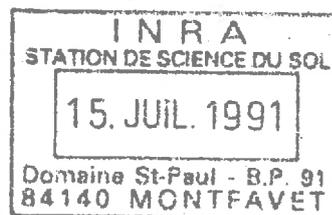


IR-AD7.
GE1



**EVOLUTION DES MATIERES ORGANIQUES
ET DES ELEMENTS MINERAUX
DANS LA COUCHE ARABLE
SELON DIFFERENTES TECHNIQUES
DE TRAVAIL DU SOL**

LETERRIER J-L
71^{ème} promotion
Mémoire de fin d'études
Juillet 1975

I.T.C.F.
Station de Boigneville

Les travaux nécessaires à l'élaboration de cette étude ont été réalisés à la Station Expérimentale I.T.C.F. de Boigneville (Essonne).

Je tiens à remercier, à cette occasion, les personnes qui ont contribué, par leur aide et leurs conseils, à la réalisation de ce rapport :

- Monsieur BODET, Ingénieur au Service des Etudes Agronomiques pour sa collaboration quant à la conception et à la réalisation du mémoire ;
- Monsieur SCHWARTZ, Professeur de stage ;
- Les personnes du Bureau d'Etudes Statistiques, en particulier Monsieur GOUET ;
- Monsieur DOAZAN, du Service Formation ;
- Messieurs LANGLET, SUAUD et COUTURE, du Service des Etudes Agronomiques ;
- Messieurs DAGNEAUD et HAUCOURT, Laboratoire du Service des Etudes Agronomiques ;
- Mademoiselle AUBERT et Madame COELHO, Secrétaires, qui ont assuré la frappe de ce document ;
- Monsieur LETEVE, Imprimeur

qui ont mis leur expérience et leur temps à contribution avec beaucoup de complaisance.

Présentation de l'expérimentation

Cette étude est consacrée à l'évolution des matières organiques et des éléments minéraux (bases échangeables et acide phosphorique) dans la couche arable selon différentes techniques de travail du sol ; elle a été menée dans le cadre d'essais de longue durée mis en place par l'I.T.C.F. dans le but d'étudier, dans une rotation maïs - blé, l'incidence de trois types de techniques sur les propriétés physiques et chimiques du sol, le développement des parasites, la croissance et les rendements des plantes cultivées.

Les travaux ont été réalisés dans deux essais situés l'un à Boigneville, dans le Gâtinais beauceron, et l'autre à Saint-Aubin-la-Plaine, en Vendée.

Les trois techniques de travail du sol mises en comparaison sont les suivantes :

- un labour : travail sur 25 cm de profondeur environ, avec mélange des matières organiques et de la fumure de fond au moyen d'une charrue classique ;
- un travail superficiel : mélange des matières organiques et de la fumure phospho-potassique sur une profondeur de 8 à 10 cm ;
- un semis direct sans aucun travail du sol, ni aucune incorporation des éléments fertilisants.

Les échantillons analysés proviennent de prélèvements effectués à deux époques : la première dès la mise en place de l'essai, la seconde après quatre années d'expérimentation.

Afin de déterminer l'évolution des teneurs en éléments fertilisants de chacun des niveaux de la couche arable, on a pris soin de prendre les échantillons à des profondeurs identiques d'une campagne de prélèvements à l'autre.

Les résultats

Les résultats traduisent des variations de teneurs très différentes selon le type de travail du sol effectué durant ces quatre années d'expérimentation. On enregistre, par rapport au labour, une forte accumulation de la potasse, de l'acide phosphorique et des matières organiques dans les premiers centimètres des parcelles en travail superficiel ou en semis direct.

En revanche, les teneurs des autres éléments pris en compte dans cette étude (calcium, magnésium et sodium) ont peu varié en fonction des techniques de travail du sol.

1. Evolution des teneurs en potassium, acide phosphorique et matières organiques dans la couche arable.

Les techniques culturales ont une grande incidence sur l'évolution des teneurs en potassium, en acide phosphorique et matières organiques. On assiste, dans les deux essais, à de très fortes accumulations dans le traitement semis direct. A Boigneville, par exemple, les teneurs initiales des cinq premiers centimètres ont presque doublé pour le potassium. Elles ont triplé pour l'acide phosphorique et quadruplé pour les matières organiques. Dans le traitement travail superficiel, les teneurs des dix premiers centimètres ont progressé dans le même temps de 65 % pour le potassium, de 90 % pour l'acide phosphorique et de 100 % pour les matières organiques.

Ce phénomène vient du fait que la migration du phosphore et même du potassium semble très faible dans les types de sol considérés et que les éléments fertilisants ne sont pas enfouis profondément (travail superficiel) ou sont laissés en surface (semis direct).

Sous cette zone fortement enrichie, on observe en général une diminution des teneurs. En effet, les plantes cultivées, qui ne peuvent s'alimenter dans les couches superficielles fréquemment desséchées, sont contraintes de puiser leurs éléments minéraux dans le reste de la couche arable. Ce phénomène risque de poser, à terme, des problèmes de carence.

Au contraire, dans les parcelles labourées, on n'enregistre que de faibles variations entre 1970 et 1974, ce qui peut s'expliquer par le mélange au sol, réalisé régulièrement chaque année, de la fumure phospho-potassique et des résidus végétaux.

On a observé également que l'enrichissement en matières organiques des premiers centimètres de la couche arable provoquait une très forte augmentation de la stabilité structurale dans les parcelles travaillées superficiellement ou en semis direct.

Au contraire, dans les parcelles labourées, on n'enregistre que de faibles variations entre 1970 et 1974, ce qui peut s'expliquer par le mélange au sol, réalisé régulièrement chaque année, de la fumure phospho-potassique et des résidus végétaux.

2. Evolution des teneurs en calcium, magnésium et sodium dans la couche arable

Pour le calcium, le magnésium et le sodium, on ne constate pas d'évolution fondamentalement différente selon les trois techniques comparées.

Une exception toutefois en ce qui concerne la richesse en calcium échangeable dans les premiers centimètres des parcelles non labourées ; on observe un abaissement de la teneur plus importante que dans le reste de la couche arable. Les amendements successifs en potassium et en azote pourraient expliquer ce phénomène : les ions K^+ et NH_4^+ jouant un rôle décalcifiant vis-à-vis du complexe adsorbant.

La teneur de la couche arable en magnésium accuse une baisse très sensible sur l'ensemble du profil puisqu'en quatre années d'expérimentation, ces pertes ont atteint 10 % de la teneur initiale à Boigneville et 14 % à Saint-Aubin-la-Plaine.

De même, la teneur en sodium a chuté de 10 à 20 % durant les quatre années d'expérimentation.

CONCLUSION

L'emploi systématique de techniques de travail superficiel ou de semis direct pendant quatre ans modifie donc considérablement la répartition des éléments minéraux et des matières organiques à l'intérieur de la couche arable.

Outre le gain de temps et de main-d'oeuvre qu'apportent les différentes techniques de non labour, celles-ci provoquent une amélioration de la stabilité structurale du sol dans les premiers centimètres de la couche arable, qui sont généralement très sensibles à la dégradation.

Ces techniques provoquent cependant la localisation d'une part importante des éléments fertilisants dans une zone où ceux-ci sont difficilement disponibles pour les plantes.

On peut donc penser, à la suite de ces travaux, que la pratique systématique de techniques de travail superficiel ou de semis direct nécessite une localisation en profondeur d'au moins une partie de la fumure.

Par ailleurs, l'augmentation des teneurs en matières organiques, dans le cas du travail superficiel, met en évidence l'intérêt que pourrait présenter la diminution de la profondeur de travail du sol sur la stabilité structurale des terres.

S O M M A I R E

	page
I - INTRODUCTION	1
II - RAPPELS	3
1. Les matières organiques	
11 Les différentes formes de matière organique dans le sol	
12 Formation de l'humus	4
13 Rôle de la matière organique	5
2. Les bases échangeables	7
21 Le calcium échangeable	
211 Différentes formes de calcium dans le sol	
212 Rôle du calcium dans l'alimentation des plantes	
213 Actions sur le sol	
22 Le magnésium	8
221 Différentes formes de magnésium dans le sol	
222 Rôle du magnésium dans l'alimentation des plantes	
223 Actions sur le sol	
23 Le potassium	
231 Différentes formes de potasse dans le sol	
232 Rôle de la potasse dans l'alimentation des plantes	9
233 Rôle du potassium sur le sol	
24 Le sodium	10
241 Présence dans le sol	
242 Rôle du sodium dans l'alimentation des plantes	
243 Actions sur le sol	
3. Le phosphore	
31 Différentes formes d'acide phosphorique dans le sol	
32 Rôle de l'acide phosphorique dans l'alimentation des plantes	11

III - MATERIELS ET METHODES

	page
	13
1. Présentation de l'expérimentation de l'I.T.C.F. sur les conséquences à long terme des techniques simplifiées de travail du sol	
11 Objet	
12 Protocole expérimental	
13 Observations réalisées dans les essais	15
2. Localisation de l'étude	17
21 Boigneville	
211 Le climat	
212 Le sol	
22 Saint-Aubin-la-Plaine	19
221 Le climat	
222 Le sol	
3. Réalisation des prélèvements de terre	22
31 Dates de prélèvements	
32 Zones de prélèvements	
33 Niveaux de prélèvements	
34 Constitution d'un échantillon	
35 Conditionnement des échantillons	25
4. Analyses effectuées	
41 Détermination des teneurs en carbone des matières organiques	
411 Carbone de la matière organique totale	
412 Carbone de la matière organique libre	
4121 Préparation des échantillons	
4122 Méthodes d'analyses	
42 Détermination du taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène	26
43 Détermination des teneurs en bases échangeables	
431 Préparation des échantillons	
432 Méthodes d'analyses	
4321 Dosage du potassium et du sodium	
4322 Dosage du calcium et du magnésium	
44 Détermination des teneurs en acide phosphorique	27
5. Traitement statistique des résultats	

	page
IV - PRESENTATION DES RESULTATS	29
1. Bases échangeables	33
11 Calcium échangeable	
111 Boigneville	
112 Saint-Aubin-la-Plaine	
113 Discussion	35
12 Magnésium	37
121 Boigneville	
122 Saint-Aubin-la-Plaine	
123 Discussion	39
13 Potassium	41
131 Boigneville	
132 Saint-Aubin-la-Plaine	
133 Discussion	43
14 Sodium	45
141 Boigneville	
142 Saint-Aubin-la-Plaine	
143 Discussion	47
2. Acide phosphorique échangeable	49
21 Boigneville	
22 Saint-Aubin-la-Plaine	
23 Discussion	51
3. Carbone organique	53
31 Boigneville	
32 Saint-Aubin-la-Plaine	58
33 Discussion	59
4. Agrégats stables après prétraitement au benzène	61
41 Boigneville	
42 Saint-Aubin-la-Plaine	
43 Discussion	63
CONCLUSION	65
ANNEXES	67

I - INTRODUCTION

Depuis une dizaine d'années, les agriculteurs s'orientent de plus en plus vers des techniques simplifiées de préparation de sol et de semis. Celles-ci permettent en effet de résoudre les problèmes de pointes de travaux posés par des rotations céréalières ou fourragères intensives telles que les successions maïs - blé ou maïs - ray-grass et de réduire la charge en main-d'oeuvre sur l'exploitation.

Cette évolution pose néanmoins aux agronomes de nombreuses questions.

En effet, l'abandon du labour au profit de techniques simplifiées risque d'entraîner des modifications importantes dans les équilibres physiques et biologiques qui s'étaient établis auparavant et d'avoir des répercussions notables sur les rendements des plantes cultivées.

L'I.T.C.F. a donc été amené à mettre en place, dès 1971, des essais destinés à mieux connaître les conséquences agronomiques à long terme de la suppression du labour, en particulier sur les plantes, les parasites et les propriétés physiques et chimiques du sol.

Au bout de quatre années d'expérimentation, il était nécessaire de réaliser une première synthèse sur l'évolution des éléments minéraux et des matières organiques de la couche arable dans les différents traitements étudiés.

Après un bref rappel sur les formes et les rôles des matières organiques et des éléments minéraux, nous présenterons successivement le matériel et les méthodes d'expérimentation, puis les résultats obtenus dans chacune des techniques de travail du sol étudiées.

II - **RAPPELS**

Dans ce chapitre, nous rappellerons brièvement les formes et le rôle des éléments pris en compte dans cette étude, à savoir : les matières organiques, les bases échangeables et l'acide phosphorique.

1. LES MATIERES ORGANIQUES11 Les différentes formes de matières organiques dans le sol

Les matières organiques présentes dans le sol se répartissent en quatre formes fondamentalement différentes :

- les matières organiques vivantes
- les matières organiques fraîches
- les produits transitoires
- l'"humus"

En général, on appelle "matière organique du sol" un mélange d'"humus" et de produits transitoires, c'est-à-dire de résidus végétaux et animaux dans un état de décomposition plus ou moins avancé.

On peut distinguer dans la matière organique du sol deux fractions :

- la matière organique libre
- la matière organique liée

111 La matière organique libre

La matière organique libre est constituée de résidus relativement récents qui ne sont pas encore liés à la fraction minérale du sol. Elle possède un rapport C/N encore élevé (>15) et peut être séparée de la fraction minérale par densité, d'où son nom de fraction légère ou peu dense de la matière organique.

112 La matière organique liée

Communément appelé "humus", ce type de matière organique est lié à la fraction minérale du sol dont elle ne peut être dissociée par voie physique. Son rapport C/N est de l'ordre de 9.

12 Formation de l'humus

L'humus résulte de la décomposition de la matière organique fraîche suivie de l'humification de certaines substances organiques.

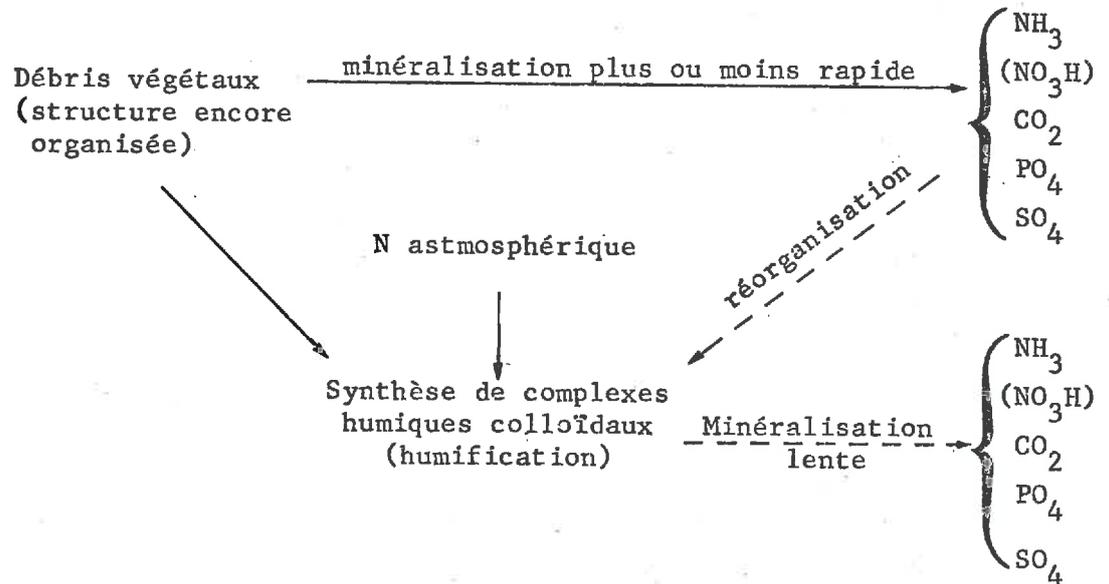


Schéma de la décomposition des débris organiques (Duchaufour [1])

121 Décomposition

Elle se traduit par la prolifération de micro-organismes au dépens de substances facilement décomposables (sucres, amidon, cellulose, protéines etc.). Une partie des produits transitoire et les corps microbiens obtenus à la suite de cette première phase sont ensuite transformés en substances minérales solubles assimilables par les plantes.

122 Humification

Certains produits transitoires subissent une tout autre évolution. Leurs molécules, au lieu de se dissocier davantage, vont au contraire polymériser et former, en particulier, des substances de nature colloïdale à caractère acide : les "acides humiques".

L'humus ainsi formé minéralisera beaucoup plus lentement (1,5 à 2 % par an) que les matières organiques fraîches.

Les substances issues de la polymérisation ont entre elles des propriétés différentes et peuvent être séparées chimiquement en humine, acides fulviques et acides humiques.

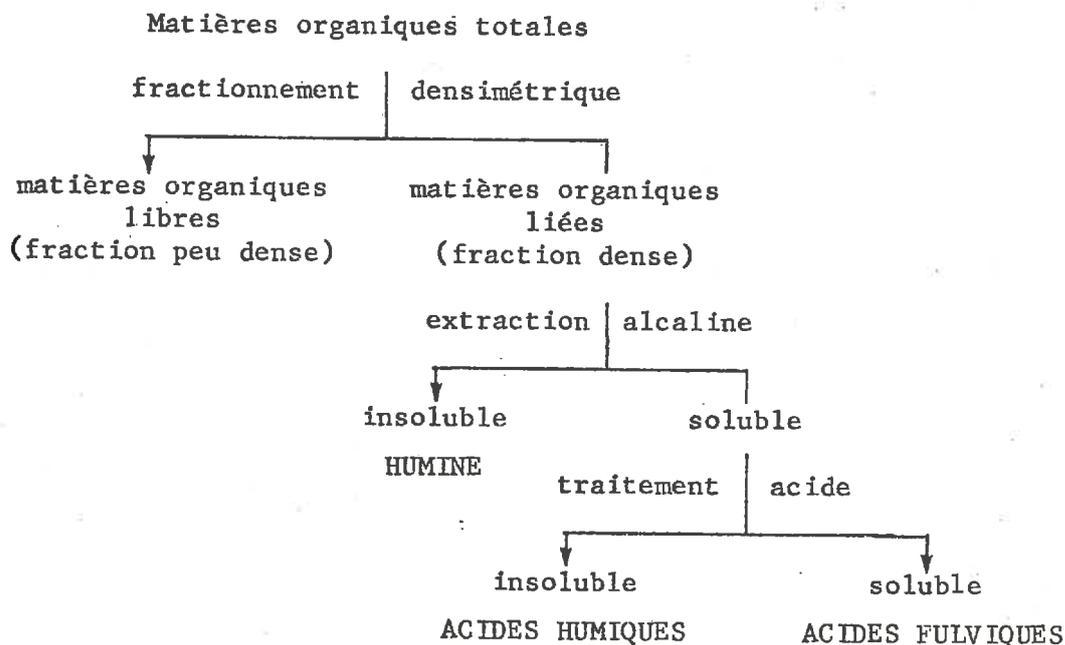


Schéma résumant la répartition des différentes substances constituant les matières organiques du sol (Hénin, Gras, Monnier [2]).

13 Rôles de la matière organique

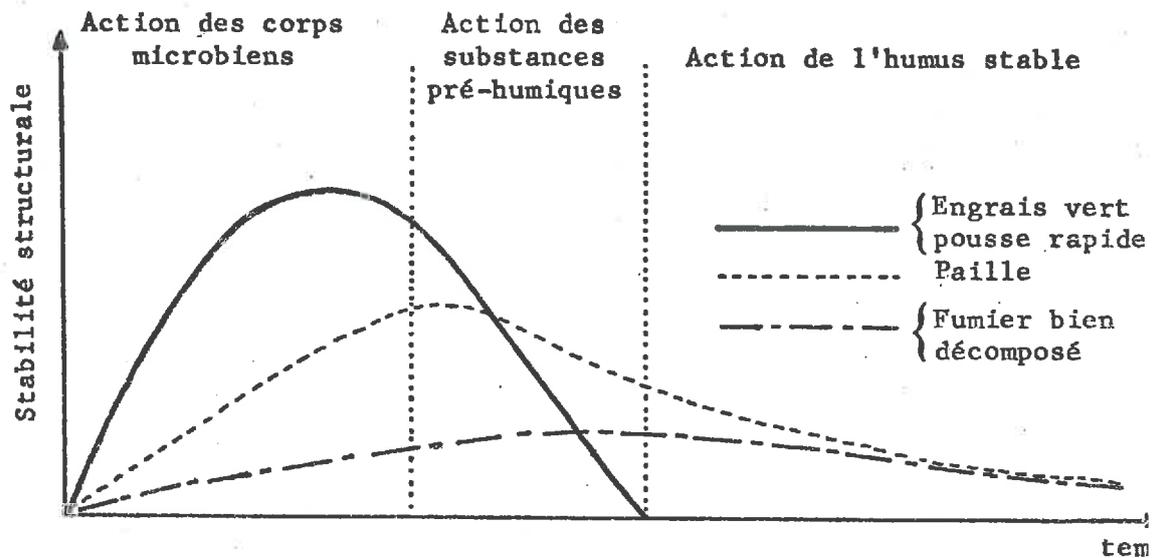
La matière organique joue un rôle important sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

131 Actions sur les propriétés physiques

Lorsqu'ils sont suffisamment abondants, les résidus de récolte peuvent constituer un mulch qui protège la surface du sol contre la battance.

