

**D.E.A.**  
**FÉDÉRAL DE**  
**PEDOLOGIE ET**  
**AMENAGEMENT DES SOLS**

ETUDE DES FORMES DE LA MATIERE ORGANIQUE DE  
DEUX SOLS DU MORVAN :

- Fractionnement chimique et par électrophorèse
- Liaisons avec l'aluminium échangeable et  
les métaux complexés par les matières  
humiques.

Année : 1979 - 1980

SIAL

**UNIVERSITÉ PARIS VI**  
DEPARTEMENT DES SCIENCES  
DE LA TERRE

**INA**  
DEPARTEMENT DES SOLS

**UNIVERSITÉ PARIS VII**  
DEPARTEMENT DES SCIENCES  
DE LA TERRE

**I.N.R.A. C.N.R.A.**  
STATION DE SCIENCE DU SOL

**O.R.S.T.O.M.**  
SECTION DE PEDOLOGIE

DE.A. de PÉDOLOGIE  
et  
AMÉNAGEMENT des SOLS

ORSTOM  
PARIS VII

ETUDE des FORMES de la MATIÈRE ORGANIQUE  
de DEUX SOLS du MORVAN:

- Fractionnement chimique et par électrophorèse
- Liaisons avec l'aluminium échangeable et les  
métaux complexés par les matières humiques

Par

Sial NABI BUX

Mémoire de D.E.A.

Année 1979-1980

## AVANT PROPOS

Avant de présenter mon mémoire de fin d'année, j'aimerais exprimer mes remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

En particulier, je tiens à remercier B. DABIN, qui m'a permis de traiter un sujet très intéressant, et qui m'a beaucoup aidé à le mieux comprendre.

Je tiens également à remercier M. MAIGIEN qui m'a aidé, par ses conseils, à présenter ce travail.

Je remercie également M. BELLIER, qui m'a suivi dans mon travail et m'a fait bénéficier de ses connaissances techniques très précieuses.

Enfin je voudrais remercier toutes les personnes des laboratoires de BONDY qui ont eu la gentillesse de me permettre l'utilisation de leur matériel.

Mon hommage s'adresse également à mes camarades dont la présence et la sympathie me furent très bénéfiques.

## TABLE DES MATIERES.

---

INTRODUCTION	1
CHAPITRE I	
I Données générales	4
II Environnement naturel	4
III Choix du matériel d'étude	5
CHAPITRE II	
METHODES D'ETUDE DES HUMUS	
I Description de la technique	7
II Fractionnement de la matière organique	8
III L'aluminium échangeable et les métaux complexes	12
IV Schéma: extraction de l'humus	14
CHAPITRE III	
PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS.	
I Préliminaires	15
II Présentation des résultats	15
III Interpretation des résultats	34.
CHAPITRE IV	
Conclusion	41
Bibliographie	44
Annexes	47.

## INTRODUCTION

Le travail qui a donné lieu à la rédaction du présent mémoire s'inscrit dans le cadre des études du D.E.A de pédologie et d'aménagement des sols.

Le sujet traité consiste en l'étude des formes des matières organiques, fractionnement chimique et par électrophorèse et leur liaison avec l'aluminium échangeable et métaux complexés. Cette étude a pour but de caractériser la qualité des humus (acides fulviques, acides humiques et l'humine) de différents sols du Morvan.

La matière organique qu'on peut considérer comme l'intermédiaire par lequel le monde vivant agit sur le monde minéral, joue, on le sait, un rôle essentiel dans la pédologie. Il est donc important de caractériser les "types d'humus" des différents sols pour bien comprendre les propriétés et les phases de leur évolution.

L'humus n'a pas une composition chimiquement bien définie, car il n'existe pas "un" humus, mais "des" humus, conséquence naturelle de son origine (POCHON et BARTAC 1958). Cependant, un grand nombre d'auteurs est d'accord pour reconnaître une composition générale, dont les produits de base sont assez constants, comprenant, d'après le mode et le degré de fractionnement; les acides humiques, les acides fulviques et l'humine.

Les acides humiques: (fraction précipitable par les acides) sont constitués d'après KONONOVA (1958) par "des produits de décomposition des protéines com-

liés à des produits de décomposition de la lignine avec la participation éventuelle d'hydrates de carbone."

On peut les séparer en deux groupes:

Les acides humiques bruns: pauvres en azote, peu liés aux argiles, difficilement floculés par le calcium. En électrophorèse sur papier, ils migrent vers l'anode (JACQUIN 1963)

Les acides humiques gris: riches en azote, fortement liés aux argiles, facilement floculés par le calcium, dont la migration est faible ou nulle lors de l'électrophorèse sur papier.

Les acides fulviques: (non précipitables par les acides) avec aussi les acides créniques et apocréniques (KONONOVA 1958), un peu moins riches en carbone que les acides humiques, de poids moléculaire plus faible, mais ayant un degré d'oxydation plus élevé.

Enfin l'humine: fraction insoluble dans les solvants alcalins. Elle représente souvent une fraction majoritaire (50 ou même 70%) de la matière organique totale (DUCHAUFOUR 1977)

L'analyse de l'humus, peut donner diverses fractions variables, autant qualitativement que quantitativement, celles-ci dépendant essentiellement du réactif d'extraction utilisé, (acides complexants ou alcalins) dont chacun sépare une forme particulière du produit humique.

Les analyses et expérimentation nécessaires à cette étude ont été réalisées dans les laboratoires de l'ORSTOM. Elles portent sur deux types de sols provenant de la forêt du Morvan (petit Montarnu et C. Folin). Il s'agit d'un andosol et d'un sol ocre podzologique. L'étude a porté sur tous les horizons de ces sols.

Les méthodes d'étude utilisées reposent principalement sur un fractionnement de la matière organique en plusieurs composés lumiques (Méthode B. DABIN 1971) et sur les détermination de l'aluminium échangeable et des métaux complexés par la méthode BRUCKERT et METCHE 1972.

## CHAPITRE I

### I DONNEES GENERALES

Les sols qui ont servi pour cette étude proviennent de la forêt du Petit Montarnu et de celle de C. Folin. Ces forêts sont situées au Centre-Est de la France à l'extrémité Nord-Est du Massif Central dans le département de la Nièvre où se trouve la majorité des monts du Morvan.

### II Environnement Naturel

Par environnement on entend: la climatologie, la végétation et la géologie des sols étudiés.

#### II.1 Climatologie

Le lieu où a été prélevé notre échantillon est à une altitude élevée (778-790); il est abondamment arrosé, pluviosité moyenne annuelle 1500 à 1600 mm. Les températures sont plus basses qu'à Château Chinon (station climatique la plus proche) où la température moyenne annuelle est de 9°3.

#### II.2 Végétation.

Dans la forêt du Petit Montarnu on rencontre des sapins et des épicéas, soit par bandes alternées, soit en mélange. L'introduction du Douglas ne se fait que timidement. Ces modes d'association favorisent une exploitation rationnelle des sols. On trouve aussi surtout des houx et des mousses, une végétation acidophile car le milieu est plus ou moins acide avec le climat rude.

### II.3 Géologie

Le sol est développé généralement dans des limons à blocs plus ou moins sableux (reposant sur microgranite et trachyandésite)

### III CHOIX DU MATERIEL D'ETUDE.

Le choix des profils à partir desquels on a réalisé cette étude de l'humus, a porté sur des types représentatifs des sols que l'on observe dans les forêts du Petit Montarnu (généralement au sommet) et C. Folin.

La description détaillée de ces sols est présentée en annexe, ici on discutera simplement des éléments caractéristiques de ces sols. Qui sont d'une part un sol humifié profond à caractère andique, d'autre part un sol de type Ocre podzolique.

#### 1 L'andosol

Il est très profond (plus de 1,30 m) et se développe sur le limon à bloc, très chargé en éléments grossiers (graviers, cailloux, pierres et blocs de granite). Toutefois ces charges n'empêchent pas la pénétration des racines en profondeur.

Cet andosol très humifié (sur une épaisseur de 130 cm) a une grande capacité de rétention d'eau. Le sol est à texture limono-sableuse à structure grumeleuse en surface et polyédrique sub-anguleuse peu nette en profondeur, à agrégats très fins, très poreux et très friables.

## 2. Le sol Ocre podzologique.

Ce sol est très profond (1,80 m), il est situé en bas d'une pente faible de 5%.

La végétation, d'aspect médiocre comprend des chênes et des hêtres et quelques résineux.

Ce sol est très humifère en surface; la matière organique ne pénètre pas au delà de 15 cm.

La texture est limono-sableuse; elle devient limoneuse en profondeur. Les éléments grossiers, essentiellement des graviers de granite, sont plus abondants.

Les horizons de surface, sont peu structurés massifs à polyédriques subanguleux, ils sont également peu poreux et non plastiques.

Sous les horizons organiques on observe un horizon ocre, de structure micro-agrégée foisonnante nette. La porosité est élevée. Les racines sont peu nombreuses.

Plus en profondeur le matériau original est constitué d'un limon à blocs qui repose sur une arène litée.

## CHAPIRE II

### METHODES D'ETUDE DES HUMUS.

L'étude de ces sols a été faite en deux étapes principales: la première a pour but de caractériser les formes de matière organique, en fractionnant celle-ci en composés élémentaires. La seconde concerne les liaisons avec l'aluminium échangeable et les métaux complexés.

### DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE

Pour avoir des résultats parfaitement reproductibles, il est indispensable de standardiser autant que possible le mode d'extraction.

(Méthode B. DABIN 1976). Le sol est broyé et tamisé au tamis 0,50 mm. Le rapport sol/réactif est de 20/100 pour chaque extrait, mais dans le cas des horizons riches en carbone, il est 10/100. La première étape extrait les acides fulviques solubles en milieu acide, ou encore acides fulviques libres. On agite 1/2 heure 40 grammes (20g L1.1, cf 1 et cf.2) dans 200 ml de  $PO_4H_3$  2M.

Après chaque agitation, la suspension est centrifugée et le liquide surnageant décanté sur filtre. L'opération est recommencée 3 fois. Les matières légères qui surnagent sont recueillies sur filtre et séchées. L'analyse du carbone est faite par la coulométrie.

On conserve la solution contenant les acides fulviques libres.

Le culot de sol est lavé à l'eau, après

lavage, le sol est agité 4 heures avec 200 ml de  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  0,1M. qui extrait les acides humiques et fulviques liés, complexés aux métaux. Le liquide d'extraction est centrifugé et décanté sur filtre et conservé pour dosage.

Après on agite 4 heures le culot de terre avec 200 ml de  $\text{NaOH}$  0,1N qui extrait les plus grosses molécules humiques difficilement solubles, puis on centrifuge et on décante sur filtre. On sépare ainsi trois extraits différents de produits humiques solubles. Les filtrats correspondant à l'extraction sont desséchés à l'étuve à  $60^\circ\text{C}$  et le carbone est dosé par le bichromate de potassium pour déterminer les matières humiques totales (A.H + A.F). Sur une autre aliquote, les acides humiques sont précipités par  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à pH 1,0. Le précipité est lavé et le carbone est déterminé comme précédemment.

Les acides fulviques sont obtenus par différence:

$$\% \text{C acides fulviques} = \% \text{C matière humiques totales} - \% \text{C acides humiques.}$$

Les acides fulviques libres sont déterminés directement par oxydation sulfochromique de l'extrait phosphorique. Une partie des acides humiques est reprise pour subir une analyse complémentaire par électrophorèse et pour établir un spectre d'absorption.

## FRACTIONNEMENT DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

### 1. Fraction légère

Fractionnement par densité.

Cette méthode a permis d'évaluer la propor-

tion de matière organique non ou peu décomposée qui reste à l'état de débris végétaux et qui constitue la fraction légère ou fraction surnageante obtenue après la séparation par densité. L'autre partie dite fraction lourde, renferme presque tout l'humus, et une portion non extractible par les réactifs, dénommée lumine, l'une et l'autre étant fortement liées à la fraction minérale.

La fraction légère dans les horizons supérieurs de ces sols est aussi importante puisqu'elle représente jusqu'à 3,86% de carbone total.

## 2. Matières humiques

Les matières humiques sont la fraction soluble et extractible de l'humus. Elles se composent d'acides humiques et d'acides fulviques.

### Séparation des acides humiques et des acides fulviques.

L'addition d'acide sulfurique au liquide d'extraction, jusqu'à pH 1.0, permet de précipiter une partie de la matière humique contenue dans ce dernier. Le culot obtenu constitue les acides humiques, et le surnageant se compose d'acide fulviques.

Malgré leurs comportements différents ces deux fractions ont une composition biochimique très semblable. Ils sont tous les deux constitués d'un "noyau", plus ou moins sphérique qui comprend des composés aromatiques (phénols - acides benzéniques), sur lequel se greffent des chaînes aliphatiques latérales composées de polysaccharides et polypeptides, et des composés uroniques. L'analyse des groupes fonctionnels montre qu'ils

sont riches en groupes carboxyles, ainsi qu'en groupes hydroxyles (notamment en hydroxyles phénoliques)

Mais il existe des différences de composition entre les acides humiques et les acides fulviques. Les acides fulviques ont un poids moléculaire plus faible (A.H 10.000 à 50.000, AF 2.000 à 9.000) et sont moins polymérisés que les acides humiques. Ceci se traduit par une importance accrue du "noyau" phénolique par rapport aux chaînes latérales dans les acides humiques. En contre partie les acides fulviques sont plus oxydés, et donc plus riches en groupe carboxyle. (SCHNITZERM. 1976)  
cité par B. DABIN.

### 3 Electrophorèse des acides humiques.

L'électrophorèse est effectuée sur les acides humiques obtenus séparément par extraction au pyrophosphate de Na et à la soude.

Cette méthode présentée par JAQUIN 1963, DUEHAUFOR et JAQUIN 1966, permet de séparer les différentes molécules d'acides humiques en les soumettant à une migration sur bande de papier, sous l'effet d'un champ électrique, afin de connaître leur degré de polymérisation et leur charge électrique. Les acides humiques bruns sont plus mobiles, donc sont à moins grosses molécules à forte charge, alors que les acides humiques gris sont plus polymérisés et à plus faible charge.

### Nature des composés isolés:

Les acides humiques bruns sont des acides peu polymérisés et proches des acides fulviques

(DUEHAUFOUR 1970). Les acides humiques gris sont des acides "évolués" à molécules très polymérisées (cette polymérisation peut être variable suivant le sol et les horizons). Les proportions des acides humiques gris, intermédiaires et bruns sont déterminées par des mesures de densité optique. Le rapport de ces mesures à plusieurs longueurs d'onde <sup>donne</sup> également un indice de polymérisation.

#### 4. Dosage quantitatif des fractions humiques.

Le dosage du carbone de ces fractions humiques (acides fulviques et acides humiques) est déterminé sur le sol total d'une part, puis sur l'humine d'autre part.

Tous ces dosages sont effectués selon la méthode ANNE, celle-ci consiste en une attaque à chaud de la matière organique par du bichromate de K en milieu acide. Ceci a pour effet de provoquer l'oxydation du carbone et son élimination sous forme de  $CO_2$  existant.

L'excès de bichromate est titré par une solution de sel ferreux (le sel de Mohr). Par différence entre les quantités initiale et finale de bichromate, on déduit la quantité utilisée pour oxyder tout le carbone présent dans l'échantillon, et <sup>par</sup> conséquent on connaît le taux de carbone

Certains dosages de carbone sont effectués par combustion par voie sèche (coulométrie et détermination du  $CO_2$  dégagé.)

## II ALUMINIUM ECHANGEABLE ET METAUX COMPLEXES.

Le rôle de l'aluminium et du fer dans les phénomènes pédogénétiques d'altération et de migration est remarquable. Dans les sols, ces éléments évoluent sous des formes très variées.

L'ion  $Al^{3+}$  échangeable, très abondant dans les sols acides (DUCHAUFOUR et SOUCHIER 1966) passe, par hydrolyses successives, à l'état de complexes hydroxylés  $Al(OH_2)_3(OH)_3$  et enfin par perte d'eau à l'état d'hydroxydes insolubles dont la forme amorphe soluble<sup>est</sup>, d'ailleurs rare dans la nature.

L'alumine existe sous forme de gels généralement liés à la silice amorphe et aux complexes fulviques; c'est le cas de l'horizon B podzolique (DUCHAUFOUR et SOUCHIER 1966) où la précipitation des éléments libérés par altération, se fait essentiellement sous forme de gels  $Al_2O_3-SiO_2$  et humus-Al.

