

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE
L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR-INGÉNIEUR

PAR

Gholam-Hosseïn-ÉRABI

*A Monsieur. Monni
Maître de recherche
à l'I.N.R.A
avec tout
mes amitiés
ERABI*

1^{re} THÈSE — Étude sur la variation de la teneur
en éléments fertilisants dans les sols.

2^e THÈSE — Propositions données par la Faculté :
(Les courbes de croissance)

Soutenues le *18 mai* 1966 devant la Commission d'examen.

MM. P. CHOUARD. Président.

G. LEMÉE.
S. HENIN. } Examineurs.

ETUDE SUR LA VARIATION DE LA TENEUR EN

ELEMENTS FERTILISANTS DANS LES SOLS

S O M M A I R E

Pages

AVANT - PROPOS

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE

ETUDE DE LA VARIATION ACCIDENTELLE DES TENEURS EN ELEMENTS
FERTILISANTS EN SURFACE .

Introduction 3

CHAPITRE I

Etude de la variabilité des éléments fertilisants sur
une surface de 1 m². 4

Résultats et conclusion 8

CHAPITRE II

Etude de la variabilité des éléments sur une surface de 4m²

Introduction 10

Cas d'une terre en jachère 11

Cas " " en prairie 13

Tableau d'ensemble des résultats et conclusion . . . 17

DEUXIEME PARTIE

ETUDE COMPARATIVE ENTRE CERTAINS ELEMENTS CHIMIQUES ET
AVEC LE TAUX DE LA MATIERE ORGANIQUE.

Introduction 22

Calculs des coefficients de corrélation. 25

Conclusion

TROISIEME PARTIE

ETUDE DE LA VARIATION DES ELEMENTS FERTILISANTS EN FONCTION
DE LA PROFONDEUR .

Introduction 27

CHAPITRE I

Cas des profils culturaux 30

Conclusion .

CHAPITRE II

Cas des profils naturels 44

Conclusion.

CHAPITRE III

Etude d'une série de profils nouvellement remaniés lors de la mise en planche de terrain en vue de l'Assainissement,

Introduction. 50

Etude d'une mise en planche ancienne 51

" " " " récente 55

Etude de deux cas particuliers .

A-Etude d'un profil dans une terre de verger. 58

B-Etude d'un mélange de sol 60

QUATRIEME PARTIE

PHOSPHORE ET SES DIFFERENTES FORMES DANS LE SOL.

Introduction 63

CHAPITRE I

Etude d'un profil sous une pelouse naturelle.

Analyses effectuées 70

Problèmes relatifs à la matière organique 71

azote et rapport C/N 73

Variation des différentes formes du phosphore en fonction de la profondeur 75

Etude de l'extractibilité des formes minérales du phosphore	77
Comparaison des teneurs en phosphore dans la fraction légère et dans la fraction lourde.	79

CHAPITRE II

Etude d'un profil sous une Pinède.

Problèmes relatifs à la M.O.	84
" " au phosphore	86

CHAPITRE III

Etude d'un profil sous une forêt de chêne .

Problèmes relatifs à la M.O. et à l'azote.	96
" " au phosphore et ses diverses formes	98

CHAPITRE IV

Etude d'un profil sous une vieille prairie .

Variation de la M.O et l'azote en fonction de la profondeur	106
Problèmes relatifs au phosphore.	111

CHAPITRE V

Etude d'un profil cultural .

Distribution de la matière organique libre.	120
Variation du phosphore et ses différentes formes en fonction de la profondeur.	122

CINQUIEME PARTIE

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES.	129
--	-----

ANNEXE1 - METHODES ET TECHNIQUES EMPLOYEES.

Méthode d'examen du profil cultural.	142
Méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol	147
Analyse granulométrique	149
Détermination du taux de carbone organique et azote	153
Dosages des cations échangeables (K, Ca, Mg)	158
Dosage de l'acide phosphorique assimilable.	162
Dosages des différentes formes du phosphore	165

2 - <u>TABLEAUX DES CALCULS STATISTIQUES</u>	178
--	-----

BIBLIOGRAPHIE	195
-------------------------	-----

AVANT — PROPOS

Ce travail a été effectué au laboratoire d'Agriculture de l'Institut National Agronomique de Paris, sous la direction de Monsieur le Professeur S.HENIN.

Je suis très heureux de pouvoir lui exprimer ici mes sentiments de vive gratitude et mon entier dévouement. Il m'a consacré beaucoup de son temps pour discuter et orienter mes travaux, sa constante bienveillance et ses encouragements m'ont permis de mener à bien cette étude.

Monsieur le Professeur P.CHOUARD a bien voulu accepter malgré ses lourdes charges, la présidence du jury, je le prie de trouver ici, l'expression de ma respectueuse reconnaissance.

A Monsieur le Professeur G.LEMEE qui s'est intéressé à mon travail et a bien voulu m'inscrire à son laboratoire, j'exprime mes très respectueux remerciements. Je lui témoigne également ma gratitude pour son enseignement et ses conseils dont j'ai beaucoup bénéficié.

Tout le personnel du laboratoire d'Agriculture de l'Institut National Agronomique est prié de croire que j'emporterai un souvenir ému de l'accueil si amical qu'il m'a réservé, je tiens particulièrement à remercier Monsieur F.MARCHON Assistant, qui m'a obligeamment apporté son concours pour la présentation de ce travail.

Je dois également exprimer tous mes remerciements à

Monsieur AUBERT Président du Comité Technique de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M, qui m'a permis de réaliser une partie de mes travaux de recherche dans son laboratoire, et ma gratitude va tout particulièrement à Monsieur B.DABIN Directeur des laboratoires des sols de Bondy, qui m'a aidé de ses conseils avec beaucoup de dévouement, m'a enseigné l'emploi de certaines méthodes analytiques.

Le personnel du laboratoire des sols du Centre National de la Recherche Agronomique de Versailles est prié de trouver ici, l'expression de ma gratitude pour l'aide qu'il m'a apportée avec beaucoup de gentillesse.

Enfin je remercie le Service du Ministère de l'Education National de l'Iran qui m'a accordé la bourse nécessaire pour me permettre la réalisation du présent travail. J'associerai dans ma gratitude Monsieur R.BLAIS Directeur de l'Institut National Agronomique de Paris qui m'a reçu dans son établissement, et m'a témoigné la plus grande bienveillance pendant mon séjour en France.

INTRODUCTION

Le problème de l'analyse consiste non seulement à disposer d'une méthode qui permette de faire apparaître la teneur en une forme particulière d'un élément utilisable par la plante, mais il faut aussi que la valeur ainsi déterminée soit représentative des propriétés d'une surface de sol. C'est là où se situe le problème redoutable, presque un écueil dans l'application de ces méthodes, le problème de l'échantillonnage.

Nous avons entrepris systématiquement l'étude de la variation de la composition de différents échantillons ponctuels prélevés sur une surface déterminée. Dans le but d'établir tout d'abord, la constance de la teneur du sol en une certaine forme d'un élément donné, parmi les éléments retenus nous avons choisi les plus importants au point de vue agricole, c'est-à-dire, l'acide phosphorique, la potasse, calcium, magnésium, les matières organiques et enfin la composition granulométrique. Pour arriver à préciser les conditions de l'échantillonnage, une première étude a été faite sur un nombre relativement restreint de prélèvements d'où nous verrons que certaines données ne sont pas satisfaisantes du fait que le nombre de prélèvements initial est insuffisant ; il a fallu alors reprendre l'étude sur un plus grand nombre d'échantillons afin d'obtenir des valeurs dont la variation statistique soit suffisamment restreinte. Nous ferons figurer ces deux tentatives pour montrer comment l'importance de l'échantillonnage au départ se répercute sur la variabilité des résultats finaux. Il existe aussi une variations des éléments dans le sol, c'est alors le problème de savoir si cette variation est propre à chaque élément ou si elle résulte d'un ensemble de conditions qui ont amené localement

des enrichissements ou des appauvrissements. En appliquant la méthode de corrélation, on pouvait donc espérer montrer qu'il y avait ou s'il n'y avait pas une liaison entre la variation de différents éléments dosés dans le milieu.

Enfin, à titre de contre épreuve, nous avons voulu voir si dans ces conditions où l'on pouvait imaginer une variation systématique de la composition du sol, les prélèvements nous permettaient de rendre compte de cette situation. On a choisi comme élément de départ le profil cultural qui permettait de préciser les conditions agricoles en un point donné, devait se trouver par voie de conséquence rattaché d'une manière plus ou moins directe à la composition chimique des horizons. C'est donc cette fois-ci sur une série d'horizons successifs d'un même profil convenablement choisi que l'on s'est efforcé de faire apparaître la variation des constituants chimiques ; nous verrons que suivant les mobilités, certains de ces éléments constituent des traceurs très remarquables du profil cultural et permettent même de préciser le diagnostic, mais que d'autres éléments, du fait de leur variabilité, ne présentent pas cette qualité, ce qui pose d'ailleurs aussi des problèmes concernant leur distribution et leur évolution dans le sol. Toutefois, il s'agit là d'un problème qui ne sera pas abordé directement dans ce travail.

PREMIERE PARTIE

ETUDE DE LA VARIATION ACCIDENTELLE DES TENEURS EN
ELEMENTS FERTILISANTS SUR UNE SURFACE

INTRODUCTION

Il s'agit donc d'effectuer sur un certain nombre de prélèvements différents une série de mesures afin d'étudier leur variabilité. Toutefois, cette variabilité peut être due à deux causes différentes : d'une part, la variabilité propre de la mesure elle-même, c'est-à-dire la variabilité des résultats analytiques, et pour apprécier celle-ci nous avons effectué quelques séries de mesures sur un même échantillon, par conséquent sur le matériel rigoureusement homogène au départ ; d'autre part, nous avons effectué une série d'analyses sur des échantillons différents et c'est bien entendu dans la mesure où l'erreur sur la série d'échantillons sera supérieure aux erreurs analytiques qu'apparaîtra la variabilité propre à l'échantillonnage lui-même. Dans le cas où l'ensemble des deux ne présente pas une variabilité importante, on attribuera au sol une certaine homogénéité, car nous verrons ultérieurement que les erreurs des mesures sont d'une faible importance vis-à-vis de celles de l'échantillonnage lorsque le sol est hétérogène.

CHAPITRE I

ETUDE DE VARIABILITE DES ELEMENTS FERTILISANTS SUR UNE PETITE SURFACE

Nous avons commencé cette étude sur une petite surface de 1m^2 dans un champ de pomme de terre à Palaiseau à la date du 11 mai 1962. Nous avons prélevé 14 échantillons à l'aide d'une pelle sur 15 centimètres de profondeur. Le schéma Figure 1 indique l'emplacement des prélèvements.

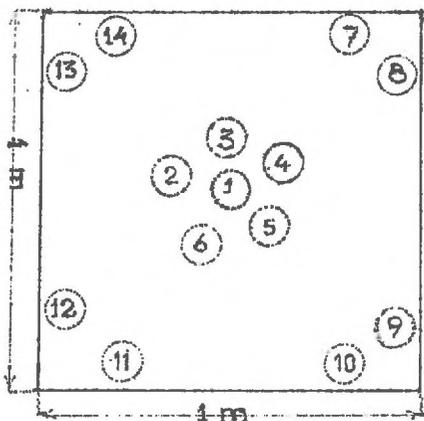


Fig. 1

Les pommes de terre ayant une hauteur de 15 centimètres étaient au stade du premier "buttage". Les analyses effectuées sont : le dosage du phosphore assimilable, dosage du taux de la matière organique, dosage des cations échangeables (Ca, Mg, K), la mesure du pH et enfin l'analyse granulométrique.

Les résultats sont présentés dans le tableau I suivant :

TABLEAU I RESULTATS ANALYTIQUES

Surface de 1 m². (Palaiseau)

échantillon	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable grossier %	P205 ‰	M.O. %	cations échangeables meq pour 100 g de terre.			pH	
							Ca	Mg	K	eau	KCl
1	14,91	20,2	33,75	25	0,50	2,50	11,25	0,75	0,59	6,2	5,0
2	15,15	23,32	37,5	28,75	0,48	2,44	11,25	0,75	0,59	6,2	5,0
3	14,42	21,64	33,75	26,25	0,54	2,70	11,25	0,75	0,59	6,15	5,0
4	15,15	22,60	35,0	25,0	0,53	2,52	11,75	0,87	0,67	6,15	5,0
5	16,15	23,32	36,25	28,75	0,52	2,52	11,25	0,75	0,61	6,2	5,0
6	14,91	22,84	35,0	26,25	0,52	2,44	11,25	0,75	0,61	6,2	5,0
7	14,67	22,13	36,25	28,25	0,53	2,36	11,25	0,75	0,59	6,25	5,0
8	14,91	22,84	36,25	28,0	0,50	2,36	11,25	0,75	0,62	6,25	5,0
9	14,42	22,60	35,0	25,0	0,54	2,46	11,75	0,75	0,62	6,2	5,0
10	15,15	22,84	33,75	25,0	0,54	2,54	11,75	0,75	0,61	6,25	5,0
11	13,70	24,87	35,0	27,5	0,53	2,44	11,75	0,75	0,58	6,2	5,0
12	15,15	22,6	35,0	25,0	0,56	2,46	11,75	0,75	0,61	6,2	5,0
13	15,15	22,7	35,0	26,25	0,55	2,52	11,5	0,75	0,62	6,3	5,0
14	14,91	22,65	33,75	27,5	0,53	2,46	11,25	0,75	0,59	6,3	5,0

ETUDE STATISTIQUE DE LA VARIABILITE DES TENEURS

Les échantillons étant prélevés et traités dans les mêmes conditions, nous aurions dû avoir théoriquement, si le sol était homogène, des chiffres identiques pour chaque élément dosé, mais pratiquement nous avons mis en évidence une variation de la teneur en éléments fertilisants.

Nous pouvons admettre que la variabilité des teneurs vient : d'une part, de l'hétérogénéité du sol (variation accidentelle), d'autre part, d'erreurs dues au prélèvements et à l'analyse.

L'étude statistique a pour but de mettre en évidence l'importance de ces variations. Pour faire cette étude nous avons calculé la moyenne arithmétique, la variance et le coefficient de variance des teneurs en chaque élément dosé. Nous avons effectué nos calculs par la méthode directe. Le tableau suivant montre comment disposer les calculs pour déterminer la variance. Nous ne présenterons qu'un seul tableau de calcul car il en sera de même pour tous les autres cas (1) ; nous en verrons seulement les résultats d'ensemble.