Bien mélangés à la terre, ils permettent, entre autre, d'augmenter temporairement la porosité de la couche travaillée.

Par ailleurs, les matières organiques facilement décomposables (engrais verts, verts de betteraves etc.) fournissent une grande quantité de produits transitoires qui accroissent passagèrement la stabilité structurale du sol.



Action sur la stabilité structurale de diverses sources de matières organiques (d'après Monnier).

Les colloïdes humiques, issus de la décomposition de résidus riches en cellulose et en lignine, améliorent de façon durable la stabilité structurale du sol, et par conséquent, ses propriétés physiques (porosité, aération, réchauffement etc.).

132 Actions sur les propriétés chimiques

Les colloïdes humiques, comme les colloïdes argileux, accroissent la capacité d'échange du sol en cations et en anions. Ils ont en outre une action bénéfique sur la disponibilité de certains éléments minéraux. Ainsi, dans les sols calcaires, les colloïdes humiques maintiennent le phosphore sous une forme assimilable (humophosphate de calcium). De même, dans les sols morillonitiques, ils limitent la rétrogradation des ions K^+ à l'intérieur des feuillets et améliorent l'efficacité des engrais potassiques.

133 Actions sur les propriétés biologiques

Les matières organiques stimulent l'activité biologique des sol. Elles sont à la fois source d'alimentation et d'énergie pour la faune et les micro-organismes du sol.

2. BASES ECHANGEABLES

21 Le calcium

211 Différentes sortes de calcium dans le sol

Le calcium est présent dans le sol sous des formes inactives ou actives.

- calcium inactif

Le calcium inactif se trouve dans les roches calcaires (carbonate de calcium à l'état grossier) et dans certains minéraux silicatés (Feldspath, pyroxène etc.).

- calcium actif et échangeable

Attaqué par les acides faibles du sol, les fines particules de calcaire donnent du bicarbonate de calcium :



En se dissociant partiellement dans la solution du sol, il libère des ions Ca^{++} . C'est le calcium échangeable qui est en grande partie fixé sur le complexe et qui joue un rôle essentiel sur les propriétés physiques et chimiques du sol et sur son activité biologique.

212 Rôle du calcium dans l'alimentation des plantes

C'est un élément nutritif très important. Il favorise la croissance des végétaux, la résistance des tissus et la maturation des fruits et des grains.

213 Actions sur le sol

- actions sur les propriétés physiques du sol

La structure du sol est améliorée par la présence du calcium. En effet, l'argile et l'humus sont très énergiquement flocculés par les ions Ca^{++} . Par ailleurs, l'humus formé dans un milieu bien pourvu en ions Ca^{++} est riche en colloïdes humiques à grosses molécules tels que les acides humiques gris, et forme avec l'argile des complexes extrêmement stables (les sols de rendzines par exemple).

En revanche, dans les sols pauvres en calcium, il se forme souvent des humus peu stables, riches en acides pseudo-solubles comme les acides fulviques qui peuvent être entraînés en profondeur par lessivage.

- actions sur les propriétés chimiques du sol

Les ions Ca^{++} favorisent la fixation des ions phosphatés (pont calcique) et sont utilisés comme "monnaie d'échange" par le complexe pour fixer d'autres cations comme K^+ .

Le calcium a également une action régulatrice sur le pH du sol.

- actions sur l'activité biologique du sol

L'amélioration de la structure (aération, drainage, pH) due à la présence de calcium, favorise l'activité des micro-organismes (en particulier des bactéries) et des vers de terre. La minéralisation puis l'humification des matières organiques fraîches sont par conséquent accélérées dans des sols riches en ions Ca^{++} .

22 Le magnésium

221 Différentes sortes de magnésium dans le sol

Le magnésium se présente dans la solution du sol sous forme soluble ou insoluble.

- forme insoluble

Un grand nombre de roches éruptives et sédimentaires, particulièrement la dolomie, contiennent du magnésium. Elles doivent être dégradées pour que celui-ci soit assimilable par les plantes.

- forme soluble et échangeable

Plus soluble que le calcium, le magnésium se trouve également à l'état de nitrate, de carbonate et de bicarbonate.

Les ions Mg^{++} se fixent sur le complexe, mais moins énergiquement et en moins grand nombre que les ions Ca^{++} .

222 Rôle du magnésium dans l'alimentation des plantes

Le magnésium est un élément vital pour les végétaux. Il entre en particulier dans la composition de la chlorophylle et favorise la migration du phosphore dans la plante.

La carence en cet élément se traduit par la chlorose du feuillage. Sur le maïs, par exemple, on observe un jaunissement des feuilles les plus âgées.

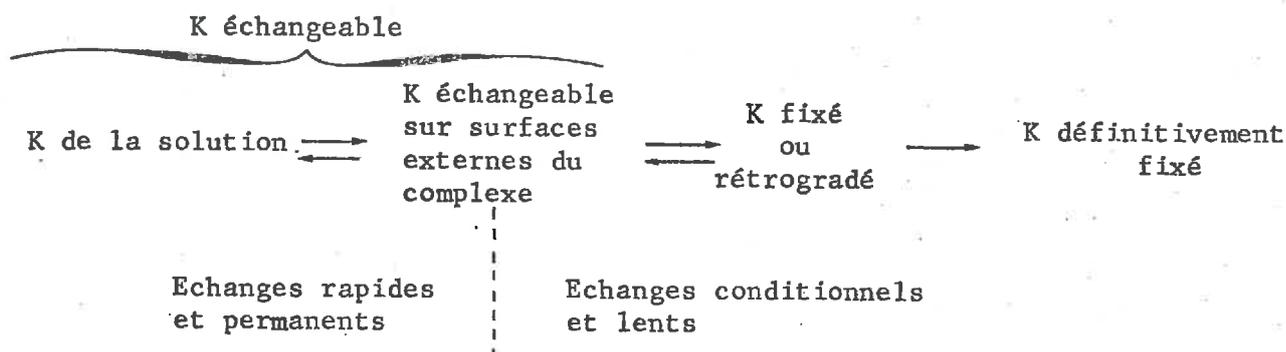
223 Actions sur le sol

En excès ($\frac{\text{MgO}}{\text{CaO}} > 1/12$), le magnésium provoque la dispersion des argiles et par conséquent la dégradation de la structure du sol.

23 Le potassium

231 Différentes formes de potassium dans le sol

Le sol contient une quantité importante de potassium dont seulement 1 à 2 % sont utilisables par les plantes.



Différentes formes de potassium dans le sol (M. Duthion [3])

- forme inutilisable

Il s'agit essentiellement du potassium contenu dans certains minéraux des roches cristallines tels que les feldspaths.

De même, le potassium rétrogradé entre les feuillettes des argiles illitiques est très difficilement échangeable.

- forme utilisable

La forme utilisable du potassium est issue de la décomposition des roches-mères. Elle correspond aux ions K^+ de la solution du sol et à ceux qui sont fixés à la surface du complexe argilo-humique.

232 Rôle du potassium dans l'alimentation des plantes

Le potassium est absorbé en grande quantité par les plantes. Son rôle et ses effets sont multiples. Il favorise notamment le développement du système racinaire, la synthèse chlorophyllienne, la formation de l'amidon et la migration des sucres. C'est en outre, un facteur de résistance à certaines maladies. Il a par ailleurs une incidence considérable sur la taille et le poids des grains.

233 Rôle du potassium sur le sol

Lorsqu'on apporte un engrais potassique, les ions K^+ en excès se fixent sur le complexe et déplacent des cations Ca^{++} qui passent dans la solution et peuvent être lessivés, ce qui entraîne une décalcification du sol.

En outre, certains engrais potassiques ont un caractère acidifiant. Ainsi, les ions K^+ du chlorure de potassium (KCl) remplacent sur le complexe des ions H^+ qui, dans la solution du sol, vont se combiner aux anions Cl^- pour donner un acide fort (HCl).

24 Le sodium241 Présence dans le sol

Le sodium est présent à des taux variables dans tous les sols sous sa forme ionique Na^+ . Il est souvent issu de la dégradation de certains minéraux contenus dans de nombreuses roches éruptives telles que les granites et les diorites. En outre, le sodium est abondant au voisinage des côtes où il peut avoir été apporté par les vents marins.

242 Rôle du sodium dans l'alimentation des plantes

A dose réduite, le sodium exerce une influence favorable sur la plupart des végétaux. Il peut même remplacer partiellement le potassium dans certaines plantes comme la betterave.

243 Actions sur le sol

En général, le sodium ne se trouve qu'en très faible quantité sur le complexe absorbant. Il ne joue par conséquent qu'un rôle négligeable sur les propriétés physiques du sol.

Cependant, dans certains sols où les ions Na^+ tendent à dépasser 15 % de la capacité d'échange en cations du complexe, la stabilité structurale est considérablement abaissée (G. Gaucher [4]). Les argiles fortement dissociées donnent au sol une structure massive et imperméable.

3. LE PHOSPHORE31 Différentes formes de phosphore dans le sol

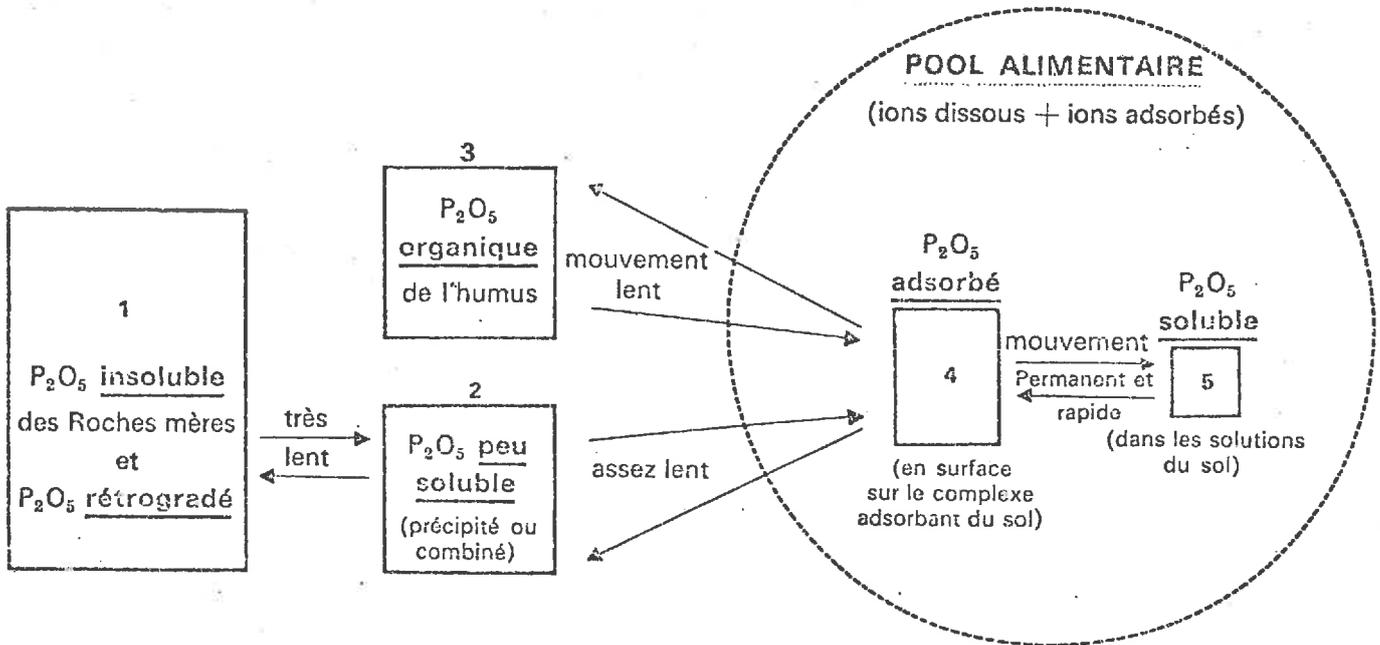
Les formes de phosphore dans le sol sont nombreuses ; toutefois, on peut distinguer deux grands types : le phosphore insoluble et le phosphore soluble, échangeable.

311 Phosphore insoluble (et très peu soluble)

Il s'agit du phosphore des roches mères (apatite) mais aussi de l'acide phosphorique précipité en milieu très acide sous forme de phosphates de fer et d'alumine, et cristallisé en milieu alcalin sous forme de phosphate calcique.

312 Phosphore échangeable

Le phosphore échangeable est constitué par l'ensemble des anions phosphatés en solution dans le sol ou adsorbé sur les colloïdes (humus, argiles, hydroxydes de fer et d'alumine) et sur de fines particules de calcaire actif.



La dynamique du phosphore dans le sol

(d'après Studer I.N.R.A. Châteauroux [5])

32 Rôle de l'acide phosphorique dans l'alimentation des plantes

L'acide phosphorique est un constituant essentiel des végétaux, en particulier des organes jeunes. Il intervient à tous les stades du cycle végétatif des plantes cultivées. L'acide phosphorique favorise en outre la croissance, la fécondation et la maturation des végétaux. C'est donc un élément très important de la qualité des récoltes.

III - MATERIELS ET METHODES

Dans ce chapitre, nous présenterons successivement l'expérimentation et les essais, puis nous aborderons les méthodes de prélèvements d'échantillons de terre et les diverses analyses effectuées.

Nous terminerons enfin par une brève présentation du traitement statistique des résultats.

1. PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION DE L'I.T.C.F. SUR LES CONSEQUENCES A LONG TERME DES TECHNIQUES SIMPLIFIEES DE TRAVAIL DU SOL

11 Objet

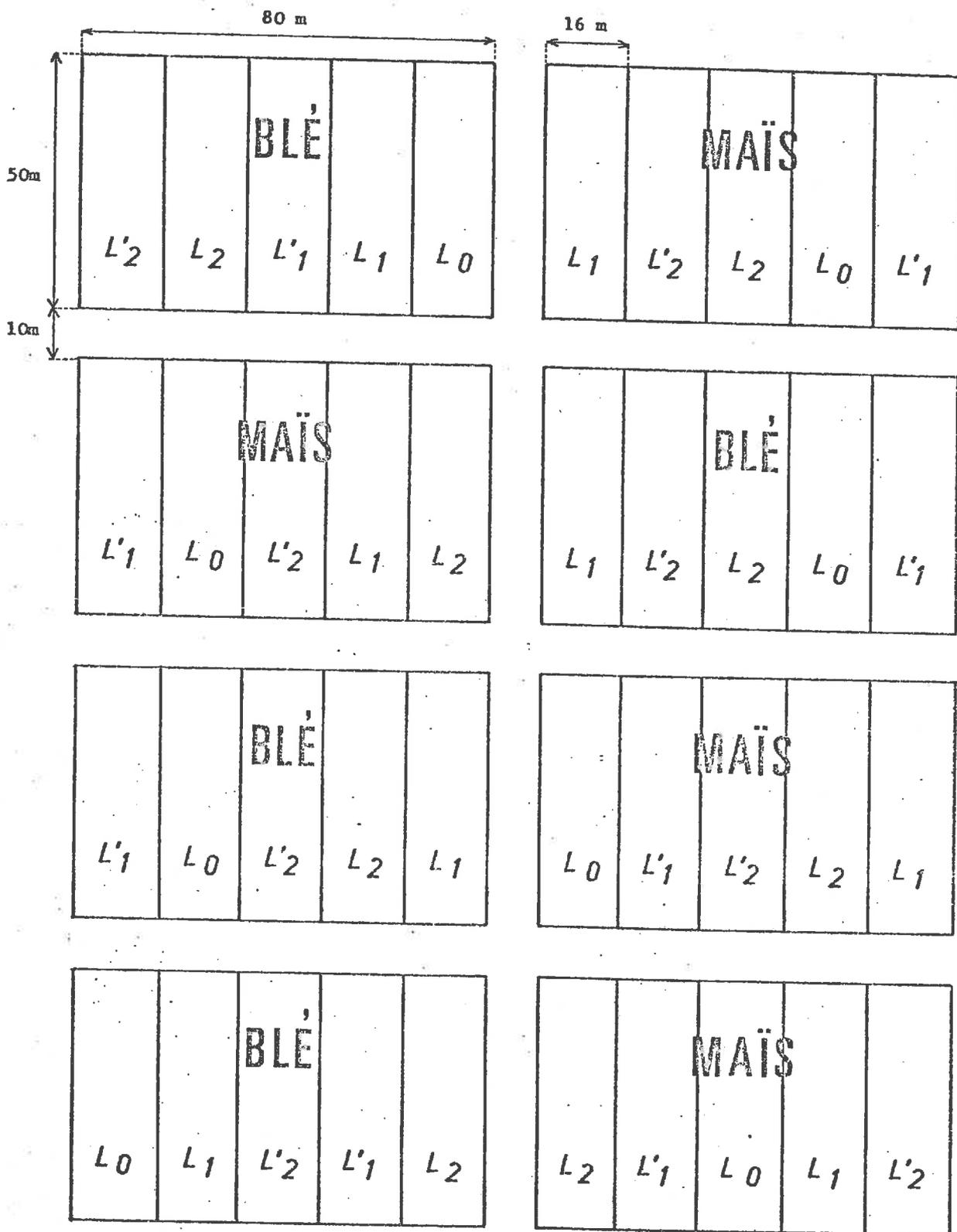
Cette expérimentation a pour objet d'étudier l'incidence de trois techniques de travail du sol : le labour, le travail superficiel et le semis direct, sur les propriétés physiques et chimiques du sol, le développement des parasites, la croissance et les rendements des plantes cultivées.

12 Protocole expérimental

Les essais sont effectués sur une rotation maïs-blé.

Le protocole expérimental choisi est suffisamment souple pour s'adapter à l'évolution du matériel ainsi qu'à l'apparition éventuelle de difficultés en cours d'expérimentation ; les points principaux de ce protocole sont les suivants :

- A) Trois types de travail du sol sont mis initialement en comparaison :
- un travail profond du sol (20 à 25 cm) avec mélange des matières organiques et de la fumure de fond sur toute l'épaisseur de la couche travaillée. Les matériels utilisés sont la charrue et les outils habituels de préparation superficielle du sol ;
 - un travail superficiel, limité à une profondeur maximum de 10 cm, avec mélange des matières organiques et de la fumure phospho-potassique au sol sur cette profondeur. Ce travail est obtenu, par exemple, au moyen de houes rotatives à axe horizontal du type "Rotavator" ;
 - un semis sans aucun travail préalable du sol ou "semis direct". Dans ce cas, le mélange au sol de la matière organique et de la fumure phospho-potassique est presque inexistant. Le semis est effectué à l'aide de semoirs spéciaux qui déposent directement la graine dans le sol non travaillé.
- B) Chaque année, les deux termes de la rotation (blé d'hiver et maïs) apparaissent dans chaque essai, ce qui permet d'apprécier l'incidence des conditions particulières de l'année sur le comportement du blé et sur celui du maïs.



L₀ Labour
 L₁ et L'₁ Travail superficiel
 L₂ et L'₂ Semis direct

Schéma n° 1 - Plan de l'essai de Boigneville (assolement 1970-1971)

C) Le dispositif expérimental est un "split-plot" à quatre blocs et deux facteurs (voir § 5 "Traitement statistique des résultats").

