient alors eu lieu pendant le dernier interglaciaire.

IV - RELATIONS POSSIBLES ENTRE LIMONS RUBEFIES ET LIMONS LESSIVES

Nous avons vu qu'il existait presque constamment, dans la zone du complexe alluvions-limons, une zone limoneuse rubéfiée profonde, surmontée d'une zone non rubéfiée, mais fortement lessivée.

Ces faits peuvent être interprétés à l'aide de deux hypothèses différentes.

Pour notre part, tout au long de cet exposé, nous avons admis l'existence de deux couches superposées, distinctes géologiquement ; la couche mise en place le plus anciennement aurait été seule rubéfiée, la seconde aurait été uniquement lessivée, sans être soumise à un processus quelconque de rubéfaction.

Il est possible d'interpréter ces faits d'une manière légèrement différente.

Nous pouvons en effet supposer qu'il n'existe qu'un seul placage limoneux, qui aurait été entièrement rubéfié sur une très grande épaisseur. Ultérieurement au cours d'une phase de dérubéfaction ou de brunification, la partie supérieure de ce placage limoneux aurait été lessivée, tandis que les oxydes de fer seraient repassés à l'état hydraté.

De tels phénomènes ont été observés en Sologne, où les sols rubéfiés se sont formés sur des dépots d'âge Burdigalien. Il existe partout en surface une couche deferrifiée et lessivée qui est géologiquement identique à la couche inférieure rubéfiée sous-jacente. Cette couche déferrifiée ne semble pas dans ce cas dépassée 1 m d'épaisseur.

Nous avons pour le massif étudié admis la première hypothèse c'est à dire discontinuité géologique et rubéfaction uniquement de la couche limoneuse la plus ancienne.

La discontinuité géologique semble être très probable. Deux faits nous autorisent, en effet, à penser ainsi.

Reprenons les figures XVII et XVIII des pages 65 et 67. Nous constatons que les deux séries de courbes cumulatives effectuées de 0 à 2 000 microns et de 2 à 2 000 microns la courbe correspondante à la zone rubéfiée recoupe les courbes des horizons A_2 et Bg du sol lessivé développé dans une couche non rubéfiée.

Il semble que ces limons rubéfiés appartiennent bien à une famille texturale différente de celle à laquelle appartiennent les limons supérieurs.

D'autre part dans une carrière située en K9 une couche de limons non rubéfiés repose directement sur le grès bigarré sans l'intermédiaire d'une couche rubéfiée.

Ces deux faits permettent donc d'estimer, comme nous l'avons admis, que le dépot éolien s'est effectué en deux temps.

Il est possible cependant, même en admettant cette discontinuité géologique de supposer que l'ensemble des deux couches a été rubéfié, et que la dérubéfaction, si elle a existée, n'a intéressé que la couche supérieure.

Pour notre part, nous n'avons pas non plus retenu cette hypothèse.

L'examen de la zone de contact, bien qu'elle soit perturbée par des phénomènes de cryoturbation, montre que le passage entre les deux formations est toujours brutal, ce qui semble en contradiction avec l'hypothèse d'une dérubéfaction, qui laisserait plutôt supposer une transition progressive.

Nous avons également effectuer une étude sommaire de l'intensité de l'altération dans la couche rubéfiée profonde et dans la couche lessivée supérieure.

Il est possible d'avoir une idée de l'intensité de l'altération en effectuant les rapports fer libre sur fer total, ou fer total sur fer libre Plus le rapport fer total sur fer libre est élévé, plus l'altération est faible.

Deux profils ont été étudiés :

Le profil I du sol lessivé à pseudogley situé en H4
Le profil du sol rubéfié de la carrière de St GORGON.

Profil I

Horizons	Fer total	Fer libre	Fer total / Fer libre
A_2 horizon lessivé	1,76	0,78	2,25
Bg Horizon d'accumulation	3,19	1,69	2,5
II B limon rubéfié	4,72	2,4	1,96

Profil carrière de St GORGON

Horizons	Fer total	Fer libre	Fer total / Fer libre
A_2	3,76	2,14	1,7
B	5,64	3,76	1,5
B/C	3,90	2,10	1,85

TABLEAU XVI

Les horizons A_2 et Bg du sol lessivé ont un rapport supérieur à 2. La moyenne du rapport fer total sur fer libre pour l'ensemble de ce sol est de 2,3.

Les différents horizons rubéfiés ont tous un rapport fer total sur fer libre inférieur à 2, la moyenne de l'ensemble des horizons étudiés étant de 1,75.

Il semble donc bien que l'intensité de l'altération soit plus importante dans les horizons rubéfiés, que dans les horizons qui ne le sont pas, ce qui apporte un argument important à l'hypothèse que nous avons formulée.

L'intensité de l'altération a été étudiée d'une autre manière, en effectuant le rapport P_2O_5 total sur P_2O_5 assimilable. Le phosphore total a été dosé de la manière suivante : attaque au peroxyde de sodium , précipitation de la silice par ébullition dans l'acide perchlorique concentré, passage des oxydes de fer sous forme de perchlorates de fer incolores, et colorimétrie par le vanadomolybdate d'ammonium.

Les chiffres ci-dessous correspondent à plusieurs profils différents. Il ne sera tenu compte que de la moyenne des chiffres.