L'indice X représente les variables (les teneurs en chaque élément)

L'indice \bar{X} représente la moyenne arithmétique

L'indice $X - \bar{X}$ écart à la moyenne arithmétique

\bar{X} est calculé d'après la formule $\frac{\sum X}{N}$

La variance V d'après $\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}$

écart type $\sigma = \sqrt{V}$

Le coefficient de variance d'après $\frac{100 \times \sigma}{\bar{X}} = \%$

(1) Pour les autres tableaux voir annexe

TABLEAU 2

TABLEAU DE CALCUL DE LA MOYENNE ARITHMETIQUE ET DE
LA VARIANCE ENTRE LES TENEURS EN
P205 .(surface de 1 m²)

X variable	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
0,50	-0,0264	0,00069
0,48	-0,0464	0,00215
0,54	+0,0135	0,00018
0,53	+0,0036	0,00001
0,52	-0,0064	0,00004
0,52	-0,0064	0,00004
0,53	+0,0036	0,00001
0,50	-0,0264	0,00069
0,54	+0,0136	0,00018
0,54	+0,0136	0,00018
0,53	+0,0036	0,00001
0,56	+0,0336	0,00112
0,55	+0,0236	0,00055
0,53	+0,0036	0,00001
$\bar{Y} = 7,37$		$\Sigma(X - \bar{X})^2 = 0,00586$

$$\text{Moyenne arithmétique } \bar{X} = \frac{\Sigma X}{N} = \frac{7,37}{14} = 0,5264$$

$$\text{Variance } V = \frac{\Sigma(X - \bar{X})^2}{N} = 0,000041$$

$$\text{Ecart-type } \sigma = \sqrt{V} = 0,006$$

$$\text{Coefficient de variance} = \frac{0,006 \times 100}{0,5264} = 1,13 \%$$

RESULTATS DE CALCULS STATISTIQUES DE 14 ANALYSES SUR UNE SURFACE DE 1 M² (Palaiseau)

-3-

	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	P ₂ O ₅	M.O.	Ca	Mg	K
Moyenne \bar{X}	14,9107	22,6464	35,09	26,6	0,5264	2,4814	11,4464		0,6071
Variance V	0,273335	0,918250	1,2197	2,051	0,00004	0,0066	0,055	Variabilité négligeable	0,000041
Ecart-type σ	0,519	0,958	1,1	1,43	0,006	0,08	0,23		0,006
Coefficient de variance	3,48 %	4,23 %	3,13 %	5,3 %	1,13 %	3,22 %	2 %		0,98 %

TABLEAU 3

Conclusion.-

Nous avons traité le problème comme si les éléments avaient une distribution normale, les résultats montrent que la variance est généralement faible, ce qui prouve, d'une part, que les méthodes d'analyse sont assez fidèles et, d'autre part, que la variabilité de la composition de ce sol est assez faible. En effet, les coefficients de variance pour les éléments chimiques P_2O_5 , K, Ca et Mg sont respectivement de 1,13 %, 0,98 %, 2 %, 0 % la seule valeur un peu élevée correspond au dosage du calcium.

Les éléments constituants de la texture montrent une variabilité plus importante, mais ceci n'est pas pour nous surprendre, car on sait combien l'analyse granulométrique est délicate à réaliser, néanmoins, il s'agit de valeurs relativement précises puisque le coefficient de variation le plus élevé, celui qui correspond au sable grossier, n'est encore que de 5,3 %.

Il est évident dans ces conditions qu'il était difficile de mettre en évidence une variation systématique des résultats en fonction de l'échantillon pour déterminer la part de variabilité revenant à l'échantillonnage (l'hétérogénéité du sol) par rapport à celui qui revient à l'erreur analytique ; il a donc fallu s'adresser à une série statistique plus importante pour obtenir les résultats que nous cherchions.

CHAPITRE II

ETUDE DE LA VARIABILITE DES ELEMENTS SUR UNE
SURFACE DE 4 m²

INTRODUCTION.

Nous venons de voir que sur une surface d'un mètre carré les teneurs en éléments chimiques présentent une faible variabilité. Nous ne pouvons donc analyser l'importance respective de l'hétérogénéité du terrain et des erreurs dues aux méthodes de dosages employées; c'est pourquoi nous allons reprendre l'étude d'une part sur une plus grande surface, d'autre part, en augmentant le nombre des prélèvements, nous appliquerons ceci sur deux types de sols différents.

ETUDE DE LA VARIATION DES ELEMENTS FERTILISANTS EN SURFACE
DANS UNE TERRE EN JACHERE A PALAISEAU

Sur une parcelle en jachère après une culture de blé à Palaiseau, nous avons prélevé le 20 Juin 1963, 51 échantillons sur 4m² selon le schéma

	5		4		3		2		1
10		9		8		7		6	
	15		14		13		12		11
20		19		18		17		16	
30		29		28		27		26	
	35		34		33		32		31
40		39		38		37		36	
	45		44		43		42		41
50		49		48		47		46	
				51					

(fig 2)

Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une sonde hélicoïdale jusqu'à une profondeur de 25 cm. Nous avons effectué les mêmes analyses chimiques que pour la surface précédemment étudiée, sauf l'analyse granulométrique. Les résultats analytiques sont présentés dans le tableau 4 suivant :

TABLEAU 4 RESULTATS ANALYTIQUES

-12

Surface de 4 m² (Palaiseau)

échan- tillon	P205 ‰	M.O. %	Ca meq/ 100g	Mg meq/ 100g	K meq/ 100g	échan- tillon	P205 ‰	M.O. %	Ca meq/ 100g	Mg meq/ 100g	me 10
1	0,19	2	9,5	1,75	0,26	27	0,19	1,99	9,75	1,75	0
2	0,15	2,05	9,63	1,38	0,21	28	0,16	1,99	9,5	1,75	0
3	0,15	1,97	9,5	1,75	0,25	29	0,16	2	9,38	1,88	0
4	0,17	1,97	9,5	1,75	0,19	30	0,18	2,08	9,38	1,63	0
5	0,16	1,93	9,25	2	0,21	31	0,14	2,05	9,5	2	0
6	0,13	2	9,88	1,5	0,16	32	0,20	2,05	9,75	1,75	0
7	0,16	1,99	9,75	1,63	0,25	33	0,20	1,99	9,75	1,62	0
8	0,14	2	9,25	1,88	0,21	34	0,18	2,08	9,38	1,88	0
9	0,17	1,95	9,75	1,38	0,20	35	0,21	2	9,63	1,75	0
10	0,13	2	9,63	1,75	0,21	36	0,21	2,05	9,75	1,32	0
11	0,19	1,97	9,75	1,5	0,24	37	0,19	2,05	9,5	1,75	0
12	0,19	1,97	9,5	1,88	0,20	38	0,16	2,04	9,63	1,62	0
13	0,15	2,02	9,38	2	0,20	39	0,22	1,95	9,75	1,5	0
14	0,22	1,97	9,5	1,75	0,21	40	0,23	1,99	9,75	1,63	0
15	0,17	1,91	9,38	1,5	0,23	41	0,19	1,91	9,75	1,62	0
16	0,18	1,95	9,38	1,62	0,21	42	0,14	1,95	9,25	1,5	0
17	0,16	2	9,88	1,62	0,20	43	0,18	1,95	9,38	1,75	0
18	0,18	2,08	9,5	1,63	0,23	44	0,19	2,11	10,62	1,87	0
19	0,19	2	9,62	1,62	0,24	45	0,24	2	9,75	1,75	0
20	0,21	2	9,75	1,75	0,26	46	0,15	2,04	9,5	1,75	0
21	0,16	2	9,5	1,63	0,23	47	0,16	2	9,88	1,5	0
22	0,25	2,02	9,75	1,62	0,22	48	0,15	2,05	9,75	1,62	0
23	0,16	1,99	9,75	1,25	0,20	49	0,16	1,97	9,25	1,88	0
24	0,16	2	9,5	1,75	0,25	50	0,21	2	9,87	1,5	0
25	0,20	1,93	9,75	1,63	0,23	51	0,20	2,04	9,5	1,87	0
26	0,19	2,02	10	1,62	0,30						

ETUDE DE LA VARIATION DES ELEMENTS FERTILISANTS EN
SURFACE, SOUS UNE PRAIRIE DE RAY GRASS D'ITALIE (Haizerie)

Cette première série de résultats étant obtenus, nous avons voulu étendre la comparaison en répétant cette opération sur un terrain complètement différent, une partie portant un ray grass d'Italie, variété "Rena" situé sur le domaine de la Haizerie que possède l'Institut National Agronomique dans le département du Calvados.

Les prélèvements ont été effectués à la date du 4 juillet 1963 dans les mêmes conditions qu'à Palaiseau et ont été soumis aux mêmes analyses.

Ces résultats étant acquis, nous en avons étudié les variabilités et avons voulu voir si elles pouvaient s'adapter à des lois normales.

Précisons que nous avons effectué ces calculs seulement pour les teneurs en P_2O_5 , K, et matière organique, les résultats du Ca et du Mg n'étant en fait que peu intéressants du fait de la relative imprécision des dosages de ces 2 éléments.

Nous ne ferons figurer qu'une seule série complète de calculs (1) et ne donnerons pour les autres éléments que les résultats finaux.

(1) Voir l'annexe

TABLEAU . 5. RESULTATS ANALYTIQUES

-14-

Surface de 4 m² (La Haizerie)

échan- tillon	P2O5 ‰	N.O. %	Ca meq/ 100g	Mg meq/ 100g	K meq/ 100g	échan- tillon	P2O5 ‰	N.O. %	Ca meq/ 100g	Mg meq/ 100g	K meq/ 100g
1	0,80	3,44	10,75	2,25	0,48	27	0,36	2,96	10,75	1,63	0,3
2	0,60	3,17	10,88	1,88	0,53	28	0,82	3,49	11,75	2,5	0,7
3	0,44	2,92	10,4	1,63	0,69	29	0,52	3,01	10,25	2,25	0,6
4	0,64	3,17	10	2,5	0,58	30	0,76	3,3	10	2,25	0,8
5	0,90	3,4	11,38	1,25	0,73	31	0,34	2,87	10,25	2,12	0,3
6	0,56	4,1	11	2	0,43	32	0,62	3,1	10,88	1,33	0,5
7	0,26	3,03	9,63	2	0,56	33	0,42	3,2	11	2	0,3
8	0,72	3,1	9,5	2	0,78	34	0,62	3,15	10,5	2	0,8
9	0,70	3,06	11,25	1,28	0,50	35	0,70	3,3	10	1,5	0,7
10	0,86	3,73	11,25	2	0,64	36	0,48	2,89	10,25	2,25	0,3
11	0,72	3,17	11	1,75	0,47	37	0,32	2,96	10,25	2	0,3
12	0,72	3,36	11,63	1,5	0,56	38	0,70	3,3	12,38	2	0,6
13	0,70	3,07	10,75	1	0,73	39	0,48	3,34	10,75	2	0,5
14	0,58	3,03	10,25	1,88	0,63	40	0,80	3,59	11,13	2	0,6
15	0,58	3,21	10	1,63	0,50	41	0,48	3,06	10,25	2,25	0,3
16	0,52	3,1	10,5	2	0,42	42	0,72	3,92	12	2,13	0,6
17	0,76	3,3	9,75	1,75	0,79	43	0,44	3,44	11,25	2,13	0,5
18	0,32	3,25	10,63	2,12	0,78	44	0,76	3,2	11,13	1,5	0,7
19	0,66	3,73	10,5	2	0,50	45	0,58	3,44	11,5	2,25	0,8
20	0,72	3,2	11	1,33	0,73	46	0,32	2,89	10,25	2	0,3
21	0,40	2,87	10,75	2	0,45	47	0,72	3,58	11,33	1,88	0,6
22	0,50	3,3	10,38	1,88	0,74	48	0,66	3,16	10,25	2,25	0,7
23	0,60	3,1	10	1,5	0,78	49	0,63	3,39	11	2,25	0,6
24	0,70	3,1	10,25	2	0,76	50	0,64	3,34	10,13	2,13	0,7
25	0,86	3,35	10,25	1,88	0,74	51	0,40	2,96	10,63	1,5	0,4
26	0,40	3,49	10,38	2,32	0,41						

TABEAU DE CALCUL DE VARIANCE ET ECART-TYPE
ENTRE LES TENEURS EN P205 (Palaiseau)

X	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$	$(X - \bar{X})^3$
0,19	+0,0108	0,0001	+0,0000
0,15	-0,0292	0,0009	-0,00003
0,15	-0,0292	0,0009	-0,00003
0,17	-0,0092	0,0000	-0,0000
0,16	-0,0122	0,0004	-0,0000
0,13	-0,0492	0,0024	-0,00012
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,14	-0,0592	0,0015	-0,00006
0,17	-0,0092	0,0000	-0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,15	-0,0292	0,0009	-0,00003
0,22	+0,0408	0,0017	+0,00007
0,17	-0,0092	0,0000	-0,00000
0,18	+0,0008	0,0000	+0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,18	+0,0008	0,0000	+0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,21	+0,0308	0,0009	+0,00003
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,25	+0,0708	0,0050	+0,00035
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,20	+0,0208	0,0004	+0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,18	+0,0008	0,0000	+0,00000
0,14	-0,0392	0,0015	-0,00006
0,20	+0,0208	0,0004	+0,00000
0,20	+0,0208	0,0004	+0,00000
0,18	+0,0008	0,0000	+0,00000
0,21	+0,0308	0,0009	+0,00003
0,21	+0,0308	0,0009	+0,00003
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,22	+0,0408	0,0017	+0,00007
0,23	+0,0508	0,0026	+0,00013
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,14	-0,0392	0,0015	-0,00006
0,18	+0,0008	0,0000	+0,00000
0,19	+0,0108	0,0001	+0,00000
0,24	+0,0608	0,0037	+0,00022
0,15	-0,0292	0,0009	-0,00003
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,15	-0,0292	0,0009	-0,00003
0,16	-0,0192	0,0004	-0,00000
0,21	+0,0308	0,0009	+0,00003
0,20	+0,0208	0,0004	+0,00000
$\Sigma X = 9,14$		$\Sigma (X - \bar{X})^2 = 0,037$	$\Sigma (X - \bar{X})^3 = +0,00051$

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{N} = \frac{9,14}{51} = 0,1792$$

$$v = \frac{\sum (X-\bar{x})^2}{N} = \frac{0,0370}{51} = 0,000737$$

$$\sigma = \sqrt{v} = 0,027$$

$$\text{Coefficient de variance} = \frac{100 \times \sigma}{\bar{x}} = \frac{100 \times 0,027}{0,1792} = 15,06 \%$$

Le rapport de $b_1 = \frac{m_3}{m_2^{3/2}}$ à l'aide des tables de Pearson suivant le nombre d'échantillonnage (effectif N) nous donne la limite de la valeur de b_1 pour que la distribution des teneurs soit symétrique et corresponde à la loi Gaussienne (rappelons que m_3 et m_2 indiquent le deuxième et le troisième moments, c'est à dire :

$$m_2 = \frac{\sum (X-\bar{x})^2}{N} \quad \text{et} \quad m_3 = \frac{\sum (X-\bar{x})^3}{N}$$

La valeur limite de b_1 en fonction de degré de liberté de 50 d'après la table (1) est égale 0,54 inférieur à ce chiffre la distribution est symétrique.

Ajoutons que la dernière colonne de ce tableau indique que 5 sur 6 distributions étudiées (excepté le cas de la matière organique à la Haizerie) suivent la loi normale. Pour la poursuite de nos travaux nous la considérerons comme une distribution normale.

TABEAU 6 RESULTATS DE CALCULS STATISTIQUES DE 51 DOSAGES SUR UNE SURFACE DE 4m² DANS DEUX TERRAINS DIFFERENTS

	Moyenne arithmétique	Variance	Ecart-Type	Coéfficient de variance	Ajustement à la loi normale: b ₁
P ₂ O ₅	Palaiseau: 0,1792	0,00073	0,027	11,16 %	0,514
	Haizerie: 0,6074	0,024517	0,156	25,79 %	0,313
M.O.	Palaiseau: 2,0003	0,0019	0,04	1,99 %	0,191
	Haizerie: 3,2462	0,068733	0,262	8,66 %	0,888
K	Palaiseau: 0,2111	0,0009	0,03	14,21 %	0,027
	Haizerie: 0,5982	0,02285	0,51	25,24	0,21

Le tableau⁶ réunissant l'ensemble des résultats statistiques nous montre que dans une surface de 4m² nous avons une variabilité importante pour le P₂O₅ et le potassium, par contre le taux de matière organique ne présente pas de variabilité considérable.

Toutefois lorsqu'on rencontre un coefficient de variance assez élevé, on attribue tout de suite au sol une certaine hétérogénéité du point de vue de sa teneur en l'élément considéré. Mais il faut établir si l'hétérogénéité est propre au terrain ou bien à l'ensemble hétérogénéité du terrain et erreurs de dosage.

Pour ce faire, nous avons effectué une dizaine de dosages sur un même échantillon afin de déterminer la variabilité de la méthode. On calcule ensuite la variabilité de cette méthode par la variance de l'erreur de

(1) Biometrika Tables E.S. PERRSON, H.O. HARTLEY p. 182

dosage, celle-ci nous servira plus tard pour la comparaison à la variance due à l'hétérogénéité du sol, en vue de mettre en évidence dans quelle mesure l'une est plus importante que l'autre.