De même dans les Andosols l'altération rapide de la roche-mère volcanique et la forte humification, conduisent à une abondance de gels silico-alumineux (allophane) et de complexes humus-Al (KOSOKA et al 1962)

### Mode de liaisons organo-minérales dans des sols.

Tous les types de liaison peuvent exister entre les molécules organiques et les supports minéraux; soit des liaisons simples électrostatiques, soit des liaisons covalentes et de coordination intervenant notamment dans les phénomènes de complexation.

## MATERIEL ET METHODE

Il est important de distinguer, par les réactifs d'extraction les composés organiques du sol en fonction du mode de liaisons organo-minérales qui les caractérise.

### Mécanismes d'action des réactifs.

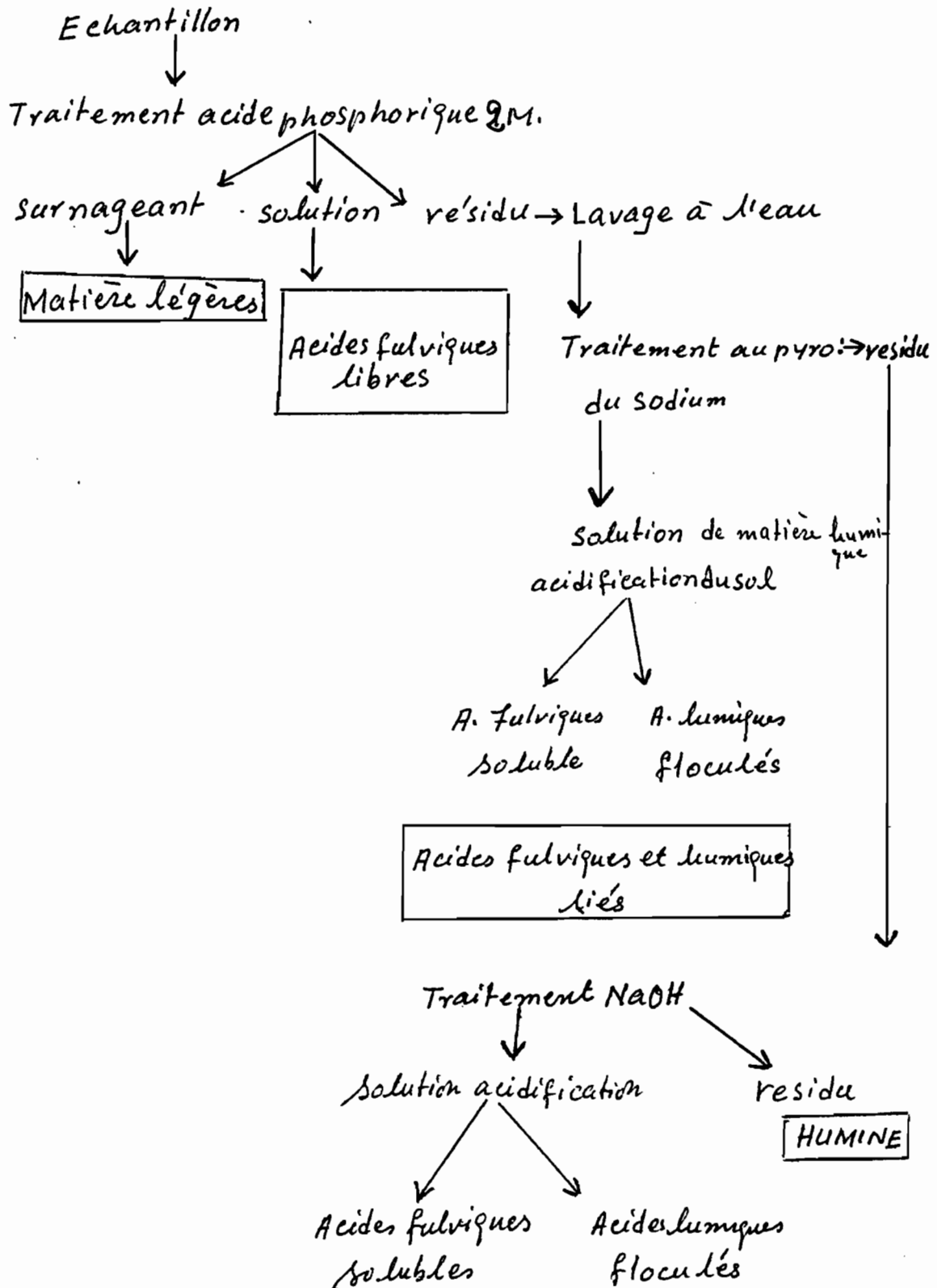
1. Le tétraborate de sodium pH 9,7; réactif alcalin tamponné, il extrait des molécules organiques adsorbées essentiellement par les liaisons électrostatiques (GREENLAND 1971) et contribue à la mise en solution de la matière organique extrait par ionisation des groupements fonctionnels acides (carboxyliques et phénoliques). Les composés extraits constituent une fraction de poids moléculaire relativement faible, qui peut contenir du fer et d'aluminium à l'état complexé.

L'ensemble des composés organo-minéraux ainsi extraits par le tétraborate constitue les complexes mobiles ou mobilisables (M. BONNEAU et B. SOUCHIER 1979)

2. Le pyrophosphate de Na: il est utilisé après le tétraborate, il déplace la matière organique des complexes des argiles. Il peut aussi solubiliser les complexes à très forte charge métallique.

3. Hydroxyde de Na: Ce réactif très alcalin rompt les liaisons les plus résistantes, plus particulièrement les liaisons de coordination acides humiques-Al des allophanes. Il entraîne également une forte dispersion des argiles (DORMAAR et al 1970)

METHODE B. DABIN: extraction de l'humus.



## CHAPITRE III

### PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

#### I. Préliminaire

Pour obtenir un maximum d'extraction humiques, on a appliqué la méthode B. DABIN (1971) qui consiste à effectuer un pré-traitement de l'échantillon par l'acide phosphorique 2M, suivi de plusieurs extractions alcalines, en utilisant successivement le pyrophosphate de sodium et la soude ( $P_2O_7Na_4$ , NaOH) ceci permet une extraction assez complète de la matière organique soluble.

Les valeurs présentées dans les tableaux sont des valeurs moyennes puisque chaque type de dosage a été répété au moins deux fois, pour chacun des échantillons de sol étudiés.

Symboles utilisés et leurs signification:

M.l = matière légère

A.H = acides humiques

A.F = acides fulviques.

AH<sub>G</sub> = acides humiques gris

AH<sub>B</sub> = acides humiques bruns

AH<sub>I</sub> = acides humiques intermédiaire

Hu = humine.

#### II. PRESENTATION DES RESULTATS.

##### II.1 Matière légère:

Le tabl: no 1 montre que le taux du carbone pour mille de la matière légère diminue

Tableau n°1: Resultats des dosage de C %

Andosol

Prof: Cm.	Hovs:	M.L C‰	AFL C‰	AFP C‰	AFS C‰	AHPC‰	AHS C‰	Hu: C‰	C.T ‰	Σ Humus C‰	Σ Humus + M.L C‰
0-5	A00	2.80	3.678	8.923	10.648	21.389	9.969	106.80	164.30	54.607	57.407
5-9	A11	1.14	10.104	7.076	3.954	13.768	3.225	54.031	93.30	38.129	39.269
9-17	A12	0.64	12.312	8.184	2.617	8.305	4.562	35.08	71.70	35.980	36.620
17-40	A13	0.52	15.646	4.519	2.240	8.021	3.302	26.863	61.10	33.717	34.237
40-130	A14	0.12	12.107	1.520	1.836	6.671	1.836	21.847	45.30	23.333	23.453

Sol ocre podzolique

0-3	A1	3.86	1.901	9.820	14.631	17.403	12.369	114.217	174.20	56.123	59.983
3-13	Bh	2.49	20.736	3.142	8.517	22.072	6.878	22.741	86.20	60.969	63.459
65-90	Bfe	0.18	2.372	0.892	0.402	0.576	—	5.178	9.60	4.242	4.1422
150-170	C	0.06	0.755	0.199	0.158	—	—	2.128	3.30	1.112	1.172
200-250	arene	—	0.128	0.065	0.103	—	—	0.904	1.20	0.296	0.296
300-350	arene	—	0.033	0.032	0.043	—	—	0.490	0.60	0.110	0.110

régulièrement en fonction de la profondeur de l'Andosol mais dans le cas du sol ocre podzolique il est maximum en surface puis disparaît brutalement dans les horizons inférieurs; ceci est en relation avec la pénétration racinaire qu'on peut observer sur le terrain.

## II.2. Répartition des fractions humiques au sein de la matière organique:

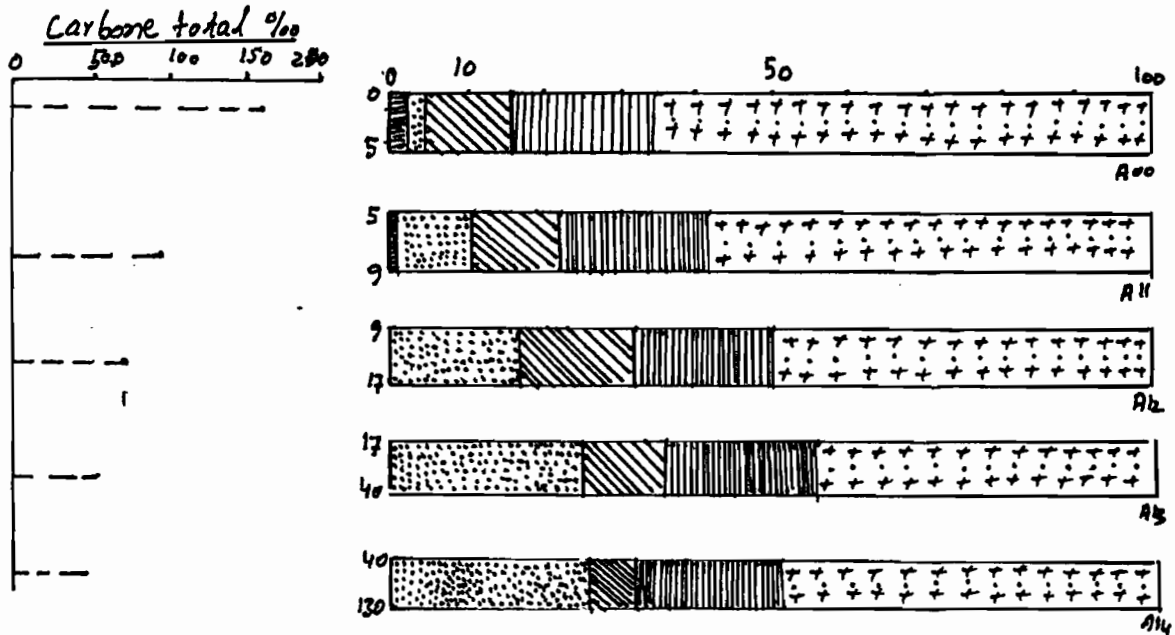
La répartition quantitative de l'humus en humine, acides fulviques libres, acides fulviques et acides humiques liés, et acides humiques est donné dans le tableau n° 1. Le tableau n° 4. complète cette description par la répartition des acides humiques en AHG, AHI et AHB. La figure n° 1 donne une illustration de la répartition proportionnelle de ces différents composés.

### II.2.1 Le Carbone total

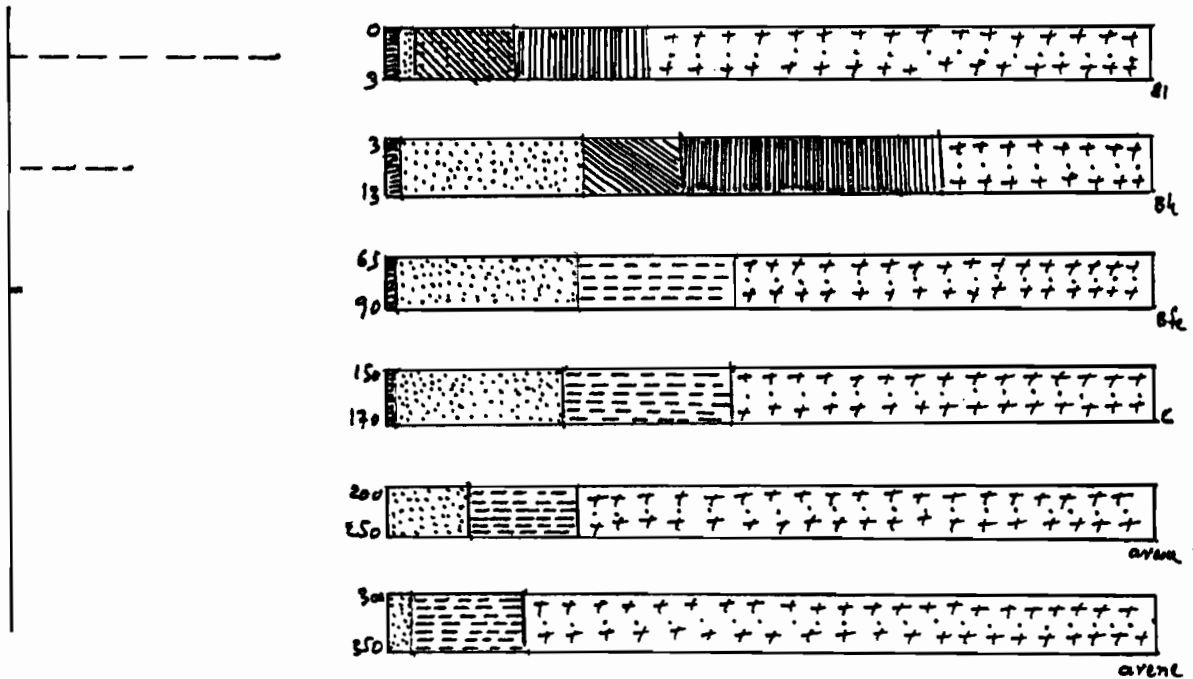
Les teneurs globales en matière organique exprimées en carbone pour mille, permettent de séparer deux types de sols. L'Andosol et le sol ocrepodzologique.

L'analyse du carbone dans l'Andosol montre des valeurs élevées (45 à 164 ‰) dans tout le profil jusqu'à 1.30m. Cette pénétration de la matière organique en profondeur caractérise l'Andosol (Comité Technique de pédologie ORSTOM 1971)

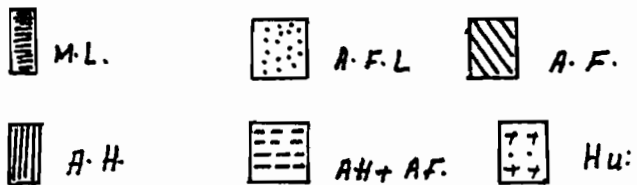
Fig. no 1: Composition humique des sols. (C%)



Profil am: Profil L.A. Andosol.



Profil C.f. ocre podzologique



Au contraire dans le cas de sol ocre podzologique, la teneur du carbone total est plus élevée dans les horizons de la surface (86-174‰) alors qu'elle s'abaisse (0,6-1,2‰) brutalement en profondeur au-dessous de 0,15 m. (Tabl. no. 1)

### II.2.2 Le rapport C/N

Dans le tableau no. 2 on trouve des valeurs élevées du rapport C/N dans tout le profil de l'Andosol (plus de 18). Elles augmentent jusqu'à l'horizon A12, puis s'abaissent légèrement vers la profondeur.

Dans le cas du sol ocre podzologique le rapport C/N est élevé dans les deux premiers horizons, puis s'abaisse fortement au-dessous de l'horizon Bfe et jusqu'en profondeur où il atteint la valeur 4.

On a constaté que le rapport C/N augmente assez rapidement avec l'accroissement de la teneur en carbone.

### II.2.3 Taux d'extraction.

On appelle taux d'extraction, le rapport de carbone soluble dans les réactifs alcalins et acides au carbone total du sol, fraction légère comprise. Le tableau no. 2 montre qu'entre 35 et 65% du carbone est directement soluble dans les réactifs chimiques.

HETIER (1975) a indiqué que la solubilité de 50 à 70% de carbone dans les réactifs alcalins

Tabl. n° 2: Taux d'extraction, d'humification, AF/AH, C/N

Profil: L1. Andosol.

Prof: Cm.	Horizons	T. Ext %	T. Hum: %	AF/AH	C/N
0-5	A00	35	33	0.74	18.3
5-9	A11	42	40	1.26	20.7
9-17	A12	51	50	1.28	22.4
17-40	A13	56	55	1.98	21.1
40-130	A14	52	51	1.78	19.7

Profil: C.F. Sol ocre podzolique.