Horizons situés sur limons supérieurs non rubéfiés.		Horizons situés sur limons rubéfiés	
P_2O_5 total %	P_2O_5 assimilable %	P_2O_5 total %	P_2O_5 assimilable %
2,40	0,10	2,88	0,12
2,32	0,10	2,40	0, 15
3,04	0,11	1,92	0,22
2,80	0,11	3,60	0,43
2,72	0,05	3,28	0,18
	0,09	3,84	
	0,10	2,88	
	0,10	3,40	
	0,11		
	0,05		
	0,02		
	0,12		
Moyenne 2,65	Moyenne 0,08	Moyenne 0,22	Moyenne 3,02
$\frac{P_2O_5\ T}{P_2O_5\ A}$ =	33	$\frac{P_2O_5\ T}{P_2O_5\ A}$ =	13,7

TABLEAU XVII

Nous constatons une différence importante dans les taux de phosphore assimilable des horizons rubéfiés (0,22 ‰ en moyenne) et, des horizons non rubéfiés (0,08 ‰)

D'autre part les rapports P_2O_5 totaux sur P_2O_5 assimilable différent très nettement et varient dans le même sens que les rapports fer total sur fer libre. Il semble donc que l'altération ait été plus importante dans les limons rubéfiés profonds que dans les limons supérieurs.

Cependant une objection peut être faite à l'interprétation que nous avons donnée des analyses du phosphore.

En effet, les limons non rubéfiés étant situés à la partie supérieure les prélèvements effectués par la végétation ont certainement plus affecté les limons non rubéfiés que les limons rubéfiés, ce qui pourrait expliquer les différences importantes observées dans les teneurs en phosphore assimilable.

Nous pouvons approximativement chiffrer les exportations à 100 kg par hectare et par siècle.

Si nous admettons une exploitation pendant 20 siècles, avec exportation de litière, nous sommes très certainement au-dessus de la réalité.

En faisant cette hypothèse et en admettant une profondeur d'enracinement de 1 m l'exportation de phosphore aurait abouti à une diminution de la teneur en phosphore assimilable de 0,12 ‰ environ. Il faudrait donc effectuer la correction suivante :

Limons non rubéfiés -

$$\frac{P_2O_5 \text{ Total}}{P_2O_5 \text{ assimilable}} = \frac{2,65 + 0,12}{0,08 + 0,12} = 13,8$$

Dans ce cas on obtient un rapport égal à celui des limons rubéfiés et on peut conclure à une altération identique dans les deux cas.

Cependant les exportations n'ont certainement pas été aussi importantes, que nous les avons estimées. D'autre part au cours d'une période de 20 siècles ont peut estimer qu'il y a eu passage d'une fraction de phosphore total sous forme de phosphore assimilable. Dans ce cas les exportations aurait eu lieu au dépens du phosphore assimilable initial et au dépens d'une partie du phosphore total.

En admettant l'hypothèse d'une exportation de phosphore par l'exploitation, il ne faudrait certainement pas diminué de plus de 10 le rapport $\frac{P_2O_5 \text{ total}}{P_2O_5 \text{ assimilable}}$ des limons supérieurs, rapport qui est actuellement de 33. Dans ce cas, nous pouvons toujours faire l'hypothèse d'une altération un peu plus importante dans les limons rubéfiés.

Un autre fait nous amène à penser que l'altération a été plus forte dans les limons rubéfiés. Quelle que soit la profondeur, la teneur en P_2O_5 assimilable des limons non rubéfiés est constante et faible, ne dépassant pas 0,10 ‰, même dans les horizons les plus profonds situés à plus de 1,50 m.

Par contre dès que l'on passe dans les limons rubéfiés la teneur en phosphore assimilable augmente.

Tout au long de cet exposé nous avons effectué les quatre hypothèses suivantes :

a/ mise en place d'une première couche limoneuse d'origine éolienne.

b/ forte altération et rubéfaction de cette couche sous l'action d'un climat à caractère tropical.

c/ dépot d'une seconde couche limoneuse

d/ lessivage ancien et intense de cette couche supérieure sans processus de rubéfaction.

Nous considérons ces hypothèses comme l'approximation la plus proche de la réalité, bien que certains faits ne puissent être démontrés de façon totalement irréfutable.

IV - SOLS RECENTS

Tous les sols développés sur des matériaux qui ne sont plus en place, limons remaniés et colluviums, sont peu évolués. Ce sont soit, des sols bruns lessivés soit, des sols bruns dont la formation a dû débuter lors de la réinstallation de la forêt, à la fin de la dernière période froide.

Leur évolution est peu accentuée du fait de leur position topographique surtout pour les sols sur colluvium, et du fait de leur âge récent.

Il ne semblerait donc pas, du moins dans le cadre de ce massif forestier, que des sols lessivés sensu-stricto aient eu le temps de se développer depuis la fin de la dernière glaciation.

V - CONCLUSION

Nous pouvons donc admettre pour ce Massif forestier : Une première période de climat chaud antérieure au dépot des alluvions sableuses.

Une seconde période chaude pendant une phase interglaciaire qui a abouti à la formation d'un sol lessivé désaturé ferrugineux, à très faiblement ferralitique.

Au cours d'une autre phase interglaciaire, une 3e période, à climat tempéré humide, ayant provoqué la formation de sols lessivés qui sont devenus secondairement hydromorphes.

Enfin, la période actuelle à laquelle correspondent sols bruns lessivés et sols bruns.

Si ces 4 périodes se sont effectivement succédées dans le temps, leur datation ne peut être qu'approximative et grossière. En effet, nous avons admis qu'il s'est produit 4 glaciations séparées par 3 interglaciaires à climat de moins en moins chaud.

En fait, les oscillations climatiques du quaternaire sont beaucoup plus complexes, Chaque grande glaciation est en réalité la somme de plusieurs glaciations mineures séparées par des interglaciaires courts dont on ne connaît pas les caractéristiques climatiques.

De nombreux Auteurs ont observé des limons rubéfiés d'âge rissien et même wurmien. Il est fort possible que les alluvions estimées d'âge pliocène soient en fait beaucoup plus récentes et, par conséquent, que les deux couches limoneuses le soient également.

CHAPITRE III - FACTEURS AYANT ORIENTE LA PEDOGENESE

Après l'inventaire des unités cartographiques, l'étude plus particulière des sols lessivés à pseudogley et la mise en évidence de l'existence de plusieurs phases successives, il est possible de tirer certaines conclusions relatives aux facteurs ayant présidé à la différenciation d'un nombre aussi élevé de types de sols.