- Le premier facteur est la culture. Il comprend deux niveaux :
 - . le blé d'hiver
 - . le maïs
- Le deuxième facteur est la technique de travail du sol. Il comprend cinq ou six niveaux selon que le témoin "labour" est doublé ou non :
 1. L_0 : travail profond (labour)
 2. L'_0 : travail profond (labour)
 3. L_1 : travail superficiel
 4. L'_1 : travail superficiel
 5. L_2 : semis sans travail ou "semis direct"
 6. L'_2 : semis sans travail ou "semis direct"

Ce dispositif permet de mesurer l'effet des techniques de travail du sol sur le rendement du blé et du maïs en fonction des conditions de l'année.

Les traitements "travail superficiel" et "semis direct" (L_1 et L_2) ont été doublés dans les deux essais afin de rendre possible l'introduction ultérieure de variantes jugées nécessaires.

- D) Les dimensions des parcelles sont de 50 m x 16 m. Des allées de 10 m de large sont prévues à l'extrémité des parcelles pour permettre une circulation aisée du matériel et la mesure des temps de travaux (voir schéma n° 1).
- E) La durée de chaque essai est fixée à dix ans ; on espère ainsi mettre en évidence l'effet cumulé des traitements sur les différents facteurs observés.

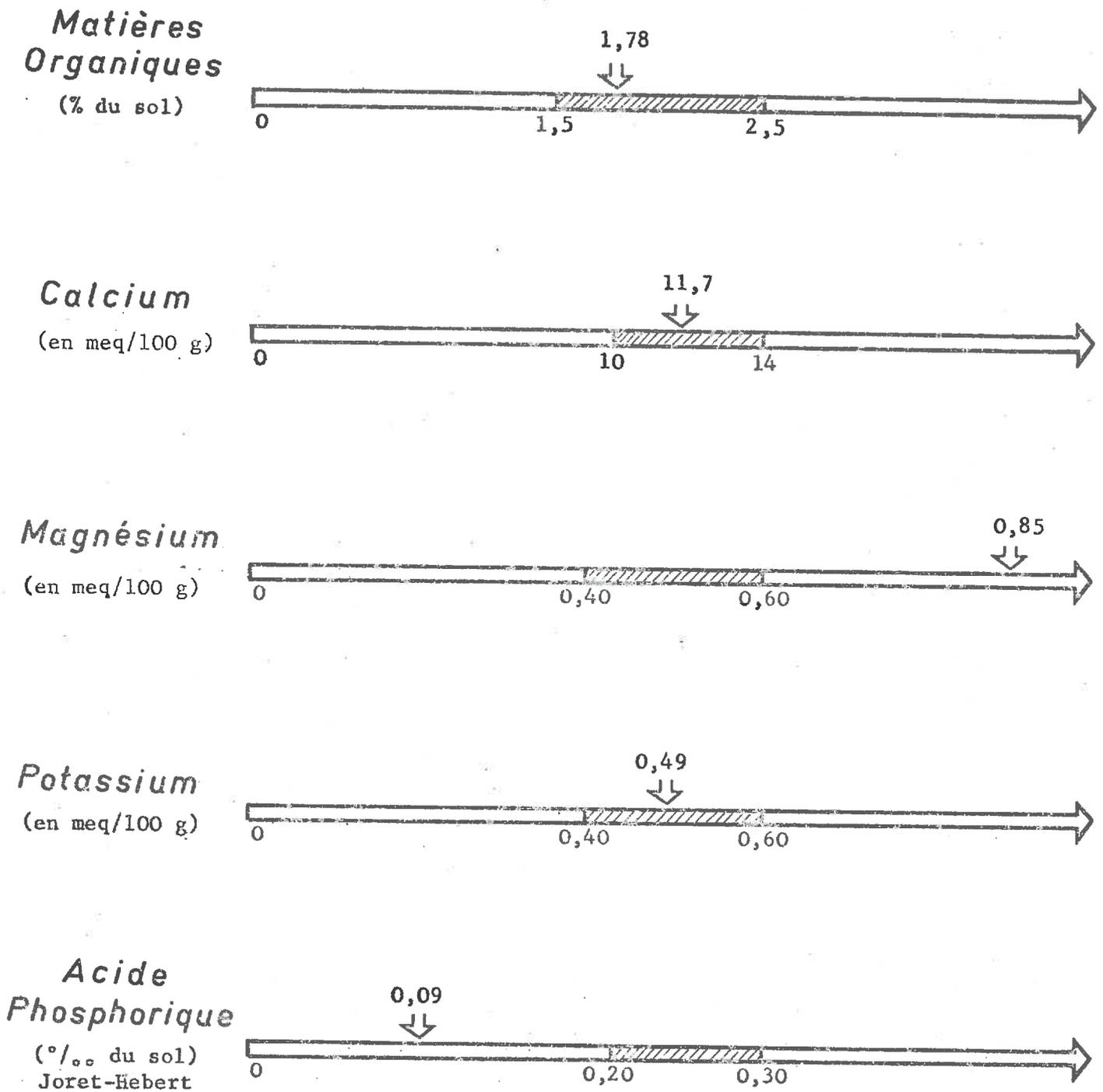
13 Observations réalisées dans les essais

De multiples observations sur la croissance et le développement des plantes, ainsi que sur l'évolution du sol et des problèmes phytosanitaires, sont effectuées chaque année sur les essais.

Ce programme d'enregistrement est en effet indispensable pour mieux connaître les effets à terme de la simplification des techniques culturales, et mettre éventuellement en évidence les problèmes qui risquent de se poser.

Les observations concernant l'évolution des teneurs en matière organique et en éléments minéraux sont effectuées tous les quatre ans ; elles comprennent :

- . la détermination des teneurs en bases échangeables (Ca, Mg, K et Na) et en acide phosphorique échangeable ;



 Teneur moyenne pour un taux d'argile de 23,5 %

Schéma n° 2 - Teneurs initiales en matières organiques et en éléments minéraux dans la couche arable (essai de Boigneville).

(D'après les normes d'interprétation employées par les Laboratoires Associés de Recherche Agricole de Toulouse [6]).

- . la mesure des teneurs du sol en carbone total et en carbone de la fraction libre de la matière organique ;
- . la détermination du taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène qui permet d'apprécier l'incidence du non enfouissement des pailles sur la stabilité structurale dans les couches superficielles.

2. LOCALISATION DE L'ETUDE

Cette étude a été réalisée dans deux essais, dont l'un est situé sur la Station expérimentale I.T.C.F. de Boigneville (91) dans le Gâtinais Beauceron et l'autre à St-Aubin-la-Plaine (85) dans la plaine de Vendée.

21 Boigneville

211 Le climat

Cette région bénéficie d'un climat tempéré, légèrement continental. La pluviosité annuelle est de l'ordre de 600 à 650 mm dont 400 mm tombent pendant les mois d'hiver.

212 Le sol

L'essai de Boigneville est situé sur un Limon des Plateaux dérivé d'un Löss, lequel repose sur un Calcaire de Brie (voir schémas n° 3 et 6).

- la couche arable

La profondeur de la couche arable varie entre 25 et 30 cm. Sa texture (23,5 % d'argile, 66 % de limons et 7,5 % de sables) le classe parmi les sols argilo-limoneux (triangle de Hénin).

Le taux de matière organique est moyen (1,8 à 2 %) et confère à cet horizon une couleur brune.

Le pH eau est voisin de la neutralité.

Les différentes teneurs en éléments minéraux sont variables (voir schéma n° 2). En outre, la somme des bases échangeables est de l'ordre de 13 mcq / 100 g de terre sèche. La différence positive entre la somme des bases échangeables et la capacité d'échange montre en outre qu'il existe dans ce sol du calcaire actif à l'état de traces (voir tableau I).

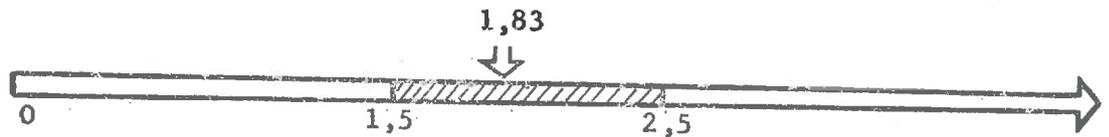
La structure de la couche arable est une structure polyédrique qui présente une stabilité structurale moyenne (indice d'instabilité S = 1,62, indice de percolation K = 1,45).

- le sous-sol

De 25-30 cm à 70 cm, on trouve un horizon de couleur brun-rouge dont la texture est celle d'une argile limoneuse (33 % d'argile, 63 % de limons et 3 % de sable).

Le taux de matière organique est assez élevé (1 % entre 50 et 60 cm de profondeur), et il présente un pH eau légèrement basique (pH 7,6).

**Matières
Organiques**
(% du sol)



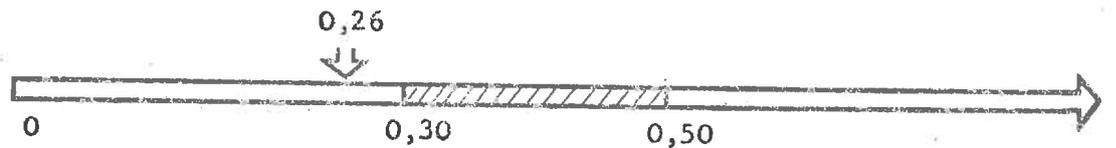
Calcium
(en meq/100 g)



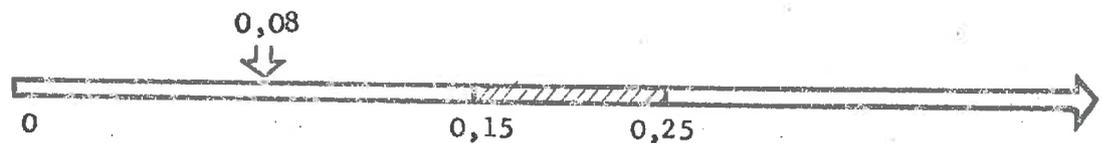
Magnésium
(en meq/100 g)



Potassium
(en meq/100 g)



**Acide
Phosphorique**
(°/∞ du sol)
Joret-Hebert



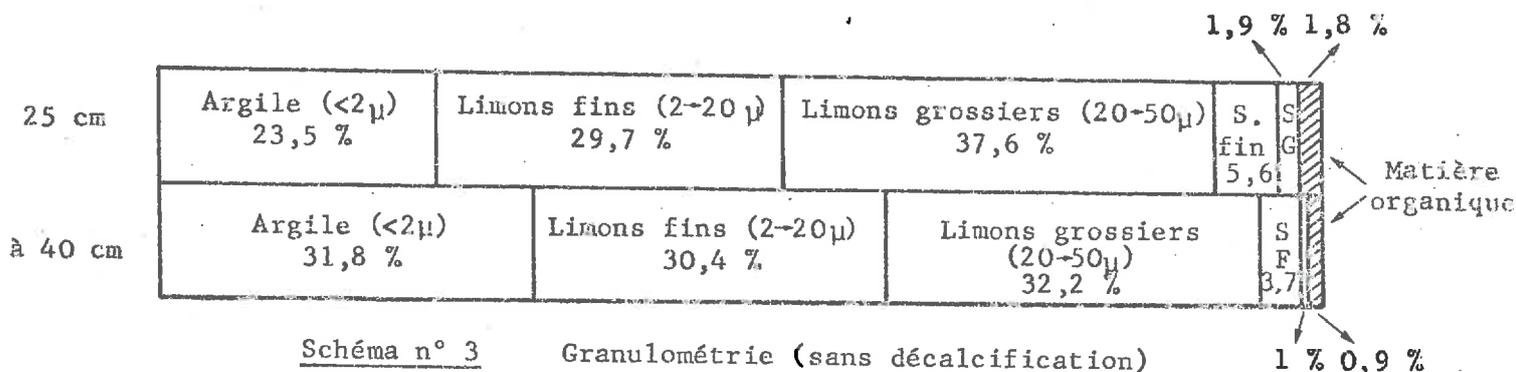
 Teneur moyenne pour un taux d'argile de 19,1 %

Schéma n° 4 - Teneurs initiales en matières organiques et en éléments minéraux dans la couche arable (essai de St-Aubin-la-Plaine).
(D'après les normes d'interprétation employées par les Laboratoires Associés de Recherche Agricole de Toulouse [6]).

Cet horizon repose sur un lœss de texture limono argileuse et de teinte brun clair à jaunâtre, riche en calcaire (31 %).

A 1,20 m de profondeur, on trouve enfin une roche calcaire dure (calcaire de Brie) plus ou moins fissurée.

Ce profil confère au sol de Boigneville un excellent drainage qui est confirmé par la présence de nombreuses traces d'activité de vers de terre et de racines sur plus d'un mètre de profondeur.



22 St-Aubin-la-Plaine

221 Le climat

La plaine de Vendée est soumise au climat océanique. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 700 à 750 mm, assez bien répartis tout au long de l'année.

222 Le sol

Cet essai est implanté sur un sol brun eutrophe reposant sur un calcaire dur (voir schémas n° 5 et 6).

- la couche arable

La profondeur de la couche arable se situe vers 25-30 cm. Du point de vue textural, cet horizon se classe entre les sols argilo-limoneux et les sols limono-argileux (triangle de Hénin).

Le taux de matière organique reste moyen (1,8 à 2 %).

Le pH eau est légèrement acide (pH 6,4).

Les teneurs en éléments minéraux sont en général assez faibles (voir schéma n° 4), et la somme des bases échangeables est de l'ordre de 8,8 mcq pour 100 g de terre sèche. Dans cet essai, comme dans celui de Boigneville, la différence entre la somme des bases échangeables et la capacité d'échange est positive, ce qui traduit la présence de calcaire actif (voir tableau I).

L'ensemble de la couche arable présente une structure finement polyédrique. En outre, il faut noter que l'aptitude de cet horizon à se compacter sous l'influence des passages de roues ou à se battre en surface, est encore plus marquée que dans le cas du sol de l'essai de Boigneville.

- le sous-sol

De 25-30 cm à 60 cm de profondeur, le sous-sol présente un premier horizon légèrement plus argileux que la couche arable (26 % d'argile, 66 % de limons et 7 % de sable) ; son taux de matière organique se situe entre 1 et 1,2 %.

Cette couche possède une structure polyédrique grossière à faible porosité qui constitue souvent un obstacle à la pénétration des racines, particulièrement lors d'un été sec.

De 60 à 120 cm, on rencontre un horizon rougeâtre, très argileux, présentant de nombreuses concrétions ferrugineuses et une structure très compacte à tendance continue.

Cette couche repose sur un calcaire dur, peu fissuré, qui assure néanmoins un excellent drainage à l'ensemble du profil.

Il faut enfin noter l'exploitation du sous-sol par les vers de terre et les racines. Cette exploitation est toutefois beaucoup moins importante qu'à Boigneville, en particulier dans l'horizon profond (60 à 120 cm)

0 à 25 cm	Argile (<2 μ) 19,1 %	Limons fins (2-20 μ) 35,8 %	Limons grossiers (20-50 μ) 35,9 %	S. S. Fin G. 3,6 3,3	2,1 %
30 à 40 cm	Argile (<2 μ) 20 %	Limons fins (2-20 μ) 35,7 %	Limons grossiers (20-50 μ) 35,5 %	S. S. F. G. 3,4 3,6	1,8 %

Matière organique

Schéma n° 5 Granulométrie (sans décalcification)

	Boigneville	St-Aubin
CE	13,33	8,77
Ca	14,19	8,74
Mg	0,82	0,56
K	0,48	0,33
Na	0,07	0,10

Tableau I - Capacité d'échange de cations de la couche arable (d'après des prélèvements effectués en Octobre 1970).

Boigneville

St Aubin-la-Plaine

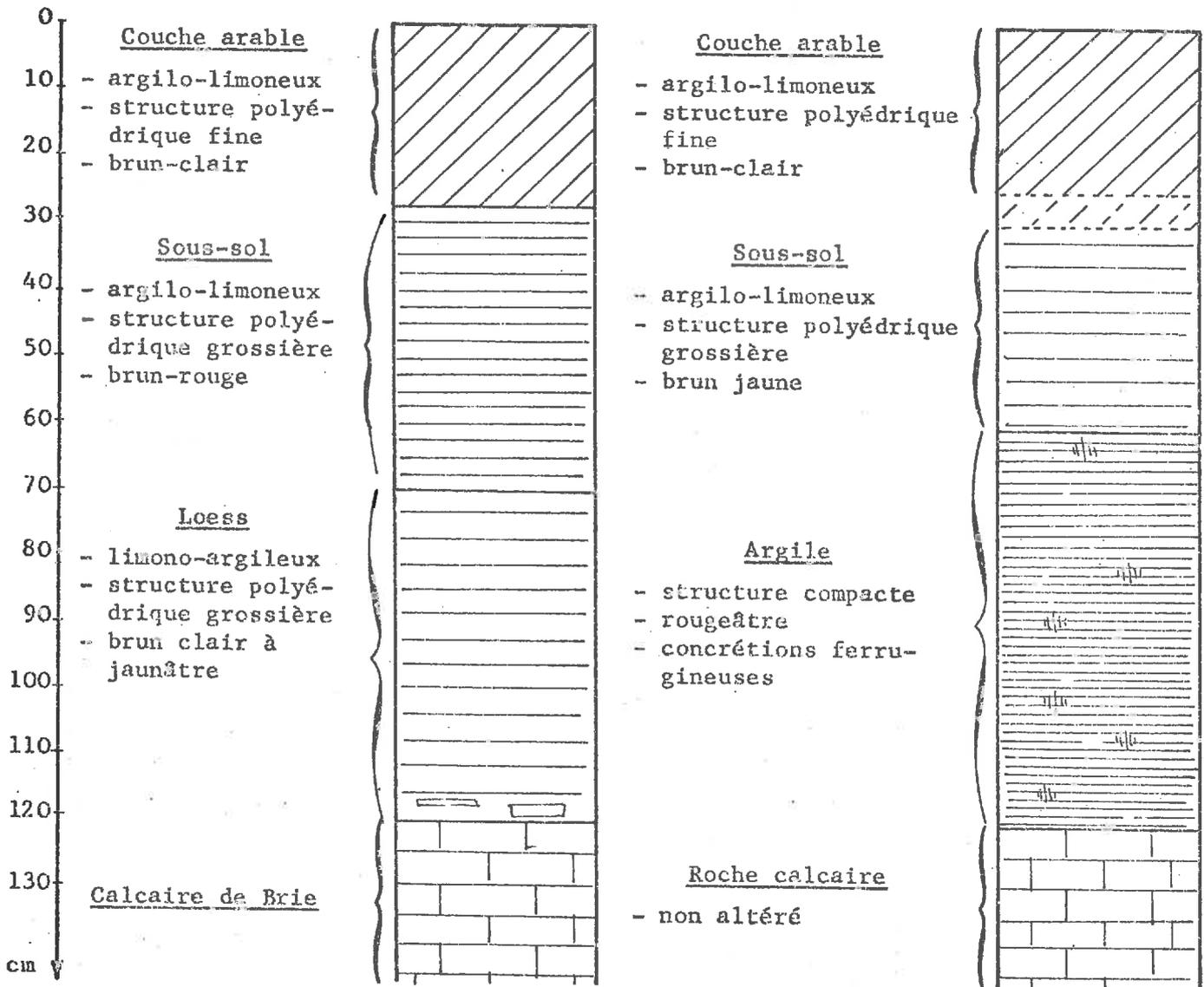


Schéma n° 6 - Profils pédologiques des sols sur lesquels sont implantés les essais de Boigneville et de St-Aubin-la-Plaine.

3. REALISATION DES PRELEVEMENTS DE TERRE

31 Dates de prélèvements

Au point 0, les prélèvements ont été effectués du 12 au 15 Octobre 1970 dans l'essai de Boigneville et du 26 au 30 Octobre dans l'essai de St-Aubin-la-Plaine.