0-3	A1	35	32	0.84	22.3
3-13	Bh	73	70	1.12	25.4
65-90	Bfe	46	44	1.54	16.18
150-170	C	35	34	-	11.8
200-250	arene	25	24	-	6.7.
300-350	arene	18	18	-	4.0

est un caractère bien connu de la matière organique d'Andosol.

BRUEKERT et METIER (1972) ont noté un taux d'extraction très bas ( $< 20\%$ ) de l'Andosol vitrique plus récent (1215 d'âge)

En ce qui concerne le sol ocrepodzologique le taux d'extraction est compris entre 18 et 35% dans les horizons inférieurs.

#### II.2.4 Taux d'humification.

Le terme "taux d'humification" est utilisé pour désigner le rapport du carbone de la fraction lourde (de la densité supérieure 1,8) au carbone total. Ce rapport est faible (33%) dans les horizons de la surface de l'Andosol et est élevé dans les horizons de profondeur.

Il est plus élevé dans l'horizon Bh (70%) du sol ocrepodzologique et s'abaisse dans les horizons inférieurs (Tabl. no<sup>2</sup>.)

#### II.2.5 Les acides fulviques libres.

Dans les horizons supérieurs de l'Andosol, on a constaté que la teneur en acides fulviques libres est faible, puis elle augmente régulièrement dans les horizons de profondeur; ce ci traduit la migration de ces acides fulviques libres en profondeur. Cette migration peut être considérée ici comme l'amorce progressive d'un processus podzotique sur une profondeur importante.

Au contraire dans le cas de sol ocrepodzologique tous les produits solubles sont entraînés rapidement

dans le 2<sup>em</sup> horizon (Bh) où ils s'accumulent, puis on remarque une forte diminution des acides fulviques libres dans les horizons inférieurs soit par entraînement soit par biodégradation. (Tabl. n° 1)

### II.2.6. Les acides fulviques et acides humiques liés.

Les acides fulviques et les acides humiques liés correspondent aux formes humiques plus polymérisées que les acides libres, sans que l'on puisse faire ici la part de ce qui revient à une polymérisation simple ou à une complexation liée aux éléments minéraux.

En ce qui concerne les acides fulviques entre 5 et 40 cms, le taux d'extraction par le pyrophosphate de Sodium est plus poussé que l'extraction par la soude dans le cas de l'Andosol.

Par contre, en ce qui concerne le sol ocre podzologique, l'extraction est plus poussée par la soude que par le pyrophosphate. (Table. no: 1)

Les fractions acides fulviques extraites par les réactifs alcalins diminuent régulièrement dans le cas de l'Andosol, et brutalement après l'horizon Bh de sol ocre podzologique.

### II.2.7. Les acides humiques.

Leur teneur est élevée (Tabl: 3) dans l'Andosol (18.5%) et leur proportion reste généralement constante dans tout le profil. Au contraire dans le sol ocre podzologique, leur proportion est plus élevée dans l'horizon Bh (33.5%), puis

Tabl. no 3: Répartition quantitative des fractions humiques en% de C.T.

Andosol

Prof:cm	Hons:	AFL%	AFP%	AFS%	AHP%	AHS%	Hu: %	M.L%	ΣAF%	ΣAH%
0-5	A00	2.24	5.43	6.48	13.02	6.09	65.06	1.70	14.15	19.11
5-9	A11	10.83	7.47	4.24	14.76	3.46	57.91	1.22	22.92	18.22
9-17	A12	17.17	11.41	3.65	11.68	6.42	49.34	0.90	32.23	18.10
17-40	A13	25.61	7.40	3.67	13.13	5.40	43.97	0.85	36.68	18.53
40-130	A14	26.73	3.36	3.35	14.73	4.05	48.23	0.26	33.44	18.78
<u>sol ocre podzolique</u>										
0-3	A1	1.09	5.64	8.40	9.99	7.10	65.67	2.22	15.13	17.90
3-13	Bh	24.06	3.65	9.88	25.61	7.98	26.38	2.88	37.59	33.59
65-90	Bfc	24.71	9.29	4.19	6.0	—	53.94	1.87	—	—
150-170	C	22.88	6.03	4.79	—	—	64.48	1.81	—	—
200-250	arene	10.67	5.42	8.58	—	—	75.33	—	—	—
300-350	arene	3.39	5.50	7.17	—	—	81.67	—	—	—

diminue fortement en profondeur où on n'a pas pu séparer les acides humiques et les acides fulviques.

### II.2.8 Le rapport acides fulviques/acides humiques.

Dans l'Andosol, le rapport Af/AH (Tabl. n° 2) est de 0.74 à la surface, il augmente vers la profondeur, et atteint 1.98 dans l'horizon A13, puis il s'abaisse un peu dans l'horizon A14. Cette augmentation peut provenir de la migration des acides fulviques, qui sont entraînés en profondeur, tandis que le taux des acides humiques reste constant d'un horizon à l'autre.

Dans le cas de sol ocrepodzolique où on n'a pas pu séparer les acides humiques et les acides fulviques dans les horizons de profondeur. Le rapport augmente aussi vers la profondeur.

### II.2.9 Fractionnement des acides humiques par

#### électrophorèse

La répartition des acides humiques suivant leur mobilité à l'électrophorèse fait apparaître que:

- Dans l'andosol la polymérisation augmente progressivement depuis l'horizon A<sup>00</sup> vers l'horizon A12, diminue dans l'horizon A13 et augmente de nouveau en A14. (Tabl. n° 4)
- dans le sol ocrepodzolique la polymérisation augmente de A1 à B4.

Le rapport AH4/AH3 est compris entre 0,87 et 2,48 (ext: par pyro:) et augmente

Tableau n°4: Resultats d'electrophorese

Andosol.

pyro:								Soude					
Prof: cm	Horiz:	AHq%	AHl%	AHb%	AHqE	AHbE	AHq AHb	AHq%	AHl%	AHb%	AHqE	AHbE	AHq AHb
0-5	A00	41	12	47	0.51	0.44	0.87	50	11	39	0.64	0.40	1.28
5-9	A11	51	12	37	0.57	0.54	1.38	66	13	21	0.65	0.49	3.14
9-17	A12	52	13	35	0.65	0.52	1.49	66	9	25	0.65	0.42	2.64
17-40	A13	48	14	38	0.65	0.50	1.26	57	13	30	0.71	0.50	1.90
40-130	A14	62	13	25	0.65	0.50	2.48	62	13	25	0.65	0.49	2.48
sol ocre podzolique													
0-3	A1	40	14	46	0.61	0.31	0.87	52	10	38	0.59	0.50	1.37
3-13	Bh	51	15	34	0.63	0.43	1.50	64	9	27	0.67	0.57	2.37

de la surface vers la profondeur, mais dans le cas de l'extraction par la soude, il est plus élevé dans l'horizon A'' (Andosol) que dans les autres. On remarque aussi une augmentation du rapport  $AH\% / AHB$  de A1 à B<sub>h</sub> dans le sol ocre podzologique.

### II.2.10 Humine

En ce qui concerne les teneurs en humine dans les deux sols, elles sont importantes. Dans l'Andosol le pourcentage de l'humine reste entre 43 et 65 et s'abaisse régulièrement en profondeur. Dans le sol ocre podzologique le taux d'humine diminue brutalement entre la surface et l'horizon B<sub>h</sub>, puis augmente ensuite régulièrement en profondeur.

### III Les composés organo-minéraux.

On considère surtout le cas du fer et de l'aluminium et très accessoirement celui du calcium qui n'est dosable que dans le pyrophosphate. (HETIER 1975). Pour extraire les métaux complexés par la matière organique, on emploie couramment les réactifs alcalins (BRUCKERT et METCHE 1972, HETIER 1975, BOUDOT et BRUCKERT 1978)

#### (a) Le fer

Ces "complexes" dispersables à pH 9,7 (tétraborate) ont des rapports Fe/C (exprimés en mg/g de carbone) qui sont compris entre 1 et 2 dans l'Andosol. L'extraction est plus poussée

Tableau n° 5. Résultats du fer complexé.

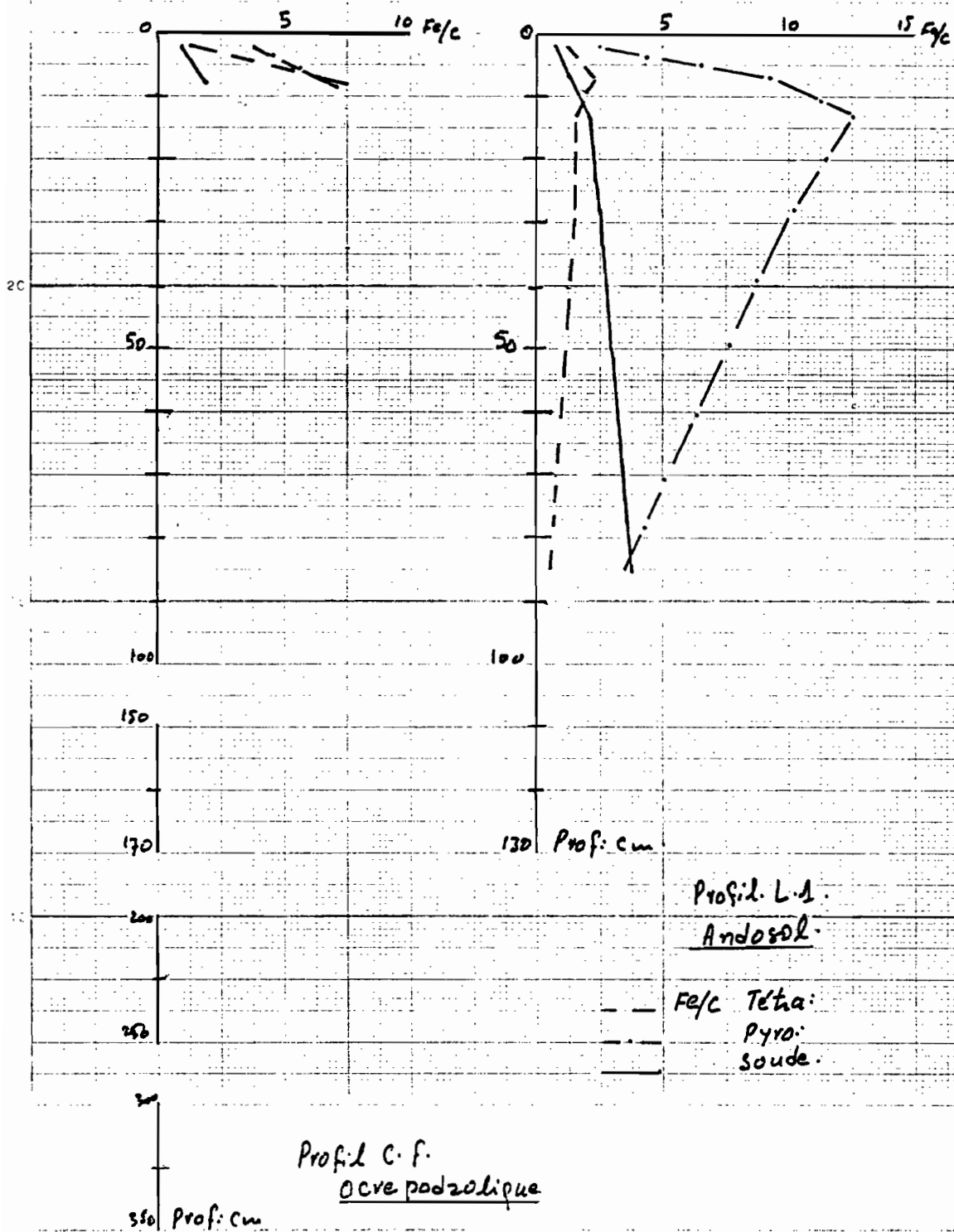
profil L1. Andosol

Prof. cm	Hors:	Fe en mg Tétra:	Fe en mg Pyro:	Fe en mg Soude	Fe/c Tétra:	Fe/c Pyro:	Fe/c Soude.
0-5	A00	4,4	6,4	1,6	1,280	2,550	0,834
5-9	A11	6,8	12,0	1,2	2,226	9,245	1,294.
9-17	A12	4,8	16,4	1,6	1,668	12,528	1,956
17-40	A13	4,0	14,0	1,2	1,601	10,271	2,752
40-130	A14	1,2	5,6	4,4	0,629	3,693	3,813

profil C.f. Ocre podzolique

Prof. cm	Hors.	Fe mg Tétra:	Fe mg Pyro	Fe mg Soude	Fe/c Tétra	Fe/c Pyro:	Fe/c Soude.
0-3	A1	3,6	4,8	2,4	1,292	3,828	0,978
3-13	Bh.	28,4	10,6	2,4	7,772	7,201	1,833
65-90	Bfe	0,8	2,8	2,0	-	-	-
150-170	C	0,8	3,2	2,4	-	-	-
200-250	arene	0,6	2,4	2,0	-	-	-
300-350	arene	0,4	1,6	2,0	-	-	-

Graphie no 2: Le rapport Fe/c



en B<sub>h</sub> de sol ocrepodzologique où il y a des complexes organo-métalliques qui migrent à partir de A<sub>1</sub>, précipitent en B<sub>h</sub>, qu'on peut extraire par le tétraborate (BOUDOT et BRUCKERT 1978) et qui donnent un rapport Fe/c de 7.77 beaucoup plus élevé que dans l'Andosol. Dans la fraction traitée par le pyrophosphate de sodium, le rapport Fe/c est plus élevé que celle traitée par le tétraborate ou la soude <sup>(Graph 2)</sup> Pour l'Andosol il est situé entre 3 et 12 et pour le sol ocrepodzologique entre 4 et 7. Dans le cas de NaOH pH 12, le rapport est inférieur en moyenne à celui obtenu dans le cas du pyrophosphate et du tétraborate. (Tabl: n° 5)

Il est probable que le fer soit un agent d'insolubilisation des composés organiques dont l'importance relative augmente avec l'altération (J. MARIE 1975).

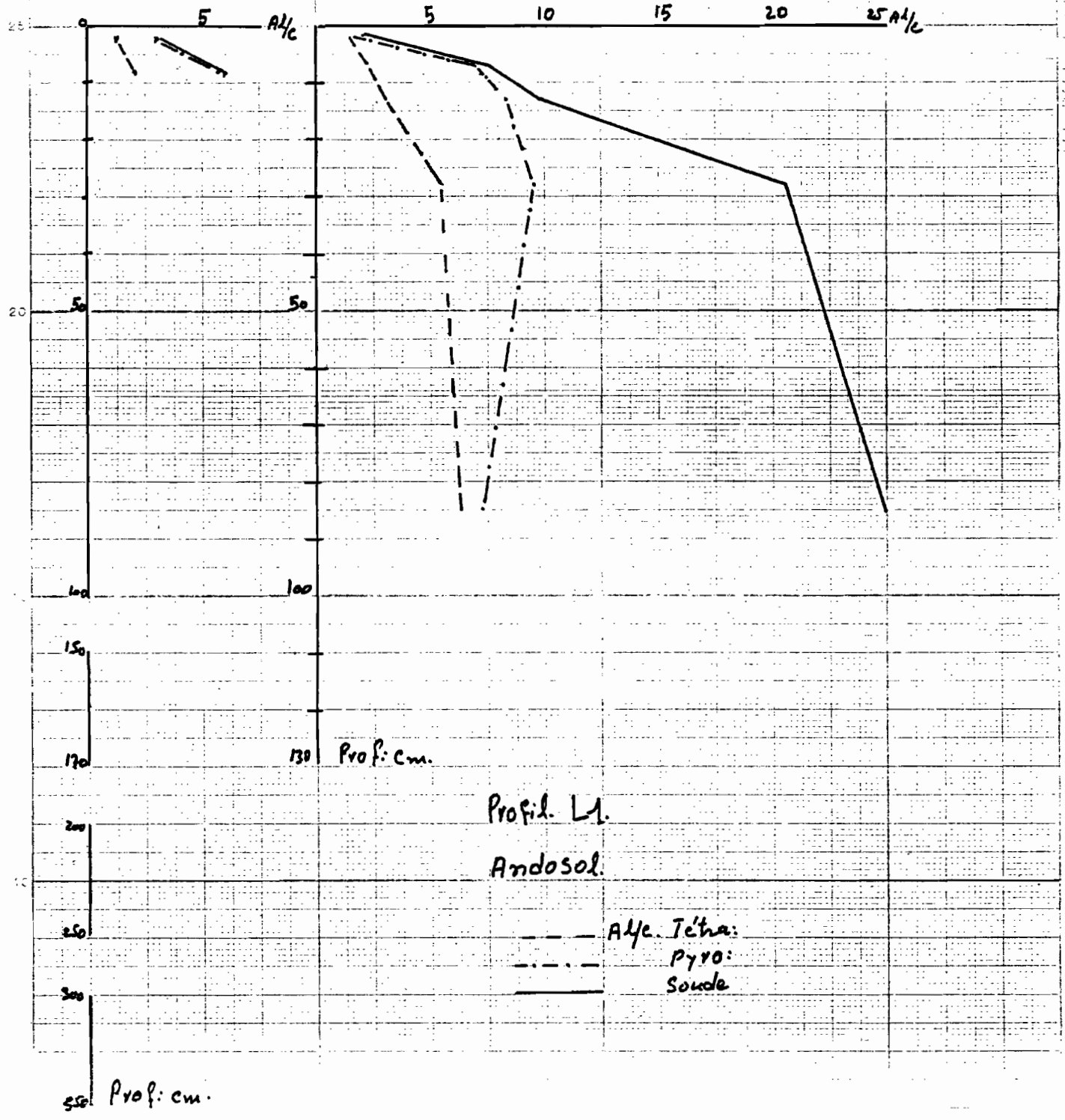
Dans le cas du sol ocrepodzologique, il y a une réactivité particulièrement forte du fer avec les composés mobiles de la matière organique, qui provoque une accumulation importante de ces derniers dans l'horizon B<sub>h</sub>, ce qui est caractéristique de ce type de sol.