Si nous examinons la répartition des différents matériaux originels, nous constatons qu'elle coïncide à peu près parfaitement avec celle des unités pédologiques, du moins dans la zone du complexe alluvions limons.

I - ZONE COMPLEXE ALLUVIONS LIMONS

A - Différenciation des sols à mull

Au placage des limons homogènes et hétérogènes correspond exactement une lentille de sols lessivés à pseudogley, ne différant que par la variabilitté de l'horizon A_2, variabilité due, nous l'avons vu, à l'érosion plus ou moins intense de cet horizon. Cette érosion entraîne l'accentuation plus ou moins marquée de l'hydromorphie temporaire.

Les deux facteurs essentiels qui sont intervenus dans l'orientation de la pédogénèse sont : tout d'abord l'existence d'un matériel originel permettant l'infiltration profonde des eaux de pluie, mais suffisamment riche en éléments fins, pour que les pores de l'horizon B soient colmatés au bout d'un certain temps, et ensuite l'horizontabilité de tout le placage limoneux/la pénétration verticale de l'eau.
qui a permis

Ce sont ces deux causes primaires qui ont permis secondairement aux autres facteurs, essentiellement la formation de composés organiques solubles, complexant le fer et dispersant l'argile, d'agir et de contribuer à provoquer la formation d'un horizon d'accumulation.

Ultérieurement, d'autres composés organiques ont provoqué des migrations latérales de fer et contribué à la différenciation des horizons A_2 et Bg ; mais cette action n'est toujours que la conséquence des deux facteurs primaires précédents ; l'horizontabilité agit d'ailleurs directement à ce stade, en empêchant le drainage latéral de l'eau.

Le drainage latéral peut, par contre, s'effectuer en bordure de la lentille limoneuse. La conséquence en est la formation autour de la lentille des sols lessivés à pseudogley, d'une auréole étroite plus ou moins discontinue de sols lessivés marmorisés à hydromorphie très peu marquée, et de sols lessivés non hydromorphes.

Ces sols lessivés marmorisés et lessivés sont très peu répandus. En effet, leur existence suppose déjà un début de pente, ce qui est incompatible avec un lessivage accentué. D'autre part un début de pente provoque rapidement des phénomènes de remaniement et la destruction du placage limoneux en place. On passe à un matériel nouveau où la pédogénèse est relativement récente.

Ces sols lessivés et lessivés marmorisés ne sont donc que des sols de transition, ne pouvant être que très localisés, là où le passage entre limons en place et limons remaniés ne se fait pas trop rapidement.

Aux limons en place succèdent donc une série de formation concentriques, résultant du brassage des limons et des alluvions.

Sur ces nouveaux matériaux, dont la mise en place est récente, la différenciation des profils sera peu accentuée.

Il est remarquable de constater qu'aux limons remaniés correspondent à peu près exactement des sols bruns lessivés.

La pente encore faible a été suffisante pour provoquer, par l'intermédiaire des eaux de ruissellement un remaniement des limons, mais insuffisante pour empêcher tout lessivage.

Par contre sur colluvium, l'infiltration latérale de l'eau l'emporte. Le brassage des éléments est intense et la différenciation du profil quasiment nulle.

B - Différenciation des sols à gley

Enfin en bas de pente sur colluvium épais, là où s'accumulent les eaux de ruissellement et les eaux de résurgence, auxquelles s'ajoutent parfois les eaux de la Mortagne, on retrouve à nouveau des sols hydromorphes, mais cette fois à hydromorphie permanente : ce sont des gleys passant parfois à des sols franchement tourbeux.

On peut rencontrer dans de rares cas à la limite entre la zone drainée et la zone à nappe permanente des sols bruns plus ou moins hydromorphes.

Ici donc, le facteur essentiel, qui intervient dans la différenciation des sols actuels, est la position topographique qui induit ou non le lessivage et détermine ou non la présence d'une nappe permanente.

La pente détermine aussi l'épaisseur du sol et l'apparition à plus ou moins grande profondeur du niveau compact formé par les alluvions anciennes en place.

C - Différenciation des podzols

Il peut arriver, lorsque la rupture de pente est particulièrement brutale que les alluvions anciennes soient mises à nu. Le résultat en est l'apparition dès la surface d'un matériel à texture très grossière.

Ce fait est suffisant pour déclencher la podzolation. Cette podzolation se fait par l'intermédiaire de la végétation.

Mais la podzolation n'a lieu que parce que le matériel de départ est de texture très grossière et très pauvre en éléments assimilables.

La végétation, en provoquant la podzolation et la différenciation des horizons ne fait que mettre en évidence la pauvreté du sol.

L'action de la végétation est un facteur nécessaire à la podzolation, mais ce facteur seul n'est pas suffisant.

Reprenons l' exemple du sol brun acide à humus brut décrit dans l'inventaire des sols. La végétation constituée de pins sylvestres avec comme strate herbacée vaccinium myrtillus, calluna vulgaris et Deschampsia flexuosa, aurrait dû conduire à la podzolation ou au moins à un début. Or, il n'y a aucune différenciation visible. La seule explication est à rechercher dans la texture ; les alluvions sont recouvertes par un colluvium limono sableux contenant de 35 à 40 % d'éléments fins (argile et limons fins).

On pourra objecter que l'installation de cette végétation acidiphile est trop récente pour provoquer une podzolisation visible.

Dans le massif, il existe un assez grand nombre de bouquets de pins sylvestres dont on ne connaît pas l'origine (ils peuvent être naturels ou avoir été introduits). Quand la matériel est limoneux ou limono sableux, il n'y a jamais de podzolation - par contre si ce sont des alluvions anciennes qui forment la roche mère on peut être certain de trouver un podzol.

Si l'introduction des pins est récente, on peut penser que la podzolisation est uniquement ralentie sur limons ou limons sableux, mais qu'un bout d'une période suffisamment longue, la différenciation du profil pourrait avoir lieu.