Nous pouvons considérer d'une part que la variable aléatoire égale à l'erreur d'analyse d'un échantillon est la même pour tous les échantillons, d'autre part, que cette variable aléatoire est indépendante de l'hétérogénéité du terrain. En effet, nous avons essayé de traiter tous les échantillons dans des conditions rigoureusement identiques. Nous pouvons alors écrire :

$$(I) \quad \sigma_x^2 = \sigma_t^2 + \sigma_e^2 \quad \text{ou} \quad \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} = \frac{\sigma_t^2}{\sigma_e^2} + I$$

σ_x^2 est la variance des teneurs sur une surface de 4 m^2

σ_t^2 est la variance due à l'hétérogénéité du terrain

σ_e^2 la variance de l'erreur d'analyse.

En fait les données dont nous disposons sont :

1) Les teneurs en (P_2O_5 , K, M.O.) de 51 échantillons sur une surface de 4 m^2 dont les variances calculées ($\mathcal{A}x^2$) figure dans le tableau de la page 17.

2) Dix mesures faites sur un seul échantillon, les variances calculées ($\mathcal{A}e^2$) pour le P_2O_5 , le potassium et le taux de la matière organique sont respectivement 0,0000648, 0,0000056, et 0,0017. Signalons que les variances pour les deux séries (Palaiseau, La Haizerie) sont les mêmes.

Ces données nous donneront un estimateur $\mathcal{A}e^2$ de σ_e^2 et un estimateur de $\mathcal{A}x^2$ de σ_x^2 .

Nous allons donc étudier le rapport entre la variance due à l'hétérogénéité et la variance due à l'erreur analytique qui est $\frac{\sigma_t^2}{\sigma_e^2}$

Considérons les variables $\frac{\sigma_x^2}{\Delta x^2}$ et $\frac{\sigma_e^2}{\Delta e^2}$; $\frac{\sigma_x^2}{\Delta x^2}$ est une variable de χ^2 à $N - I$ degrés de libertés et $\frac{\sigma_e^2}{\Delta e^2}$ est une variable de χ^2 à $N' - I$ degrés de libertés, le rapport de ces deux variables $\frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} \times \frac{\sigma_e^2}{\sigma_x^2}$ sera donc une variable F à $N - I$ degrés de libertés.

A l'aide des tables de F donnant la valeur $F_1 \ll F \ll F_2$ ayant la probabilité 0,05 d'être dépassée, on trouve que :

$$\text{Pro} \left[F_1 \ll \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} \times \frac{\sigma_e^2}{\sigma_x^2} \ll F_2 \right] \text{ est égale à } 0,90$$

F se situe entre les deux valeurs suivantes obtenues d'après la table de F (1). $0,45 \ll F \ll 2,8$

Effectivement on peut écrire : $0,45 \ll \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} \times \frac{\sigma_e^2}{\sigma_x^2} \ll 2,8$ ou

$$\frac{1}{0,45} \times \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} \gg \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \gg \frac{1}{2,8} \times \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2}$$

En utilisant l'équation (I), on obtient :

$$\frac{1}{0,45} \times \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} - I \gg \frac{\sigma_t^2}{\sigma_e^2} \gg \frac{1}{2,8} \times \frac{\Delta x^2}{\Delta e^2} - I$$

Pour caractériser ce calcul nous l'appliquerons à titre d'exemple sur les teuens en P_2O_5 (série de Palaiseau) dont les résultats d'ensemble sont présentés dans le tableau ci-contre.

La variance calculée pour 51 teneurs en P_2O_5 est $\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 0,00073$, également cette variance pour 10 dosages effectués sur un même échantillon de cette série est $s_e^2 = 0,0000648$.

Nous avons :

$$\frac{1}{0,45} \times \frac{0,00073}{0,0000648} - 1 \gg \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \gg \frac{1}{2,8} \times \frac{0,00073}{0,0000648} - 1$$

$$25 \gg \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \gg 3$$

Par conséquent σt^2 la variabilité d'hétérogénéité des échantillons montre que cette hétérogénéité est significativement plus importante que l'erreur analytique. Donc nous pouvons aborder par ailleurs l'étude de cette hétérogénéité.

TABLEAU 7

	Série de PALAISEAU	Série de la HAIZERIE
P_2O_5	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 11,66$ $3 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 25$	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 408$ $144 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 906$
M.O.	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 1,1$ $0,61 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 1,44$	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 40,4$ $13 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 88$
K	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 150$ $52 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 332$	$\frac{s^2}{\sigma_e^2} = 3808$ $1359 \ll \frac{\sigma t^2}{\sigma_e^2} \ll 8017$

Ainsi que nous le voyons dans le tableau 7., la part de variabilité, dans chacun de ces deux types de terrain, est beaucoup plus importante que celle revenant à l'erreur analytique. Il faut noter une exception, la distribution de la Matière Organique à Palaiseau où la variabilité de l'analyse, est de l'ordre de grandeur de celle de l'hétérogénéité.

Ce point est peut-être à rattacher à la faible teneur en Matière Organique de cette terre que laisse supposer une évolution rapide des débris avec un faible taux phosphaté.

Sur les échantillons nous pourrons alors tenter d'établir des liens entre les hétérogénéités et les divers constituants du sol.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE COMPARATIVE ENTRE CERTAINS ELEMENTS CHIMIQUES ET AVEC LE TAUX DE LA MATIERE ORGANIQUE.-

INTRODUCTION

L'étude statistique vient de mettre en évidence l'importance de la variabilité des éléments chimiques sur une surface de ($4m^2$). Cela nous conduit naturellement à chercher des corrélations entre ces éléments variables à la surface du sol. Donc à partir de ces données et bien que la distribution (cas matière organique Haizerie) ne satisfasse pas exactement la loi normale, nous allons néanmoins appliquer la méthode de corrélation.

En effet, l'utilisation de cette méthode lorsqu'elle donne des résultats positifs montre toujours l'existence d'une liaison entre les éléments mis en comparaison, et c'est seulement lorsqu'il n'y a pas de corrélation que l'on peut mettre en cause le principe même de la présentation ; donc ces données positives que nous allons obtenir restent variables elles-mêmes.

D'autre part, étant donné qu'il s'agit d'une série de corrélations, il aurait pu être avantageux de calculer une corrélation multiple, nous ne disposions pas de machine à calculer, néanmoins nous avons été obligé pour simplifier le problème de comparer la variabilité des éléments deux à deux de façon à mettre au moins en évidence des relations partielles pouvant exister entre eux.

CORRELATION ENTRE P_2O_5 , K et M.O.

Pour calculer les coefficients de corrélations, nous présenterons dans la page suivante un tableau d'exemples de corrélation entre le Potassium et la matière organique (1).

Les indices employés dans les tableaux sont les suivants :
variable x , variable $x - \bar{x}$, $y - \bar{y}$, produit de $(x - \bar{x})(y - \bar{y})$
les valeurs de $\sum(x - \bar{x})^2$ et $\sum(y - \bar{y})^2$ étant obtenues dans les tableaux précédents ne figureront pas dans le tableau suivant.

Nous comparerons nos résultats à la table des valeurs limites de r au seuil de probabilité $p = 0,05$ afin de mettre en évidence s'il y a une liaison entre ces éléments dosés.

Rappelons que la valeur limite de r à un degré de liberté de 50 est 0,27 (2) dont pour qu'il y ait une liaison significative les coefficients calculés doivent être supérieurs à 0,27.

(1) Pour les autres tableaux voir l'annexe

(2) Vessereau - Boeuf, Recherches et expérimentation en agriculture
1960, p. 477.

TABLEAU 8

CALCUL DE COEFFICIENT DE CORRELATION ENTRE K ET H.O
(surface de 4 m² Palaiseau)

X	Y	X - \bar{X}	Y - \bar{Y}	(X - \bar{X})(Y - \bar{Y})
0,26	2	+0,0489	-0,0003	-0,0000
0,21	2,05	-0,0011	+0,0497	-0,0000
0,25	1,97	+0,0089	-0,0003	-0,0012
0,19	1,97	-0,0211	-0,0003	+0,0006
0,21	1,93	-0,0011	-0,0703	+0,0000
0,16	2	-0,0511	-0,0003	+0,0000
0,25	1,99	+0,0089	-0,0103	-0,0004
0,21	2	-0,0011	-0,0003	+0,0000
0,20	1,99	-0,0111	-0,0503	+0,0006
0,21	2	-0,0011	-0,0003	+0,0000
0,24	1,97	+0,0289	-0,0003	-0,0009
0,20	1,97	-0,0111	-0,0003	+0,0003
0,20	2,02	-0,0111	+0,0197	-0,0002
0,21	1,97	-0,0011	-0,0003	+0,0000
0,23	1,91	+0,0189	-0,0003	-0,0017
0,21	1,95	-0,0011	-0,0503	+0,0000
0,20	2	-0,0111	-0,0003	+0,0000
0,23	2,08	+0,0189	+0,0797	+0,0015
0,24	2	+0,0289	-0,0003	-0,0000
0,26	2	+0,0489	-0,0003	-0,0000
0,23	2	+0,0189	-0,0003	-0,0000
0,22	2,02	+0,0089	+0,0197	+0,0002
0,20	1,99	-0,0111	-0,0103	+0,0001
0,25	2	+0,0089	-0,0003	-0,0000
0,23	1,93	+0,0189	-0,0703	-0,0013
0,30	2,02	+0,0089	+0,0197	+0,0018
0,21	1,99	-0,0011	-0,0103	+0,0000
0,18	1,99	-0,0311	-0,0103	+0,0003
0,16	2	-0,0511	-0,0003	+0,0000
0,13	2,08	-0,0811	+0,0797	-0,0065
0,22	2,05	+0,0089	+0,0497	+0,0004
0,20	2,05	-0,0111	+0,0497	-0,0006
0,21	1,99	-0,0011	-0,0103	+0,0000
0,20	2,00	-0,0111	+0,0797	-0,0009
0,20	2	-0,0111	-0,0003	+0,0000
0,23	2,05	+0,0189	+0,0497	+0,0009
0,16	2,05	-0,0511	+0,0497	-0,0025
0,22	2,04	+0,0089	+0,0397	+0,0004
0,26	1,95	+0,0489	-0,0503	-0,0025
0,21	1,99	-0,0011	-0,0103	+0,0000
0,21	1,91	-0,0011	-0,0903	+0,0001
0,18	1,95	-0,0311	-0,0503	+0,0016
0,20	1,95	-0,0111	-0,0503	+0,0006
0,19	2,11	-0,0211	+0,1097	-0,0023
0,23	2	+0,0189	-0,0003	-0,0000
0,22	2,04	+0,0089	+0,0397	+0,0004
0,19	2	-0,0211	-0,0003	+0,0000
0,19	2,05	-0,0211	+0,0497	-0,0000
0,15	1,97	-0,0611	-0,0003	+0,0019
0,21	2	-0,0011	-0,0003	+0,0000
0,21	2,04	-0,0011	+0,0397	-0,0000

$\Sigma(X - \bar{X})(Y - \bar{Y}) =$

$$\bar{x} = \overline{0,2111} \quad \bar{y} = \overline{2,0003}$$

d'après les tableaux précédents :

$$\sum(x - \bar{x})^2 = 0,0462 \quad \sum(y - \bar{y})^2 = 0,0970$$

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum(y - \bar{y})^2}} = \frac{0,0103}{\sqrt{0,0970 \times 0,0462}}$$

$$r = 0,15$$

TABLEAU 9

Cas étudiés	Corrélation entre: P ₂ O ₅ - M.O.	K - M.O.	P ₂ O ₅ - K
Palaiseau (terre en jachère)	r = 0,02 NS	r = 0,15 NS	r = 0,278 S
Haizerie (Ray Grass)	r = 0,39 S	r = 0,18 NS	r = 0,45 S

Le signe NS indique qu'il n'y a pas de corrélation
Le signe S existence d'une corrélation significative.

Conclusion

Ces résultats montrent que les facteurs qui ont agi sur la variation des teneurs ne sont pas toujours indépendants puisque dans trois cas on obtient une corrélation significative.

On sait que l'existence d'une corrélation n'indique pas nécessairement existence d'une liaison causale entre les grandeurs comparées. Il s'en suit que ces convergences peuvent s'observer dans un cas, non dans d'autres. C'est ainsi que la liaison de P₂O₅ et de la matière organique, significative à la Haizerie est pratiquement nulle à Palaiseau.

Or, il s'agit à Palaiseau d'une terre de culture où la matière organique évolue rapidement et à la Haizerie d'une terre de prairie récemment remise en prairie temporaire. On peut imaginer dans ce dernier cas

que la présence de l'acide phosphorique soluble, soit est lié à la matière organique qui aurait pu concentrer cet élément parce qu'elle est vivante, soit se trouve concentré par les déjections. Cette observation mériterait d'être reprise et étudiée à partir d'un nouveau programme d'échantillonnage.

En ce qui concerne la liaison de K et de Matière Organique, corrélation faible et non significative, nous n'en parlerons pas.

Quant à la liaison entre K et P_2O_5 toujours significative, on peut l'attribuer à la distribution d'engrais complexes qui de ce fait entraînerait les deux constituants étudiés au gré des actions aléatoires dépendant des irrégularités de la surface de l'action des instruments aratoires.

Quoiqu'il en soit, cette étude semble montrer qu'il est possible d'étudier de cette façon des conséquences, soit des conditions d'épandage, soit de l'action des cultures et de leur exploitation sur la distribution des éléments fertilisants.

Ces résultats montrent, d'une part qu'il existe des conditions d'hétérogénéité telles que les soins qu'on prend habituellement pour effectuer le prélèvement peuvent être insuffisants pour avoir un échantillon représentatif, d'autre part, que cette hétérogénéité peut servir de moyen d'étude.

TROISIEME PARTIE.

ETUDE DE LA VARIATION SYSTEMATIQUE DES
ELEMENTS FERTILISANTS EN FONCTION DE
LA PROFONDEUR.

INTRODUCTION.

Alors que nous avons effectué jusqu'à présent des prélèvements plus ou moins au hasard en surface de manière à mettre en évidence la distribution, les variations des teneurs en éléments nutritifs et des corrélations de certains entre eux sur une surface donnée, nous allons cette fois-ci étudier les différences de composition chimique susceptibles d'apparaître systématiquement dans un profil de sol. Ce profil sera soit le profil pédologique, soit le profil cultural, ce dernier cas permettant l'interprétation la plus rationnelle des résultats.

L'idée essentielle est de chercher s'il existe des différences systématiques de composition chimique entre les différents horizons que l'on peut mettre en évidence par l'examen immédiat sur le terrain.

En effet l'existence, par exemple, de la couche labourée laisse penser que cet horizon particulier du profil doit être notamment enrichi en certains constituants, alors qu'au contraire le sous-sol doit être plus pauvre. Toutefois, on peut trouver des cas plus ou moins exceptionnels, tel celui du défoncement pour la préparation du sol en vue de la plantation d'un verger.

Enfin, dans trois cas particuliers nous étudierons la distribution des éléments dans des sols remaniés, par exemple lors

de la constitution de planches destinées à assurer l'écoulement d'eau, et dans un autre cas un profil pédologique avec existence de plusieurs sols superposés. Évidemment, le fait que les échantillons ont été prélevés dans les horizons pédologiquement définis constitue déjà un élément de critique, puisque l'on peut comparer la variation des teneurs entre ces horizons.

Néanmoins dans les derniers cas qui ont été évoqués, nous avons essayé de tenir compte d'une autre donnée: la susceptibilité magnétique. En effet, cette grandeur peut varier assez systématiquement en fonction des processus de la pédogénèse et on pouvait espérer obtenir ainsi un troisième élément de comparaison, nous verrons que malheureusement les faibles variations de susceptibilité magnétique ne permettent pas toujours de tirer des conclusions.

ETUDE D'UN PROFIL DE SOL.