Après quatre ans d'expérimentation, les prélèvements ont eu lieu les 1er et 2 Octobre 1974 sur précédent blé et les 21 et 22 Octobre sur précédent maïs à Boigneville. A St-Aubin-la-Plaine, les prélèvements ont été effectués les 15 et 16 Octobre pour les deux précédents.

32 Zones de prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés dans les trois traitements, labour, travail superficiel et semis direct, derrière les précédents blé et maïs, soit 24 parcelles par essai.

Les échantillons ont été prélevés dans chacun des coins de chaque parcelle élémentaire (voir schéma n° 7).

Il faut enfin noter que derrière maïs, les prélèvements de terre ont systématiquement été effectués dans les interlignes.

33 Niveaux de prélèvements

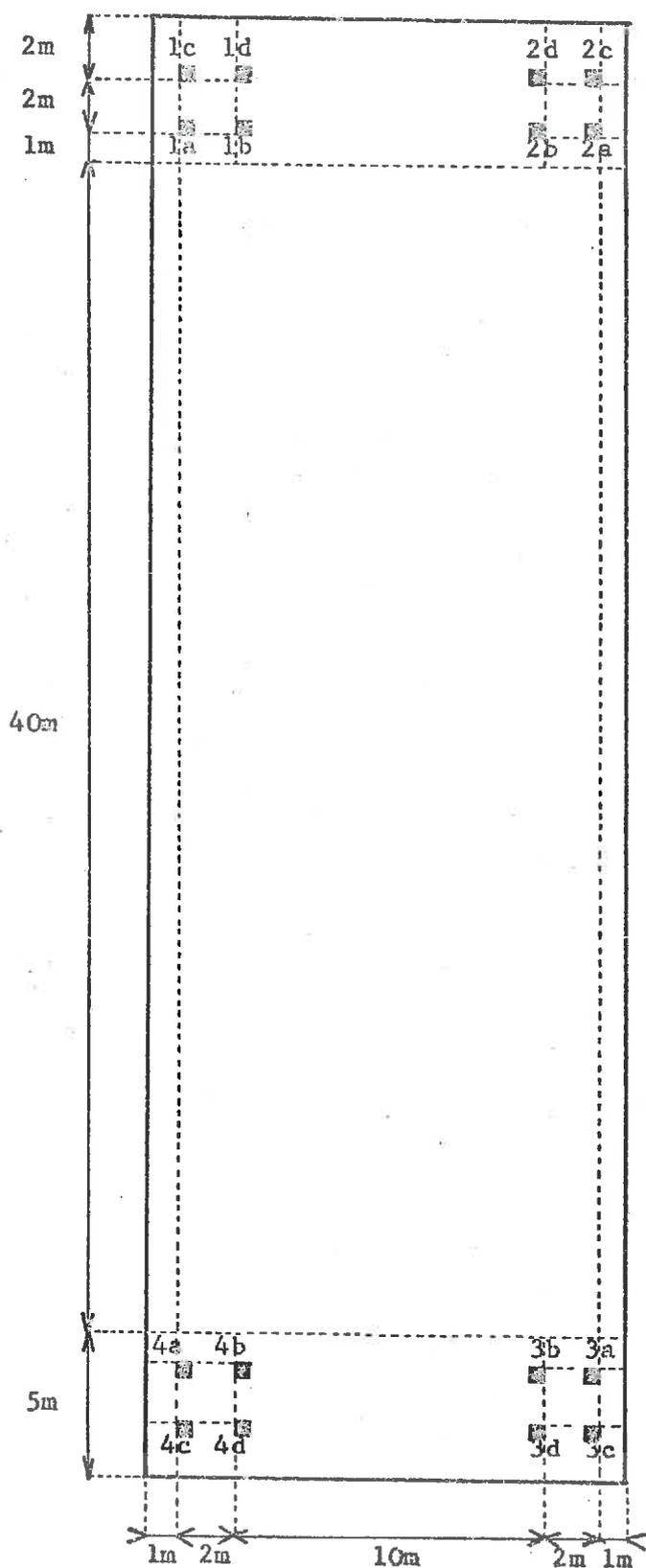
En 1970, les prélèvements ont été réalisés de 5 cm en 5 cm depuis la surface jusqu'au fond de la couche arable. A Boigneville, les 5 premiers centimètres du sous-sol ont également été prélevés.

En 1974, les discontinuités créées par le travail du sol ont été prises en compte pour définir les niveaux de prélèvements. En outre, il était intéressant de détailler les cinq premiers centimètres de la couche arable des parcelles en semis direct afin de mieux apprécier l'incidence du non travail sur l'accumulation de matières organiques et de certains éléments minéraux en surface (voir tableau II).

34 Constitution d'un échantillon

Dans chaque parcelle, on a constitué pour chaque niveau de prélèvement un échantillon moyen qui a été obtenu de la façon suivante :

- . un trou de 30 cm de côté et de 40 cm de profondeur a été creusé à la bêche dans chaque zone de prélèvement (voir schéma n° 7) ;
- . sur deux côtés opposés du trou, deux monolithes de terre de 6 à 7 cm d'épaisseur furent prélevés à l'aide d'une bêche ;
- . Ces tranches de terre ont ensuite été découpées suivant les niveaux pré-établis. Dans une même parcelle, il y a donc huit prélèvements correspondant au premier niveau, huit au second et
- . De ces huit prélèvements mélangés dans une cuvette, deux kilos environ furent ensuite émiettés puis séchés à l'air libre sur des plateaux.



Emplacement des prélèvements destinés aux analyses physiques et chimiques (Essais de Boigneville et de St-Aubin-la-Plaine)

- a : prélèvement au point 0 (1970)
- b : prélèvement au point 4 (1974)
- c : 3^e prélèvement
- d : 4^e prélèvement

Schéma n° 7 - Emplacement des prélèvements de terre

NIVEAUX DE PRELEVEMENT

Boigneville

St Aubin-la-Plaine

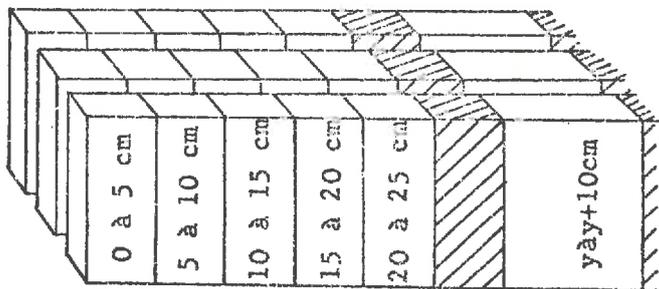
prélèvements 1970

prélèvements 1974

prélèvements 1970

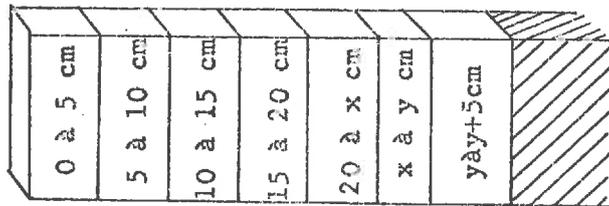
prélèvements 1974

3 TECHNIQUES

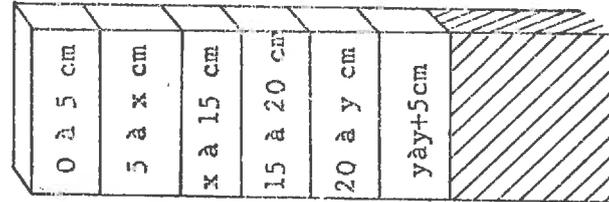


y = 30 cm

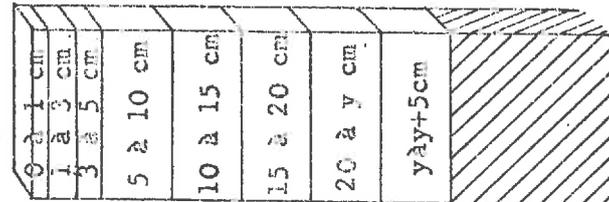
LABOUR TRAVAIL SUPERFICIEL SEMIS DIRECT



x = 25 cm
y = 28 cm

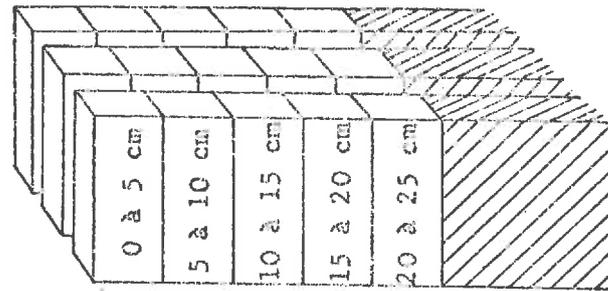


x = 11 cm
y = 25 cm

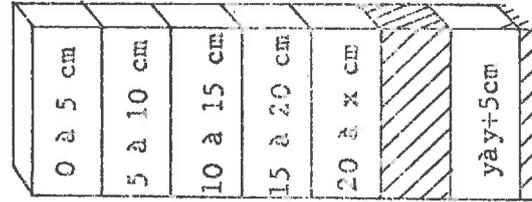


y = 25 cm

3 TECHNIQUES

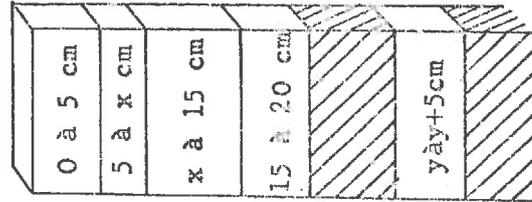


LABOUR



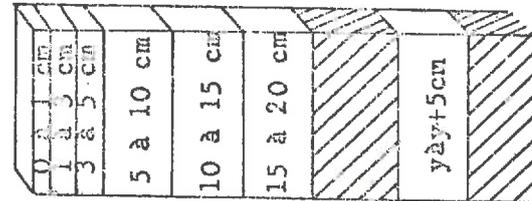
x = 25 cm
y = 30 cm

TRAVAIL SUPERFICIEL



x = 8 cm
y = 27 cm

SEMIS DIRECT



y = 27 cm



couches non prélevées

x = profondeur de travail en 1973
y = fond de la couche arable

Tableau II - A St-Aubin, le fond de la couche arable étant difficilement identifiable, "y" a été pris à une profondeur suffisante pour que la couche y à y + 5 soit représentative des premiers centimètres du sous-sol. Les différences que l'on observe entre les fonds de couche arable d'un même essai proviennent du tassement du sol non travaillé.

35 Conditionnement des échantillons

Le conditionnement a été adapté aux types d'analyses prévues :

- Teneurs en bases échangeables et en phosphore assimilable.
200 g de terre séchée à l'air libre ont été broyées au mortier et passées au tamis à mailles carrées de 2 mm.
- Mesure du taux d'agrégats stables.
100 g de terre sèche ont été forcés à travers un tamis à mailles carrées de 2 mm.
- Dosage du carbone total et du carbone de la fraction libre de la matière organique.
50 à 60 g de terre ont été broyées au mortier et passées au tamis de 200 μ .

4. ANALYSES EFFECTUEES

41 Détermination des teneurs en carbone des matières organiques

411 Carbone de la matière organique totale

Le carbone organique total de l'échantillon est dosé par la méthode de Anne.

Le carbone organique est oxydé, en milieu sulfurique, par du bichromate de potassium en excès. L'excès de bichromate non réduit par le carbone est alors titré par une solution de sel de Mohr en présence de diphénylamine dont la couleur vire du bleu foncé au vert foncé.

412 Carbone de la matière organique libre

- préparation des échantillons

Il s'agit, dans un premier temps, d'extraire la matière organique libre de l'échantillon de terre broyée à 200 μ . Cette séparation est basée sur la différence de densité entre les deux fractions :

- . matière organique libre : densité ≤ 2
- . matière organique liée à la fraction minérale : densité > 2

Un procédé de fractionnement densimétrique est utilisé. L'échantillon est tout d'abord mélangé à un liquide de densité 2 (mélange de bromoforme (densité 2,8 %) et d'alcool (densité 0,3 %)).

Trois centrifugations successives permettent de séparer la matière organique libre du reste de l'échantillon. La fraction légère est ensuite récupérée sur un filtre en papier de verre et envoyée sous cette forme au Laboratoire d'analyses des sols d'Arras.

- méthode d'analyse

Le dosage du carbone de la matière organique est effectué par la méthode de Anne (voir § 411).

42 Détermination du taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène

La détermination de la stabilité structurale d'un sol peut être basée sur l'examen du pourcentage d'agrégats détruits après traitement d'un échantillon de ce sol avec certains liquides comme l'eau, l'alcool ou le benzène (Monnier).

Le prétraitement au benzène permet de mettre en évidence le rôle de matières organiques sur la stabilité structurale en augmentant les effets de la non mouillabilité.

En pratique, un échantillon de 5 g de terre sèche forcée à la main à travers un tamis à mailles carrées de 2 mm est placé sur un tamis de 200 et plongé dans du benzène. L'agitation de ce tamis dans des conditions standard entraîne la destruction d'une partie des agrégats. La terre restée sur le tamis est ensuite séchée et pesée, ce qui permet de déterminer le pourcentage d'agrégats stables après prétraitement au benzène.

43 Détermination des teneurs en bases échangeables

431 Préparation des échantillons

Dix grammes de terre sèche sont placés dans un tube à percolation dans lequel on fait passer une solution d'acétate d'ammonium tamponné à pH 7. En présence de cet excès de cations NH_4^+ , les ions Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ et Na^+ sont déplacés, passent dans la solution et sont recueillis dans le percolat sur lequel sont effectués les dosages.

432 Méthodes d'analyses

- Dosage du potassium et du sodium

Le dosage du potassium et du sodium est réalisé à l'aide du spectrophotomètre de flamme.

Cet appareil utilise la propriété des solutions ionisées d'émettre, après pulvérisation dans une flamme, des rayonnements dont la longueur d'onde est caractéristique de chacun des ions contenus dans cette solution.

Pour mesurer les teneurs en ions d'un électrolyte, il suffit donc de sélectionner avec un prisme les raies lumineuses correspondant à chaque élément et d'utiliser des cellules photoélectriques pour en mesurer l'intensité.

Cette méthode fournit des résultats très précis, les limites de détection étant de l'ordre de 1.10^{-9} .

- Détermination du calcium échangeable et du magnésium

Le dosage du calcium échangeable et du magnésium est réalisé par spectrophotométrie d'absorption atomique.

Cette méthode est basée sur le fait qu'à l'état non ionisé, chaque élément est capable d'absorber les radiations lumineuses qui le caractérisent.

Par ailleurs, il est possible de transformer les ions d'une solution en atomes neutres en pulvérisant celle-ci dans une flamme à très haute température.

Il suffit donc d'utiliser une lampe émettant les radiations caractéristiques de l'élément à doser, de mesurer l'absorption par les atomes des rayons lumineux qu'elle produit et d'en déduire la teneur de cet élément dans la solution.

La précision de cette méthode est encore supérieure à celle de la méthode précédente.

44 Détermination des teneurs en acide phosphorique assimilable

La méthode Joret-Hébert a été utilisée pour doser les teneurs en acide phosphorique assimilable.

Cette méthode consiste à mettre en solution les ions phosphates des phosphates de fer, d'alumine et de certains humo-phosphates de calcium au moyen d'oxalate d'ammonium à 0,2 N. Le molybdate d'ammonium transforme ensuite ces ions phosphates en complexe phospho-molybdiques qui sont réduits en bleu de molybdène par le chlorure staneux.

L'intensité de cette coloration, fonction du taux d'acide phosphorique assimilable, est mesurée au photolorimètre.

5. TRAITEMENT STATISTIQUE DES RESULTATS

L'étude statistique avait pour objet de mettre en évidence l'incidence éventuelle des techniques de travail du sol sur l'évolution des teneurs de la couche arable en éléments minéraux et en matières organiques.

Cet objectif nous a amenés à prendre comme variable le rapport suivant :

$$\frac{\text{teneurs en 1974} - \text{teneurs en 1970}}{\text{teneurs en 1970}}$$

Le traitement statistique des résultats impliquait par ailleurs que les niveaux des prélèvements réalisés en 1970 et 1974 dans les trois techniques étudiées soient comparables. Ainsi, dans le traitement en semis direct, il a été nécessaire de calculer une moyenne pondérée des trois chiffres obtenus dans les cinq premiers centimètres pour représenter la couche 0 à 5 cm.

De même, dans le traitement travail superficiel, on a considéré que les valeurs obtenues pour les couches 5 à x cm (fond du travail au Rotavator) et x à 15 cm étaient représentatives des horizons 5 à 10 cm et 10 à 15 cm.

Enfin, il a fallu éliminer les résultats correspondant aux échantillons provenant au sous-sol, en raison de différences importantes entre les profondeurs des prélèvements effectués en 1970 et 1974.

La couche arable étant découpée systématiquement en tranches d'épaisseur comparable, le dispositif expérimental est un split-plot criss-crossé à quatre facteurs (voir schéma ci-après).

- 4 ou 5 profondeurs (5 à Boigneville et 4 à St-Aubin)
- 2 précédents (culture lors de la dernière campagne)
- 3 techniques culturales
- 4 blocs.

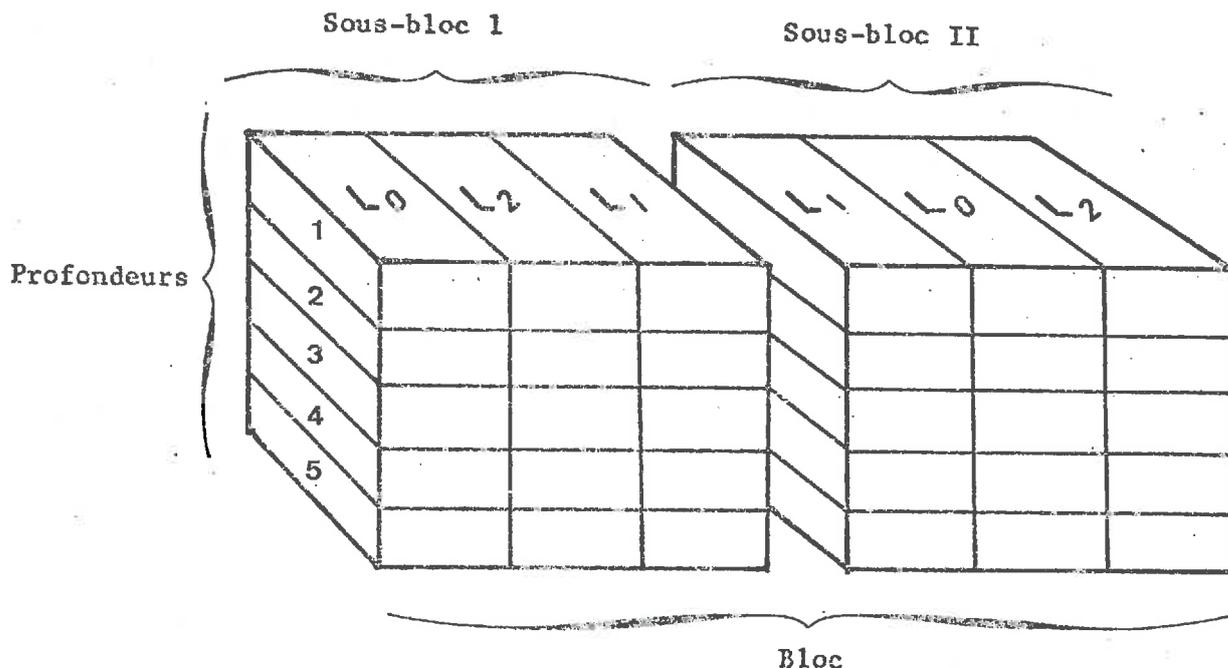


Schéma du dispositif expérimental utilisé pour l'analyse des résultats obtenus dans cette étude.

Les différents éléments mesurés dans les deux essais (bases échangeable: acide phosphorique, matières organiques) ont fait l'objet d'analyses de variance.

Les comparaisons de moyenne ont été effectuées à l'aide du test de Newman-Keuls.