Que l'introduction des pins soit récente, ce qui semble le plus vraisemblable, ou ne le soit pas, il semble bien, d'après de nombreux auteurs qu'à l'époque subartique et à l'apoque boréale un massif de pins sylvestres et de bouleaux s'étendait à toutes les Vosges.

Une preuve de l'extension antérieure du pin sylvestre dans le massif de Ste Hélène pourrait être l'existence d'un podzol typique sous un peuplement de hêtres et de chênes.

Il est difficile d'imaginer sous le climat lorrain que des feuillus puissent provoquer la formation d'un podzol. Il faudrait plutôt incriminer un peuplement disparu de pins sylvestres.

De toute façon, dans l'hypothèse d'un massif de pins englobant la forêt de Sainte Hélène, seules les zones sableuses auraient été podzolisées.

II - ZONE GRESEUSE

Dans la partie sud du massif sur grès bigarré, on pourrait s'attendre à rencontrer une chaîne de sols plus ou moins analogue.

Si dans la zone proche du placage limoneux, les sols sur grès sont légèrement lessivés au sommet de la butte, le lessivage est inexistant.

En quelques mètres, on passe de sols très évolués situés sur limons à des sols peu évolués situés sur grès, donc sur un matériel à texture plus favorable à l'évolution, que celle des limons.

Il est particulièrement difficile de donner une réponse.

Une explication peut cependant être avancée :

Nous avons vu que les limons ont permis la formation de sols épais de 2,50 m. Ces sols ultérieurement ont été érodés de 70 à 80 cm. Cette hauteur correspondà peu près à la profondeur d'un sol normal.

On peut supposer que sur grès, à l'époque où les limons étaient fortement lessivés, se sont développés des sols n'ayant pas plus de 1 m d'épaisseur, du fait de l'existence de la dalle de grès.

L'érosion aurait ensuite enlevé 70 à 80 cm comme dans le cas des limons et aurait donc provoqué la disparition quasi totale de ces anciens sols.

Après la reprise de la pédogénèse à l'époque récente, l'évolution serait repartie de néant sur les grès, ce qui expliquerait la faible évolution vers le sol brun lessivé ou les sols bruns acides, en cas de blocage de la matière organique par l'alumine et le fer.

Le passage d'une roche mère à l'autre correspondrait donc au passage brutal d'une période ancienne à une période récente, d'où la différence d'évolution.

III - CONCLUSIONS

L'ensemble des sols existant actuellement dans le massif de Sainte Hélène est donc l'aboutissement d'une évolution complexe qui s'est effectuée pendant les différentes phases du quaternaire.

Il est remarquable de constater, que l'évolution est d'autant plus accentuée, que les matériaux sur lesquels se sont développés les sols ont été mis en place à des périodes plus reculées.

Les sols lessivés se rencontrent sur les limons qui ont été maintenus en place.

Les sols bruns lessivés se sont développés sur des limons remaniés.

Enfin les sols bruns n'existent que sur des colluviums de pente ou sur des matériaux récemment érodés.

Cette évolution a été, et est encore, orientée par la nature des matériaux originels, qui conditionnent directement par leur texture, leur cohésion et leur dureté, le sens et l'intensité de la pédogénèse. Ils interviennent aussi indirectement, car leur résistance à l'érosion est à l'origine de la différenciation du relief, dont le rôle est fondamental, dans l'économie de l'eau.