I-CAS DU PROFIL CULTURAL.

a-METHODE D'EXAMEN: Pour délimiter les couches du profil cultural, nous avons appliqué la méthode HEMIN(1).

b-PRELEVEMENT DES ECHANTILLONS ET ANALYSES CHIMIQUES: Nous avons pris un certain nombre d'échantillons suivant les couches distinguées afin d'effectuer les analyses suivantes : taux de matière organique, acide phosphorique assimilable, cations échangeables (Ca, Mg, K) et enfin mesure du pH.

II-CAS DU PROFIL PEDOLOGIQUE.

Nous avons essayé de définir les différents horizons pédologiques et pris un échantillon par horizon en vue d'effectuer les analyses ci-dessus.

III-CAS DE PROFILS DIVERS.

Toujours dans le même but nous avons voulu envisager l'aspect du problème dans un mélange de terre, dans des planches, et finalement dans un verger.

(1) Pour le principe de la méthode, voir l'annexe.

CHAPITRE I.

CAS DU PROFIL CULTURAL.

ETUDE D'UN PROFIL DANS UN CHAMP D'AVOINE.

APRES EXPLOITATION.

Ce profil a été prélevé à la date du 11/Sep/62 à Palaiseau, et nous avons distingué les horizons suivants:

L'horizon I de 0 à 25 cm de profondeur se caractérise par sa bonne structure.

L'horizon II de 25 à 50 cm se distingue par une terre tassée.

Nous avons prélevé deux échantillons de chaque horizon. L'étude détaillée du profil avec les résultats analytiques sont présentés dans le tableau 10 de la page suivante.

Les résultats nous montrent une grande variation des teneurs en éléments fertilisants et du taux de matière organique au niveau de la semelle de labour. L'horizon I est bien pourvu en P205, en K, et en M.O, par contre l'horizon II est moins bien pourvu notamment en acide phosphorique assimilable. On peut noter une légère augmentation de la teneur en Ca et aussi une accumulation de Mg en profondeur.

Toutefois, seuls certains constituants peuvent être considérés comme de bons indicateurs; il s'agit par exemple de P205, K, et M.O; au contraire Ca et Mg varient d'une façon irrégulière.

TABLEAU 10

prof/ cm	couleur humidité de la terre fine.	cailloux	structure	tâches panachures couleur concrétion	M.O. nature odeur	racines	faune	P205 %	M.O %	cations échangeables. meq/100 g de terre.			pH	
										K	Ca.	Mg	eau	KCl
0 à 15	brune humide	taille maximum 2 cm debris de verre, coquille d'huître, résidus de charbons	bonne tendance grumelleuse en surface.		résidus de pailles non décom- posés	abon- dantes	vers de terre abon- dants.	0,03	1,87	0,43	13,5	0,75	6,2	5,
15 à 25								0,03	1,76	0,42	13,5	0,76	6,4	5,3
Le fond de labour														
25 à 40 40 à 60	jaune moins humide		compacte	des tâches rouilles		peu de racines	vers de terre très abon- dants	0	0,92	0,28	14,7	1,04	6,1	5,
								0	0,68	0,33	16,3	1,74	6,1	5,

ETUDE D'UN PROFIL DANS UN CHAMP DE BLE
APRES LA MOISSON.

A la date du 11/Sep/62 nous avons prélevé un autre profil à Palaiseau, et en fonction du profil nous avons distingué deux horizons:

l'horizon de 0 à 20 cm qui présente une bonne structure;
l'horizon de 20 à 60 cm qui se différencie du premier par sa structure compacte. La semelle de labour nettement caractéristique se situe entre les deux.

Nous observons (tableau 11) qu'en fonction de la profondeur, le phosphore, le potassium, et le taux de matière organique marquent une variation décroissante, par contre le calcium et le magnésium s'accumulent dans les horizons profonds.

La différence des teneurs en P₂₀₅ et en potassium des horizons 20 - 40 cm et 40-60 cm conduit à supposer que cette terre a été labourée plus profondément dans le passé et que ces horizons sont enrichis à la suite de ce fait; une autre hypothèse serait celle d'une migration, mais elle nous paraît peu probable.

TABEAU 11.

prof/ cm	humidité couleur	cailloux	structure	tâches panachures couleur concrétion.	M.O. aspect nature odeur.	racines	faune	M.O %	P205 ‰	cations échangeables. meq/100g de terre.			pH	
										K	Ca	Mg	eau	K
0 à 20	brune assez humide	quelques morceaux de tuiles	bonne structure		résidus de chaumes non décomposés.	chevelu racinaire. importante.	vers de terre abondants	1,6	0,04	0,36	9,6	0,66	6,2	5,
----- Semelle de labour -----														
20 à 40 40 à 60	jaune	râres	compacte	quelques tâches de rouille		très peu de racines à 20-40 pas de racines à 40-60	vers de terre avec de galeries abondantes	0,9	0,02	0,26	10	0,54	6,1	5,
								0,6	0,009	0,28	12,5	1,12	6,1	5,

ETUDE D'UN PROFIL DANS UN CHAMP DE
POMMES DE TERRE.

Voici encore un autre profil à Palaiseau que nous avons prélevé à la date du 5/Juin/1962 dans la parcelle voisine du lieu dit "le pilcu".

La terre était en culture de pommes de terre ; au stade du premier "buttage" la hauteur des plantes ne dépassaient pas 20 centimètres.

Le tableau 12 nous donne les trois couches qui se différencient les unes des autres par leur état structural. Nous avons pris deux échantillons de la couche 14 à 35 cm et un seul des autres pour l'analyse.

La semelle de labour apparaît à 35 cm de la profondeur, si bien que jusqu'à ce niveau les teneurs en éléments chimiques et le taux de matière organique restent presque constants. A partir de la semelle de labour on peut noter une légère baisse de la teneur en calcium et une importante baisse pour le taux de matière organique, P205, et pour le potassium. Quant au magnésium, sa teneur augmente.

TARLEAU 12.

prof/ cm	humidité couleur	cailloux	structure	tâches panachures concrétion couleur	M.O nature aspect odeur	racines:	faune:	M.O. %	P2O5 ‰	cations échangeables. meq/100g de terre.			pH	
										K	Ca	Mg	eau	KCl
0 à 14	brune assez humide	très peu de cailloux	trace de binage bonne structure		debris de végé- taux.	abondan- tes.	vers de terre	2,51	0,21	0,91	17,5	0,62	7,1	6,5
14 à 24 24 à 35	brune assez humide	peu de cailloux	bonne structure	grises et brunes:	idem	idem		2,75	0,22	1	17,6	0,62	7,1	6,5
				dépôt de limon			très nombr- euses galeri- es de vers de terre	2,46	0,21	1	16,6	0,62	7	6,4
35 à 55	jaunâtre		très compacte		Semelle de labour		quels galeri- es de vers de terre	1,75	0,04	0,4	16,2	1	7	6,4

CONCLUSION GENERALE SUR LES PROFILS ETUDIES

A PALAISEAU.

Les trois profils culturaux sous des cultures différentes nous fournissent un certain nombre d'informations utiles lors de leur examen immédiat, notamment une connaissance préalable de leur composition chimique.

Le sol se différencie de manière caractéristique du sous-sol non seulement par sa structure, mais aussi par le taux de matière organique en particulier, car:

1°-les racines se développent plus dans le sol que dans le sous-sol, 2°-l'enfouissement des débris de cultures et du fumier augmentera toujours ce taux dans la partie travaillée de la terre.

Si l'on considère les éléments minéraux, deux d'entre eux apparaissent comme des marqueurs très précis, l'acide phosphorique et le potassium dont les teneurs varient de 1,5 à 3 et à 1 entre sol et sous-sol. Par contre, calcium et magnésium varient beaucoup moins; il y a néanmoins, une tendance à l'enrichissement en Mg avec la profondeur.

Cet ensemble des résultats constitue un syndrome permettant de faire correspondre le diagnostic chimique et le diagnostic physique.

ETUDE D'UN PROFIL SOUS UNE PRAIRIE DE
RAY-GRASS D'ITALIE.

La tranchée a été creusée à la date du 29/Mai/1962 à la Haizerie (domaine de l'I.N.A).

La terre portait une prairie de ray-grass d'Italie de trois ans d'âge, et elle avait été labourée un an avant, de la mise en place du ray-grass.

Ainsi que l'on voit dans le tableau 13, pour ce profil nous avons distingué trois horizons caractéristiques: Ces trois horizons montrent une certaine différenciation du point de vue chimique. Il y a très peu de variation entre le premier et le second horizon; en réalité ils sont l'un et l'autre bien exploités par les racines; et c'est en particulier leur abondance qui caractérise l'horizon superficiel.

La teneur des éléments chimiques comme P2O5, K, et Mg baisse régulièrement en fonction de la profondeur, il en est de même pour la matière organique, seul calcium varie d'une façon irrégulière.

La semelle de labour n'apparaît pas nettement à l'examen direct; par contre elle est très bien marquée par le profil chimique qui fait au contraire apparaître une différence très nette des teneurs entre les prélèvements supérieurs et inférieurs à ce niveau; d'ailleurs, le troisième horizon est très individualisé lors de l'observation par sa structure assez particulière.

On trouve donc un exemple montrant que les différences de milieu peuvent s'estomper dans certains cas, peut-être est-ce dû à la teneur en matière organique qui libère des éléments assimilables bloqués lors de la constitution des stocks d'humus.

prof/ cm	Texture humidité couleur.	cailloux	structure	tâches panachures couleur concrétion	M.O aspect nature odeur.	Racines	Faune	M.O. %	P205 ‰	cations échan- geables. meq/100g de terre.			pH	
										K	Ca	Mg	eau	KCl
0 à 10	brune assez humide	nombreux taille variables 1-8 cm	grumelleuse		peu décom- posée peu d'odeur	abon- dantes.	vers de terre imagos de coléop- tères	7,03	0,6	0,36	48,7	1,45	7,3	6,9
10 à 25	brune plus humide	taille variables	iden		non ou peu décom- posée.	peu de racines	nomb- reux vers de terre fournis rouges	6,7	0,58	0,37	50,8	1,44	7,3	6,9
25 à 45	brune moins humide	nombreux cailloux de calcaires quelques schistes	caillonneuse	jaunes et blanches		quelques racines	pré- sence de vers de terre	3,7	0,45	0,28	46	0,87	7,7	7,1

ETUDE D'UN PROFIL SOUS UN JEUNE SEMIS
DE RAY-GRASS.

Ce profil a été prélevé à la Haizerie (Vaux-sur-Aure) sous une prairie de jeune semis de ray-grass d'Italie variété "rena" à la date du 14 /Mars/1963; nous avons distingué deux horizons, l'un de 0 à 25 cm caractérisé par une bonne structure, l'autre de 25 à 45 cm par sa structure compacte.

A la suite des résultats analytiques décrits (Tableau 14) nous observons que les deux échantillons prélevés (de 0 à 20 et de 20 à 25 cm) sont différenciés par les teneurs en P205 et en K, bien qu'ils soient de même structure.

On a pu observer dans ce profil au niveau de 20-25 cm une zone de transition qui correspond à un certain tassement du sol peu net; peut-être qualifié de semelle de labour, cette zone présente une richesse en matière organique et en éléments chimiques (P205, K, Mg,) tandis qu'en dessous d'elle le sol est très appauvri.

Il en résulte une concordance étroite entre le profil cultural et le profil chimique, elle apparaît même dans la zone de transition qui est peu nette à l'observation directe; l'état chimique détecte cette discontinuité et nous montre qu'elle doit être formée par la partie supérieure d'un ancien profil cultural inversé au cours du labour.

TABLEAU 14.

prof/	Texture humidité couleur	Cailloux	structure	Tâches panachures. concrétion couleur	M.O. aspect nature couleur	Racines	Faune	M.C. %	P205 ‰	Cations échangeables. meq/100 g de terre.			pH	
										K	Ca	Mg	eau	KCl
0 à 20	brune humide	quelques cailloux apportés	prismatique.		débris de maïs non décomposés.	abondantes jusqu' à 10cm	vers de terre coléoptère	4,28	0,87	1,80	15	1,5	7,6	7
20 à 25					accumulation de M.O.			4,56	1,07	2,03	14,5	1,75	7,5	6,8
Le sond de labour														
25 à 45	jaune assez humide	quelques cailloux	très compacte				nomb- reux vers de terre	1,06	0,11	1	10,2	1,5	7,3	6,7

ETUDE D'UN PROFIL SOUS UN RAY-GRASS D'ITALIE

Dans la parcelle voisine, 100 mètres au sud-ouest du celle du précédent, à la même date nous avons prélevé également un profil sous une prairie de ray-grass de deux ans d'âge.

La semelle de labour apparaît à une profondeur d'environ 20 centimètres.

D'après le tableau 15 de la page suivante on constate que la matière organique, l'acide phosphorique, le potassium et le calcium baissent régulièrement en fonction de la profondeur, par contre, cette variation est décroissante pour le magnésium.

TABLEAU 15

prof/ cm	Texture humidité couleur.	Cailloux	Structure	Tâches panachures. couleur concrétion.	M.O aspect nature odeur	Racines	Faune	M.O %	P205 ‰	Cations échangeables. meq/100g de terre.			pH	
										K	Ca	Mg	eau	KCl
0 à 15	brune très humide	silex lames de mica	grueteuse	tâches rouilles	débris de végétaux, surtout maïs	extremement abondantes.	nombreux vers de terre	4,35	0,34	0,28	12	175	6,9	6,2
15 à 20								2,05	0,29	0,28	11,5	1,38	7	6,4
Semelle de labour														
20 à 40	jaunâtre assez humide.		compacte			quelques racines	quelques vers de terre	1,65	0,04	0,15	10,2	2	7,3	6,7

CONCLUSION GENERALE SUR LES PROFILS DE LA MAIZERIE.

La comparaison de ces trois profils présente un intérêt tout à fait particulier en ce qui concerne la distribution de la matière organique.

On remarque que les teneurs sont assez élevées en général, ce fait peut être attribué au climat et probablement au passé cultural des sols ayant été très longtemps en prairie.

La distribution du phosphore et du potassium présente les mêmes aspects que nous avons vus dans les profils de Palaiseau, bien que les différences soient atténuées (profil 13), dans ce cas la variation de Mg est même inversée, mais il s'agit là d'une exception et en général l'allure des profils confirme celle décrite à Palaiseau.

CHAPITRE II

CAS DU PROFIL PEDOLOGIQUE .

ETUDE D'UN PROFIL SOUS PEUPELEMENT SPONTANE

Etabli après exploitation de
pineraie, à Bourbon-Lancy Août

1968

Le profil étudié dans cette station forestière es un profil pédologique, c'est à dire, qu'il concerne les horizon du sol différenciés par des facteurs naturels exclusivement e non plus par intervention des facteurs culturaux. En effet, cet terre a été cultivée il y a 100 ans, mais il y a 80 ans elle été plantée en pins et exploitée en 1943; une couverture fores tière s'est établie spontanément, elle forme un peuplement très clair avec chênes, bouleaux, châtaigniers.

Le profil comporte les horizons suivants:

- (I- de 0 à 10 cm de profondeur, la partie superficielle, couche humifère d'une couleur brune-structure monoparticulaire, I (c'est l'humus forestier.
 - (2- de 60 à 120 cm, sable jaune -structure monoparticulaire.
 - (3- A 200 cm de profondeur, horizon humifère enterré.
- II-
- (4-A 250 cm de profondeur, sable blanc (peut-être ancien A₁

(5-A 300 cm -horizon enterré - sable gris foncé.

III-(6- A 350 cm - sable blanc jaunâtre.

(7- A 350 cm -sable rouge, concrétion sable humifère
emballé par du sable blanc.

Ce profil paraît constitué de 3 profils superposés qui se seraient développés sur des apports successifs de sables.

Le 1^{er} profil est présenté par les prélèvements 1 et 2, la différenciation est simplement liée au développement d'une couche humifère superficielle.