### (b) L'aluminium

En ce qui concerne le taux d'extraction de l'aluminium, il est plus poussé dans le cas de la soude que dans celui du pyrophosphate ou du tétraborate

(Graph: n° 2) Le rapport Al/c augmente de la surface en profondeur dans toutes les extractions. On remarque que la quantité d'aluminium extrait

Graphie n° 2: le rapport Al/C



130 Prof: cm.

Profil. L1.

Andosol.

--- Alf. Tetra:  
 -.-.- Pyro:  
 \_\_\_\_\_ Soude

350 Prof: cm.

Profil: C.F.  
Ocre podzologique

Tabl: n°6: Resultats de l'aluminium complemé  
Handosol.

Prof: cm	Hors:	Al mg Tétra:	Al mg pyro:	Al mg soude	Al/c Tétra:	Al/c pyro:	Al/c soude
0-5	A00	5,0	4,0	4,0	1,455	1,594	2,084
5-9	A11	7,0	9,0	7,0	2,292	6,933	7,551
9-17	A12	9,0	11,0	7,0	3,126	8,403	9,779
17-40	A13	14,0	13,0	9,0	5,604	9,537	20,642
40-130	A14	12,0	11,0	7,0	6,286	7,255	25,129

Sol Ocre podzologique

Prof: cm:	Hors:	Al mg Tétra:	Al mg pyro:	Al mg soude	Al/c Tétra:	Al/c pyro:	Al/c soude
0-3	A1	4,0	4,0	8,0	1,393	3,189	3,259
3-13	Bk	7,0	9,0	8,0	1,915	6,114	6,111
65-90	Bfe	3,0	5,0	20,0	—	—	—
150-170	C	4,0	10,0	17,0	—	—	—
200-250	arene	3,0	9,0	24,0	—	—	—
300-350	arene	2,0	6,0	12,0	—	—	—

par les réactifs alcalins est plus élevée que le fer extrait de la même façon (BRUCKERT, METIER et GUTIERREZ 1974)

Le tableau n°6. indique que le taux d'Al extrait augmente pendant que celui du carbone diminue, contrairement aux résultats de BRUCKERT et HETIER (1972) qui ont observé une corrélation positive entre les deux éléments; il y a donc, en particulier dans le cas des extraits à la soude, une partie des métaux Fe et Al provenant de la fraction minérale du sol. Nous verrons plus loin qu'en ce qui concerne les métaux extraits aux tétraborate et pyrophosphate, ils présentent des variations dans les profils parallèles aux acides fulviques libres et à la matière humique totale.

### (c) L'aluminium échangeable

On remarque, que la quantité de l'aluminium échangeable est plus élevée dans l'horizon AII de l'Andosol, puis elle diminue progressivement en profondeur. (Tabl: n°7)

Dans le cas du sol ocrepodzolique cette quantité est plus élevée dans l'horizon Bh, puis elle diminue dans les horizons Bfe et C et reaugmente dans l'horizon arenéee.

Tabl. n° 7. Resultats de l'aluminium échangeable

Profid. L1. Andosol.

Prof: cm	Horizons	Al <sup>3+</sup> me/100g
0-5	A00	4.40
5-9	A11	5.40
9-17	A12	3.80
17-40	A13	1.80
40-130	A14	0.90

Profid. C.F. ocre podzodique.

Prof: cm	Horizons	Al <sup>3+</sup> me/100g
0-3	A1	2.94
3-13	Bh.	5.40
65-90	Bfe	1.40
150-170	C	2.30
200-250	arene	4.50
300-350	arene	1.70.

### III INTERPRETATION DES RESULTATS.

Nous dégagerons tout d'abord les caractéristiques communes de différents humus dans ces sols, puis dans un deuxième temps nous essayerons d'exposer les différences principales existant entre ces deux humus, ce qui nous permettra de donner quelques idées pour classer ces sols en plusieurs groupes.

#### 1. Caractères communs des humus étudiés.

Dans le premier horizon de l'Andosol et celui du sol ocrepodzologique, les taux des acides fulviques libres, des acides fulviques (pyro: + soude), des acides humiques (pyro: + soude) et le rapport AF/AH sont à peu près les mêmes. Dans ces deux types de sols, le taux d'extraction d'une part, et le taux d'humification d'autre part ont sensiblement les mêmes valeurs, toujours en ce qui concerne les horizons de surface. Il en est de même des métaux complexés comme le fer et l'Al extrait par le tétraborate et le pyrophosphate.

L'électrophorèse montre que le premier horizon a aussi les mêmes taux d'acides humiques gris, d'acides humiques intermédiaires et d'acides humiques bruns dans les deux types de sol. Par contre les quantités du C<sub>100</sub> des matières légères, d'humine (C%) et le rapport C/N sont légèrement plus élevés dans le premier horizon du sol ocrepodzologique, que dans celui correspondant de l'Andosol.

Donc les deux premiers horizons de ces sols sont comparables aussi bien quantitativement que qualitativement.

## 2. Caractères distinctifs des humus étudiés

Si on observe, sur un plan général, que ces humus présentent des ressemblances (dans les premiers horizons de ces sols) qui peuvent s'expliquer par l'influence du climat régional et d'une végétation forestière; on observe au contraire, en profondeur, qu'il existe de nombreuses différences de comportement des matières organiques.

### 3. Fractionnement de la matière organique.

3.1 Acides fulviques libres: Si on observe la migration des acides fulviques libres (ext: par  $H_3PO_4$ ) on trouve une différence nette dans ces deux types de sols. Dans le cas de l'Andosol la migration de ces acides est progressive et augmente en profondeur, jusqu'à 1.3 m, tandis que dans le sol Ocrepodzolique, on remarque une accumulation de ces acides dans l'horizon Bh. jusqu'à 15 cm et ensuite cette fraction diminue brutalement en profondeur et ne présente qu'une très faible quantité (graphique no. 2)

### 3.2 Acides humiques et fulviques liés

L'étude des teneurs en acides fulviques de ces deux types de sol montre des différences

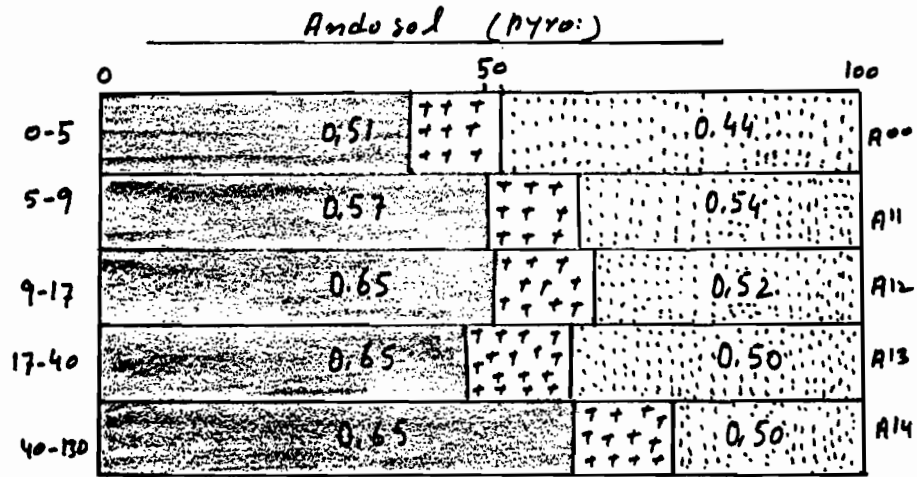
importantes et ceci permet de séparer ces sols. Andosol - la teneur en acides humiques totaux est relativement élevée (18 à 19%) et reste constante dans tout le profil de l'andosol jusqu'à la profondeur de 1,3 m, ce qui caractérise la matière organique de l'andosol, qui montre un horizon humifié épais visible sur le terrain.

En ce qui concerne l'électrophorèse sur extraits pyro. et soude (Fig n° 2) on constate que le taux des acides humiques gris augmente de la surface vers la profondeur. Le rapport d'extinction aux deux longueurs d'onde 625/512 des acides humiques gris augmente en profondeur. Ce qui signifie que la polymérisation augmente dans le même sens (Tabl:4.)

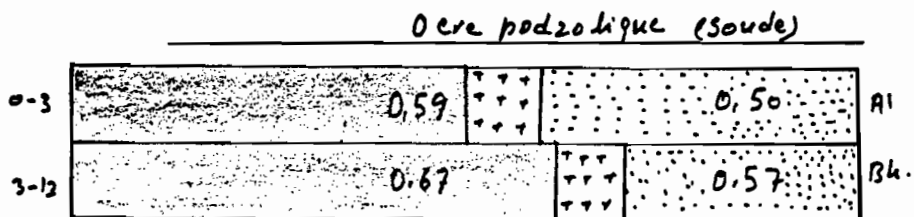
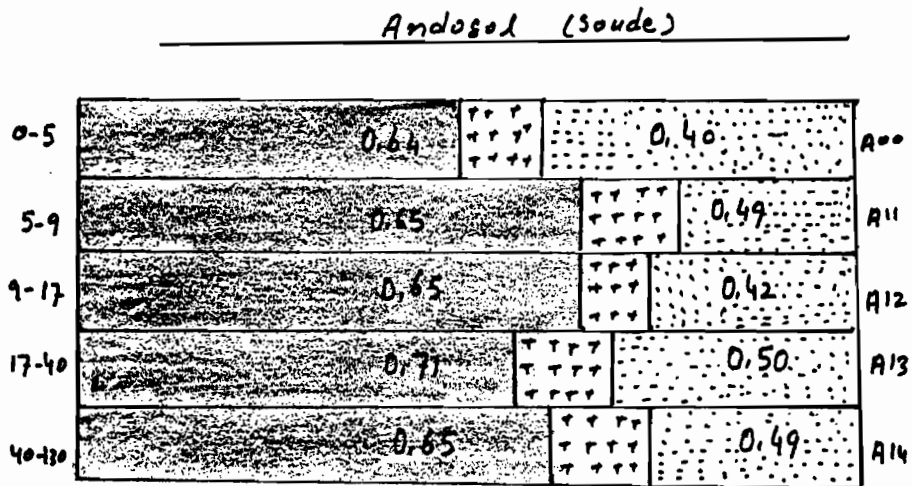
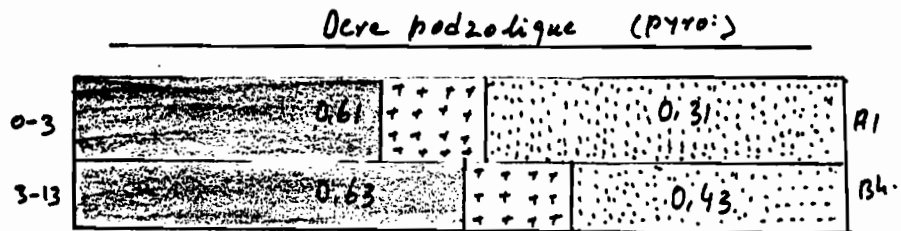
Sol ocre podzolique - dans le cas du sol ocre podzolique la polymérisation augmente de la surface vers l'horizon Bh. Dans les horizons de profondeur il y a une faible quantité d'acides humiques et la séparation qui devrait permettre l'étude des acides humiques par électrophorèse n'a pu être faite; ceci indique une dégradation rapide de ces produits en profondeur.

En profondeur dans ces deux sols les teneurs en carbone pour mille des acides fulviques et humiques varient dans le même sens que les teneurs en carbone des acides fulviques libres (au dessous de 30). c'est donc la pénétration de ces derniers qui semble être à l'origine de la formation en profondeur des acides humiques plus polymérisés dont la maturation croît avec la profondeur, en particulier dans les andosols.

Fig: no2: Resultats des c'lectrophorèses.



GE 625  
512



 A.H.E.    
  A.H.I.    
  A.H.B.

Dans les sols ocrepodzoliques les fractions fulviques qui ne précipitent pas (HETIER 1975) sont activement biodégradées; elles sont plus solubles et plus vulnérables au processus de biodégradation que les acides humiques plus stables et peu biodégradables.

### Métaux complexés

L'étude de l'aluminium et du fer dans ces deux types de sol montre des différences nettes:

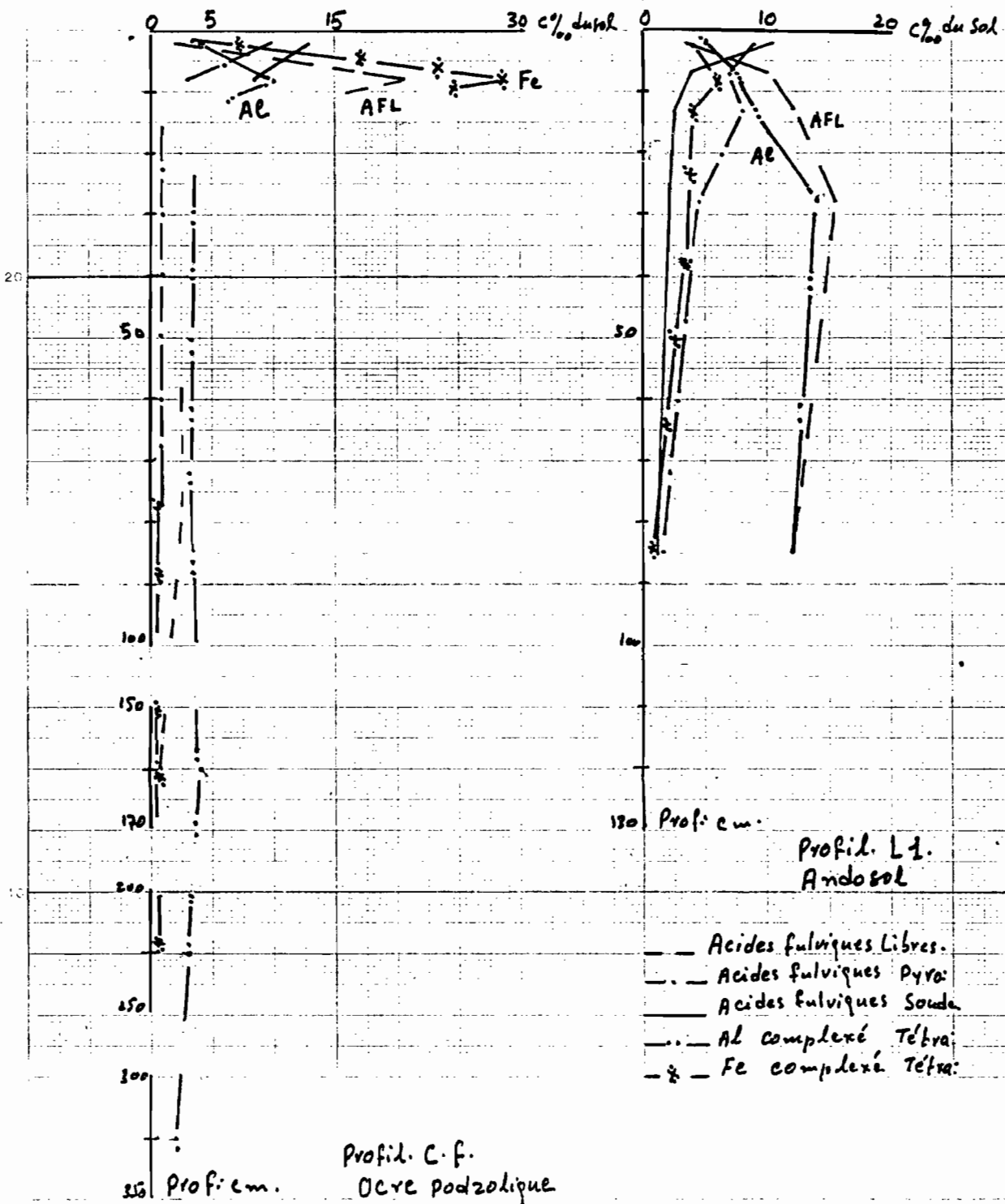
- Dans le cas de l'Andosol la quantité de l'aluminium mobile extrait par le tétraborate augmente de la surface vers la profondeur (Tabl: 6). Le graphique no. 3 montre une corrélation positive entre l'aluminium mobile (ext: par le tétraborate) et les acides fulviques libres extraits par l'acide phosphorique.