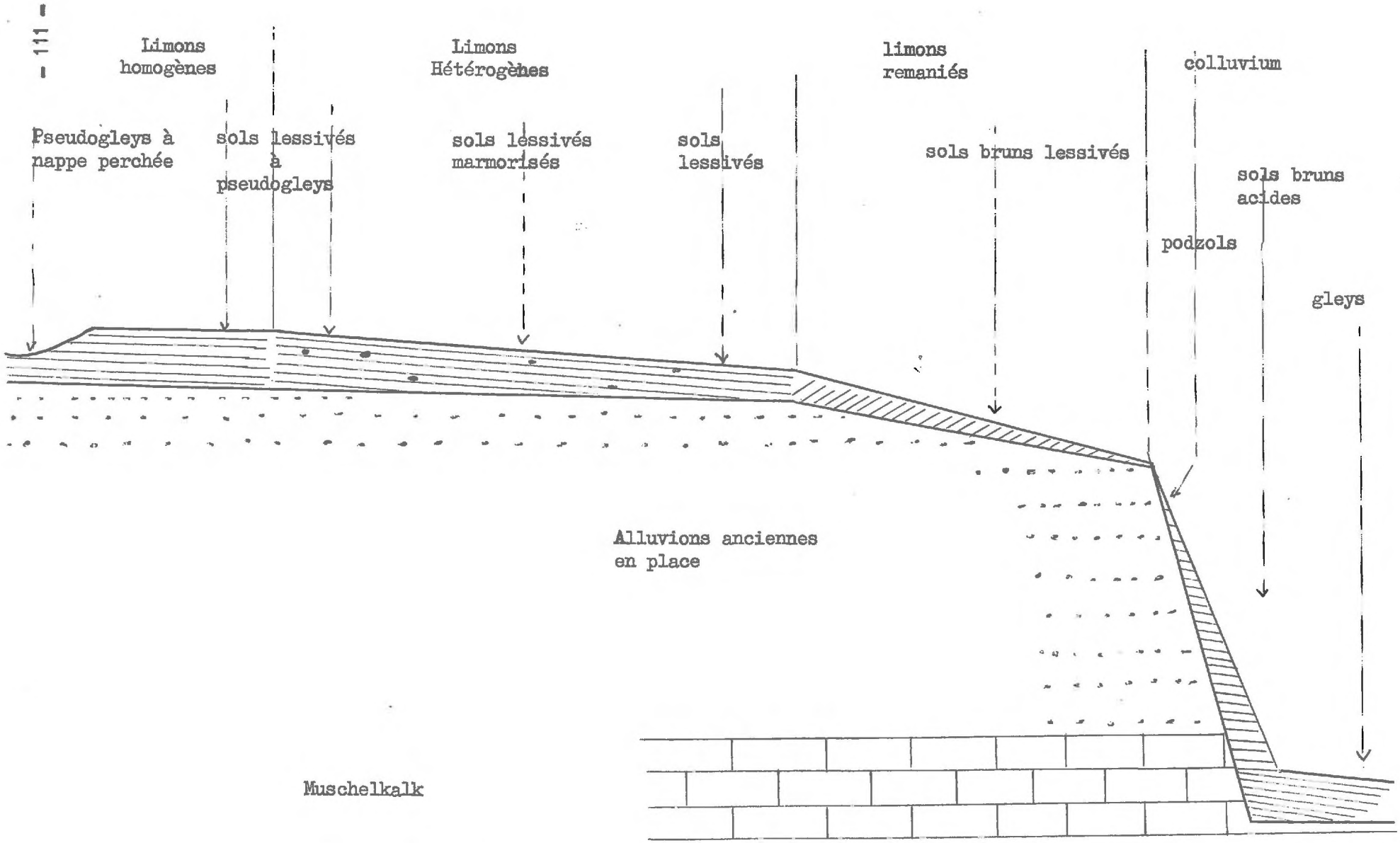


Fig. XXIX CHAINE DES SOLS DANS LA ZONE DU COMPLEXE ALLUVIONS LIMONS

RESUME ET CONCLUSIONS

L'essentiel de ce travail a consisté dans un premier temps, en une étude systèmatique des sols d'un massif forestier des Basses-Vosges, avec levé d'une carte à grande échelle.

Dans un deuxième temps, l'inventaire des unités pédologiques ayant soulevé de nombreux problèmes d'ordre génétique, l'origine des sols à pseudogley a dû être approfondie . De même il a fallu effectuer l'hypothèse de l'existence de plusieurs phases de pédogénèses successives, qui seule permettait d'expliquer les différences d'évolution existant entre les unités, ainsi que certains caractères incompatibles avec le climat actuel.

MATERIAUX ORIGINELS

L'interprétation de nombreux profils n'a été possible qu'après une étude détaillée des matériaux originels. Très rarement en effet les sols se sont développés directement à partir du substratum géologique.

Le Massif étudié est situé en partie sur le Muschelkalk moyen et en partie sur les grès du trias inférieur (grés bigarré et grés vosgien).
Ces formations sont surmontées par un complexe récent, constitué par une masse importante d'alluvions anciennes, et par un placage limoneux, probablement mis en place en deux temps.

Au cours du quaternaire différentes actions ont profondémment modifié ce système en provoquant l'incorporation les uns aux autres des différents matériaux. Il a été possible de mettre en évidence l'action de phénomènes de solifluxion, de cryoturbation, de remaniement, de colluvionnement, et enfin de colmatage, d'où la différenciation d'autant de matériaux originels supplémentaires correspondant.

INVENTAIRES DES SOLS - REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE

L'inventaire des sols a débuté par l'ouverture de fosses dans les unités qu'il était déjà possible de déterminer au premier abord. Il a été poursuivi par une prospection systèmatique à la tarière, à raison d'un sondage par hectare en moyenne.

Cette prospection a permis de montrer l'existence d'un nombre extrèmement varié de sols. La plupart des sous-groupes pouvant exister sous nos climats, y sont représentés à l'exception de ceux appartenant à la classe des sols calcimorphes.

Une telle diversité de sols, qui n'est manifestement pas alliée à une diversité analogue du peuplement forestier, permet déjà de supposer qu'à l'action de facteurs actuels, il faut ajouter celle d'autres facteurs, dans la différenciation des sols.

La représentation cartographique adoptée est à caractères génétiques. La couleur apparaît soit au niveau du sous groupe, soit au niveau du groupe ou de la classe, si ces grandes divisions ne sont pas représentées que par un seul sous groupe.

Les matériaux originels sont représentés par une surcharge en noir.

La famille est donc la plus petite unité représentée. Cependant du fait de la multiplicité des distinctions effectuées au niveau des matériaux originels qui ont été ainsi pulvérisés, l'unité de dernier ordre représentée correspond en réalité à la série.

Un extrait simplifié de cette carte a été effectué, en vue de tenter de regrouper les sols définis génétiquement, en fonction de leur valeur forestière.

GENESE DES SOLS A PSEUDOGLEY

La plupart des sols développés sur limons homogènes ou hétérogènes sont caractérisés par l'existence d'un horizon de pseudogley, horizon imperméable, constituant le plancher d'une nappe temporaire, et parcouru par un réseau de marbrures décolorées verticales. Cet horizon imperméable est situé entre 30 et 110 cm.

Lorsqu'il est à 30 cm ou moins, les caractéristiques du profil sont entièrement dominées par l'hydromorphie. Que l'horizon imperméable soit dû à l'existence de deux géologiquement différentes, ou qu'il soit secondaire, et résulte d'un processus pédologique, le sol appartient aux pseudogleys à nappe perchée.

Par contre lorsque cet horizon imperméable se trouve à 1 m de profondeur les caractères d'hydromorphie ne sont plus que secondaires, et génétiquement le sol appartiendra à une classe différente, suivant que l'horizon riche en argile est ou n'est pas la conséquence d'un processus de lessivage.

- mise en évidence du lessivage

Afin de déterminer si un tel processus de lessivage est intervenu deux profils, différant par la profondeur d'apparition de l'horizon de pseudogley (respectivement 110 et 45 cm), ont été comparés.

Pour chacun des deux profils nous avons construit les courbes de répartition du fer libre et de l'argile en fonction de la profondeur.

Ces courbes permettent dans les deux cas de mettre en évidence un horizon lessivé et d'un horizon d'accumulation.