Le II^e il en est de même avec ce qui paraît être le second profil représenté par les prélèvements 3 et 4 où là encore il s'agirait simplement du développement d'un horizon humifère sur une couche sableuse.

Le III^e profil est constitué par les prélèvements 5, 6, et 7. L'horizon du prélèvement 5 représenterait à nouveau un horizon A enterré et les horizons des prélèvements 6 et 7 représenteraient des éléments d'accumulation. Le prélèvement 7 est un ensemble peu différencié de sable jaunâtre.

Nous avons prélevé 7 échantillons en fonction de la profondeur et nous les avons soumis à l'analyse; les résultats analytiques se présentent dans le tableau 16. Nous n'avons observé que des traces de cations échangeables, aussi nous ne les avons pas fait figurer dans le tableau. Nous avons effectué une dernière mesure supplémentaire, celle de la susceptibilité magnétique. D'après ces données nous allons discuter les résultats obtenus et nous en tirerons des conclusions.

TABLEAU 16 - VARIATION DES TENEURS EN
FONCTION DE LA PROFONDEUR.

Echantillons.	P205 ‰	M.O. %	Susceptibilité magné- tique .en u.c.m par oestedt et par g de terre.
de 0 à 10 cm humus forestièr.	0,155	13,1	$(15 \pm 2) \times 10^{-6}$
de 80 à 120 cm sable jaune.	0,045	0,25	$(7,5 \pm 2) \times 10^{-6}$
à 200 cm -Horizon humifère sur sable jaune.	0,055	0,43	$(8,5 \pm 2) \times 10^{-6}$
à 250 cm sable blanc .	0,070	0,19	$\leq 2 \times 10^{-6}$
à 300 cm, Horizon A, enterré sable gris foncé.	0,045	2,44	$(15 \pm 2) \times 10^{-6}$
à 350 cm. sable blanc jaunâtre emballant les concrétions rouges.	0,035	0,20	$\leq 2 \times 10^{-6}$
à 350 cm . sable rouge, concrétions de sable humifère.	0,13	1,03	$(8,5 \pm 2) \times 10^{-6}$

L'examen de ces résultats confirme l'observation immédiate effectuée sur le sol en place. En effet, on constate que deux horizons considérés comme horizons supérieurs sont marqués par une teneur en matière organique supérieure aux horizons qui sont considérés comme de la roche-mère plus ou moins évoluée. Une exception remarquable, les concrétions sablo-humifères "prélèvement 7" où l'on constate une augmentation de la teneur en matière organique, liée à la formation d'horizon d'accumulation. D'une façon générale, la détermination des teneurs en acide phosphorique assimilable qu'on rapporte à ces conclusions sauf pour le prélèvement 3, nous trouvons 0,05 pour mille, par contre 0,07% pour le sable qui n'a pas évolué. Il est difficile d'interpréter cette différence qui paraît être une erreur analytique.

En ce qui concerne la 3^e série de prélèvement "5, 6, 7", on trouve bien encore une teneur en phosphore plus élevée dans le prélèvement 5 correspondant à l'horizon supérieur de ce profil et un appauvrissement très net dans le prélèvement 6 qui représente l'horizon inférieur plus ou moins lessivé, mais on constate, comme on pouvait s'y attendre, une teneur particulièrement élevée dans l'horizon d'accumulation pour ce matériel du moins en acide phosphorique relativement soluble.

On pourrait penser que la discordance constatée entre les prélèvements 3 et 4 concernant l'acide phosphorique peut mettre plus ou moins en question le diagnostic, c'est là fort heureusement que la mesure de susceptibilité magnétique

vient confirmer nos conclusions.

Monsieur LE BORGNE qui a bien voulu effectuer ces mesures avait montré dans sa thèse que systématiquement dans les sols: l'horizon humifère superficiel possédait une susceptibilité magnétique plus élevée que les horizons sous-jacents non humifère, à condition, bien entendu, qu'il n'y ait pas de magnétite parmi les sables constituant le milieu.

Bien que les mesures soient ici à la limite de la sensibilité, on constatera que les prélèvements 1, 3 et 5 présentent tous une susceptibilité magnétique supérieure aux horizons 2, 4, 6 et 7 qui sont des horizons considérés comme horizon de profondeur, ainsi l'ensemble de diagnostic se trouve confirmé grâce à la superposition à la fois des caractères physiques immédiats qui ont conduit à choisir ces prélèvements et des caractères chimiques qui sont venus confirmer les hypothèses déduites immédiatement des apparences du matériel et qui avaient conduit à décrire l'aspect de ce profil.

Evidemment, il se pose un problème, celui de la concentration de l'acide phosphorique dans la couche superficielle il est assez raisonnable de penser que sous l'influence de la végétation l'acide phosphorique prélevé dans la masse du matériel a été concentré en surface à mesure que s'accumulait la litière (les feuilles), c'est ainsi que s'est différencié l'horizon superficiel. Une exception toutefois, lorsqu'il y a eu par la suite migration des éléments par lessivage, ce qui est le cas pour le prélèvement 7 qui se présente sous l'aspect de

concrétions noyées dans le sable jaune, il y a eu à nouveau accumulation de l'acide phosphorique entraîné en même temps que le fer et le manganèse qui constituent le sédiment de ces concrétions, ainsi d'ailleurs qu'une certaine quantité de matière organique.

Nous pouvons conclure que là encore la comparaison des tests chimiques et des tests physiques ou des caractères externes permettent de confirmer les diagnostics effectués sur le terrain.

CHAPITRE III.

CAS DIVERS

1 -ETUDE D'UNE SERIE DE PROFILS NOUVELLEMENT
REMANIES LORS DE LA MISE EN PLANCHE DE
TERRAIN EN VUE DE L'ASSAINISSEMENT .

INTRODUCTION.

Afin de préciser la valeur du diagnostic que pouvait présenter la comparaison du profil chimique et du profil cultural, nous nous sommes adressés à une série de matériaux provenant de travaux récents bien identifiés concernant des terres en planches.

Alors que dans un profil cultural normal les travaux sont certes récents, ils n'affectent qu'une couche relativement faible de sol, dans les travaux de mise en planche les modifications sont cette fois-ci beaucoup plus profondes. Il y a parfois inversion de profil et il s'agissait par conséquent de voir dans quelle mesure on pourrait décrire ou retrouver une histoire assez bien connue de la transformation des sols.

a-ETUDE D'UNE MISE EN PLANCHE ANCIENNE

Dans l'Ile d'Elle en

VENDEE.

Il s'agit d'une mise en planche ancienne remontant à 50 voire 100 ans. Depuis quelques années ce terrain est en friche.

L'étude du profil cultural permet de distinguer trois zones caractéristiques:

Zone I: de 0 à 45 cm la zone de terre apportée se divise en deux sous-zones:

0 à 30 cm, zone différenciée par la structure botteuse;

30 à 45 cm, zone à structure plus compacte;

entre les deux, une semelle de labour assez ancienne (mais plus jeune que la mise en planches, évidemment).

Zone II: de 45 à 55 cm, zone plus noire correspondant à l'ancienne couche superficielle.

Zone III: 55 centimètres au dessous, sous-sol ancien.

Ces différentes zones sont également marquées sur le plan chimique. Ce qu'il est intéressant d'observer dans ce profil, c'est la reconstitution dans la terre apportée, d'un nouveau profil cultural différencié auquel correspond un profil chimique.

TABLEAU 17. VARIATION DES TENEURS EN FONCTION
DE LA PROFONDEUR.

ZONES	Profondeur cm	P2 O5 %	M.O. %	Ca meq/ 100	Mg meq/ 100	K meq/ 100	susceptibilité magnétique.
Couche du sol	de 0 à 5	0,17	7,21	41,25	3,75	1,15	$(17,5 \pm 2) \times 10^{-6}$
Zone différenciée par sa structure motteuse	de 12 à 30	0,085	4,23	44,5	4	0,50	$(15 \pm 2) \times 10^{-6}$
semelle de labour ancienne							
Sous-sol plus compact	de 30 à 38	0,047	1,53	44,5	3,25	0,53	$(15 \pm 2) \times 10^{-6}$
Couche superficielle noire, ancien sol	de 45 à 55	0,12	3,85	40,75	3	0,48	$(13 \pm 2) \times 10^{-6}$
Sous-sol gris bleu	de 55 à 70	0,055	0,89	35	2,5	0,63	$(15 \pm 2) \times 10^{-6}$

Ile d'Elle
8/Août/1963

Le résultat est ici encore particulièrement intéressant. Les trois premiers prélèvements correspondent aux profils reconstitués sur le matériel sorti de fossés et ayant conduit à l'élévation du niveau du terrain. La variation de la teneur en acide phosphorique et de la teneur en matière organique montrent très clairement que nous nous trouvons en présence d'un profil qui a évolué sous une végétation permanente avec probablement une ancienne semelle de labour qui

s'est située vers 30 centimètres de profondeur.

En effet, les deux premiers horizons jusqu'à 30 cm se distinguent clairement sur le terrain par leur propriété culturale et se distinguent également à l'analyse chimique d'après leur teneur très élevée en acide phosphorique. Ce qui permet de dire qu'il y a une végétation spontanée assez ancienne, c'est l'enrichissement de la couche 0 à 5 cm en matière organique, en acide phosphorique et même en potasse.

Au contraire, la couche de 30 à 58 cm qui représente un ancien sous-sol se trouve nettement plus pauvre en éléments fondamentaux. A partir de 45 cm nous nous trouvons devant un ancien profil enterré dans la couche supérieure de 10 cm environ et très nettement différencié au point de vue chimique par les teneurs élevées en acide phosphorique, en matière organique la potasse est un peu moins concentrée à ce niveau mais il faut remarquer que cet horizon est très riche en cet élément et il est difficile là, d'interpréter cette différence de teneur.

Dernier élément: la susceptibilité magnétique a été déterminée. Ici cette mesure physique ne nous donne aucun recours car les différences que l'on observe sont au-dessous de la précision de la mesure. Mais il faut dire aussi que cette circonstance correspond bien aux résultats obtenus précédemment par Monsieur LE BORGNE qui avait en effet montré qu'à partir du moment où on se trouve dans un milieu très humide les différences de susceptibilité magnétique sont susceptibles de varier d'une façon assez anarchique, un excès d'humidité dans

les conditions réductrices provoquant, du moins dans le cas le plus général, une baisse de cette propriété. Ainsi nous pouvons conclure que l'étude chimique en particulier la présence de l'acide phosphorique et de la matière organique constitue bien ici un test fondamental permettant de confirmer les diagnostics basés sur les caractères morphologiques et que si la susceptibilité magnétique ne nous apporte pas grand chose, c'est que son utilisation dans ces conditions précises était vouée à un succès. Si toutefois nous avons pensé l'employer, c'est que la couche supérieure de ce profil de 0 à 5 cm avait été brûlée récemment et que dans ces conditions, généralement, la susceptibilité magnétique augmente, mais seulement quand le sol voit sa température légèrement élevée par le traitement. Or, d'après l'aspect du terrain on a simplement brûlé rapidement les matières organiques et ceci explique pourquoi ce traitement n'a pas eu l'effet que l'on pouvait escompter.

b-ETUDE D'UNE MISE EN PLANCHE RECENTE

Dans les marais de St-Thomas
en Charente Maritime

Il s'agit d'une mise en valeur de marais pour laquelle on a décidé de pratiquer un travail en planche.

Ces planches constituent un modelé du sol créé par l'agriculteur en vue d'assainir les champs. Elles sont construites en apportant une masse importante le long d'un axe parallèle à celui de l'écoulement des eaux qui sont ainsi facilement évacuées.

Dans le marais de St-Thomas, il s'agit des planches de 4 ans cultivées en prairie temporaire.

L'observation du profil cultural permet de diagnostiquer très nettement trois zones suivantes:

-En surface sur 38 centimètres d'épaisseur, la terre apportée au cours de la fabrication des planches.

-Entre 38 et 45 centimètres de profondeur une zone qui constitue l'ancien sol cultivé en planche également.

-Au-dessous de 45 centimètres se situe l'ancien sous-sol.

Rappelons que les trois zones observées sont aussi très marquées.

TABLEAU 18. VARIATION DES TENEURS EN FONCTION
DE LA PROFONDEUR.

	Profondeur cm	P205 ‰	M.O. %	Ca mcc/ 100	Mg meq/ 100	K meq/ 100	Susceptibilité magnétique.
Niveau du sol.	de 0 à 18	0,055	2,65	22,5	9,5	1,08	$(15_{-2}) \times 10^{-6}$
	de 18 à 33	0,045	1,46	27,75	8	1,32	$(17,5_{-2}) \times 10^{-6}$
Niveau de l'ancien sol.	de 33 à 45	0,085	1,72	17,75	7,75	1,70	$(17,5_{-2}) \times 10^{-6}$
Ancien sous-sol.	de 60 à 66	0,035	0,70	12,5	7,5	1,43	$(17,5_{-2}) \times 10^{-6}$

Marais St-Tho

7/Août/ 196

Bien que le travail aît été effectué récemment, on peut néanmoins constater que la nouvelle couche labourée qui s'est différenciée sur la planche en dépis du brassage qui a été provoqué par ce travail, est tout de même déjà nettement apparente. La matière organique, certes se distingue d'une façon sensible, mais on pouvait s'y attendre puisque pendant les trois années sur quatre ces planches ont déjà porté une prairie

Par contre, on observe une légère élévation de la teneur en acide phosphorique qui, à priori, était moins probable puisque la mise en culture est relativement récente. Par contre, entre l'ancien sol et l'ancien sous-sol, les différences de teneurs en matière organique sont extrêmement marquées de même d'ailleurs que plus encore les différences de teneurs en acide phosphorique puisqu'on passe de 0,085% dans le sol à 0,035% dans le sous-sol.

Ici encore, la susceptibilité magnétique n'est d'aucun secours puisque les différents horizons ont rigoureusement cette fois-ci la même susceptibilité. A vrai dire, il était peu vraisemblable dans ces conditions que ces propriétés puissent faire apparaître des différences sensibles et c'est plutôt dans le but de voir dans quelle mesure elle pourrait nous apporter des compléments d'information que nous l'avons à nouveau étudié. Nous constatons que si son application a été un succès dans l'étude des horizons pédologiques, par contre dans l'étude des horizons culturaux sa sensibilité est insuffisante à côté des informations fournies par les tests chimiques.

2 - ETUDE DE DEUX CAS PARTICULIERS.

INTRODUCTION.

Afin de vérifier l'utilité que pouvait présenter la comparaison de l'étude chimique et l'étude morphologique d'un profil, nous nous sommes adressés à deux cas :

L'un relativement classique, celui d'une terre défrayée pour la préparation d'un verger.

L'autre cas plus délicat à interpréter, la remontée d'une semelle de labour dans un profil à la suite d'un approfondissement de travail du sol.

Nous allons étudier ces deux cas séparément.

A - ETUDE D'UN PROFIL DANS UNE TERRE DE VERGER.

Ce profil a été prélevé à la date d'Août 1963 dans un verger près de Peage du Roussillon, nous avons distingué les zones caractéristiques suivantes :

- Zone superficielle - le sol qui a une structure grumeleuse grossière, d'une profondeur de 15 centimètres.
- Zone de 10-40 centimètres, une zone peu structurée assez continue.

qui se disloque en mottes (quelques mottes grumeleuses).

-Zone de 40-45 centimètres -sous-sol défoncé, la limite de défoncement nettement observée.

-Zone de sous-sol profond -supérieur à 45 centimètres de profondeur a la même structure que zone de 15-40 centimètres avec une différence: sa structure est plus dure et les mottes plus grosses et plus anguleuses. Trois échantillons ont été prélevés: sol , sous-sol défoncé, et sous-sol profond; le tableau 19 montre les variations de taux de la matière organique et les éléments chimiques en fonction de la profondeur.

TABLEAU 19 .VARIATION DES TENEURS EN FONCTION
DE LA PROFONDEUR.