Cette méthode est basée sur la comparaison des amplitudes observées par des groupes de 2, 3, ..., p moyennes, avec l'amplitude maximum attendue à un niveau de signification donné (J.P. Gouet [7]).

Ces comparaisons, basées sur les "ppas" (plus petite amplitude significative) permettent la répartition des différentes moyennes en groupes homogènes.

Ce test complète l'analyse de variance et facilite, en outre, l'interprétation des résultats.

IV - PRESENTATION DES RESULTATS

Dans ce chapitre, nous présenterons successivement les résultats relatifs aux divers éléments pris en compte. Pour chacun d'eux, nous interpréterons les graphes représentatifs des résultats obtenus sur les essais de Boigneville et de Saint-Aubin-la-Plaine, avant d'aborder la discussion.

Il est à noter que l'interprétation des résultats des analyses statistiques a été effectuée à partir de deux facteurs : les profondeurs de prélèvement et les techniques culturales.

Il a été décidé de faire abstraction du facteur "précédent" (culture lors de la dernière campagne) pour lequel aucun effet significatif n'a été mis en évidence par le traitement statistique.

	<i>Boigneville</i>			<i>St Aubin</i>		
	EFFETS SIMPLES		interaction de 1 ^{er} ordre	EFFETS SIMPLES		interaction de 1 ^{er} ordre
	profondeurs	techniques		profondeurs	techniques	
Calcium			-		-	
Magnésium					-	-
Potassium						
Sodium		-	-		-	-
Acide phosphorique		-				
Carbone total						
C.f.légère C.total						

Différences hautement significatives (probabilité $\leq 0,01$)Différences significatives (probabilité $\leq 0,05$)Différences presque significatives (probabilité $\leq 0,07$)Différences significatives mais qui ne peuvent être interprétées que par l'interaction de 1^{er} ordre

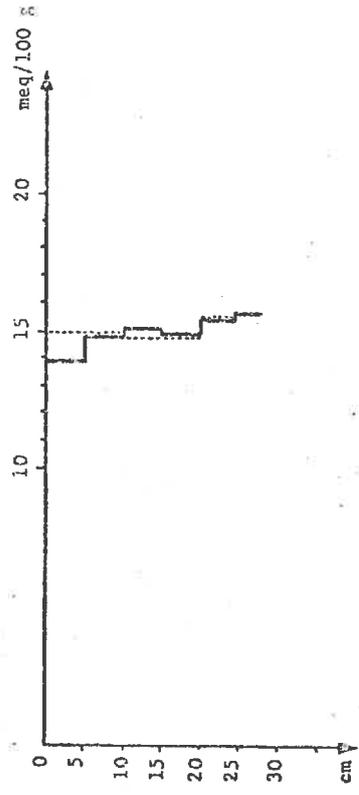
Différences non significatives

Tableau III - Ensemble des analyses statistiques effectuées sur les résultats des différences de teneurs.

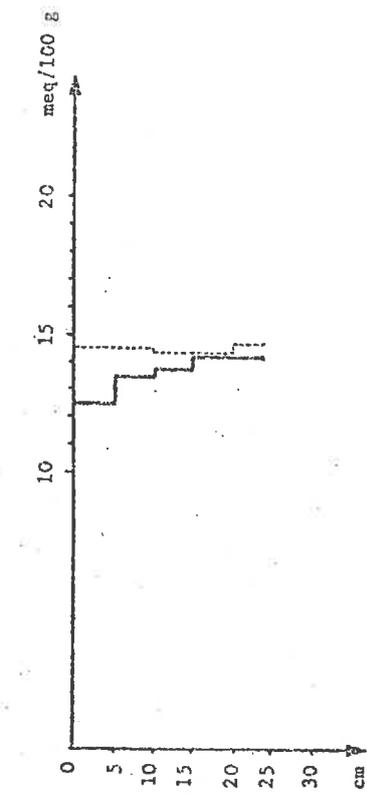
CALCIUM ECHANGEABLE Boigneville

Teneurs en 1970 et 1974

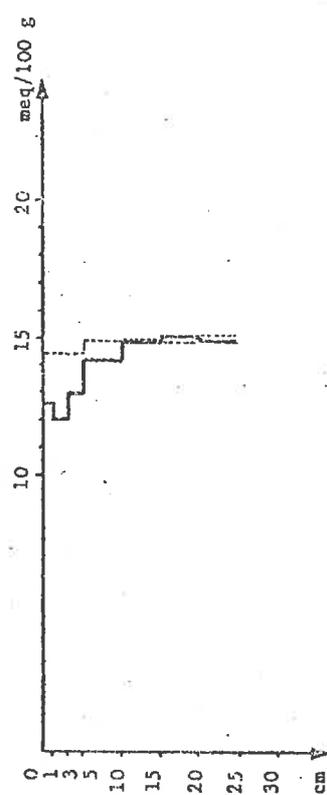
Evolution en % de la teneur 1970



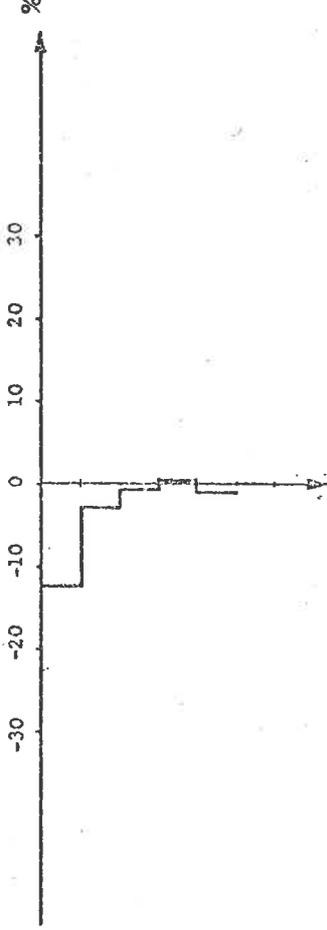
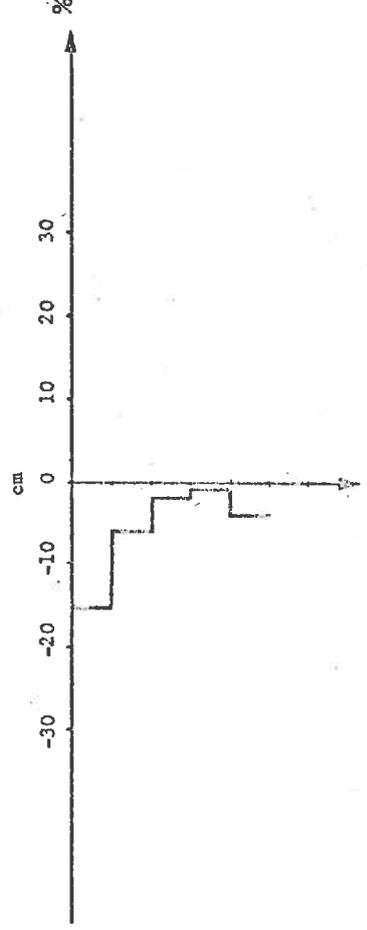
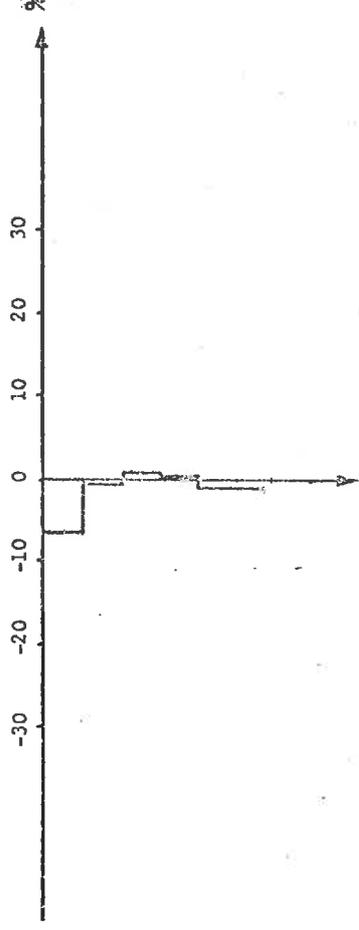
LABOUR
 x = 24 cm
 y = 28 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 11 cm
 y = 25 cm



SEMIS DIRECT
 y = 25 cm



x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970
 y = fond de la couche arable - - - - - teneurs en 1974

Graphique n° 1 - Evolution des teneurs en calcium échangeable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

1. BASES ECHANGEABLES

11 Calcium échangeable

111 Boigneville

Dans les trois techniques de travail du sol étudiées, l'analyse des résultats obtenus à Boigneville montre que les cinq premiers centimètres de la couche arable présentent un appauvrissement très net en calcium échangeable par rapport à 1970 (voir graphique n° 1). C'est particulièrement le cas en travail superficiel (-15 %) et en semis direct (-12 %).

Il convient en outre de noter que la richesse en calcium échangeable de l'ensemble de la couche arable a diminué davantage dans les traitements travail superficiel (-5,8 %) et semis direct (-3,5 %) que dans le traitement labour (-1,7 %).

112 Saint-Aubin-la-Plaine

A Saint-Aubin-la-Plaine, l'incidence des techniques de travail du sol étudiées sur l'évolution des teneurs en calcium échangeable est très différente suivant le niveau considéré (interaction profondeurs x techniques hautement significative) (voir graphique n° 2 et tableau III).

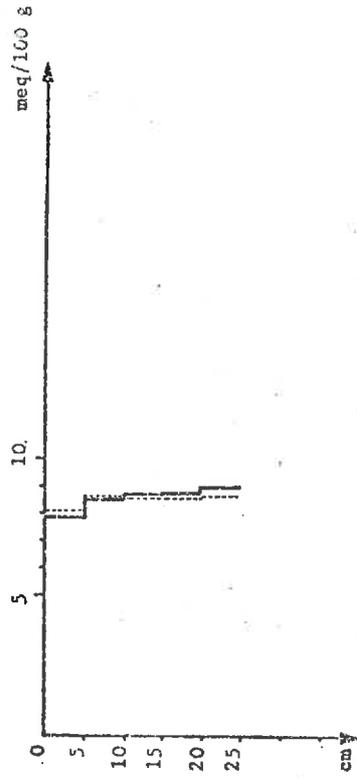
En 1974, les parcelles labourées présentent en effet des richesses en calcium très voisines de celles mesurées en 1970 (-4 % de 0 à 5 cm, + 2 % à + 4 % entre 5 et 20 cm).

Dans les parcelles travaillées superficiellement, on constate en revanche, une diminution très importante des teneurs en calcium échangeable de 0 à 10 cm (-14 % de 0 à 5 cm et -3 % de 5 à 10 cm) et une augmentation de 10 à 20 cm (+ 8 à + 9 %).

De même, les parcelles en semis direct se sont nettement appauvries en calcium échangeable de 0 à 5 cm (-13 %) et enrichies de 5 à 20 cm (+ 3 % de 5 à 10 cm, + 7 % de 10 à 15 cm et + 11 % de 15 à 20 cm).

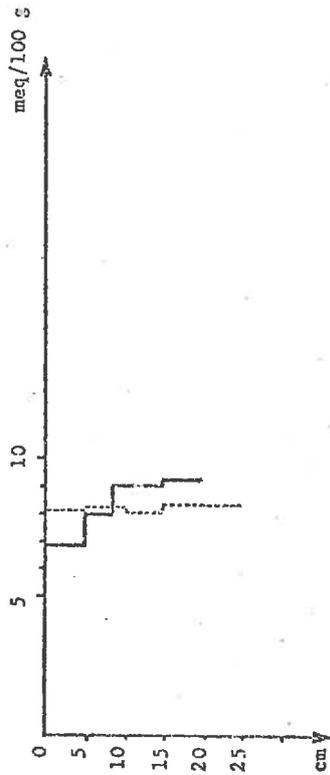
CALCIUM ECHANGEABLE St Aubin

Teneurs en 1970 et 1974



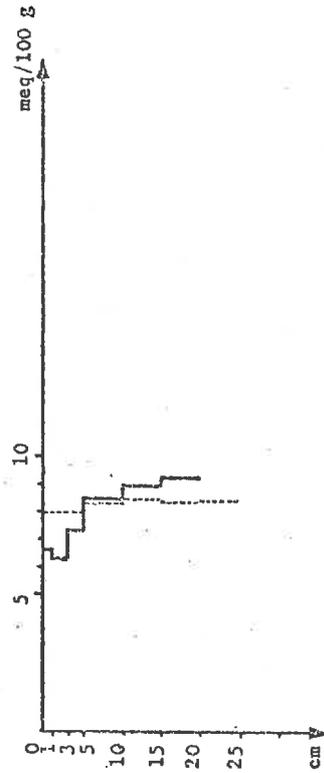
LABOUR

x = 25 cm
y = 30 cm



TRAVAIL
SUPERFICIEL

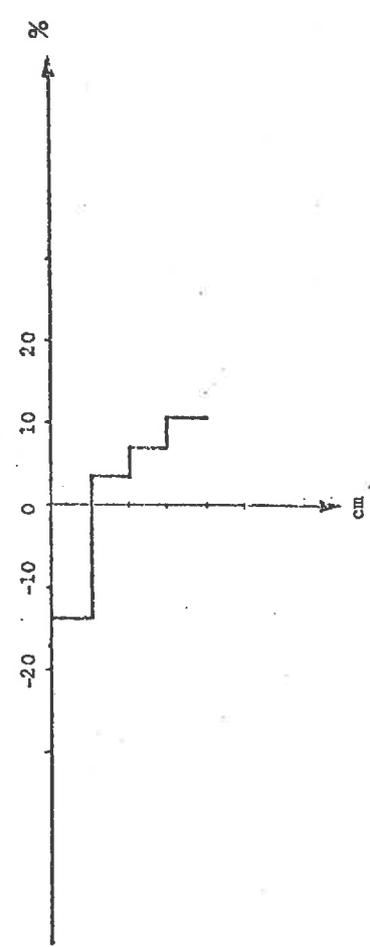
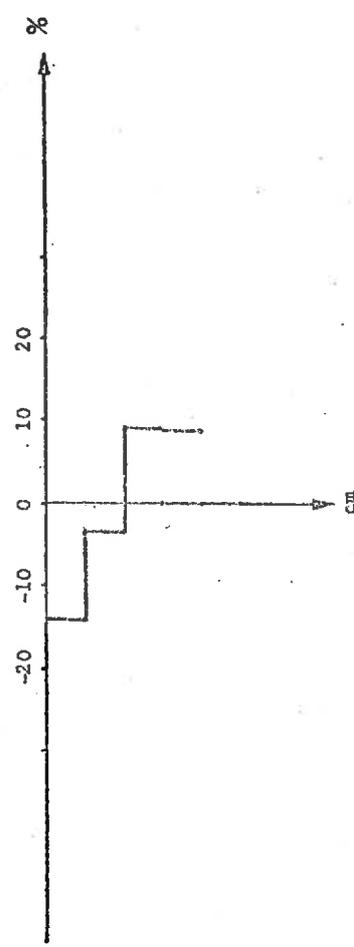
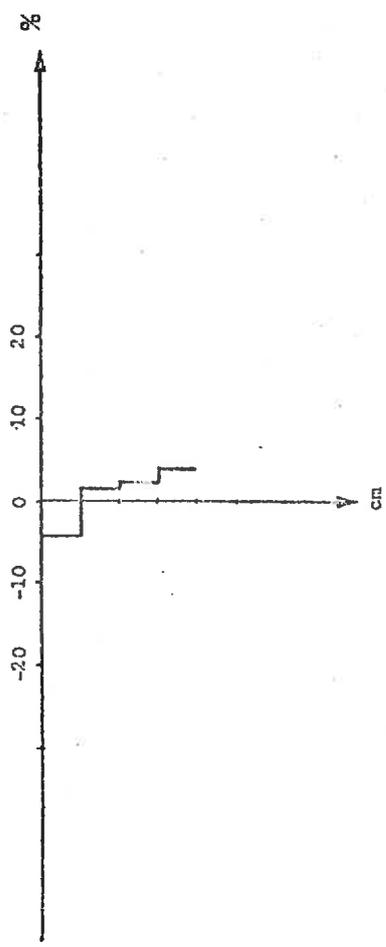
x = 8 cm
y = 27 cm



SEMIS
DIRECT

y = 27 cm

Evolution en % de la teneur 1970



x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970

y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

113 Discussion

Dans les deux essais, les cinq premiers centimètres de la couche arable présentent une diminution du taux de calcium échangeable, en particulier dans les parcelles en travail superficiel (-15 % environ dans les deux essais) et en semis direct (-13 %).

Cet appauvrissement en calcium s'atténue ensuite rapidement et peut même faire place à un enrichissement à partir d'une profondeur de 5 ou de 10 cm, comme on peut le constater à St-Aubin-la-Plaine.

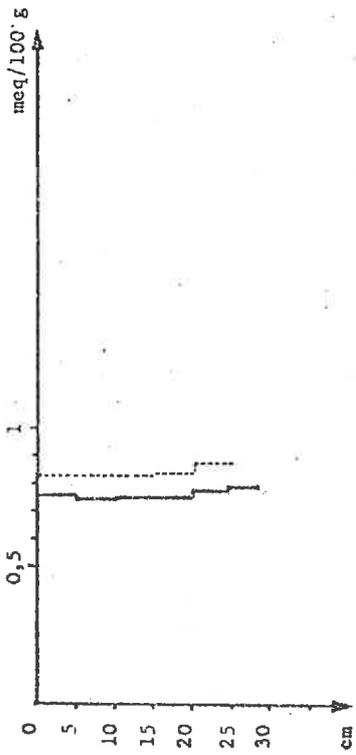
Il est possible que l'abaissement de la teneur en calcium échangeable en surface soit dû, au moins partiellement, aux apports d'éléments fertilisants. En effet, les cations contenus dans les engrais apportés (NH_4^+ et K^+) sont fixés sur le complexe argilo-humique en échange d'ions calcium qui passent dans la solution du sol, et sont alors soumis au lessivage.

Dans les parcelles labourées, ce phénomène est atténué par le fait que les engrais potassiques sont mélangés au sol lors du labour, et que seul l'ammonitrate de la dernière campagne est localisé dans la couche superficielle.

Dans les parcelles sans labour par contre, les engrais potassiques s'accumulent dans les 5 ou 10 premiers centimètres de surface où ils accentuent la décalcification.