Cependant il n'est pas possible de mettre en évidence, pour l'argile un maximum d'accumulation par rapport à l'horizon C. Par contre il existe un maximum de fer libre, très net, dans l'horizon Bg par rapport à l'horizon C. Ce maximum n'a pu être mis en évidence que pour un seul des deux profils. Dans un cas en effet la partie inférieure de l'horizon Bg se confond avec l'horizon B d'un sol rubéfié fossile.

Nous avons effectué la superposition des courbes de répartition du fer libre des deux profils, en faisant coïncider la partie qui leur est commune. Nous obtenons ainsi une courbe complète, qui semble bien être celle d'un sol lessivé.

D'autres critères permettent d'érayer notre hypothèse. Pour les deux profils nous avons effectué les courbes cumulatives des horizons A_2 et Bg.

Dans les deux cas la courbe de l'horizon lessivé est située constamment sous celle de l'horizon, le décalage/à la quantité d'argile ayant migré par lessivage.
correspondant

De même nous avons effectué les courbes cumulatives de 2 à 2 000 microns en éliminant par conséquent l'argile. Pour les deux profils il y a superposition parfaite des horizons A_2 et Bg, ce qui montre que le profil, avant la pédogénèse, était homogène.

La teneur en alumine libre ainsi que la présence d'enrobements argileux permettent de conclure dans le même sens.

Il apparaît que les sols à horizons de pseudogley, quelle que soit leur morphologie actuelle, soient en premier lieu des sols lessivés (indice d'entrainement de l'argile 2,1 à 2,3 - indice d'entrainement du fer 2,5 à 2,7)

- Surimposition de caractères d'hydromorphie

Il semble donc bien que l'existence d'un niveau imperméable, soit la conséquence d'un lessivage intense. Ce niveau imperméable se traduit par la formation d'une nappe temporaire en saison humide.

Cette nappe va provoquer simultanément des modifications au niveau de la partie supérieure de l'horizon d'accumulation qui va être appelée Bg et au niveau de la zone d'oscillation de la nappe, c'est à dire en A_2, qui va devenir A_2g.

En Bg l'hydromorphie temporaire provoque des migrations latérales de fer au niveau des fentes de dessication, et entre les unités structurales, ce qui provoque la formation du réseau de marbrures décolorées verticales.

En A_{2g} l'hydromorphie provoque des migrations de fer sans direction préférentielle, ce qui se traduit par des taches rouilles et des plages plus claires.

D'autre part la courbe de répartition du fer libre en fonction de la profondeur obtenue par superposition des deux profils étudiés, montre une redistribution du fer au niveau du maximum des bandes décolorées verticales soit par migration ascendante ou descendante, soit plus vraisemblablement par précipitation sous forme de concrétions d'oxydes de fer et de manganèse.

- Influence de l'érosion

Cette même courbe permet de supposer que le deuxième profil étudié est incomplet : la plus grande partie de l'horizon lessivé semble avoir disparu et l'hypothèse la plus vraisemblable permettant d'expliquer cette disparition semble être l'action de l'érosion.

Nous avons constaté lors de la prospection, qu'il existait tous les intermédiaires, entre les sols ayant un horizon lessivé de faible épaisseur (30 cm), et les sols ayant un horizon lessivé de grand développement (1 m), alors que les horizons d'accumulation sont tous aussi développés.

Nous pouvons donc effectuer l'hypothèse suivante : la plus ou moins grande profondeur d'apparition de l'horizon d'accumulation et donc de l'horizon de pseudogley résulterait d'une érosion plus ou moins intense de l'horizon lessivé, qui partout aurait atteint 1 m de développement.

LES PHENOMENES PEDOLOGIQUES DANS LE TEMPS

De nombreux profils sont complexes du fait de la présence en profondeur d'horizons rubéfiés. La fréquence de ces formations rubéfiées nous a incité à déterminer quelques unes de leurs caractéristiques.

L'étude de ces horizons, souvent très modifiés par solifluxion et cryoturbation, a pu être effectuée sur un front de carrière, où semble-t-il un sol rubéfié était encore à peu près en place. Bien qu'il soit difficile de se prononcer, il semble que ces formations rubéfiées correspondent à des sols de type ferrugineux ou faiblement ferrallitique, développés sur de faibles profondeurs. Les teneurs en éléments totaux, fer et phosphore, et en alumine libre, montrent que l'altération y a été un peu plus forte que pour les formations non rubéfiées, mais les différences ne semblent pas aussi importantes que l'on aurait pu s'y attendre.

Nous pouvons donner un schéma des différentes phases d'évolution qui se sont succédées dans ce massif, schéma, qui ne peut être qu'une approximation, dans l'état actuel de nos connaissances.

- Première phase de rubéfaction intense, affectant les alluvions anciennes. Il semble que cette phase se soit produite antérieurement au dépôt de ces alluvions.

- Mise en place d'un placage limoneux éolien, puis seconde phase de rubéfaction, avec différenciation de sols ferrugineux à faiblement ferrallitiques.

- Mise en place d'un deuxième placage limoneux, également éolien. Suivi d'une phase de lessivage intense, masquée secondairement par des caractères d'hydromorphie.

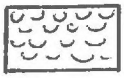
- Erosion partielle de ces sols lessivés. Du fait de cette érosion nous estimons, sans pouvoir donner de date, même approximative, que le lessivage est très ancien, et ne correspondpas à une phase actuelle.

- Dernière phase à laquelle correspond des sols beaucoup moins évolués, en équilibre avec le climat et la végétation actuels : sols bruns et sols bruns lessivés.

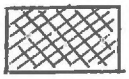
Cette dernière phase que l'on doit pouvoir faire débuter après la fin de la dernière période froide doit être elle-même complexe, comme l'ont montré de nombreux auteurs la végétation forestière, comme le climat, n'ont pas été constants. Au subarctique et au boréal la végétation était à base de bouleaux et de pins sylvestres, et le climat plus froid qu'actuellement. Un témoin de cette période pourrait être l'existence d'un podzol sous feuillus.