Zones	Profondeur cm	P205 ‰	M.O. %	Ca meg/ 100'	Ng meg/ 100'	K meg/ 100'
Sol	de 0 à 15	0,285	1,91	40,25	0,75	0,42
Sous-sol défoncé	de 40 à 45	0,15	1,07	42,87	0,50	0,16
Sous-sol	de 45 à 70	0,055	0,58	45,87	0,75	0,11

Près Péage du Roussillon.
Août/ 1963.

L'examen des résultats de l'analyse chimique conduisent à nouveau aux mêmes conclusions que précédemment. En effet,

Néanmoins, l'acide phosphorique paraît confirmer les données de l'examen morphologique. En effet, on constate que la semelle de labour est essentiellement plus riche en acide phosphorique que la terre elle-même: 0,29 % contre 0,25 %; or les mottes anguleuses ont une teneur en acide phosphorique de 0,31% qui se rapproche nettement de celle de la semelle de labour.

Les autres éléments, potasse, matières organiques, sont beaucoup moins précis.

Notons cependant que la teneur en matières organiques de mottes anguleuses est plus proche de celle de la semelle de labour que celle du terrain même. Nous sommes ici à la limite de précision expérimentale. Toutefois la conclusion est certaine, ces mottes appartiennent au sol ou à la semelle de labour mais certainement pas au sous-sol, car cette fois-ci toutes les valeurs caractéristiques trouvées pour le sous-sol sont nettement inférieures à celles que nous venons de trouver pour le sol. Nous nous trouvons là probablement à la limite des possibilités de la méthode, néanmoins on constate qu'on peut encore l'appliquer à des cas où le problème posé est beaucoup plus fin de ce que nous avons rencontré jusqu'alors, puisqu'il s'agit cette fois-ci de caractériser non plus des couches entières du sol, mais simplement des accidents que l'on peut séparer du terrain uniquement par une étude attentive à l'oeil.

QUATRIEME PARTIE
=====

PHOSPHORE ET SES DIFFERENTES FORMES

DANS LE SOL.

INTRODUCTION.

Après avoir étudié la distribution des éléments chimiques dans le sol et constaté qu'en fonction de divers horizons du profil cultural des différences sensibles des teneurs en éléments fertilisants apparaissaient, nous avons voulu effectuer une étude systématique de ces distributions. Celle-ci nous intéresse à divers points de vue:

Tout d'abord il est toujours utile de pouvoir rattacher une tendance à la concentration des éléments fertilisants en fonction d'accidents pédologiques et il s'agit ensuite d'établir dans quelle mesure il peut exister une liaison entre ces accidents pédologiques ou agronomiques, par exemple une semelle de labour, et la distribution de ces éléments fertilisants.

Dans ce but il nous fallait choisir un certain nombre de situations assez variées et examiner comment se distribuaient les éléments fertilisants en fonction de divers horizons pédologiques ou culturaux dans ces différents profils. N'ayant aucune hypothèse de travail

à priori, nous nous sommes adressés à un certain nombre de profils plus ou moins accessibles, notre seul choix a consisté à retenir ceux d'entre eux qui étaient suffisamment variés pour que notre enquête prenne une certaine extension.

Disposant de ce matériel, le problème consistait alors à obtenir des résultats que l'on puisse non seulement interpréter en fonction du point de prélèvement mais en fonction de l'état de l'élément dans le sol. Nous limiterons cette étude au cas du phosphore qui apparaît comme le marqueur le plus fidèle du passé cultural.

Dans ce but nous avons tout d'abord utilisé une séparation par densité nous permettant ainsi de localiser le phosphore qui pouvait être entraîné par les éléments organiques, les racines en particulier, et le phosphore qui pouvait être entraîné soit à titre d'anion à travers le sol, soit plus probablement avec l'argile ou les sesquioxides au cours de la migration de ces constituants.

Pour effectuer cette séparation nous avons utilisé la méthode de Monnier et Turc (1), on disposait alors pour chaque profil d'autant de paires d'échantillons qu'il y avait d'horizons: là des échantillons étant constitués par la matière légère donc riche en produits organiques peu évolués, l'autre par la fraction lourde contenant l'acide phosphorique lié à la matière organique et le phosphore lié à la matière minérale.

(1) Annales Agros 1962 . p 55 .

Bien que nous disposions ainsi déjà d'une première séparation susceptible de permettre une interprétation des résultats nous avons tenu à la compléter en nous efforçant de mieux préciser les états du phosphore, nous nous sommes vus contraints pour cela à une méthode qui connaît à l'heure actuelle une certaine vogue dans les milieux agronomiques la méthode de Chang et Jakson (1). Nous décrirons cette méthode plus loin (2) mais rappelons dès à présent que son principe consiste à soumettre un échantillon de terre à une série de traitements qui dans des conditions précises se sont montrés avoir une action dissolvante spécifique sur les divers constituants phosphoriques du sol.

Cette réserve est importante, car l'expérience montre que ces méthodes qui dans certaines conditions se présentent comme spécifiques ne conservent malheureusement pas ce caractère quand on l'applique dans des conditions différentes par exemple vis à vis de mélange et beaucoup plus encore à des matériaux mal cristallisés voir même ^{fran} ~~même~~ ^{emer} amorphes. Or nous ne savons pas quel est l'état exact de ces matériaux dans le sol, leur teneur est souvent beaucoup trop faible pour que l'on puisse par exemple à l'aide de rayons X constater leur présence, on ne peut donc que se fier qu'à la référence, c'est à dire aux résultats obtenus par les auteurs de la méthode, sur des matériaux définis.

Tous les échantillons qui ont été prélevés et les deux fractions organiques et minérales ont été soumises à cette méthode et

(1) Mise au point par Dabin . Cahier de pédologie de l'O.R.S.T.O.M. 1963 .

(2) Voir l'annexe.

nous verrons apparaître des différences extrêmement nettes, soit fraction organique ou la fraction minérale, soit en fonction de l'ondeur entre les teneurs en différentes formes de phosphore. faits nous montrent que cet élément est effectivement présent sous formes diverses, mais c'est seulement par hypothèse que l'on peut qu'il s'agit du phosphate de fer, d'alumine, de chaux, etc ... suivant les conclusions de la méthode.

CHAPITRE I.

ETUDE D'UN PROFIL SOUS UNE PELOUSE NATURELLE .

Ce profil a été prélevé à la date du 24/Nov/1964 à Fontaine-bleau, au lieu dit " Champ Minette " sous une vieille pelouse calcicole; faciès à Brachypodium pinnatum.

Le sol est légèrement alcalin $pH = 8,3$ et surtout sec, le relevé floristique contient les espèces suivantes:

Les espèces.

Coefficient d'abondance-
dominance.

Festuca	duriuscula	3
Hippocrepis	comosa	2
Anthyllis	vulneraria	2
Thymus	serpyllum	1
Veronica	spicata	1
Bromus	erectus	1
Helianthemum	nummularium	1
Teucrium	chamaedrys	1
Sanguisorba	minor	1
Potentilla	verna	1
Brachypodium	pinnatum	+
Stachys	rectus	+
Euphorbia	cyparissias	+
Koeleria	cristata	+
Arabis	hirsuta	+
Phleum	boehmeri	+

Nous avons creusé une tranchée d'une profondeur de 60 cm, sur les parois de laquelle nous avons distingué les horizons suivants :

A₁ de 0 à 7 cm, couleur grise, peu humide, abondance des racines, présence de vers de terre.

A₂ de 7 à 20 cm, couche d'épaisseur très variable, couleur jaune, structure grossière (présence de graviers), peu humide, racines assez abondantes.

B de 20 à 40 cm, sable rouge, épaisseur variable, l'horizon d'accumulation de fer, racines peu abondantes.

C à partir de 40 cm de profondeur, gravier jaune.

Dans ce dernier horizon nous avons aperçu entre 50 et 60 cm une nouvelle couche de couleur grise (sable gris humifère) à un niveau plus ou moins bien défini et possédant des vieilles racines plus ou moins décomposées.

Dans chacun de ces horizons nous avons prélevé un certain nombre d'échantillons qui ont été soumis, après fractionnement densimétrique et comme le seront tous les autres échantillons, aux analyses suivantes :

a - Dosage du carbone et de l'azote (organique, ammoniacal) par la méthode d'Anne.

b - Dosage du phosphore total et du phosphore organique par la méthode de Legg et Black (calcination).

- c - Dosage du phosphore assimilable, méthode de Joret et Hebert.
- d - Dosage des différentes formes de phosphore, méthode de Chang et Jakson.

De plus nous avons mesuré le pH et effectué les analyses granulométriques.

RESULTATS ET L'INTERPRETATION

Le tableau 21 présente l'ensemble de tous les résultats analytiques obtenus.

REMARQUE.

Rappelons que les points caractéristiques des graphiques ont été établis par la méthode de la moyenne mobile.

TABLEAU 21

Prof/ cm	Poids des fractions dans 10 gms de terre.	Mat. Org		Carbone		Azote		C/N		P. soluble ds. l'eau.		P. Chaux.		P. Alum.	
		g/g	g. assimil. fractions	g/g	g. assimil.	g/g	g. assimil.	C/N ds fraction	C/N d. chat	mg/g	mg. assimil. ds. fraction	mg/g	mg. assimil.	mg/g	mg. assimil.
0-7	f. légère. 0,578	0,475	0,27	0,276	0,16	0,025	0,015	10,7		0,07	0,06	0,074	0,043	0,12	0,01
	f. lourde. 9,4	0,013	0,125	0,037	0,073	0,001	0,011	6,5		0,003	0,023	0,022	0,207	0,002	0,0
			0,325		0,233		0,026		3,9		0,062		0,25		0,01
7-12	f. lég. 0,078	0,575	0,044	0,334	0,026	0,017	0,001	19,3		0,17	0,013	0,076	0,006	0,10	0,01
	f. lou. 9,91	0,007	0,077	0,004	0,056	0,006	0,005	7,5		0,003	0,02	0,024	0,232	0,0005	0,00
			0,121		0,071		0,007		10,1		0,033		0,244		0,01
2-20	f. lég. 0,044	0,369	0,015	0,215	0,003	0,001	0,003	21,5		0,37	0,016	0,085	0,004	0,35	0,01
	f. lou. 9,95	0,005	0,053	0,003	0,034	0,001	0,005	7,1		0,003	0,03	0,023	0,229	0,0005	0,00
			0,073		0,043		0,0054		7,3		0,046		0,233		0,021
0-30	f. lég. 0,02	0,484	0,01	0,281	0,036	0,01	0,002	26,3		0,36	0,007	0,085	0,002	0,53	0,011
	f. lou. 9,96	0,003	0,073	0,004	0,046	0,0002	0,003	16,4		0	-	0,016	0,16	0,003	0,03
			0,019		0,052		0,0022		16,2		0,007		0,162		0,041
20	f. lég. 0,016	0,518	0,008	0,301	0,005	0,005	0,0001	56,8		0,3	0,005	0,12	0,002	0,55	0,009
	f. lou. 9,97	0,002	0,036	0,005	0,049	0,0002	0,002	20,8		0	-	0,014	0,14	0,005	0,05
			0,004		0,054		0,0025		21,6		0,005		0,142		0,059
0-50	f. lég. 0,023	0,454	0,01	0,264	0,006	0,007	0,0002	35,6		0,23	0,007	0,13	0,003	0,20	0,005
	f. lou. 9,96	0,003	0,031	0,0018	0,018	0,0002	0,002	8,5		0,002	0,02	0,018	0,179	0,0004	0,004
			0,041		0,024		0,0022		10,4		0,027		0,102		0,01
60	f. lég. 0,057	0,4	0,023	0,232	0,013	0,012	0,0007	18,1		0,16	0,009	0,055	0,003	0,15	0,009
	f. lou. 9,93	0,00	0,14	0,006	0,067	0,0003	0,0008	8,3		0,002	0,02	0,013	0,179	0,0004	0,004
			0,137		0,08		0,0007		9,1		0,029		0,182		0,013

pelouse naturelle .

FONTAINBLEAU

P. Alumina à l'inclusion		P, Fe		P, Or		Somme de P, mineral + Soluble		P. Assi		P. total		Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable grossier %	PH esu.
mg /g	mg rapéris	mg /g	mg rapéris	mg /g	mg rapéris	mg /g	mg rapéris	mg /g	mg rapéris	mg /g	mg rapéris					
0,06	0,035	0,12	0,069	0,68	0,393	0,267	0,154	0,56	0,324	1,03	0,595					
0,004	0,038	0,002	0,019	0,07	0,658	0,016	0,141	0,035	0,329	0,1	0,94					
	0,075		0,088		1,051		0,295		0,658		1,535	4,1	3,3	49,35	39,25	8
0,06	0,005	0,074	0,006	0,71	0,055	0,305	0,05	0,6	0,047	1,03	0,08					
0,003	0,03	0,0003	0,003	0,06	0,595	0,011	0,109	0,03	0,297	0,09	0,892					
	0,035		0,007		0,660		0,139		0,344		0,972	4,28	4	59,6	49,37	8,3
0,15	0,007	0,10	0,003	0,93	0,041	0,963	0,002	1,2	0,053	0,05	0,09					
0,003	0,03	0,0002	0,002	0,55	0,567	0,0127	0,126	0,038	0,378	0,07	0,9					
	0,037		0,01		0,583		0,168		0,431		0,97	3,25	3,5	42,5	49	8,5
0,22	0,004	0,26	0,005	0,39	0,008	1,15	0,023	1,32	0,026	1,9	0,038					
0,224	0,04	0,0005	0,005	0,034	0,339	0,0069	0,09	0,019	0,189	0,16	0,598					
	0,044		0,01		0,347		0,03		0,215		0,636	4,45	2,91	68,5	22,5	8,4
0,23	0,004	0,2	0,003	0,4	0,006	1,21	0,019	1,39	0,022	2	0,032					
0,004	0,04	0,000	0,00	0,02	0,199	0,0127	0,127	0,026	0,249	0,041	0,607					
	0,044		0,003		0,205		0,146		0,271		0,441	4,94	2,93	71,75	20	8,4
0,31	0,017	0,2	0,005	0,3	0,007	0,066	0,022	1,1	0,025	1,18	0,027					
0,003	0,03	0	-	0,02	0,199	0,0092	0,092	0,02	0,199	0,043	0,420					
	0,037		0,005		0,206		0,04		0,224		0,435	2,04	1,72	43	51,5	8,5
0,07	0,004	0,05	0,003	0,8	0,046	0,375	0,021	0,6	0,034	1,2	0,063					
0,003	0,03	0,003	0,03	0,04	0,397	0,0134	0,133	0,015	0,149	0,07	0,695					
	0,034		0,033		0,443		0,154		0,183		0,763	5,06	4,23	37	50,6	8,3

A - ETUDE DES PROBLEMES RELATIFS
A LA MATIERE ORGANIQUE.