MAGNESIUM Boigneville

Teneurs en 1970 et 1974

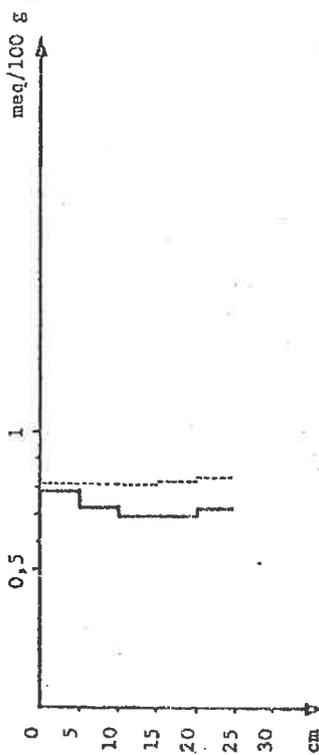


LABOUR

x = 24 cm
y = 28 cm

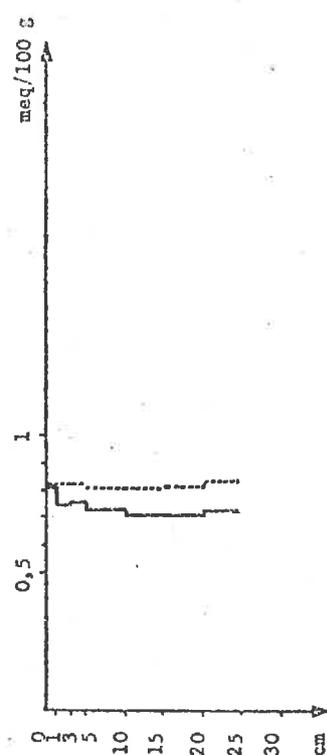
TRAVAIL
SUPERFICIEL

x = 11 cm
y = 25 cm



SEMIS
DIRECT

y = 25 cm



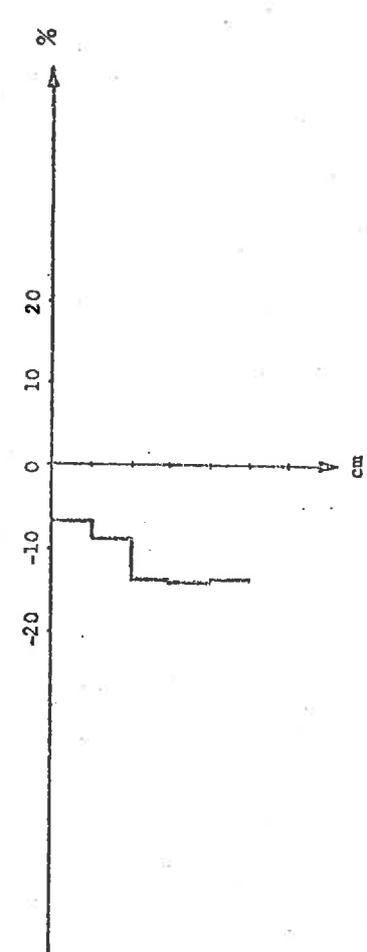
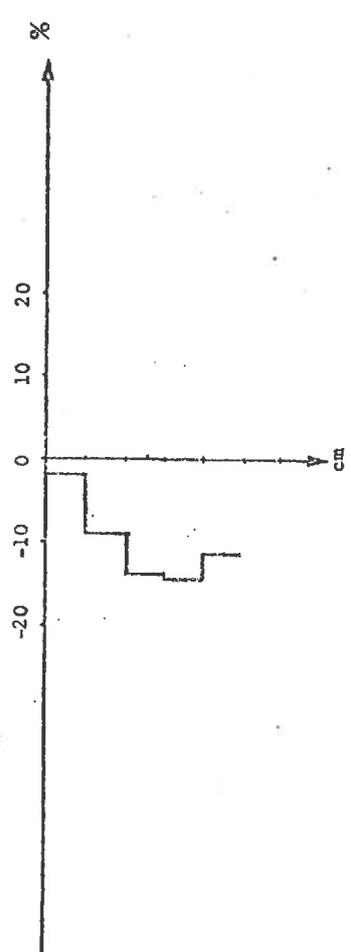
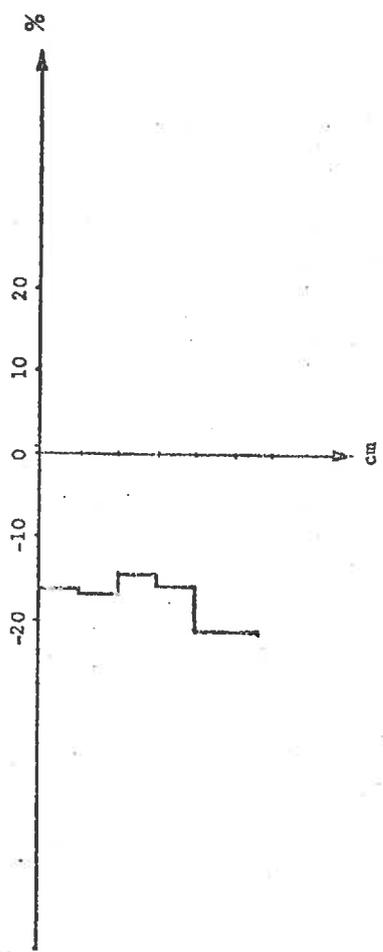
x = profondeur de travail en 1973

..... teneurs en 1970

y = fond de la couche arable

— teneurs en 1974

Evolution en % de la teneur 1970



Graphique n° 3 - Evolution des teneurs en magnésium échangeable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

12 Magnésium121 Boigneville

Comme le montre le graphique n° 3, on constate une diminution générale de la richesse des teneurs en magnésium de la couche arable entre 1970 et 1974 (-10 % en moyenne).

L'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution des teneurs en magnésium diffère selon la profondeur considérée (interaction profondeurs x techniques de travail du sol presque significative) (voir tableau II).

Ainsi, dans la couche 0 à 5 cm, la disparition du magnésium semble plus importante dans les traitements labour (-8,1 %) et semis direct (-7,2 %) que dans le traitement travail superficiel (-1,5 %).

Il convient de noter en outre que la diminution des teneurs en magnésium est régulière sur toute l'épaisseur de la couche arable. En revanche, dans les parcelles en non labour, la richesse en magnésium des dix premiers centimètres du profil est nettement plus élevée que celle de l'horizon 10 à 25 cm.

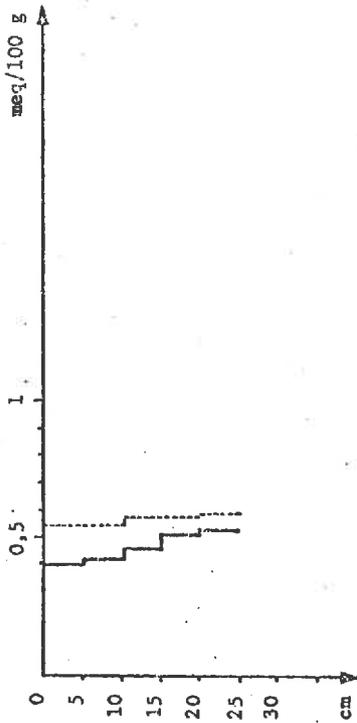
122 Saint-Aubin-la-Plaine

L'examen du graphique n° 4 montre que dans l'essai de Saint-Aubin-la-Plaine, la richesse moyenne en magnésium de la couche arable a chuté de 14 à 15 % quelles que soient les trois techniques de travail du sol étudiées.

Les calculs statistiques, effectués sur les résultats élémentaires, ne mettent en évidence aucun effet significatif lié au travail du sol. Par contre, on constate que la richesse en magnésium de la couche 0 à 5 cm a tendance à être plus faible que celle de la couche 5 à 10 cm (effet profondeurs presque significatif).

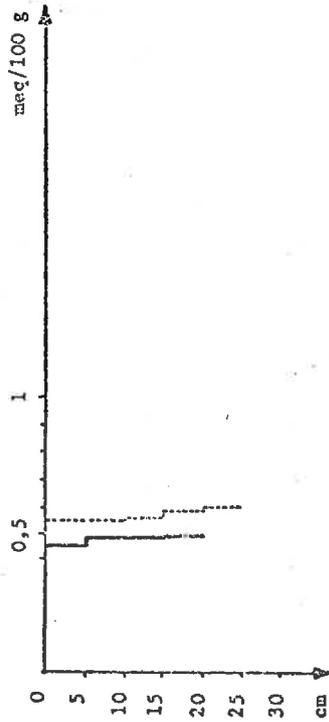
MAGNESIUM S^t Aubin

Teneurs en 1970 et 1974



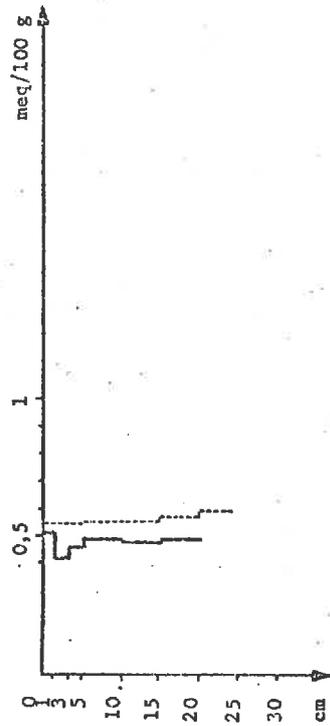
LABOUR

x = 25 cm
y = 30 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL

x = 8 cm
y = 27 cm



SEMIS DIRECT

y = 27 cm

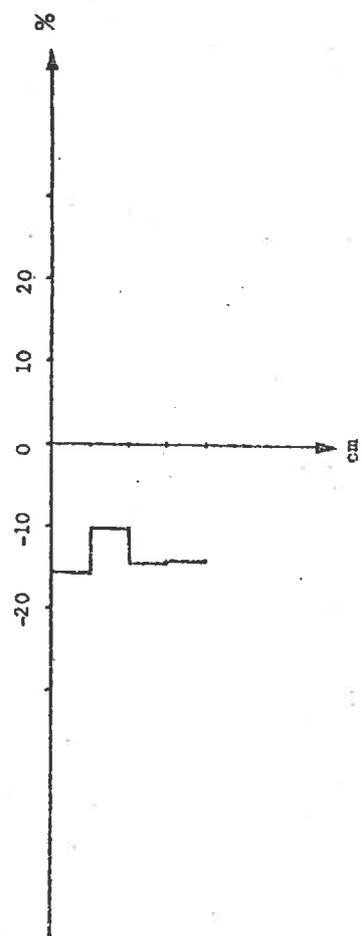
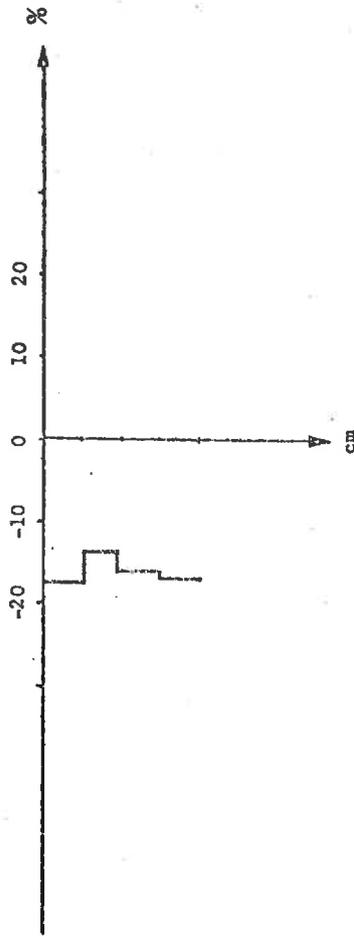
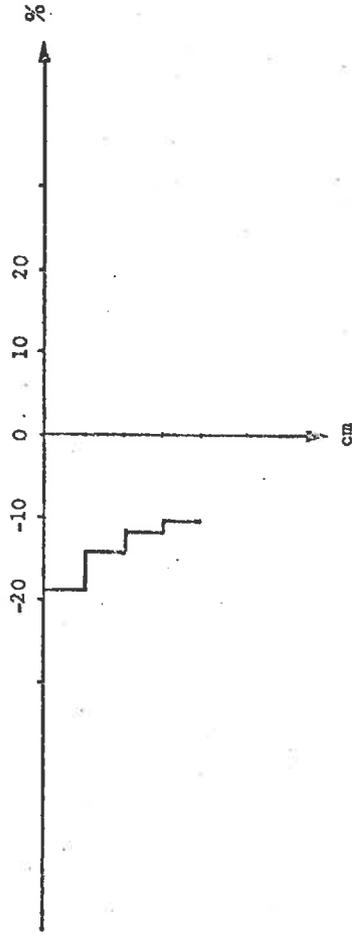
x = profondeur de travail en 1973

y = fond de la couche arable

..... teneurs en 1970

— teneurs en 1974

Evolution en % de la teneur 1970



Graphique n° 4 - Evolution des teneurs en magnésium échangeable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

123 Discussion

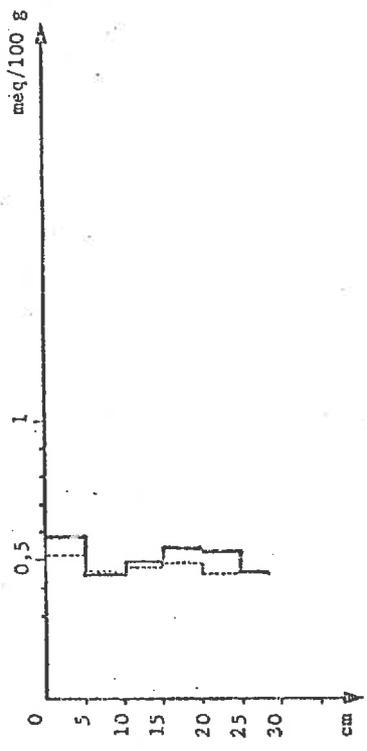
Quelle que soit la technique de travail du sol, les deux essais de Boigneville et de Saint-Aubin-la-Plaine présentent une diminution importante des teneurs moyennes en magnésium dans la couche arable. Cette baisse se retrouve à tous les niveaux et atteint environ 10 % de la richesse initiale à Boigneville et 14 % à Saint-Aubin. Cette différence entre les deux essais peut s'expliquer par le type d'engrais utilisé pour la fumure phosphopotassique : les scories potassiques apportées à Boigneville contiennent de 2 à 5 % de magnésium alors que les super-phosphates épandus à Saint-Aubin-la-Plaine n'en contiennent que 0,5 %.

La chute sensible du taux de magnésium, observée après seulement quatre années d'expérimentation dans les deux essais, provient du fait que les exportations par les récoltes (environ 8 kg de MgO / ha / an) et par le lessivage (de 20 à 40 kg de MgO / ha / an selon l'I.N.R.A. de Versailles) sont très supérieures aux apports dus aux scories (Boigneville) ainsi qu'aux précipitations. En effet, en régions peu éloignées de la mer, comme c'est le cas pour l'essai de Saint-Aubin, les précipitations entraînent au sol des dépôts d'origine diverse restituant 5 à 15 kg de MgO / ha / an (J. Duthil [8]).

Sur l'essai de Saint-Aubin-la-Plaine, les tests statistiques effectués sur les résultats d'analyses des teneurs en magnésium n'ont pas mis en évidence d'effets des techniques de travail du sol. En revanche, sur l'essai de Boigneville, on constate une accumulation relative du magnésium à la surface des parcelles non labourées. Cette accumulation est vraisemblablement due aux apports de magnésium par les scories potassiques appliquées en couverture.

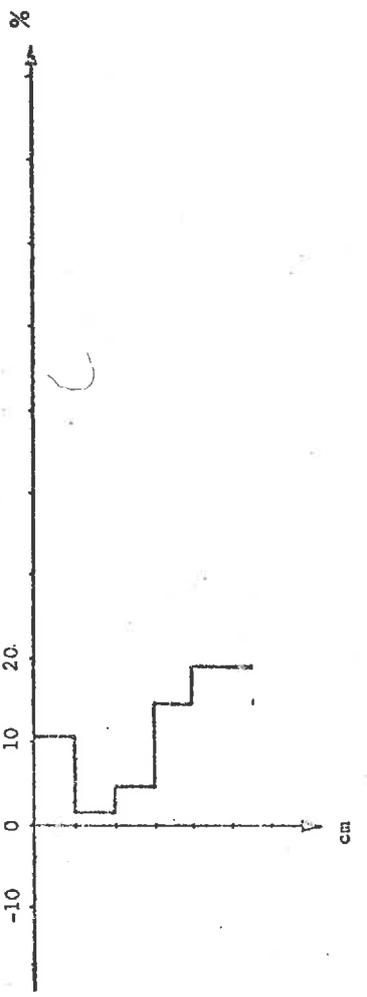
POTASSIUM Beigneville

Teneurs en 1970 et 1974

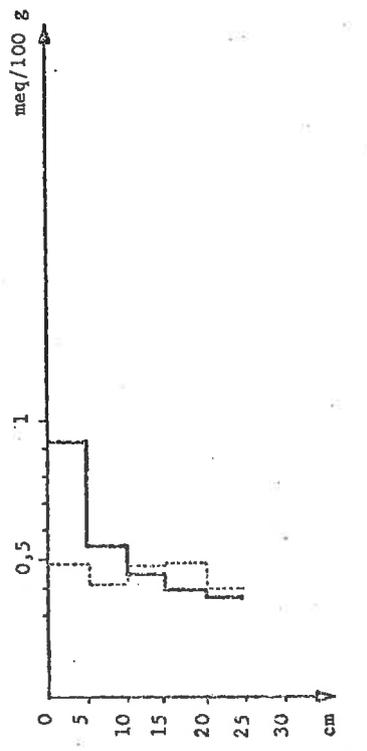


LABOUR
 x = 24 cm
 y = 28 cm

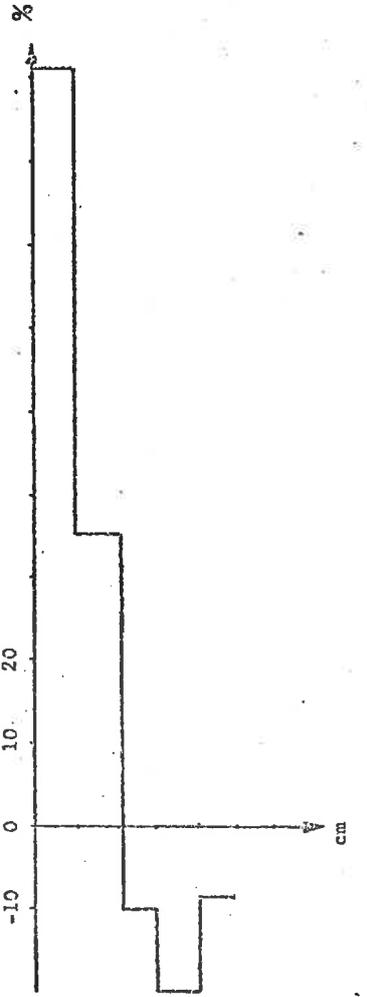
Evolution en % de la teneur 1970



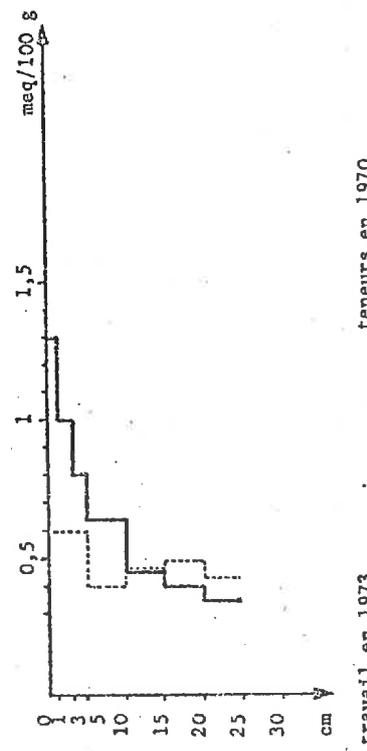
Teneurs en 1970 et 1974



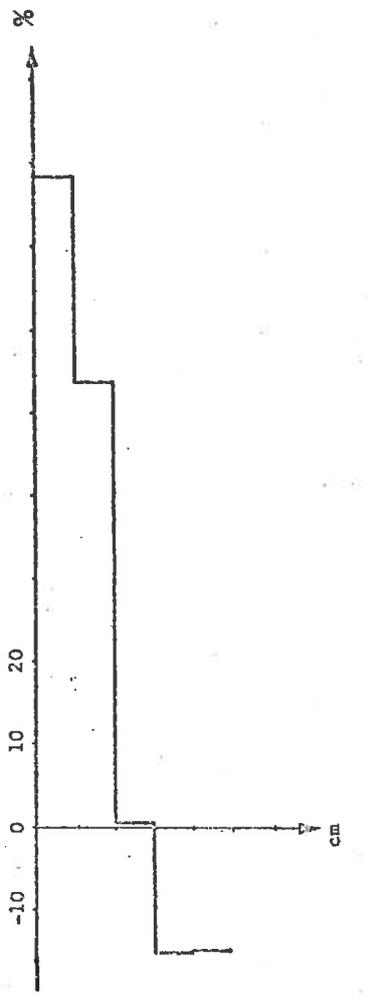
TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 11 cm
 y = 25 cm



Teneurs en 1970 et 1974



SEMIS DIRECT
 y = 25 cm



x = profondeur de travail en 1973 teneurs en 1970
 y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

Graphique n° 5 - Evolution des teneurs en potassium échangeable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

13 Potassium131 Boigneville

L'examen du graphique n° 5 montre qu'il existe une interaction très nette entre les techniques de travail du sol étudiées et les profondeurs de prélèvements (degré de signification $\alpha < 1/100.000$).