En ce qui concerne le taux du fer, extrait par le tétraborate et le pyrophosphate, il augmente de la surface jusqu'à l'horizon A<sub>12</sub>, puis diminue vers la profondeur.

- Dans le cas du sol ocrepodzologique le taux de l'aluminium mobile est plus élevé dans l'horizon B<sub>h</sub>, puis il diminue dans les horizons de profondeur. Dans ce sol il y a moins de corrélation entre l'aluminium et les acides fulviques libres, comme dans le cas de l'andosol.

En ce qui concerne la quantité du fer extrait par le tétraborate, elle est très élevée dans l'horizon B<sub>h</sub>, puis elle

Graphie n° 3 Resultats de dosage de C% et métaux complexés (mg/g)



diminue brutalement dans les horizons de profondeur, si on examine le graphique no 3, on remarque une corrélation positive étroite entre le fer et les acides fulviques libres. La différence entre les deux sols est principalement la dominance de l'aluminium sur le fer dans les complexes mobiles de l'Andosol, et au contraire la dominance du fer sur l'aluminium dans l'horizon Bh du sol ocre podzolique.

## CONCLUSION

L'étude des formes de la matière humique dans ces deux types de sol que nous venons de faire est une technique intéressante qui permet de connaître la quantité et la qualité des humus dans ces sols. Cette étude complète, celle faite par simple détermination de la matière organique et apporte de précieux renseignements sur la nature des fractions humiques.

La connaissance de la composition de l'humine nous permet de préciser le type d'évolution que la matière organique a suivie au cours de sa transformation (cette étude a été faite par mon camarade)

Dans le dernier chapitre on a signalé que les deux premiers horizons de ces sols sont comparables aussi bien quantitativement que qualitativement en ce qui concerne leur composition en matière organique dépendant d'une végétation et d'un climat régional forestiers, par contre on observe des différences importantes dans les couches de profondeur.

La différence de comportement des matières organiques dans les horizons de profondeur peut avoir pour cause l'influence du sol sur les processus d'humification. Cette action du sol peut être directe ou indirecte; l'action directe correspond à une participation des éléments minéralogiques du sol (argile-limon) ou à celle des éléments chimiques

comme le fer et l'aluminium. Ces éléments interviennent en formant des complexes "organo-métalliques" ou "organo-minéraux" qui peuvent bloquer des composés humiques, comme on a observé dans le cas du sol ocre podzologique. L'action indirecte du sol se fait par l'intermédiaire des facteurs, hydriques, structuraux et chimiques, qui interviennent dans l'action des microorganismes responsables de la biodegradation de la matière végétale.

En ce qui concerne les profils de ces sols, on a remarqué que le profil de l'andosol est très humifié en profondeur grâce à la pénétration des composés humiques jusqu'à la profondeur de 1,3 m. La quantité des acides fulviques libres augmente vers la profondeur. Le rapport C/N est élevé dans tout le profil. Une corrélation positive a été remarquée entre les acides fulviques libres et l'aluminium mobile. Le pH est compris entre 4 et 5.

La présence d'acides humiques en profondeur avec polymérisation croissante semble provenir de la pénétration des produits mobiles qui se concentrent progressivement.

Dans le cas du sol ocre podzologique le taux d'humification est plus élevé dans l'horizon Bh où l'accumulation des composés humiques est beaucoup plus importante que dans les autres horizons. Le rapport C/N est plus élevé dans l'horizon Bh et s'abaisse en profondeur. La quantité du fer est très élevée dans l'horizon Bh, puis diminue brutalement en profondeur.

Ce fer provoque une précipitation forte des acides fulviques et humiques au niveau B<sub>1</sub> mais dans les horizons profonds il n'empêche pas leur biodégradation, comme c'est le cas pour les composés riches en aluminium.

On ne peut uniquement à partir de l'étude des composés organo-minéraux placer ces sols dans une classification générale, on peut dire seulement que les caractéristiques de ces composés correspondent à celles qui ont été indiquées par S. BRUCKERT à propos des Andosols sur scories Basaltiques en comparaison avec un podzol humoferrugineux (Pédologie - Bonneau-Souhier 1979)

En dehors de certains caractères purement morphologiques tels que la Thixotropie et l'épaisseur des horizons, humifères, les sols désignés comme andosols, ont également des points communs avec ceux qui sont décrits dans la classification CPCs comme sols cryptopodzoliques humifères.

Néanmoins l'absence d'ébauche d'horizon B laisse penser que l'on a affaire à un intergrade entre les deux sols.

## BIBLIOGRAPHIE.

- BACHELIER G. (1961): Evolution de la matière organique dans les sols. Pub. ORSTOM.
- BONNEAU M. SOUCHIER B. (1979): Pédologie: constituants et propriétés du sol. Tome II P. 189.
- BOUDOT et S. BRUCKERT (1978): Complexes organo-métalliques et structure micro-agrégées des sols sur matériaux chloriteux du système schisto-grauwackeux: science du sol. Numéro 1. P 31.
- BRUCKERT S. METCHE M. (1972): Dynamique du fer et de l'aluminium en milieu podzolique caractérisation des complexes organo-métalliques des horizons spodiques. Bull. ENSAIA, XIV (2) P. 263-275.
- BRUCKERT S. HETIER. JM. GUTIERREZ JEREZ F. (1974) Dynamique de l'humification des andosols du Massif central français et des îles Canaries caractérisation physico-chimique des complexes organo-minéraux. science du sol no 4.
- DABIN B. (1971): Etude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol. science du sol no 1. 1971.
- DABIN B. (1976): Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques des sols. cahiers ORSTOM - vol XIV no 4.
- DABIN B. (1976): La formation des produits humiques dans le sol. leur importance en Agriculture. Conférence donnée par B. DABIN au colloque sur la matière

- organique des sols - Piracicaba (S.P.)  
24-28 novembre 1976 (Brésil)
- DUEHAUFOUR P. (1964): Evolution de l'aluminium et du fer complexés par la matière organique dans certains sols. Science du sol 2. 1er semestre.
- DUEHAUFOUR P. (1970): Humification et écologie - cahiers ORSTOM - vol XII. no 4.
- DUEHAUFOUR Ph. (1977): Pédologie, Pédogenèse et classification. Tome I. p. 31.
- DUEHAUFOUR Ph. JAQUIN F. (1963): Recherche d'une méthode d'extraction de fractionnement des composés humiques. Contrôlée par l'électrophorèse. Ann. Agron. 14 (6) Paris.
- DUEHAUFOUR Ph. JAQUIN F. (1966): Nouvelles recherches sur l'extraction et la fractionnement des composés humiques. Bull. ENSA N VIII (1) 3-25.
- DUEHAUFOUR et JAQUIN F. (1975): Comparaison des processus d'humification dans les principaux types d'humus forestiers Bull. AFES. no 1 1975.
- DUEHAUFOUR P. SOUCHIER B. (1966). Note sur une méthode d'extraction combinée de l'aluminium et du fer libre dans les sols. Science du sol no 1 1966.
- DUPUIS FOURNIER - JAMBU (1967): Note sur l'utilisation de l'électrophorèse sur papier en vue de dosage. Bull. de l'A.F.E.S no 6. Nov. 1967.

FLAHERTY W (1970): Contribution à la connaissance de la constitution et de la synthèse des acides humiques. Science du sol. n°2 (1970)

HETIER J.M. (1975): Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Thèse pour le grade de docteur en sciences naturelles Université de Nancy.

THOMANN (CH) (1963): Quelques observations sur l'extraction de l'humus dans les sols. méthode au pyrophosphate de sodium. Cahiers de l'ORSTOM. pédologie 3, 43-72.

TURENNE J.F. (1975): Modes de humification et différenciation guyanaises. Thèse pour le grade de docteur ès sciences naturelles. Université de Nancy.

ANNEXES

Dans cette annexe on trouvera un certain nombre de renseignements complémentaires, en particulier la description détaillée des profils qui ont servi à réaliser cette étude.

Annexe I: Description des profils.

N.B. Un certain nombre de descriptions avait été fait par mes camarades de cette année.

I. Andosol.

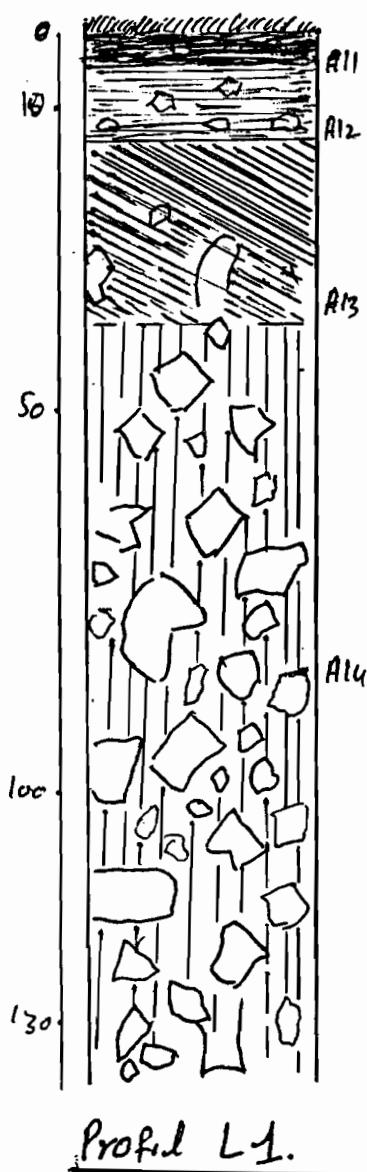
Région: Morvan.

Localité: Forêt du Petit Montarnu

Topographie: au 1/3 supérieur (presqu'au  
sommet)

Végétation: Forêt résineuse (sapins)

Matériau originale: Limons à blocs.



0-5 cm. Litière de l'année non décomposée + masse racinaire.

5-9 10 YR 2,5/2, humifère, limono-sableux à structure grumeleuse nette, à agrégats très fins, sans tache, chargé de graviers, de formes diverses et d'orientation quelconque, faiblement altérés, très poreux meuble, friable. Traces biologique peu nombreux (charbon de bois)

9-17. 5 YR 3/2, humifère, limono-sableux, de structure polyédrique subanguleuse nette, à agrégats très fins, sans taches, chargé de cailloux et de quelque blocs, peu altérés, très poreux, peu compact, friable. Limite inférieure à transition distincte et régulière. Traces biologique.

17-40 10 YR 4/3, humifère, limono-sableux, sans tache, structure polyédrique peu nette, à agrégats très fins, chargé de pierres et cailloux et de gross blocs de formes diverse, faiblement altérés.

40-130 10 YR 4/2. humifère, sans tache, limono sableux, structure polyédrique subanguleuse peu nette, chargé de blocs, de pierres et cailloux de formes diverses, très poreux, très friable et peu compact.

Caractères physiques.

Prof: cm	Hors	Granulométrie					acidité pH	
		S 9	S F	L 9	A+L	M.O	l'eau	Kcl
0-5	A00	13.40	8.44	8.80	41	28,33	4.0	2.9
5-9	A11	18.96	9.31	10.34	45.3	16,08	4.0	3.3
9-17	A12	16.66	9.43	7.23	54.3	12,36	4.9	4.0
17-40	A13	16.65	11.17	11.17	49.4	10,53	5.2	4.2
40-130	A14	25.49	11.95	10.52	44.2	7,81	5.4	4.4

Caractères chimiques.

Prof: cm	Hors	Bases échangeables még pour 100 g						
		Ca	Mg	K	N	S	T	S/T
0-5	A00	1.59	0.80	0.58	0.1	3.07	58.79	5.2%
5-9	A11	1.09	0.72	0.22	0.1	2.13	48.27	4.4%
9-17	A12	0.72	0.36	0.12	0.1	1.3	42.63	3.0%
17-40	A13	1.10	0.74	0.80	0.1	2.12	46.02	4.6%
40-130	A14	0.95	0.64	0.11	0.2	1.91	35.56	5.4%

Profil. L1 Andosol.

Caractères physiques.

Prof: Cm	Horizons	Granulométrie					acidité	
		S. F	S. F	L. F	A+L	M. O	pH. l'eau	pH KCL
0-3	A1	-	-	-	-	-	4.0	2.9
3-13	Bl.	6.02	9.83	37.13	32.2	14.86	4.3	3.5
65-90	Bfe	7.78	9.19	46.40	35.0	1.66	4.9	4.3
150-170	C	8.88	9.77	30.06	50.7	0.57	4.8	4.1
200-250	arene	4.97	6.67	35.84	52.3	0.21	5.2	4.1
300-350	arene	5.77	10.39	57.7	26.0	0.10	5.6	4.4

Caractères chimiques.

Prof: Cm.	Hors.	Bases échangeables (méq: pour 100g)						
		Ca	Mg	K	N	S	T	S/T
0-3	A1	1.74	0.87	0.58	0.43	3.62	46.49	7.8
3-13	Bl	1.71	0.68	0.37	0.1	2.86	35.95	7.9
65-90	Bfe	0.79	0.53	0.09	0.1	1.51	11.76	12.8
150-170	C	0.95	0.48	0.08	0.1	1.61	13.85	11.6
200-250	arene	0.92	0.46	0.08	0.1	1.56	19.95	7.8
300-350	arene	1.61	1.15	0.19	0.1	3.05	7.72	39.5

Profil C.F. Sol ocre podzolique

# Profil C.F.

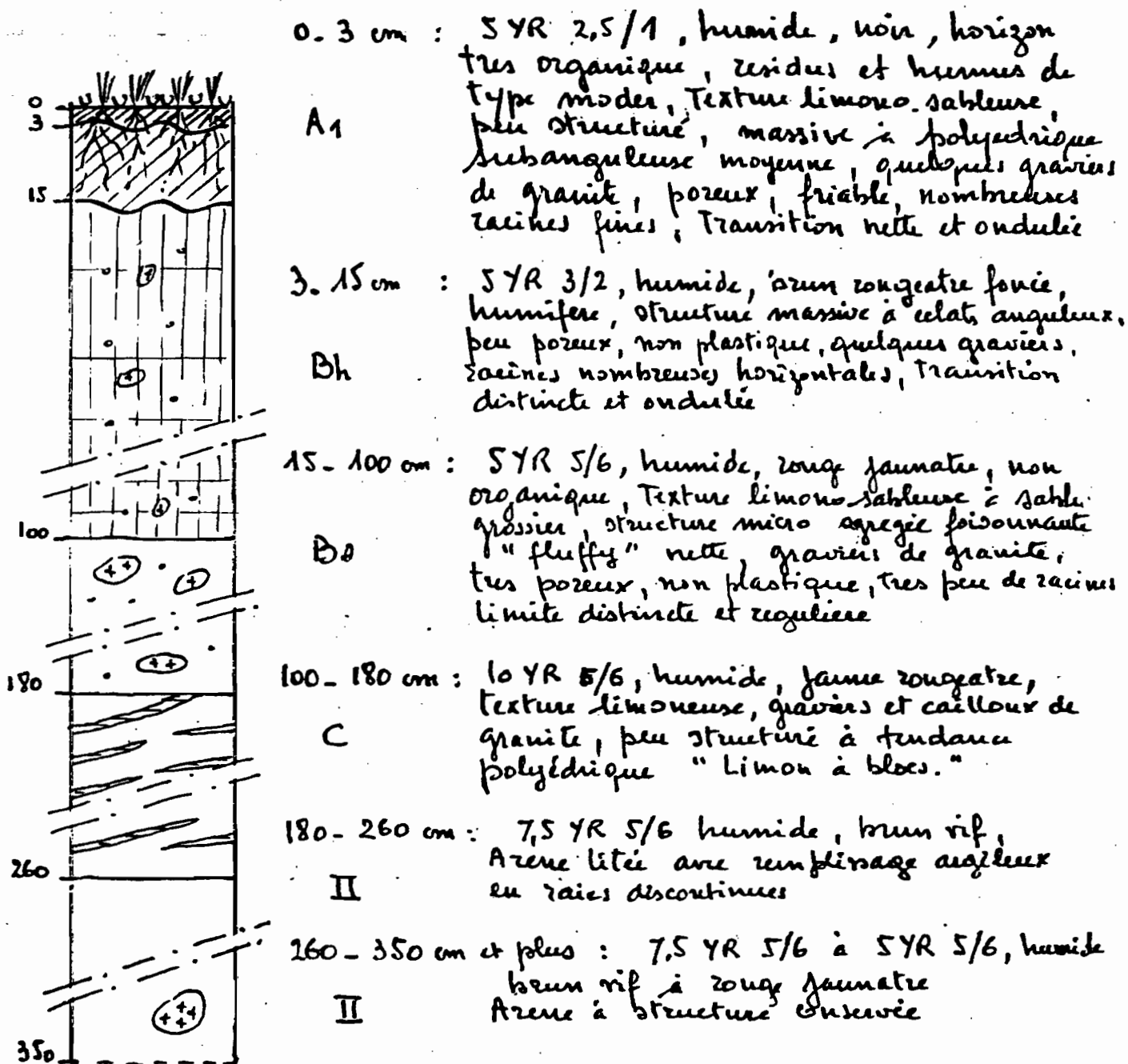
Localisation : Carrière située le long de la route forestière N.S. de la forêt de Folies à 1,5 km de Nembauchement avec la route forestière allant de la Poise à la Croixette. A la sortie du virage.