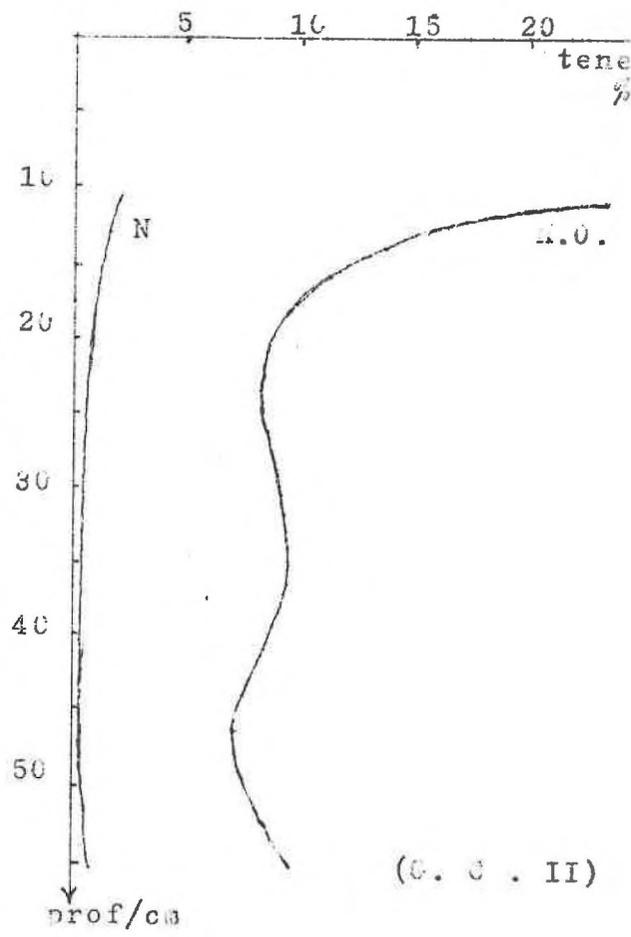
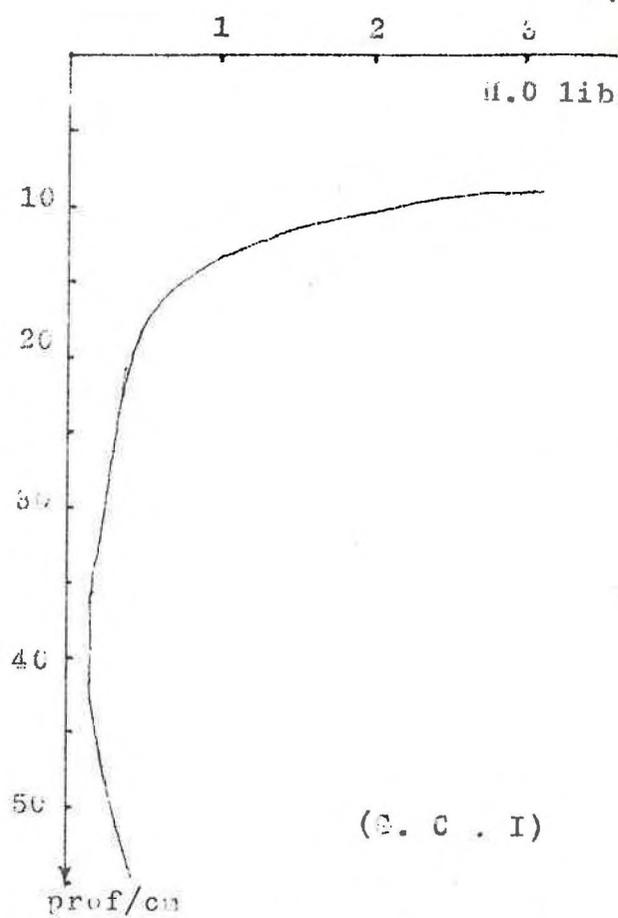
1- Distribution de M.O.libre.

Le graphique G.C.I montre que dans ce profil la proportion de la fraction légère est importante dans l'horizon superficiel, décroît rapidement à partir de 16 cm, elle augmente un peu dans l'horizon 50 à 60 cm de profondeur.

2- Distribution de M.O. dans l'échantillon total.

La courbe G.C.II montre que la M.O. déduite de la détermination du carbone suivant la méthode d'Anne existe à une teneur supérieure à 20% dans la couche superficielle, décroît rapidement, augmente vers 30 cm jusqu' à 45 cm de profondeur, puis diminue pour réaugmenter ensuite, dans l'échantillon de 50 à 60 cm.

Si l'on compare cette courbe à la courbe de la M.O. libre, on constate que cette première



est plus régulière que la seconde, en ce sens que si elle montre bien la teneur importante dans la couche superficielle, celle-ci baisse également très rapidement pour se réaugmenter très légèrement qu'à partir de 45-50 cm de profondeur, ne présentant par conséquent pas la légère augmentation qui se manifeste entre 30 et 45 cm quand on envisage la matière organique totale.

3- Azote et rapport C/N.

La courbe des teneurs en azote s'apparente aux courbes précédentes avec toutefois, une variation beaucoup moins importante en fonction de la profondeur. On constate en effet que la teneur en azote pour 1000 qui est de l'ordre de 2 à 3 vers 10 cm, tombe à des valeurs très faibles jusqu'à 50 cm où cette teneur tend à se relever légèrement.

Dans la fraction lourde les rapports C/N dans les divers horizons, sauf dans l'horizon d'accumulation (20-40 cm), montrent par leurs valeurs peu élevées (6 à 10) que la matière organique est bien évoluée.

Dans la fraction légère ce rapport est plus élevé que dans la fraction lourde, ce qui est normal, mais de plus il augmente en fonction de la profondeur.

Phosphate de chaux.

Jusqu'à 45 cm les variations dans l'échantillon global dans la fraction lourde sont semblables (G.C.III,G.C.IV); on peut donc dire qu'il est fourni en presque totalité par la fraction lourde.

Phosphate d'alumine et de fer.

Ces deux formes minérales de phosphore sont pratiquement inexistantes en surface dans la fraction lourde (G.C.V), ce n'est qu'à partir des horizons d'accumulation qu'ils apparaissent sensiblement (5 à 10 % de phosphore total).

Si l'on suit la variation des teneurs dans la fraction légère et dans la fraction lourde, on constate que celles-ci croissent en fonction de la profondeur d'une manière peu sensible, mais dans la fraction lourde cet accroissement se produit d'une manière assez brusque entre 30 et 45 cm, si l'on compare alors ces deux courbes avec les teneurs en phosphate d'alumine et en phosphate de fer dans l'échantillon global on constate que les courbes ont sensiblement la même allure et l'on peut attribuer la variation assez rapide de la teneur de ces deux formes de phosphore à partir de 30 cm au rôle joué par la fraction lourde puisqu'il y a corrélation entre cet accroissement dans les deux cas.

Phosphore assimilable.

Il est fourni dans l'horizon superficiel en égale quantité par les deux fractions. Mais en dessous, bien qu'il représente de 50 à 70 % environ du phosphore total de la fraction légère (G.C.IV), en raison de sa faible importance quantitative par rapport à la fraction lourde, c'est cette dernière qui va fournir la majeure partie de phosphore assimilable de l'échantillon total (G.C.III).

En définitive, l'étude de la distribution des différentes formes de phosphore dans ce profil montre l'influence prédominante de la fraction lourde dans la fourniture de phosphore. Cette influence est cependant moins nette dans l'horizon superficiel riche en matière organique libre.

C- ETUDE DE L'EXTRACTIBILITE DES PHOSPHORES MINERAUX.

Le phosphore assimilable est dosé suivant la méthode de Joret et Hebert (extraction par $C_2O_4(NH_4)_2$ pH= 7). Le problème posé consiste à savoir quelles sont les formes du phosphore qui sont

La méthode de Joret-Hebert indique une prise de terre de 4 g pour un liquide d'extraction de 100 ml ($C_2O_4(NH_4)_2$). Or conventionnellement d'après les essais culturaux par les auteurs on doit toujours respecter le rapport de prise de terre sur le volume de liquide d'extraction 4/100. Dans nos travaux nous avons été obligé de diminuer la prise de terre de 4g à 1g pour pouvoir l'adapter à la méthode de Chang-Jakson. Il en résulte qu'en modifiant ce rapport on extrait une quantité forte de phosphore assimilable.

extraites par cette méthode.

Dans ce but nous avons soumis les échantillons à une extraction par la méthode de Joret-Hebert, nous renvoyons en bas page pour préciser quelques détails analytiques qui nous ont empêchés d'appliquer la méthode dans ces conditions typiques, mais comme nous avons opéré par comparaison il nous a paru que les résultats restent valables comparativement.

Les résultats analytiques sont groupés dans le tableau

Nous en tirons que:

1- Le phosphore soluble dans l'eau est totalement extrait dans les deux fractions, mais que les autres formes de phosphore présentent des degrés d'extractibilité divers.

2- Dans la fraction légère le phosphate de chaux n'est pas extrait par l'oxalate d'ammonium, par contre pour les autres formes nous avons obtenu les pourcentages suivants:

Phosphore	Fraction légère	Fraction lourde
P / Chaux	0 %	34 %
P / Alumine	91,4 %	57 %
P / Al inclusion	76,3 %	65 %
P / Fer	62 %	74 %

TABLEAU 22

Prof, cm	fractions	P, chaux			P, alumine			P, alumine d'incl			P, fer			P solub dans l'eau major	P Inorg minér + P sol
		mg /gr	mg /gr extrait	Pourcen- tage %	mg /gr	mg /gr extrait	Pourcen- tage %	mg /gr	mg /gr extrait	Pourcen- tage %	mg /gr	mg /gr extrait	Pourcen- tage %		
0-7	f. légère	0,074	-		0,12	0,1	<u>83,3</u>	0,06	0,047	<u>73,3</u>	0,12	0,05	<u>41,6</u>	0,07	0,267
	f. lourde	0,022	0,0075	<u>34</u>	0,052	0,021	<u>50</u>	0,004	0,0028	<u>70</u>	0,002	0,0017	<u>35</u>	0,002	0,005
7-12	f. lég	0,076	-		0,16	0,14	<u>87,5</u>	0,05	0,045	<u>76,5</u>	0,074	0,029	<u>39,1</u>	0,17	0,305
	f. lou.	0,0235	0,0065	<u>27,2</u>	0,025	0,0085	<u>100</u>	0,002	0,0017	<u>56,6</u>	0,0023	0,0008	<u>100</u>	0,002	0,001
12-20	f. lég	0,035	-		0,35	0,33	<u>94,2</u>	0,15	0,13	<u>86,6</u>	0,15	0,155	<u>75</u>	0,37	0,935
	f. lou.	0,023	0,007	<u>30,4</u>	0,0215	0,0025	<u>100</u>	0,003	0,002	<u>66,6</u>	0,0023	0,0002	<u>100</u>	0,002	0,0027
20-30	f. lég.	0,085	0,013	<u>15,2</u>	0,53	0,5	<u>94,3</u>	0,22	0,1	<u>45,4</u>	0,25	0,18	<u>69,2</u>	0,25	1,15
	f. lou.	0,016	0,004	<u>25</u>	0,023	0,0017	<u>56,6</u>	0,034	0,0027	<u>67,5</u>	0,0025	0,0005	<u>100</u>	0	0,0029
30-40	f. lég.	0,12	0,035	<u>29,1</u>	0,55	0,52	<u>90,5</u>	0,23	0,2	<u>86,9</u>	0,2	0,154	<u>77</u>	0,3	1,21
	f. lou.	0,014	0,004	<u>35</u>	0,025	0,003	<u>69</u>	0,004	0,0027	<u>67,5</u>	0,008	0,007	<u>67,5</u>	0	0,0167
40-50	f. lég.	0,13	-		0,28	0,26	<u>92,8</u>	0,31	0,28	<u>90</u>	0,2	0,166	<u>83</u>	0,23	0,966
	f. lou.	0,018	0,005	<u>26,6</u>	0,024	0,004	<u>100</u>	0,003	0,0016	<u>60</u>	0	0		0,002	0,0092
50-60	f. lég.	0,055	-		0,15	0,14	<u>93,3</u>	0,07	0,05	<u>71,4</u>	0,05	0,025	<u>50</u>	0,16	0,375
	f. lou.	0,018	0,006	<u>33,3</u>	0,004	0,0014	<u>100</u>	0,003	0,002	<u>66,6</u>	0,003	0,003	<u>100</u>	0,002	0,0154

Rappelons que ces chiffres ne sont que les moyennes des pourcentages pour l'ensemble du profil.

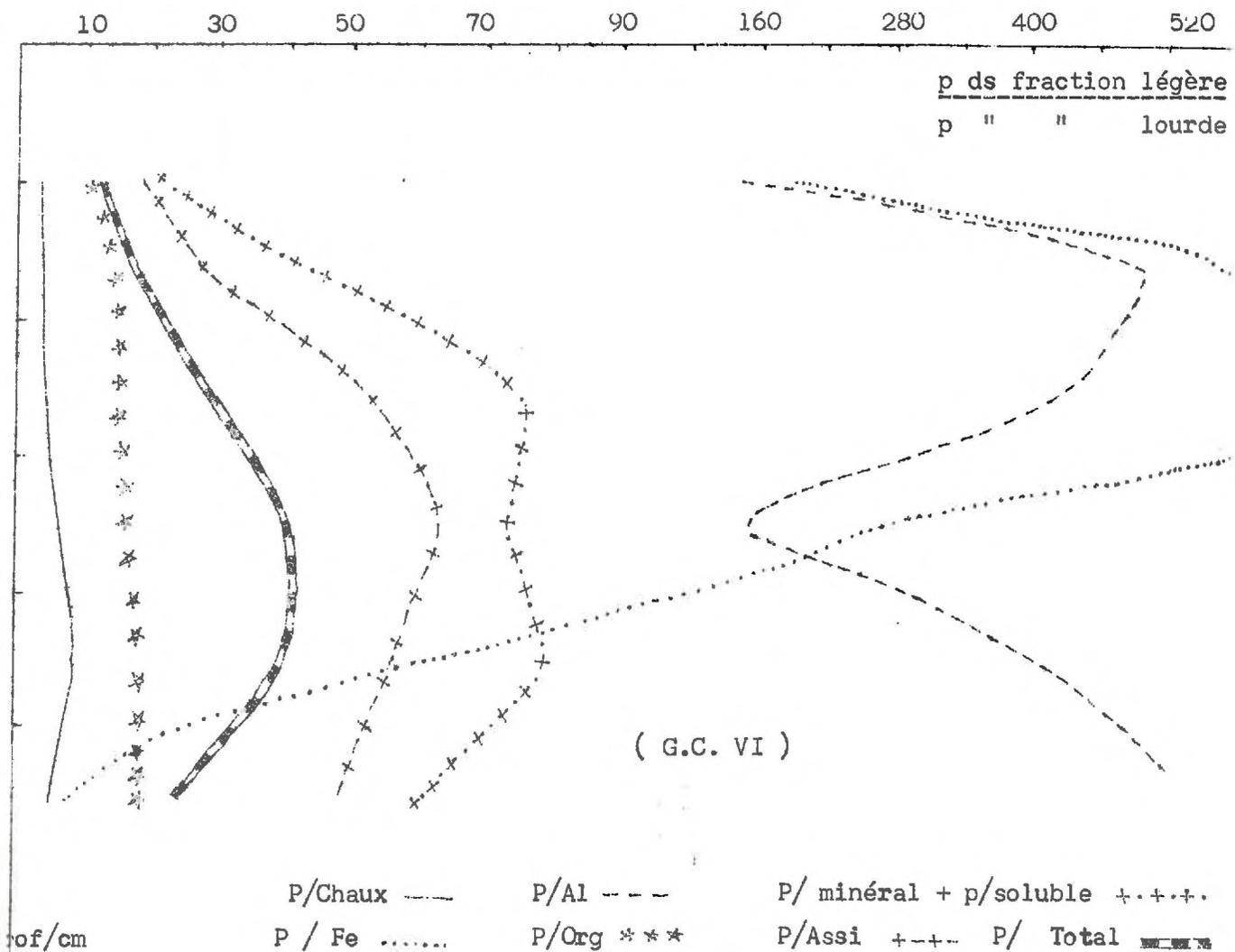
3- En faisant la somme pour du phosphore minéral extra (d'après le tableau 22) et du phosphore soluble dans l'eau et en comparant au phosphore assimilable, on constate qu'elle est plus faible que phosphore assimilable, ce qui laisse penser qu'une partie du phosphore organique est mise en solution par l'oxalate d'ammonium. Ceci paraît surprenant mais nous le rencontrerons dans l'étude d'autres profils.

4- Si l'on compare les variations en fonction de la profondeur la somme de phosphore soluble plus phosphores minéraux traités dans chaque fraction (G.C.IV et G.C.V), nous constatons plus grande extractibilité dans la fraction légère que dans la fraction lourde (dans la fraction légère cette quantité relative rapport au phosphore total est de l'ordre environ 50 %, par contre dans la fraction lourde elle n'est que de 15 %).