Dans les parcelles labourées, l'étude statistique de l'évolution des teneurs en K échangeable ne met en effet en évidence aucune différence significative entre les cinq niveaux de prélèvement.

Il faut cependant noter que les plus fortes augmentations de teneurs en K échangeable sont observées en surface (+12 % de 0 à 5 cm) et en profondeur (+19 % de 15 cm au fond du labour).

On constate, en revanche, un enrichissement considérable en potassium à la surface des parcelles en travail superficiel (+93 % de 0 à 5 cm et +36 % de 5 à 10 cm) et en semis direct (+80 % de 0 à 5 cm et +53 % de 5 à 10 cm).

Inversement, les taux de K échangeable enregistrés en 1974 au-dessous de 10 cm ont tendance à être plus faibles que ceux de 1970.

132 Saint-Aubin-la-Plaine

Comme le montre le graphique n° 6, l'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution de la richesse en K échangeable de la couche arable est très différente suivant le niveau de prélèvement considéré (interaction profondeurs de prélèvement de prélèvements x techniques hautement significative) (voir tableau III).

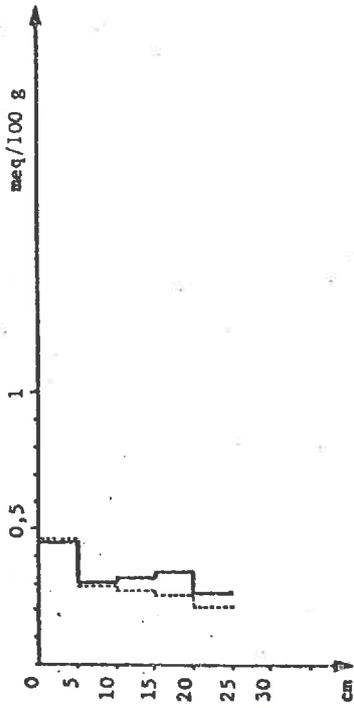
Dans les parcelles labourées, les tests statistiques ne permettent pas, en effet, de mettre en évidence de différences significatives entre les quatre niveaux de prélèvement.

En profondeur, on constate néanmoins une augmentation des teneurs en K échangeable de l'ordre de 22 % par rapport à 1970.

Par ailleurs, dans les parcelles en travail superficiel et en semis direct, il existe une différence significative entre la couche superficielle et les horizons profonds. Les dix premiers centimètres présentent, en effet, un accroissement très important des teneurs en K échangeable (+73 % en travail superficiel et +51 % en semis direct). Les dix centimètres suivants sont au contraire caractérisés par une variation limitée des teneurs en potassium entre 1970 et 1974 (de -15 % à -10 %).

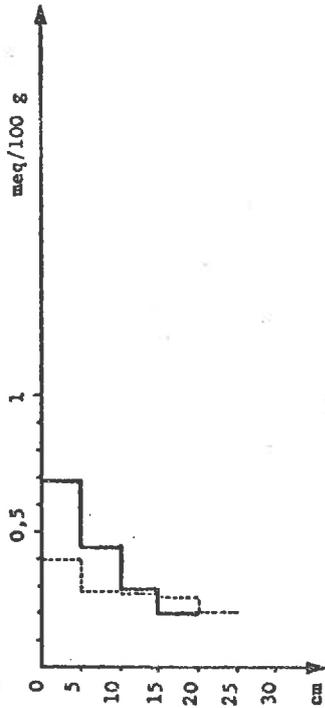
POTASSIUM St Aubin

Teneurs en 1970 et 1974



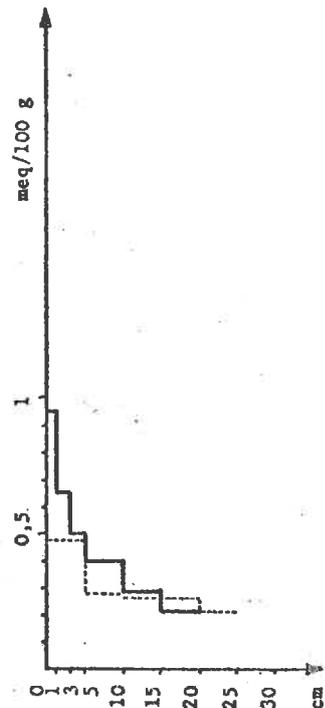
LABOUR

x = 25 cm
y = 30 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL

x = 8 cm
y = 27 cm

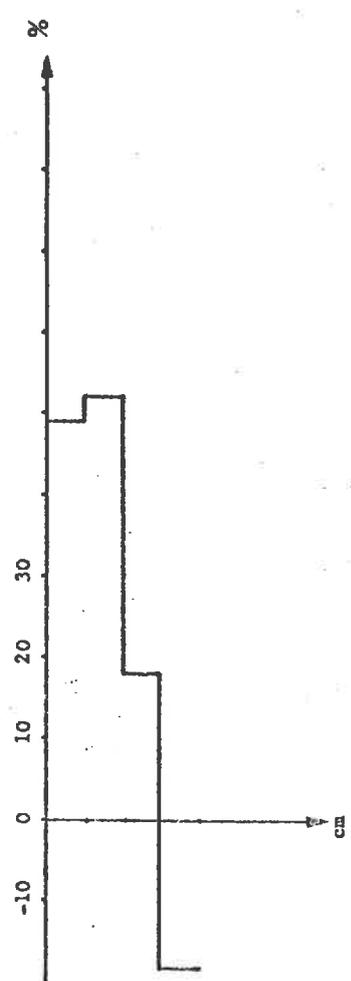
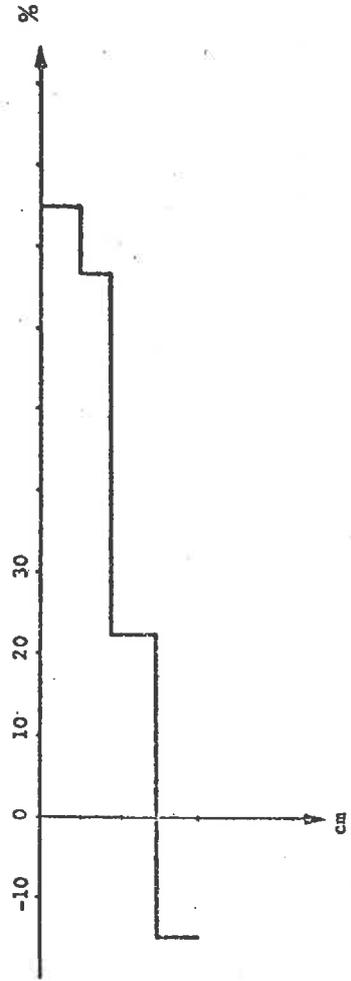
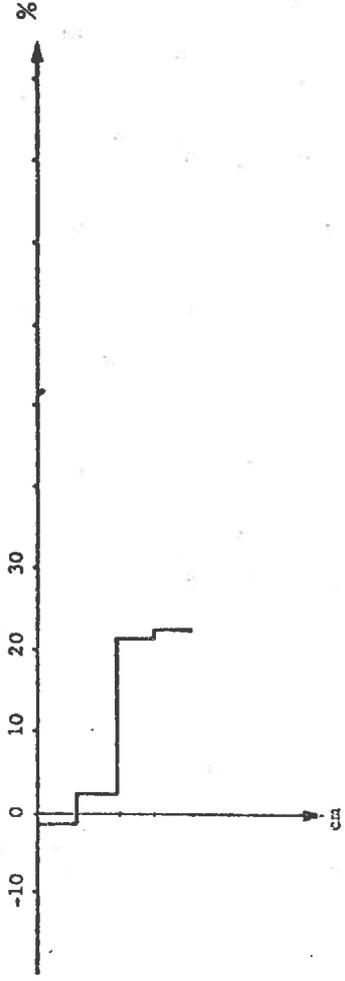


SEMIS DIRECT

y = 27 cm

x = profondeur de travail en 1973
y = fond de la couche arable
..... teneurs en 1970
—— teneurs en 1974

Evolution en % de la teneur 1970



Graphique n° 6 - Evolution des teneurs en potassium selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

133 Discussion

L'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution de la richesse en K échangeable de la couche arable est sensiblement la même dans les deux essais de Boigneville et de Saint-Aubin-la-Plaine.

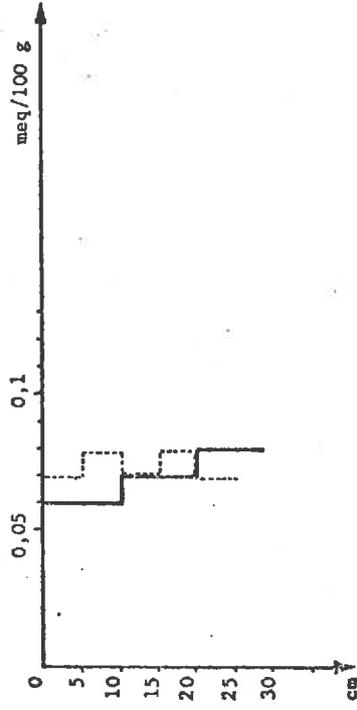
Dans les parcelles en semis direct et en travail superficiel, l'absence de travail profond entraîne une accumulation de K échangeable dans les dix premiers centimètres. En revanche, les horizons plus profonds (au-dessous de 10 et surtout de 15 cm) ont plutôt tendance à s'appauvrir en cet élément, ce qui montre que les migrations en profondeur du potassium sont sans doute trop limitées pour équilibrer les exportations effectuées dans cette zone par les racines des plantes et le lessivage (voir graphiques n° 5 et n° 6).

Le travail réalisé dans les parcelles labourées a atténué les différences constatées dans les autres traitements entre les niveaux de la couche arable. Cette homogénéisation est néanmoins incomplète puisqu'on constate une augmentation des teneurs en K échangeable plus importante en profondeur qu'en surface.

SODIUM

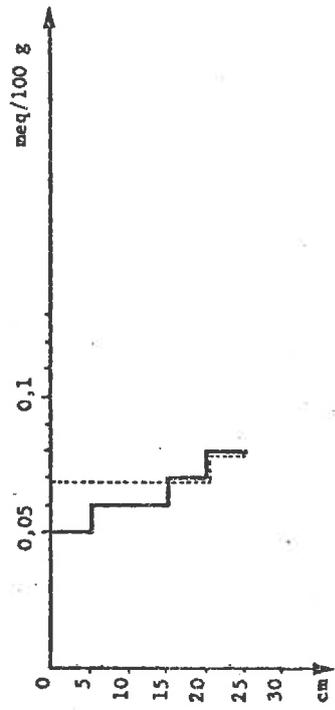
Boigneville

Teneurs en 1970 et 1974



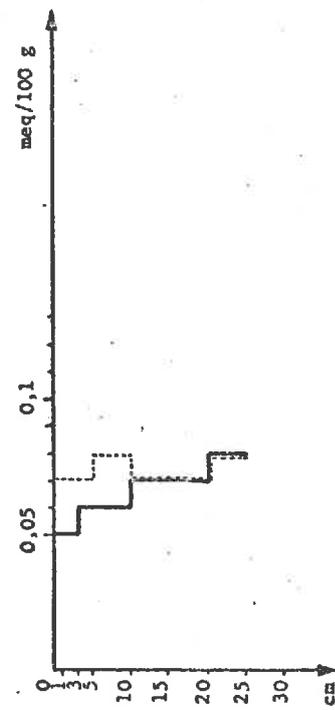
LABOUR

x = 24 cm
y = 28 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL

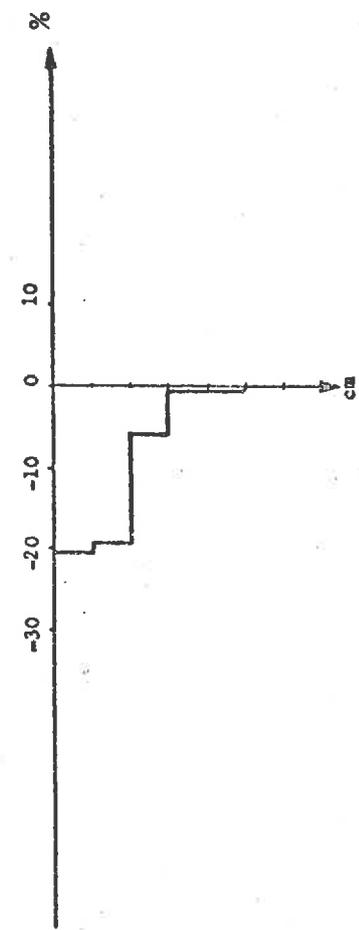
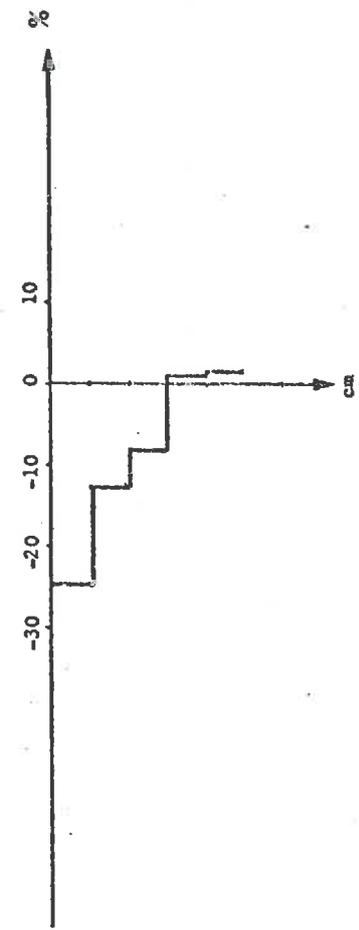
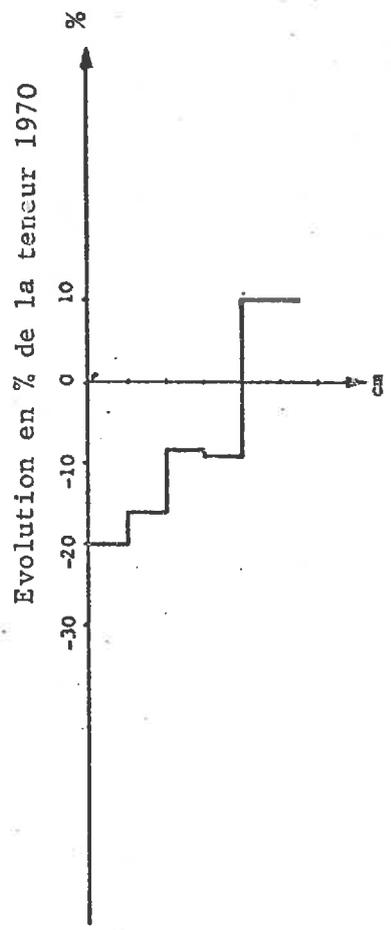
x = 11 cm
y = 25 cm



SEMIS DIRECT

y = 25 cm

x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970
y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974



Graphique n° 7 - Evolution des teneurs en sodium selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

14 Sodium141 Boigneville

L'analyse statistique des résultats obtenus à Boigneville montre que les variations de la richesse en sodium de la couche arable entre 1970 et 1974 dépendent essentiellement du niveau de prélèvement (effet profondeurs hautement significatif).

Les trois techniques de travail du sol étudiées présentent en effet une diminution importante de la teneur en sodium dans les cinq premiers centimètres (de -20 à -25 %). Cet appauvrissement s'atténue progressivement en profondeur et disparaît vers 15 ou 20 cm (voir graphique n° 7).

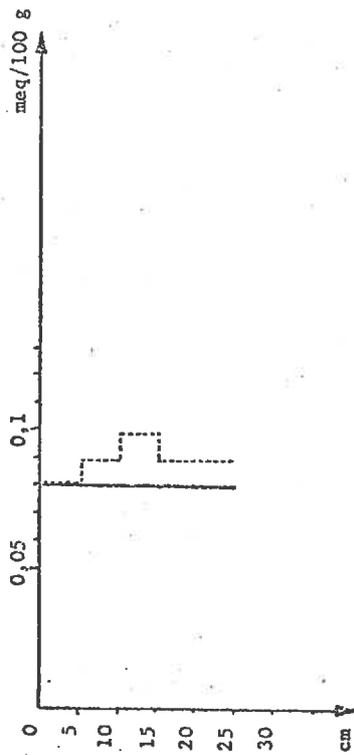
142 St-Aubin-la-Plaine

A Saint-Aubin-la-Plaine, l'étude de l'évolution des teneurs en sodium de la couche arable ne fait apparaître aucune différence significative entre les techniques de travail du sol. L'analyse de variance met toutefois en évidence un effet presque significatif ($\alpha = 7,5 \%$) du niveau de prélèvement.

En effet, la diminution de la richesse en Na échangeable est beaucoup plus faible dans les cinq premiers centimètres du profil (-9 %) que dans les cinq centimètres suivants (-21 %). Cet appauvrissement tend ensuite à s'atténuer dans les niveaux inférieurs (-15 % environ) (voir graphique n° 8).

SODIUM St Aubin

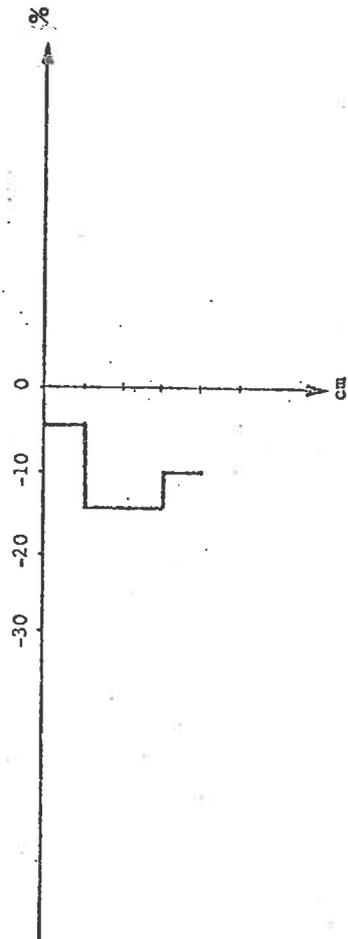
Teneurs en 1970 et 1974



LABOUR

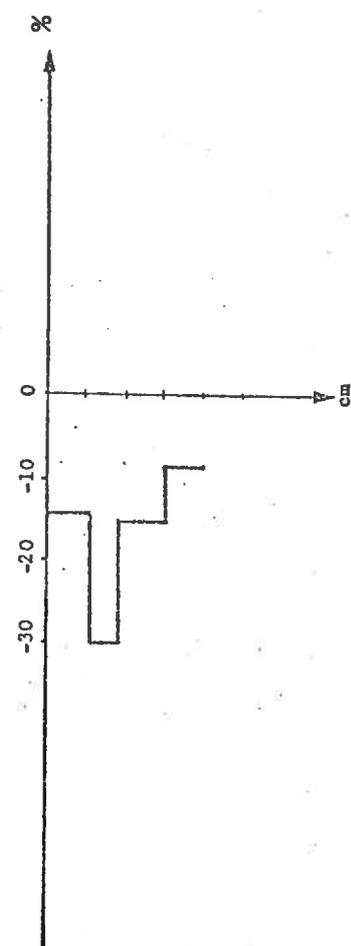
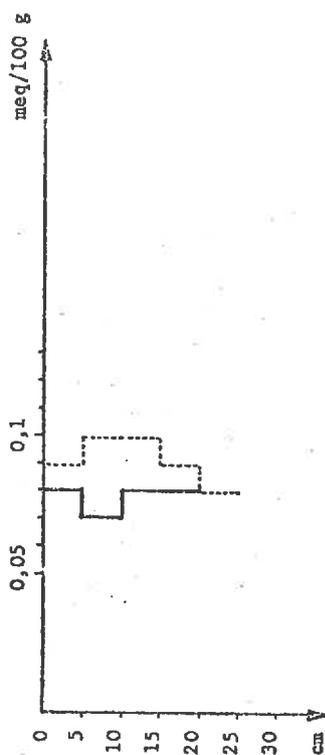
x = 25 cm
y = 30 cm