Il semble donc, au moins dans le cadre de ce massif forestier, que la différenciation des sols soit plus le résultat d'une évolution antérieure, que celui de facteurs actuels. Tant que cette évolution des périodes passées ne sera pas mieux connue, l'interprétation de l'aspect actuel des sols, à la lumière de modifications récentes, ne pourra être que très prudente.

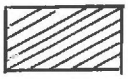
LEGENDE DES SYMBOLES UTILISES DANS LES FIGURES



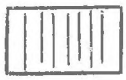
Matière organique peu décomposée



Horizon humifère particulaire peu actif

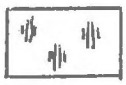


Horizon humifère grumeleux actif



Accumulation de fer ferrique hydraté

Accumulation de fer ferrique déshydraté

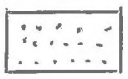


Précipitations localisées de fer ferrique

Disparitions localisées de fer ferrique

Texture limoneuse

Texture limono-sableuse



Texture sableuse

Cailloux roulés.

BIBLIOGRAPHIE

AMERYCKX (Y) et NALSCHOT (L) - "Note sur un ultisol fossile"
1962 - Pédologie - XII,2

ANDRE (J) "Les phénomènes de transports périglaciaires en Morvan Nord"
Bulletin A.F.E.S. - n° 91 - Oct. 1957

AUBERT (G) "La classification des sols : la classification pédologique française" - 1962
Cahier de Pédologie ORSTOM * 1963,3

BEAR (F.E.) "Pedological Record of the Quaternary"
Soil Science - Janvier 1965

BLOOMFIELD (C) "Some Observations on gleying"
Journal of Soil Science - 1950 - I p. 205

BIDNELL (O.W.) and HOLE (F.D.) - "Man as a factor of soil Formation
Soil Science - Janvier 1965

BONNEAU (M;) "L'importance des propriétés physiques du sol dans la production forestière"
Revue Forestière Française - Janvier 1963 - p. 19-31

BORDES (F) "Les limons quaternaires du bassin de Paris et du Nord de la France"
Congrès de Bruxelles - 1947

CACHON (L) "Contribution à l'étude du quaternaire récent de la Grande Limagne marno-calcaire : morphogénèse et pédologie."
Ann. Agr. 1964 - 15 (1)

CAILLEUX (A) "Les loess et les limons éoliens de France"
B.S.C.G.F. 1953 p. 240

CHARLOT (G) "Les méthodes de la chimie analytique - Analyse quantitative minérale"
1961 - MASSON et Cie

DEJOU (J) Etude des sols du Centre Nivernais, Région de Premery"
Bulletin A.F.E.S. - Mai 1963 p. 210

DEMOLON (A) "Dynamique du sol"
Dunod Paris 1960

DESAUNETTES (J.R.) - "Classification pratique des sols hydromorphes"
Bulletin A.F.E.S. sept. 1958 p. 396

DEWOLF (Y) "Intérêts et principes d'une cartographie des formations superficielles"
Publications de la faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université de CAEN 1965

DUBOIS (G et C) "Modification des forêts et des climats dans les régions Nord Est et Sud Est de la France"
Actes du 4ème congrés international sur le quaternaire - Rome Pise 1956 - p. 454

DUCHAUFOUR (Ph) "Recherches écologiques sur la chênaie Atlantique Française"
Thèse Annales de l'E.N.E.F. XI,1 - 1948

DUCHAUFOUR (Ph) "L'action des divers types d'humus sur les processus d'entrainement dans le sol forestier"
Revue Forestière Française 12 1957

DUCHAUFOUR (Ph) "Pédologie - Tableaux descriptifs et analytiques des sols"
Publication de l'E.N.E.F. 1957

DUCHAUFOUR (Ph) "La dynamique du sol forestier en climat atlantique"
Presses de l'Université Laval Quebec 1959

DUCHAUFOUR (Ph) "Données nouvelles sur la classification des sols"
Annales de l'E.N.E.F. XVIII, 4, 1961

DUCHAUFOUR (Ph) "La cartographie des sols et des stations à but agronomique et à but forestier"
Pédologie XI 1961

DUCHAUFOUR (Ph) "Précis de Pédologie"
Masson et Cie 1965

DUCHAUFOUR (Ph) - BONNEAU (M) - DEBAZAC (E) et PARDE (J)
"Types de forêt et aménagement : la forêt de la contrôlerie en Argonne"
Annales de l'E.N.E.F. XVIII, 1, 1961

DUCHAUFOUR (Ph) - PARDE (J) - JACAMON (M) et DEBAZAC (E)
" Un exemple d'utilisation pratique de la cartographie des stations : la forêt de BAN d'ETIVAL (Vosges)"
R.F.F. 10 1958

DUCHAUFOUR et SOUCHIER - "Note sur un problème de classification : Podzolation chimique et différenciation du profil"
Pédologie 1966 (en cours d'impression)

DUPUIS (M) "Directives pour la prospection et l'étude des sols sur le terrain et le laboratoire"
Bulletin A.F.E.S Sept. 1959
Oct. 1959
Juin- Juillet 1960
" " Mars 1962
Novembre 1962

DUPUIS (J) et CAILLEUX (A) - "Observations sur les formations superficielles et les sols de la Beauce au sud d'Etampes.
INRA - Annales Agronomiques Mai-Juin 1955 p. 373

EDELMAN (C.H.) "Podzols forestiers et podzols de bruyère"
Pédologie 1960 - X,2

FIEDLER "Die Untersuchung der BOden Band 1 und 2 Verlag THEODOR STEINKOPFF DRESDEN und LEIPZIG"

FRANC DE FENIERE (J) - "Géologie et Pédologie. Contribution à l'étude des formations quaternaires de la plaine d'Alsace. "
Imprimerie alsacienne Strasbourg 1937

FRANC DE FERRIERE (J) - MILLOT (G) - et CAMEZ (Th) -
"Argiles des sols de formations tertiaires et quaternaires d'Aquitaine"
Bulletin A.F.E.S. nov. 1959

GEZE (B) "La notion d'âge du sol. Son application à quelques exemples régionaux"
Annales Agronomiques III Mai-Juin 1959.