D- ETUDE COMPARATIVE DES TENEURS DES DIVERSES FORMES DE PHOSPHORE DANS LA FRACTION LEGERE ET DANS LA FRACTION LOURDE.

Le graphique (G.C.VI) fait apparaître de façon indiscutable l'importance de la teneur en phosphore de la fraction légère vis à vis de la fraction lourde.

Il est intéressant de noter la variation de ce rapport en fonction de la profondeur, sauf pour les phosphates de chaux et organique dont le rapport reste constant, les autres formes de phosphore présentent une augmentation très nette jusqu'à 30 cm puis une décroissance. Rappelons cependant que pour le phosphate d'alumine ceci n'est pas exact, puisque l'on constate une nouvelle croissance en profondeur.



CHAPITRE II.ETUDE D'UN PROFIL SOUS UNE PINEDE.

Le prélèvement de ce profil a été fait à la date du 24 Novembre 1964 à Fontainebleau à l'endroit dit " Hippodrome de la solle " sous une pinède dont la végétation herbacées était une pelouse.

Les espèces relevées sont:

Espèces		Coefficient d'abondance dominance.
Pinus	sylvestris	2
Koeleria	crinata	2
Anthoxanthum	odoratum	2
Avena	pratensis	+
Festuca	duriuscula	+
Thymus	serpyllum	1
Festuca	heterophylla	+
Rumex	acetosella	2
Hieracium	pilosella	1
Poa	pratensis	+
Jasione	montana	+
Quercus	pubescens (germination)	+
Quercus	robur (germination)	+
Hedera	helix	+
Goodyera	repens	+

La tranchée allant jusqu'à 55 cm de profondeur, nous y avons distingué les horizons suivants:

A₁ - de 0 à 4 cm, couleur brune noire, assez humide, abondance des racines, matière organique mal décomposée.

A₂ - B₁ de 4 à 10 cm (horizon intermédiaire), couleur brune orangée, racines abondantes.

B₂ - de 10 à 15 cm, couleur orange rougeâtre, matière organique peu décomposée.

C - horizon de 15 à 40 cm, couleur jaune, graviers jaunes très abondants.

De 40 à 45 cm, l'horizon d'accumulation de la matière organique, sable gris, le gravier encore abondant.

Nous avons prélevé un certain nombre d'échantillons de chaque horizon et nous les avons soumis aux mêmes analyses afin d'effectuer une étude comme celle du profil précédent.

RESULTATS ET L' INTERPRETATION.

Le tableau 23 présente l'ensemble des résultats analytiques obtenus.

TABLEAU 23

Prof, cm	Poids des fractions dans 10 g de terre.	Mat org		Carbone		Azote		C/N		P, soluble ds l'eau		P, Chaux		P, Alur	
		g / g	g. repartis dans Fraction	g / g	g. repartis	g / g	g. repartis	C/N ds fraction	% N Echant	mg / g	mg repartis	mg / g	mg. repartis	mg / g	mg. repartis
0-4	f. légère. 0.77	0,655	0,5	0,381	0,29	0,018	0,014	20,7		0,05	0,039	0,012	0,009	0,043	
	f. lourde. 9.2	0,009	0,063	0,035	0,049	0,0003	0,003	18,8		0,001	0,009	0,004	0,057	0,005	0
			0,563		0,339		0,017		19,9		0,048		0,046		0
4-10	f. lég. 0,064	0,636	0,034	0,311	0,02	0,011	0,0007	29,3		0,02	0,001	0,024	0,002	0,09	0
	f. lou. 9.92	0,008	0,076	0,004	0,045	0,0003	0,0035	12,6		0	0	0,003	0,03	0,007	0
					0,065		0,0042		13,4		0,001		0,032		0
10-15	f. lég. 0,044	0,472	0,022	0,275	0,013	0,007	0,0003	38		0,05	0,002	0,025	0,001	0,078	0
	f. lou. 9.94	0,008	0,079	0,005	0,046	0,0004	0,0042	10,9		0	0	0,012	0,12	0,005	0
			0,101		0,059		0,0045		13,1		0,002		0,121		0
5-20	f. lég. 0,052	0,472	0,025	0,275	0,014	0,008	0,0004	35,2		0,1	0,005	0,025	0,001	0,125	0
	f. lou. 9.92	0,007	0,066	0,004	0,039	0,0004	0,0038	10,2		0,0015	0,015	0,0215	0,213	0,0008	0
			0,091		0,055		0,0042		12,6		0,02		0,214		0
20-30	f. lég. 0,029	0,468	0,014	0,272	0,008	0,0089	0,0003	30,9		0,08	0,002	0,04	0,001	0,14	0
	f. lou. 9.97	0,0067	0,067	0,003	0,039	0,0004	0,0042	9,2		0,002	0,02	0,0195	0,194	0,0005	0
			0,081		0,047		0,0045		10,4		0,022		0,195		0
40-45	f. lég. 0,044	0,533	0,023	0,31	0,014	0,0078	0,0003	39,7		0,1	0,064	0,07	0,003	0,1	0
	f. lou. 9.93	0,005	0,052	0,003	0,03	0,0003	0,0004	7,88		0,0024	0,024	0,021	0,209	0,001	0
			0,075		0,044		0,0011		40		0,028		0,212		0

pinède

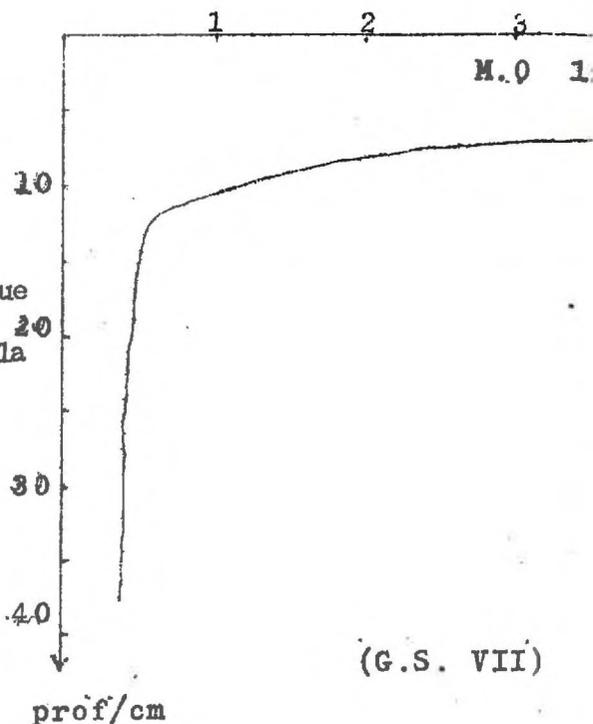
hippodrome de la sol
FONTAINBLEAU

P, Alumine		P, Fer		P, Orq		Somme de P, unaires P, Salicie		P, Assi		P, total		Argile	limon	Sable fin	sable grossier	PH	pH
mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	mg g	%	%						
0.01	0.028	0.15	0.019	2.46	0.37	0.105	0.021	0.25	0.193	0.63	0.524						
0.001	0.007	0.005	0.055	0.016	0.19	0.005	0.073	0.015	0.138	0.033	0.304						
	0.017		0.146		0.52		0.156		0.331		0.828	2.71	2.71	52	42	6	5.
0.02	0.001	0.24	0.015	0.5	0.05	0.125	0.008	0.25	0.016	0.78	0.05						
0.001	0.01	0.007	0.072	0.022	0.29	0.007	0.074	0.012	0.119	0.046	0.156						
	0.011		0.067		0.252		0.062		0.135		0.506	2.06	1.95	66	40	6.2	7.
0.025	0.001	0.225	0.31	0.4	0.048	0.21	0.01	0.5	0.014	0.7	0.032						
0.002	0.015	0.002	0.02	0.034	0.34	0.005	0.004	0.019	0.169	0.038	0.577						
	0.008		0.03		0.358		0.074		0.205		0.609	2.71	2.7	62	32	8.4	7.
0.025	0.001	0.137	0.007	0.72	0.037	0.207	0.015	0.59	0.02	1.06	0.055						
0.001	0.01	0.0004	0.054	0.053	0.526	0.01	0.099	0.025	0.268	0.077	0.764						
	0.011		0.011		0.563		0.114		0.268		0.819	2.11	3.21	47.5	45.5	6.5	7.
0.032	0.001	0.15	0.005	0.61	0.018	0.31	0.009	0.4	0.012	0.94	0.027						
0.001	0.01	0.0005	0.005	0.065	0.642	0.0064	0.064	0.017	0.169	0.093	0.927						
	0.011		0.01		0.666		0.063		0.181		0.954	7.61	2.87	51.25	40.57	8.5	7.
0.022	0.001	0.174	0.007	0.22	0.01	0.296	0.013	0.4	0.018	0.7	0.03						
0.001	0.01	0.0002	0.001	0.057	0.565	0.009	0.09	0.017	0.169	0.085	0.844						
	0.011		0.008		0.576		0.103		0.187		0.875	7.65	3.21	54.75	36.12	8.5	7.1

A- ETUDE DES PROBLEMES RELATIFS
A LA MATIERE ORGANIQUE.

1- Distribution de la M.O.libre

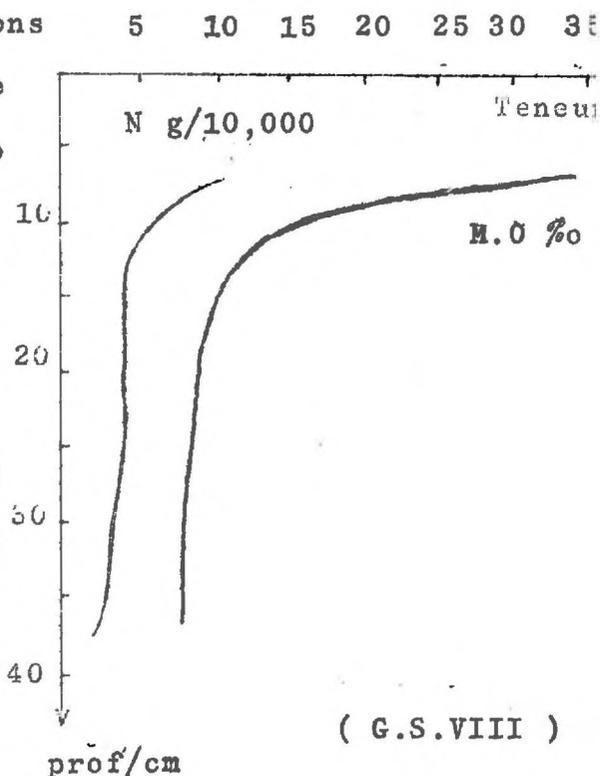
Le graphique G.S.VII montre que dans ce profil la proportion de la matière organique libre qui est importante dans l'horizon superficiel décroît très rapidement jusqu'à 12 cm, puis lentement dans les autres horizons.



2- Distribution de la matière organique dans l'échantillon total.

La teneur en M.O.totale (d'après méthode Anne) ainsi que nous voyons dans le graphique (G.S.VIII) varie brusquement jusqu'à 10 cm (de 35% tombe à 10%) et à partir de ce niveau elle marque une variation légèrement décroissante en fonction de la profondeur.

La comparaison des graphiques G.S.VII et G.S.VIII fait apparaître une similitude de variation de la matière organique libre et de la matière organique dans l'échantillon global. Cependant



d'après le tableau 23 on voit que la quantité de M.O. fournie par la fraction lourde dans les horizons au dessous de 10 cm est plus importante que celle fournie par la fraction légère. Nous pouvons donc en conclure que dans ce profil la matière organique est peu liée à la matière minérale dans l'horizon superficiel, alors qu'elle l'est beaucoup plus sous cet horizon.

3- Azote et rapport C/N.

La teneur en azote étant très faible (1% la teneur maximum en surface) vis à vis de celle de la matière organique; qui présente au contraire une teneur forte (35%). Sa variation subit une décroissance régulière en fonction de la profondeur (G.S.VIII).

Le rapport C/N de la fraction lourde décroît très régulièrement tout le long du profil (tableau 23).

Notons cependant que ce rapport dans l'horizon de surface est assez élevé ce qui laisse penser que la décomposition des débris de pin se fait assez mal.

Quant à la fraction légère son rapport C/N augmente dans les horizons profonds ce qui laisse supposer que la matière organique libre évolue lentement.

Si on considère les valeurs de ce rapport pour l'échantillon total on peut noter une décroissance régulière en fonction de la profondeur sauf dans l'horizon 40 à 45 cm il augmente brusquement,

évidemment nous sommes en présence d'un horizon d'accumulation matière organique.

B- ETUDE DU PHOSPHORE ET SES DIFFERENTES FORMES.

1- PHOSPHORE TOTAL.

La variation de la distribution du phosphore total(G. dans l'échantillon global est la suivante: Décroissance à 12 cm puis croissance régulière jusqu'à 25 cm enfin constance. On peut donc en tirer qu'il existe une liaison entre la quantité de phosphore total et la matière organique libre dans l'horizon de surface. Au dessous c'est la fraction lourde qui commande la teneur en phosphore total.

2- TENEURS RELATIVES DE FORMES DE PHOSPHORE PAR RAPPORT AU PHOSPHORE TOTAL.

Phosphore organique.

Le phosphore organique de nouveau se trouve être le principal fournisseur de phosphore total; quand il y a beaucoup plus de matières organiques libres, la majeure partie de ce phosphore provient de celle-ci(cas de l'horizon de surface), par contre lorsqu'elle est en faible quantité c'est la fraction lourde qui peu

fournir cette forme de phosphore. Ce fait est très visible dans le graphique G.S.XI où l'on voit son accumulation dans la fraction lourde en fonction de la profondeur.

Phosphate de chaux.

Sa quantité dans la fraction légère est faible alors qu'elle est relativement forte dans la fraction lourde notamment à partir de 12 cm de profondeur (G.S.X et G.S.XI). Ceci détermine dans l'échantillon global (G.S.IX) une influence très nette de la fraction lourde pour la fourniture en cette forme de phosphore.

Phosphates d'Alumine et de Fer.

Il est à noter d'abord que les quantités de ces deux formes de phosphore n'ont une importance que de 0 à 15 cm. Dans cette partie du profil la fraction légère et la fraction lourde concourent toutes deux à leur fourniture avec une légère prédominance de la matière organique libre dans l'horizon tout à fait superficiel. Dans le reste du profil les quantités les plus importantes sont fournies tantôt par l'une des fractions tantôt par l'autre, mais étant donné la très faible teneur du sol en ces deux formes de phosphore on ne peut pas pousser l'interprétation davantage.

Phosphore assimilable.

À première vue les courbes de distribution du phosphore assimilable dans l'échantillon total (G.S.IX) et dans la fraction lourde (G.S.XI) sont semblables, alors que dans la fraction légère

(G.S.X) l'allure de la courbe change à partir d'environ 15 cm . On peut donc dire, et le tableau 23 nous le confirme, que dans l'horizon superficiel la grande quantité de la matière organique libre joue encore ici un rôle important dans la fourniture de phosphore assimilable, quand celle-ci disparaît, c'est la fraction lourde qui intervient alors.

Après avoir analysé la distribution des différentes formes de phosphore dans le sol et leur liaison avec les deux fractions, on peut dégager l'idée suivante:

Dependance étroite dans l'horizon superficiel riche en matière organique libre entre cette matière organique et les diverses formes de phosphore à l'exclusion du phosphate de chaux qui, lui, est lié à la fraction lourde tout le long du profil.

C- ETUDE DE L'EXTRACTIBILITE DES PHOSPHORES MINERAUX.

Le tableau 24 nous donne les degrés d'extractibilité des formes de phosphore minérales pour chaque fraction.

Phosphore	Fraction légère	Fraction lourde
P / Chaux	0 %	30 %
P / Alumine	75 %	76,8%
P / Al inclusion	0 %	0 %
P / Fe	43 %	59 %