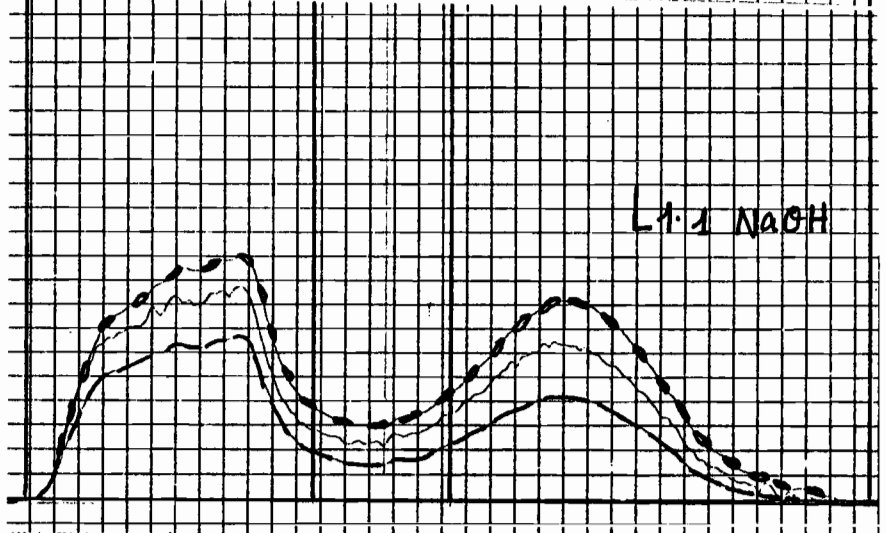
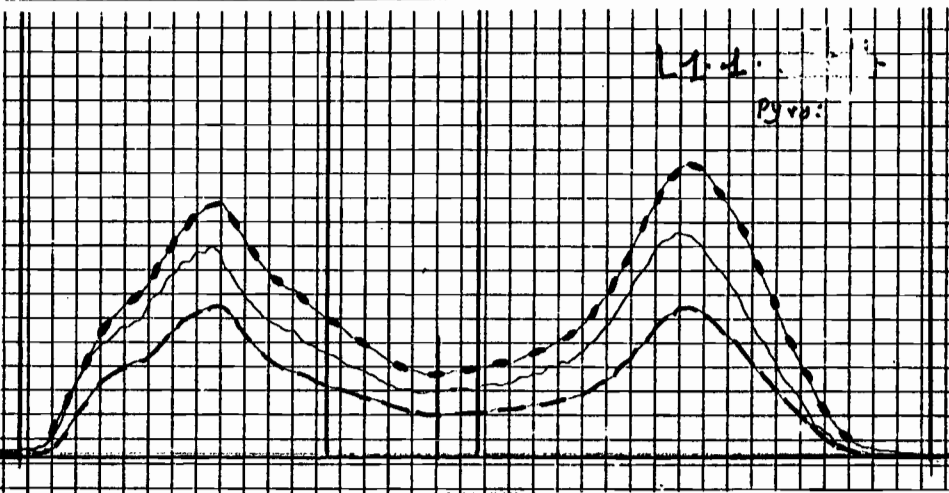
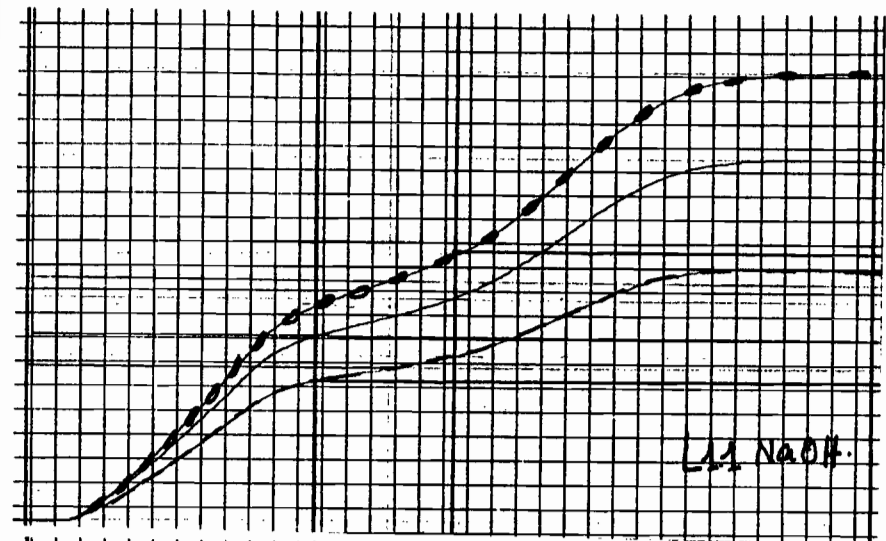
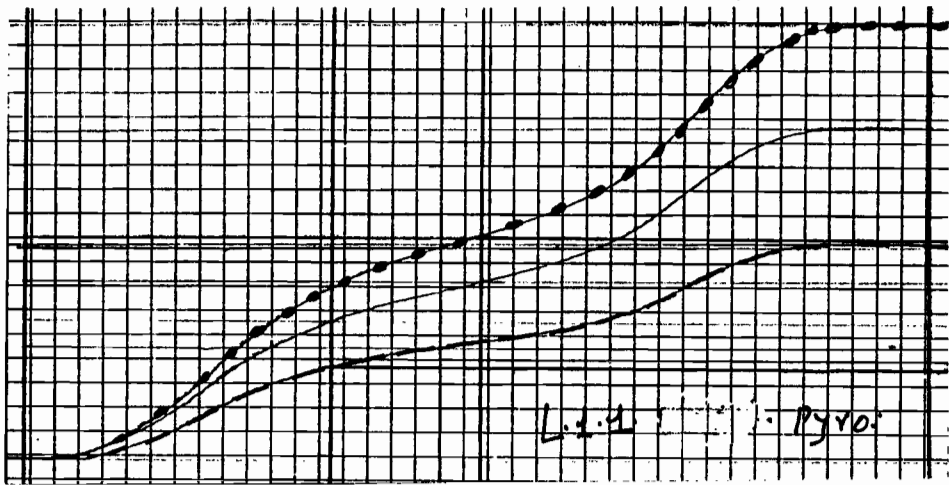
Topographie : Pente 5% au bas de la pente. Altitude 640 m

Vegetation : Formation hêtraie : canche. Vegetation mediocre de chênes - hêtres enrichies de quelques résineux.

Materiau originel : Limon à blocs et granite de Folin

Morphologie du profil :





Type de Sol : *Andosol*

Extrait Pyrophosphate

	AHG	AHI	AHB
% AHP	41	12	47
QE 6/5	0.51		0.44

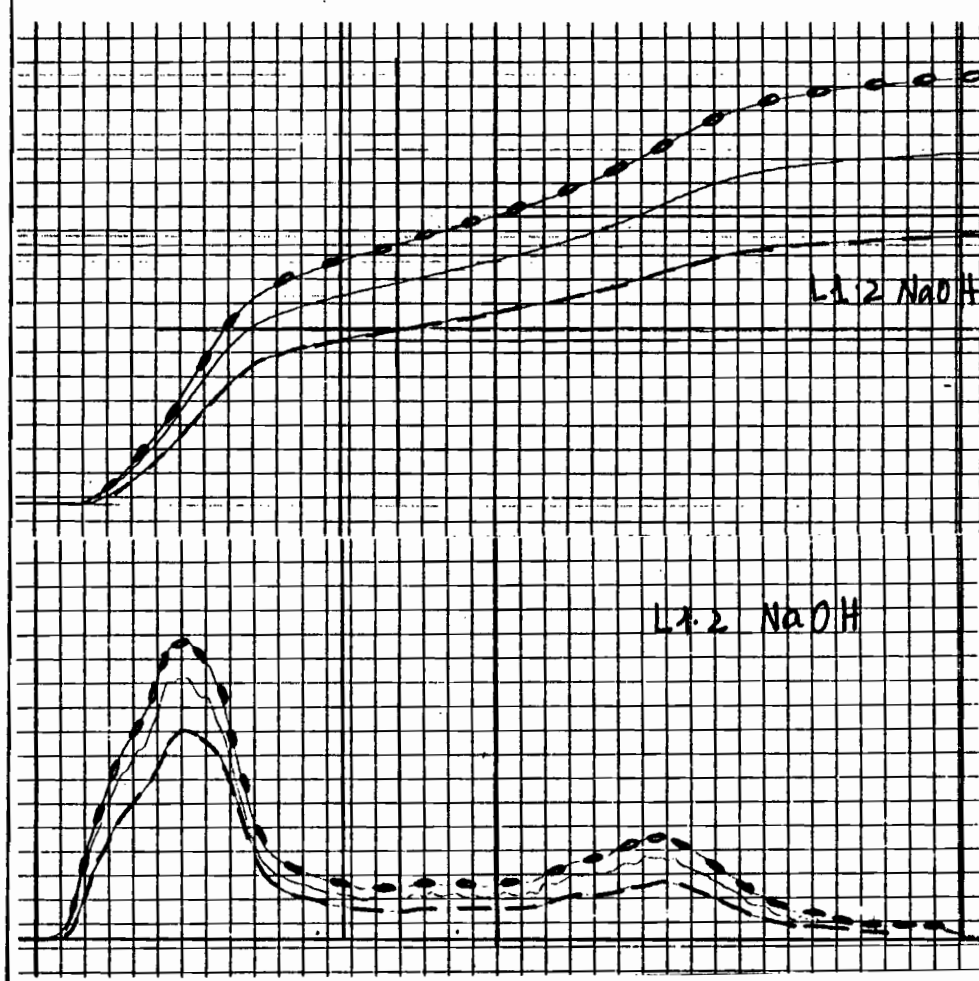
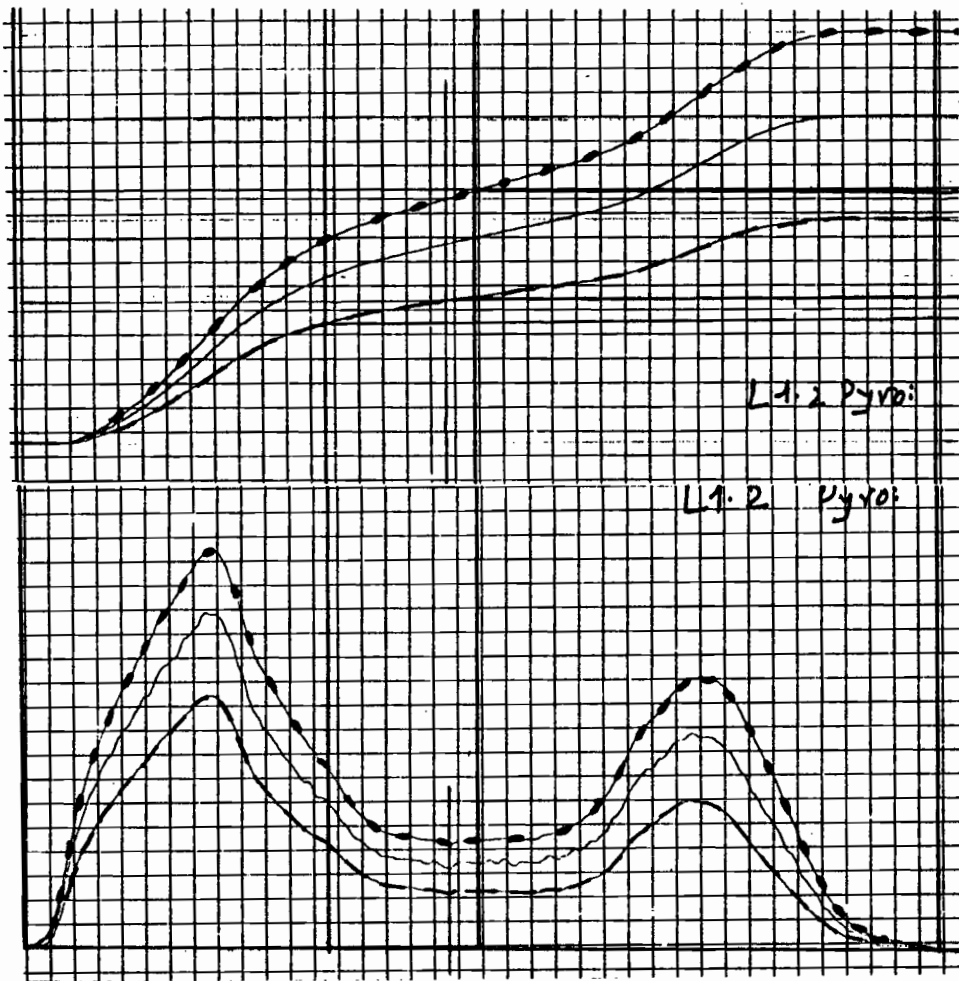
← Electrophorèse →