HEBERT (J) et HERMANT (G) - "Deux années de fonctionnement du service cartographique des sols de l'Aisne"
Bulletin A.F.E.S. Juin-Juillet 1960

HEBERT (J) "Projet de cartographie des sols de l'Aisne"
Bulletin A.F.E.S. n° 84 Février 1957

HEBERT (J) et JAMAGNE (M) - "Mémoire de la carte CRAONNE * 1 - 2"
Chambre d'Agriculture de l'Aisne 1963

HEBERT (J) et JAMAGNE (M) - " Mémoire de la carte de LAON 5 -6 1962"
Chambre d'Agriculture de l'Aisne.

HENIN (S) "Le mécanisme de l'érosion par l'eau, dans la Conservation du sol, le problème français"
Bulletin technique d'information des Ingénieurs du service agricole 51, 1950

JACKSON (M.L.) "Clay Transformations in Soil Genesis during the quaternary"
Soil Science Janvier 1965

JAMAGNE (M.) "Contribution à l'étude des sols au Congo Oriental"
Pédologie 1963 XIII, 2

JAMAGNE (M.) "Introduction à une étude pédologique dans la partie nord du bassin de Paris"
Pédologie 1964 XIV, 2

LEFEVRE (P.) "Les affleurements des formations géopédologiques picardes"
Bulletin A.F.E.S. Mars 1957

LOSSAINT (P) "Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litiéres forestières"
Thèse faculté des Sciences de Strasbourg 1959

MALTERRE (H) "Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris"
Thèse faculté des Sciences de Paris 1946

MAIGNIEN (R) "Le passage des sols ferrugineux tropicaux aux sols ferrallitiques dans les régions sud-ouest du Sénégal"
Sols Africains, vol. VI 1961

MAROCKE (R) "Les sols rouges paléoclimatiques de la terrasse wurmienne rhénane alsacienne"
C.R. Académie des Sciences, n° 16 (Avril 1962) p. 3019

MERIAUX S (Mme) "Contribution à l'étude de l'analyse granulométrique"
INRA ann. Agronomiques n° 1 et 2 1954

MERIAUX (Mme S), GILLY (G) et LAMONTRE (B)
"Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône"
Bulletin A.F.E.S. Janvier 1957

MOHR (E.C.J.) and VAN BAREN (F.A.) - Tropical Soils
Interscience Publischers LTD LONDON 1954

MUCKENHAUSEN (E.) "Der Pseudogley"
Science du sol 1963 n° 1

PERIGAUD (S) Mme "Contribution agronomique à la mise en valeur de la Brenne (sols hydromorphes)"
Thèse Faculté des sciences de l'Université de Clermont Ferrand 1963 - Ann. agronomiques vol. 14 n° 2 et 3

PLAISANCE (G.) et VAN DER MAREL (H.W.)
"Contribution à l'étude des limons des plateaux de la forêt de Chaux (Jura)"
INRA Ann. agr. n° 5 et 6 1960

PLAISANCE (G) "Les sols à similigley"
Bulletin A.F.E.S. février 1955

PLAISANCE (G) "Les sols à marbrures de la forêt de Chaux"
Thèse faculté des sciences de Dijon Juillet 1965

RODE (A.A.) "Podzolation and lessivage"
Pochvovenedie 7 juillet 1964
Trad. angl. Soviet. soil science avril 1965

SCHAEFFER (R) "Les sols hydromorphes du Bruch de l'Andlau (Alsace)"
Bulletin A.F.E.S. Janvier 1962

SCHEYS (G) et T'JONCK (G) - "Développement des profils sur sédiments tardi et postglaciaires"
Pédologie VII 1957

SEGALEN (P) Le fer dans les sols"
Publication de l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer
Paris 1964

STEPHENS (C.G.) Climate as a Factor of soil Formation Through the quaternary"

TAVERNIER "Les formations quaternaires de la Belgique en rapport avec l'évolution morphologique du pays"
Bulletin de la Société belge de géologie 1948

TAVERNIER (R) et AMERYCKX (J) - "Le postpodzol en Flandre sablonneuse"
Pédologie VII 1957

THORP (J) "The nature of the Pedological Record of the quaternary"
Soil Science Janvier 1965

TRICART (J) "Carte des phénomènes périglaciaires quaternaires en France. Mémoire explicatif de la carte géologique de France"
Paris 1956

TRICART (J) "L'épiderme de la terre"
Masson et Cie Paris 1962

VANHOORNE (R) "Datation des podzols fossiles dans les sables éoliens de Belgique"
Pédologie 1962, XII, 2

VERMEIRE (R) "Les sols de la Famenne entre Marche et Houyet"
Pédologie 1962, XII, 2

WERNERT "Stratigraphie paleontologique et préhistorique des sédiments quaternaires d'Alsace - ACHENHEIM"
Mémoire de la carte Géologique d'Alsace Lorraine 1957

X "Soil classification . A compréhensive system - 7 th Approximation"
Soil Survey Staff, Soil Conservation service; USDA 1960

X "La géologie des terrains récents dans l'Ouest de l'Europe"
(Session extraordinaire des Scoiétés Belges de Géologie)
17 - 26 sept. 1946 Bruxelles 1947

2ème THESE

Les Oligoéléments dans l'Alimentation des essences forestières

---

Vu et Approuvé

Nancy, le 17 février 1966

Le Doyen de la faculté des Sciences

J. AUBRY

Vu et Permis d'imprimer

Nancy, le 18 février 1966

Le Recteur

Président du Conseil de l'Université

P. IMBS