Extrait Soude

	AHG	AHI	AHB
% AHS	50	11	39
QE 6/5	0.64		0.40

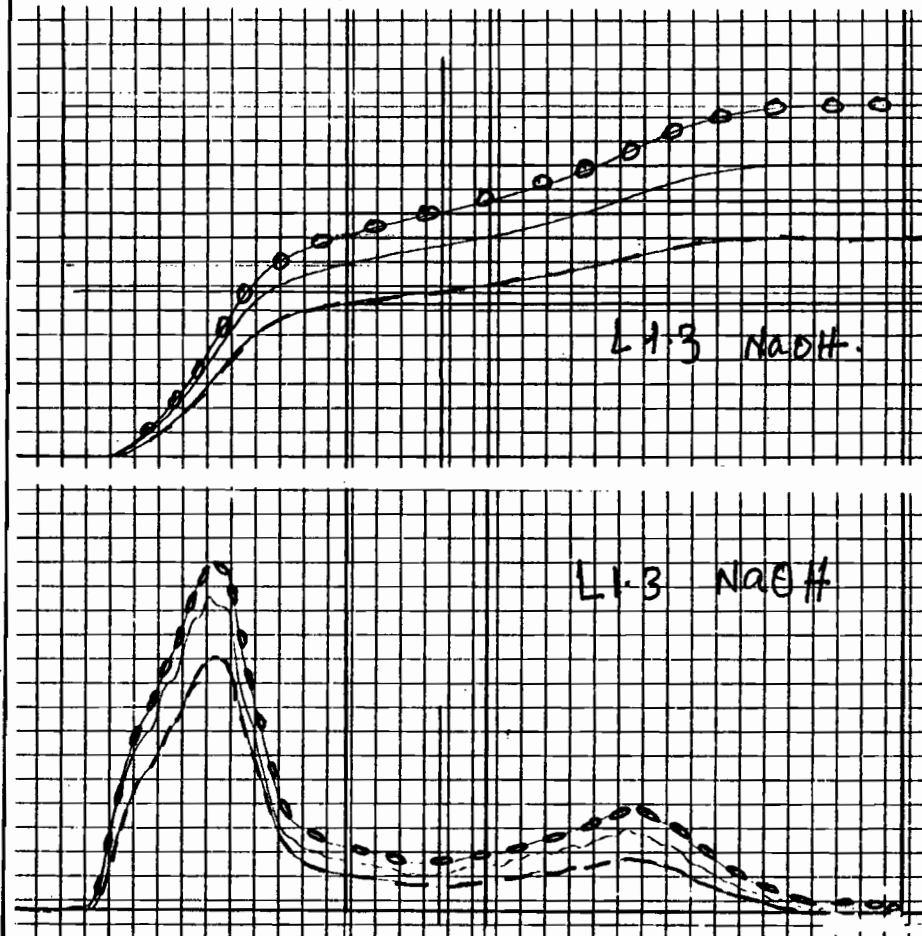
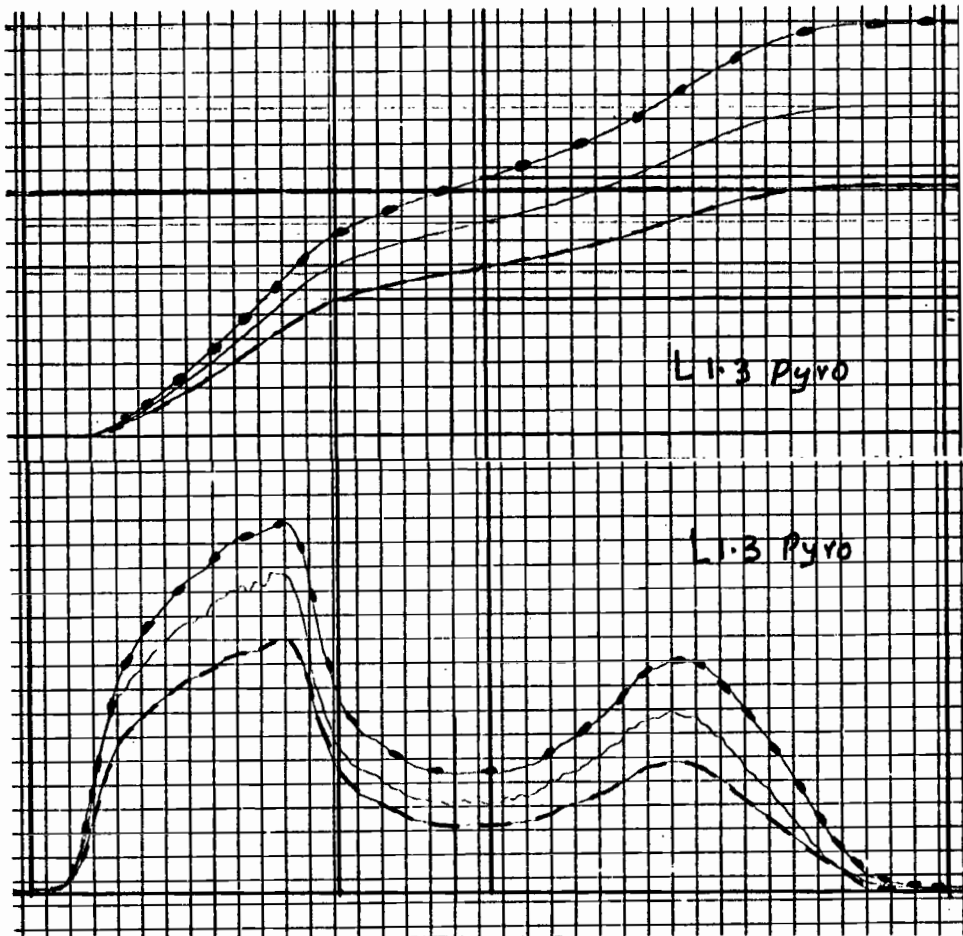
Analyse chimique % du Carbone Total

Ech :	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Ful. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
L1.1	0-5	164.3	1.7	2.2	5.4	6.5	13.0	6.1	65.1



Type de Sol : Andosol

Extrait Pyrophosphate				← Electrophorèse →		Extrait Soude			
	AHG	AHI	AHB			AHG	AHI	AHB	
% AHP	51	12	37			% AHS	66	13	21
QE 6/5	0.57		0.54			QE 6/5	0.65		0.49
Analyse chimique % du Carbone Total									
Ech :	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Fulv. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
L1.2	5-9	93.3	1.2	10.8	7.5	4.2	14.8	3.5	57.9

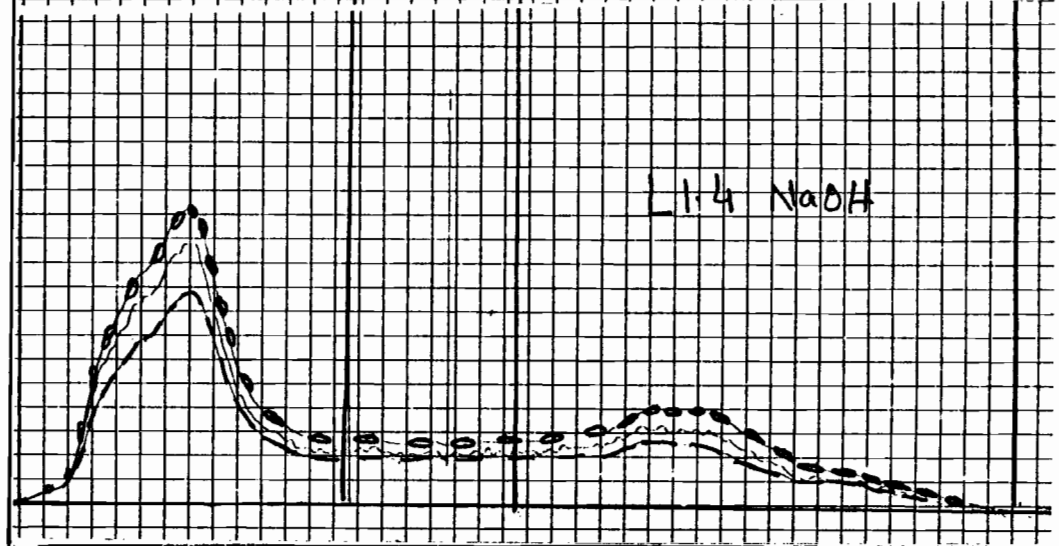
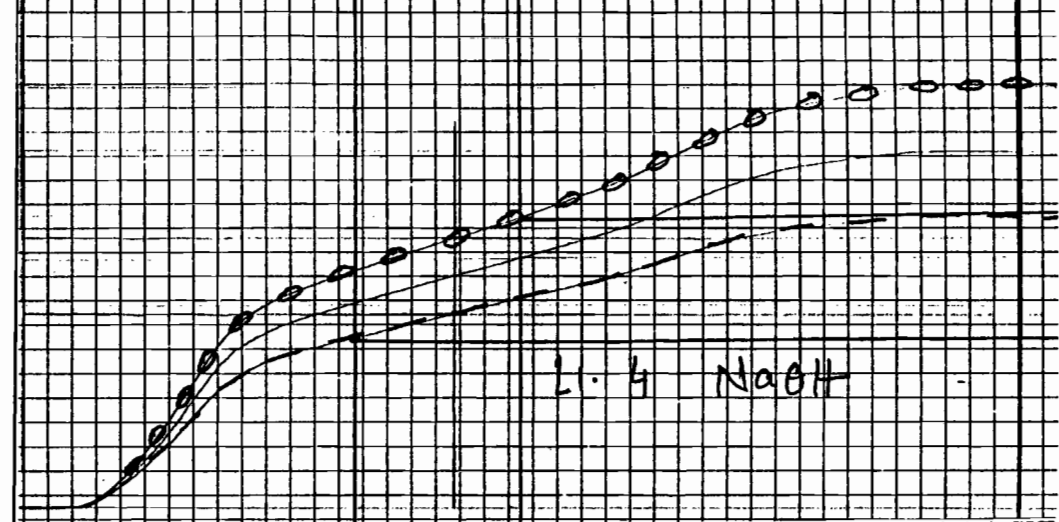
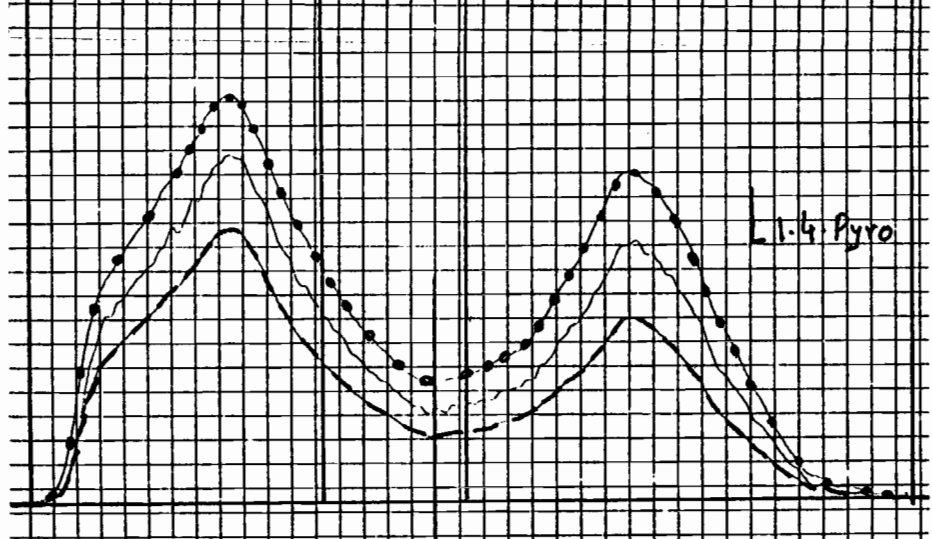
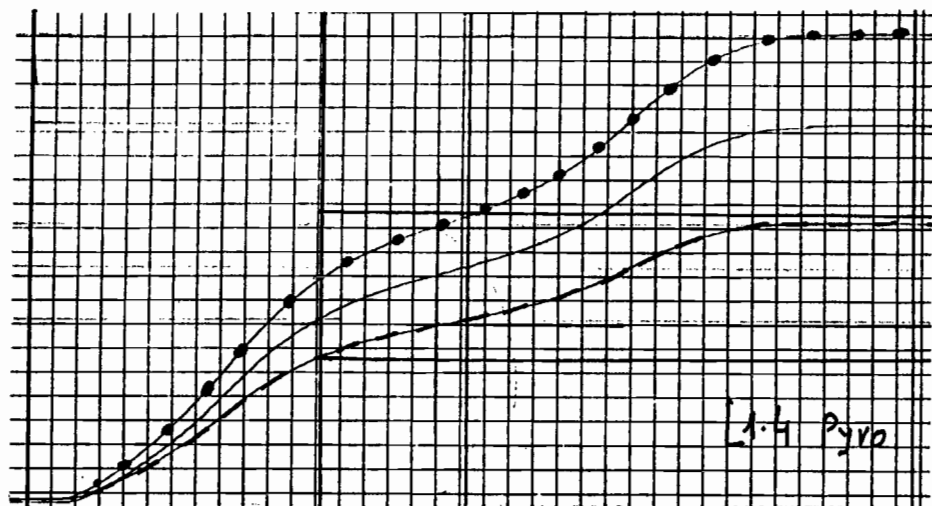


Type de Sol : Andosol

Extrait Pyrophosphate				← Electrophorèse →		Extrait Soude			
	AHG	AHI	AHB			AHG	AHI	AHB	
% AHP	52	13	35			66	9	25	
QE 6/5	0.65		0.52			0.65		0.42	

Analyse chimique % du Carbone Total

Ech :	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Ful. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
L1.3	9-17	71.7	0.90	17.2	11.4	3.7	11.7	6.4	49.4

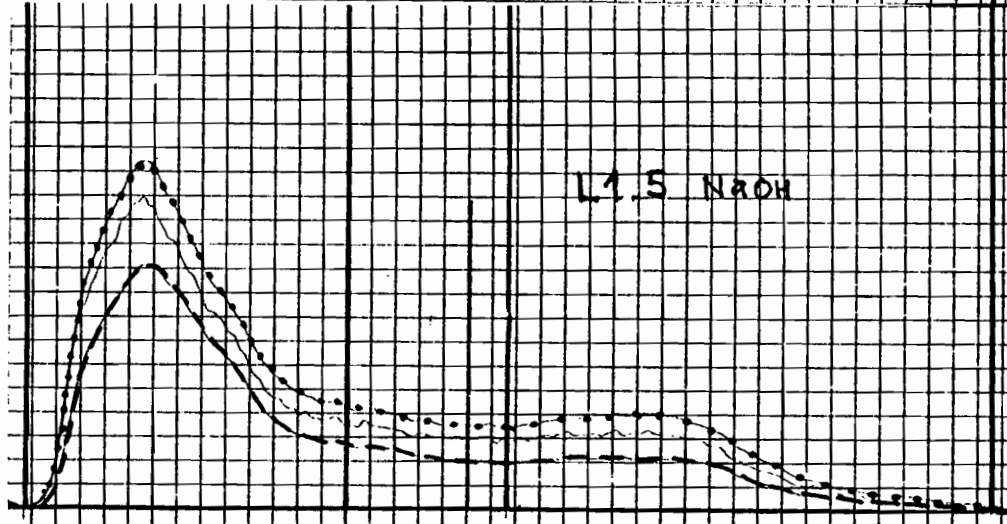
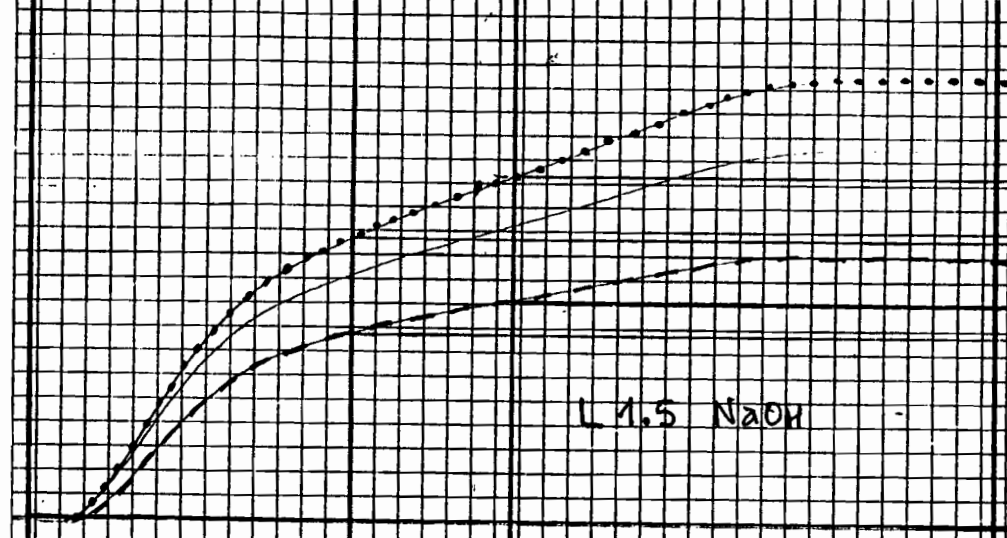
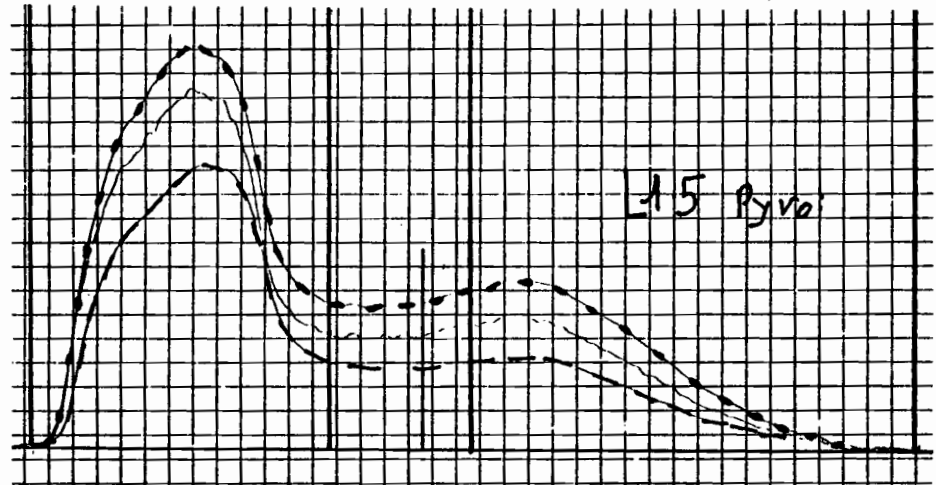
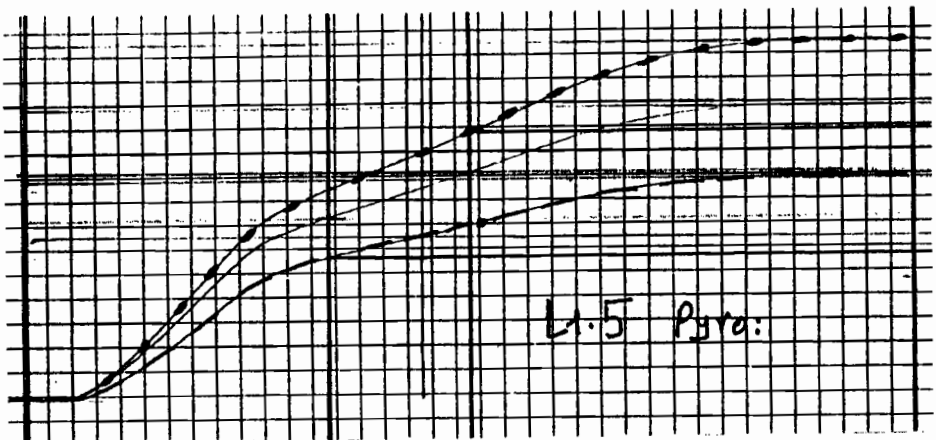


Type de Sol : Andosol.

Extrait Pyrophosphate				← Electrophorèse →		Extrait Soude			
	AHG	AHI	AHB			AHG	AHI	AHB	
% AHP	48	14	38			57	13	30	
QE 6/5	0.65		0.50			0.71		0.50	

Analyse chimique % du Carbone Total

Ech:	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Ful. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
L1.4	17-40	61.1	0.85	25.6	7.4	3.7	13.1	5.4	44.0



Type de Sol : Andosol

Extrait Pyrophosphate

← Electrophorèse →

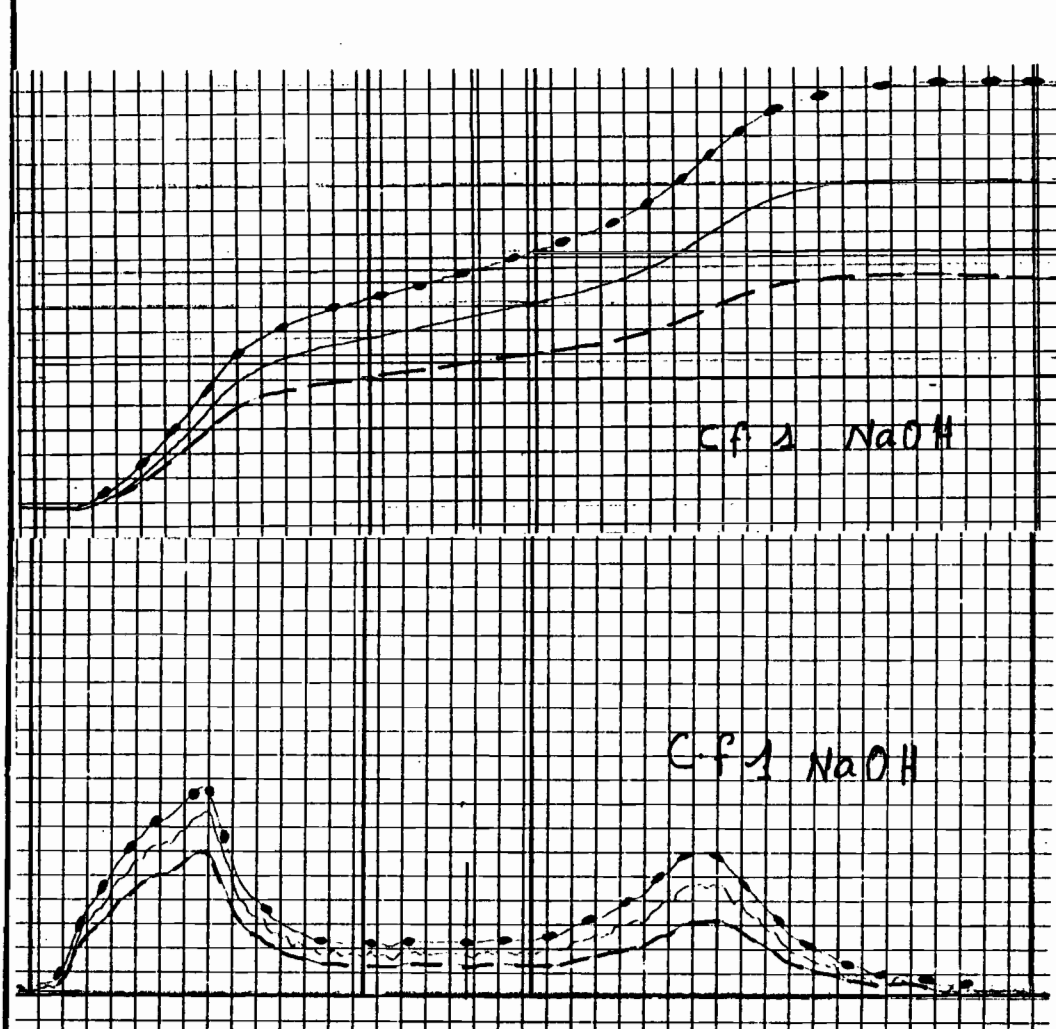
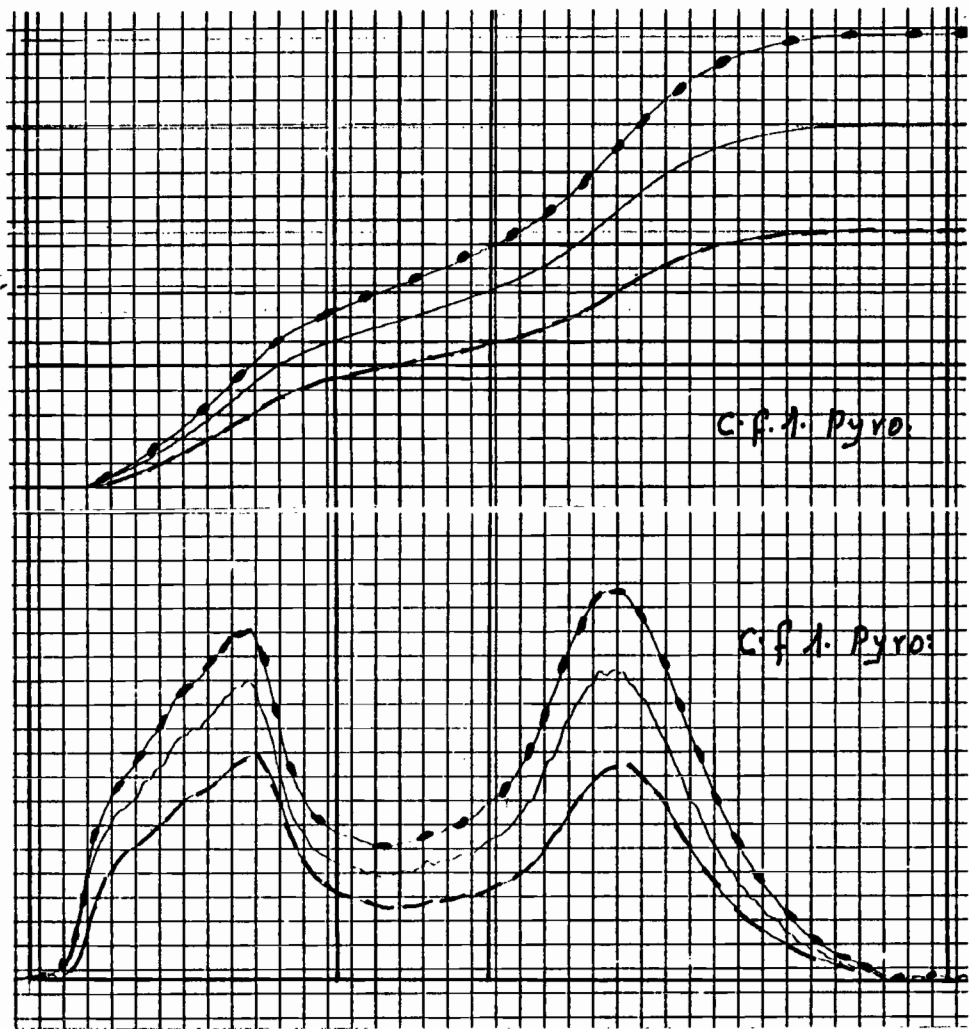
Extrait Soude

	AHG	AHI	AHB
% AHP	62	13	25
QE 6/5	0,65		0,50

	AHG	AHI	AHB
% AHS	62	13	25
QE 6/5	0,65		0,49

Analyse chimique % du Carbone Total

Ech:	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Ful. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
L1.5	40-130	45,3	0,26	26,7	3,4	3,4	14,7	4,0	48,2



Type de sol : *Ocre podzolique*

Extrait Pyrophosphate

	AHG	AHI	AHB
% AHP	40	14	46
QE 6/5	0.61		0.31

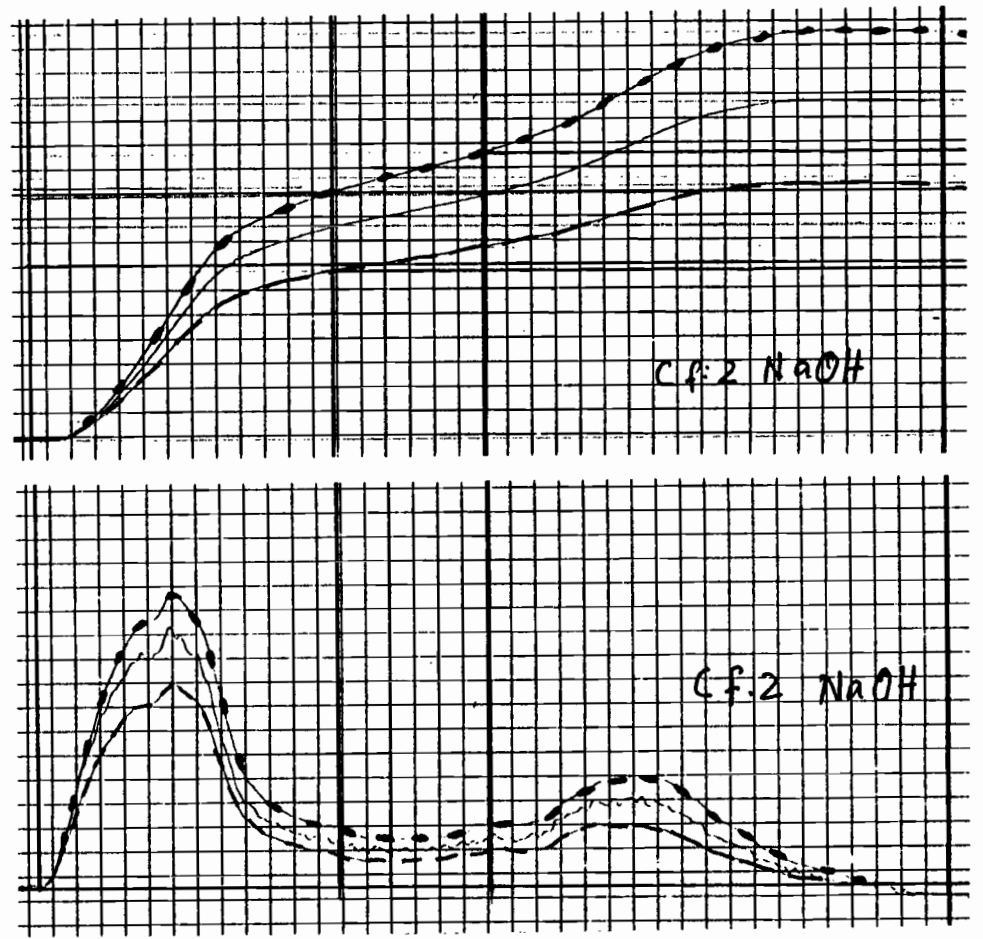
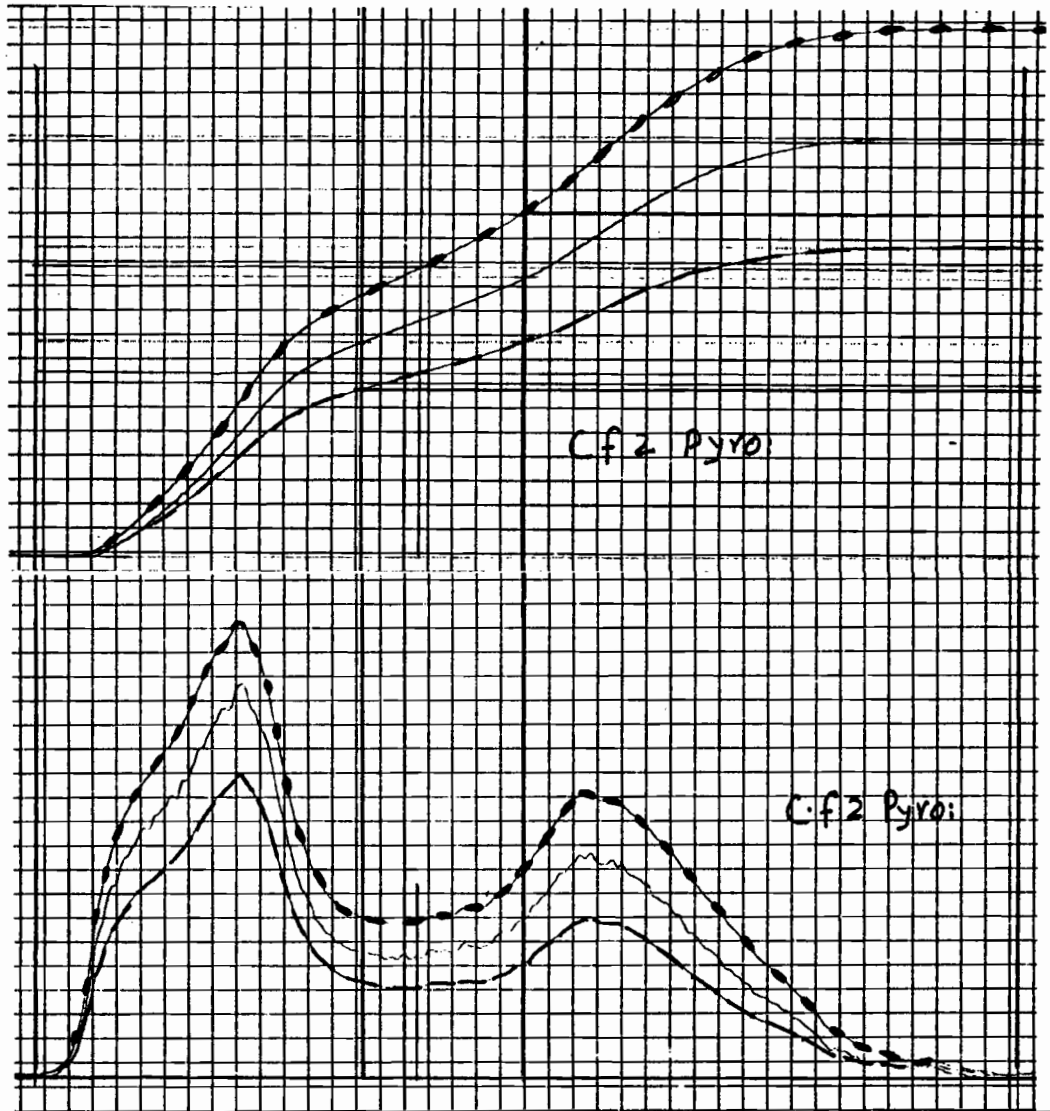
← Electrophorèse →

Extrait Soude

	AHG	AHI	AHB
% AHS	52	10	38
QE 6/5	0.59		0.50

Analyse chimique % du Carbone Total

Ech:	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Ful. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
C.F. 1.	0-3	174, 2	2, 2	1, 1	5, 6	8, 4	9, 9	7, 1	65, 7.



Type de Sol : *Ocr podzolique*

Extrait Pyrophosphate

	AHG	AHI	AHB
% AHP	51	15	34
QE 6/5	0.63		0.43

← Electrophorèse →

Extrait Soude

	AHG	AHI	AHB
% AHS	64	9	27
QE. 6/5	0.67		0.57

Analyse chimique % du Carbone Total

Ech:	Profondeur	Carbone T %	Mat. légères	Ac. Fulv. Libres	Ac. Fulv. Pyro	Ac. Fulv. Soude	Ac. Hum. Pyro	Ac. Hum. Soude	Humine.
Cf2	3-13	86.0	2.9	24.1	3.7	9.9	25.6	7.9	26.4