Evolution en % de la teneur 1970



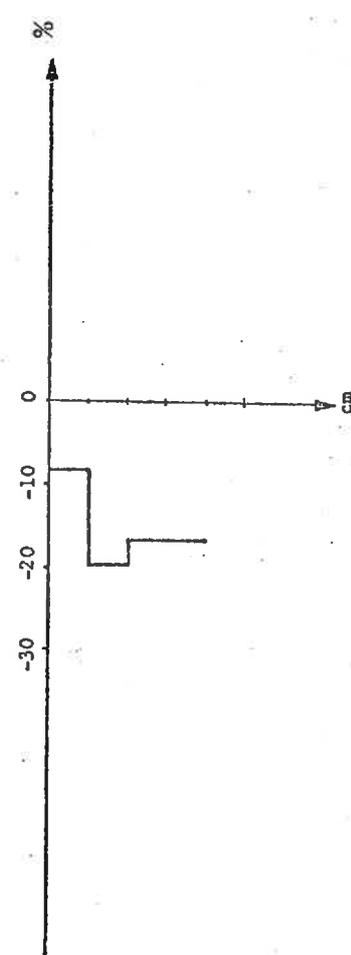
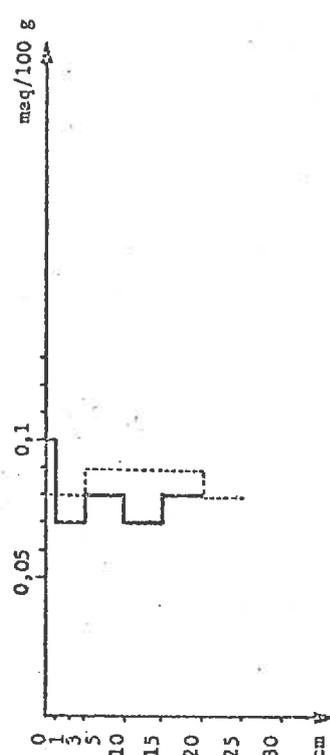
TRAVAIL
SUPERFICIEL

x = 8 cm
y = 27 cm



SEMIS
DIRECT

y = 27 cm



x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970

y = fond de la couche arable - - - - - teneurs en 1974

Graphique n° 8 - Evolution des teneurs en sodium selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

143 Discussion

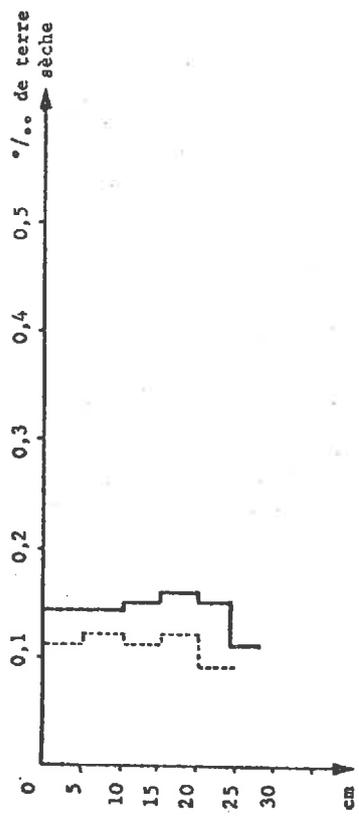
A Boigneville comme à Saint-Aubin-la-Plaine, les techniques de travail du sol étudiées ne semblent pas avoir eu d'effet sur l'évolution de la teneur du sol en Na échangeable.

L'incidence de la profondeur de prélèvement sur les variations de la richesse en sodium est par contre beaucoup plus marquée, en particulier à Boigneville où l'on peut constater un appauvrissement très important en surface (de l'ordre de -22 %) qui disparaît progressivement avec la profondeur.

A Saint-Aubin, la faible diminution des teneurs en Na échangeable des cinq premiers centimètres s'explique vraisemblablement par les apports de sodium dus aux vents marins (océan situé à 35 km à l'ouest de l'essai).

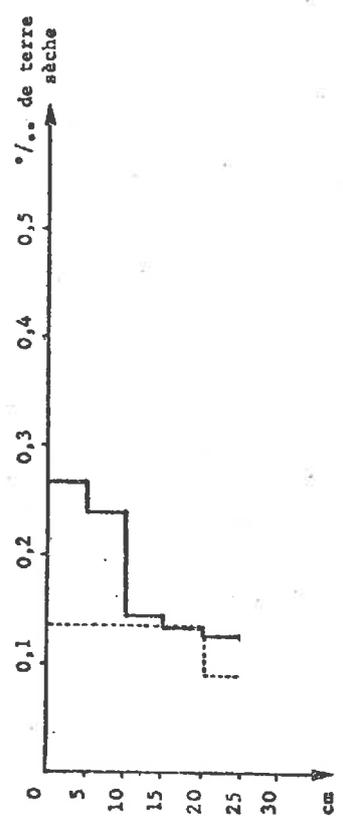
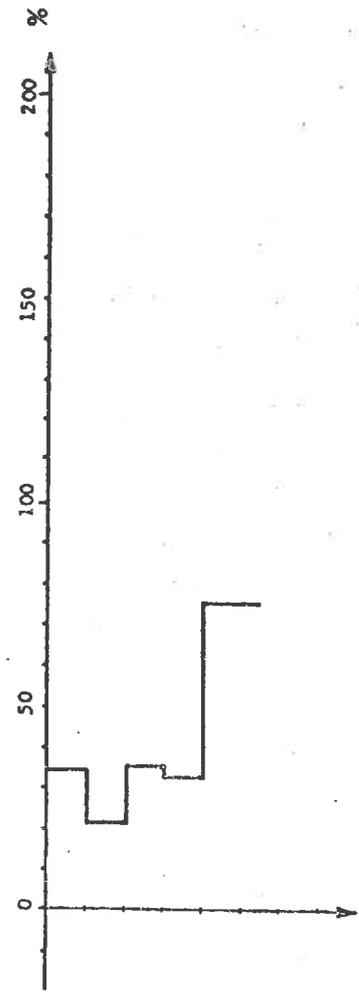
ACIDE PHOSFORIQUE ASSIMILABLE Boigneville

Teneurs en 1970 et 1974

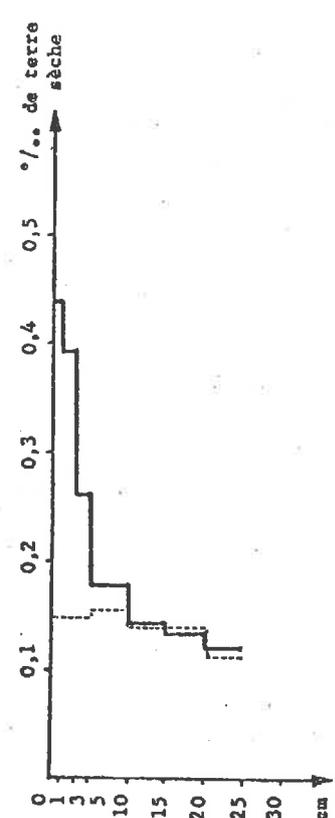
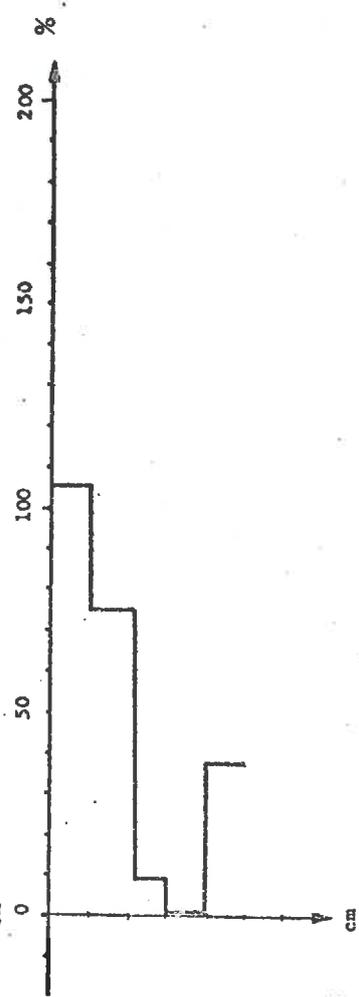


LABOUR
 x = 24 cm
 y = 28 cm

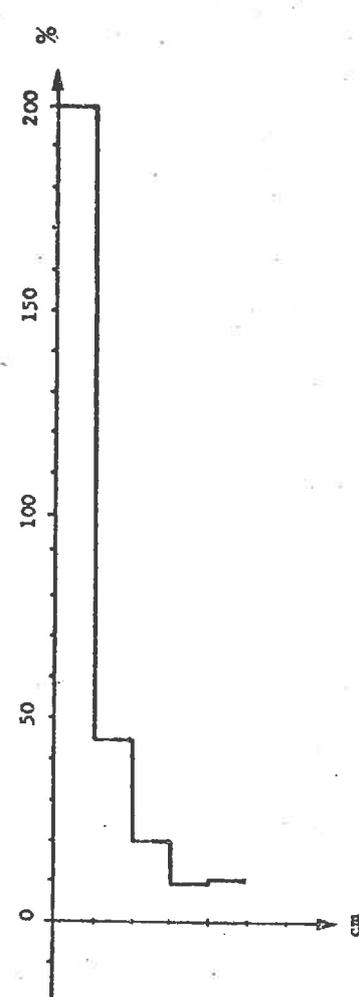
Evolution en % de la teneur 1970



TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 11 cm
 y = 25 cm



SEMIS DIRECT
 y = 25 cm



x = profondeur de travail en 1970 teneurs en 1970
 y = fond de la couche stable ——— teneurs en 1974

Graphique n° 9 - Evolution des teneurs en acide phosphorique assimilable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

2 - ACIDE PHOSPHORIQUE ECHANGEABLE21 Boigneville

L'étude des résultats obtenus sur l'essai de Boigneville montre qu'il existe une interaction hautement significative entre les profondeurs de prélèvements et les techniques de travail du sol (voir tableau III et graphique n° 9).

En effet, le traitement labour se caractérise par une évolution très homogène des teneurs en P_2O_5 échangeable de 0 à 20 cm (de + 22 à + 35 %) et une accumulation importante depuis 20 cm jusqu'au fond du labour (+ 75 %).

Les parcelles travaillées superficiellement présentent en revanche un enrichissement marqué en acide phosphorique échangeable dans la couche superficielle (+ 105 % de 0 à 5 cm et + 76 % de 5 cm au fond de la couche travaillée) et peu de variations du fond de la couche travaillée au Rotavator à 20 cm de profondeur.

De même, l'examen des augmentations des teneurs en P_2O_5 dans le traitement semis direct met en évidence une différence considérable entre la surface (+ 200 % de 0 à 5 cm) et les niveaux inférieurs (+ 42 % de 5 à 10 cm, + 20 % de 10 à 15 cm et + 8 % de 15 à 25 cm).

22 Saint-Aubin-la-Plaine

Comme on peut le voir sur le graphique n° 10, l'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution des teneurs en P_2O_5 est très différente suivant le niveau considéré (interaction techniques x profondeurs hautement significative).

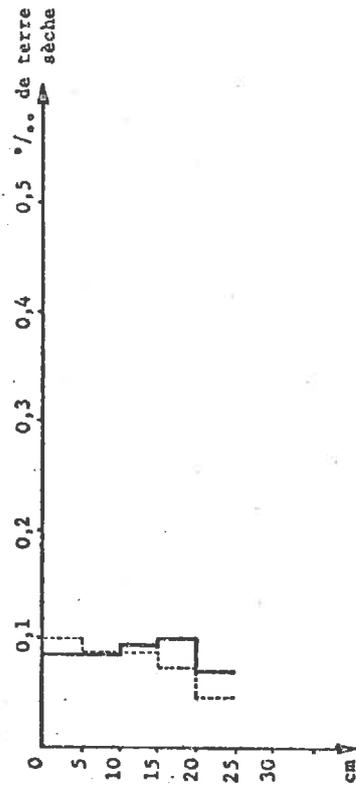
Les parcelles labourées présentent en moyenne une diminution de la richesse en P_2O_5 en surface (- 16 % de 0 à 5 cm) et un enrichissement au-dessous de 5 cm, en particulier de 15 à 20 cm (+ 35 %).

Le traitement en semis direct est caractérisé par une accumulation d'acide phosphorique dans les premiers centimètres (+ 116 % de 0 à 5 cm) et un appauvrissement au-dessous de 10 cm (- 11 % de 10 à 15 cm et - 31 % de 15 à 20 cm).

Dans le traitement en travail superficiel enfin, on constate une augmentation très importante des teneurs en acide phosphorique échangeable dans la couche travaillée par le Rotavator (+ 98 % de 0 à 5 cm et + 63 % de 5 à 8 cm) et une diminution de la richesse au-dessous de cette zone.

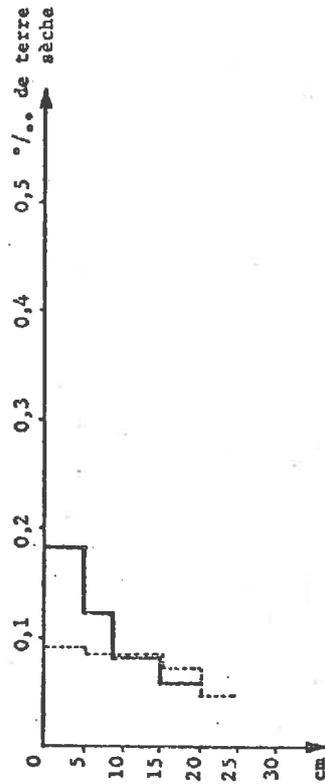
ACIDE PHOSPHORIQUE ASSIMILABLE St Aubin

Teneurs en 1970 et 1974



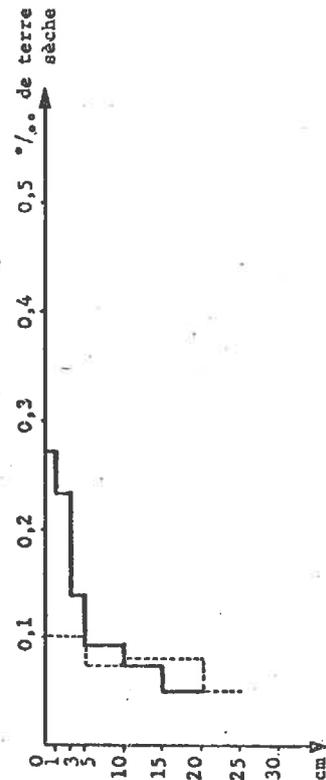
LABOUR

x = 25 cm
y = 30 cm



TRAVAIL
SUPERFICIEL

x = 8 cm
y = 27 cm

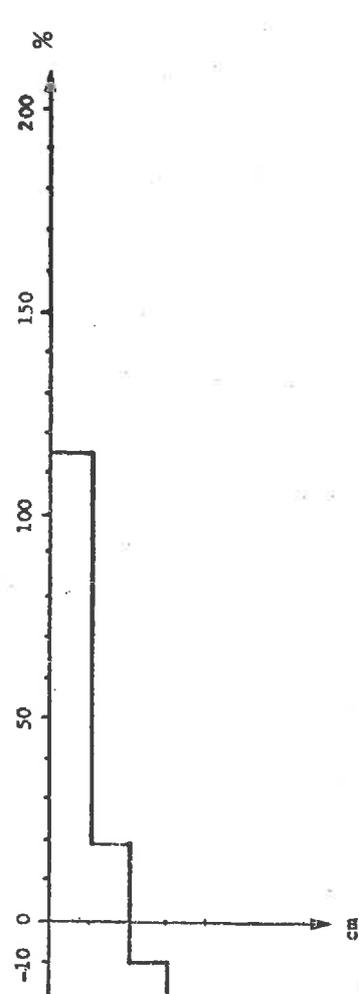
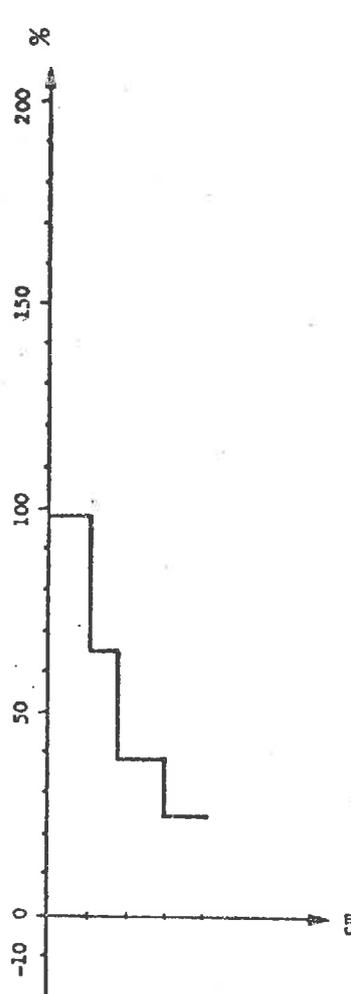
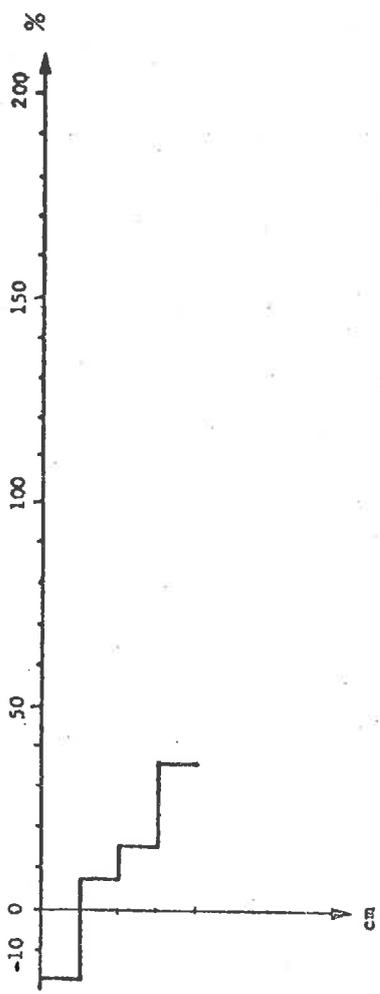


SEMIS
DIRECT

y = 27 cm

x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970
y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

Evolution en % de la teneur 1970



Graphique n° 10 - Evolution des teneurs en acide phosphorique assimilable selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

23 Discussion

L'examen des résultats obtenus à Boigneville et à Saint-Aubin-la-Plaine montre que l'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution des teneurs en acide phosphorique de la couche arable est sensiblement la même dans les deux essais.

En effet, l'absence de travail profond avec retournement a pour conséquence un enrichissement considérable en surface dans le traitement en semis direct et dans les dix premiers centimètres du traitement en travail superficiel (voir graphiques n° 9 et n° 10).

Les autres niveaux de la couche arable se sont par contre très peu enrichis en acide phosphorique ; ils ont même eu tendance à s'appauvrir (cas de l'essai de Saint-Aubin-la-Plaine).

Le travail réalisé dans les parcelles labourées permet d'obtenir un profil de teneurs en acide phosphorique beaucoup plus homogène que dans les deux autres traitements, en particulier à Boigneville.

Par ailleurs, il est probable que les fortes augmentations de teneur enregistrées entre 1970 et 1974 dans le fond de la couche labourée soient dues à une augmentation de la profondeur de travail (18 cm en 1970 et 25 cm en 1973 à Saint-Aubin-la-Plaine ; 23 à 25 cm en 1970 et 28 cm en 1973).

3. CARBONE ORGANIQUE

31 Boigneville

Comme le montre le graphique n°11, l'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution des teneurs en carbone total de la couche arable est très différente selon le niveau considéré (interaction profondeurs x techniques de travail du sol hautement significative) (voir tableau III).

L'augmentation des teneurs en carbone total est en effet très nette dans les dix premiers centimètres des parcelles travaillées superficiellement (+ 10 %) et dans les cinq premiers centimètres des parcelles en semis direct (+ 30 %).

Il n'est cependant pas possible de mettre en évidence de différences significatives entre les richesses en carbone total des différents niveaux étudiés dans le traitement labour. Néanmoins, il faut noter que, dans les parcelles labourées, la teneur en carbone total tend à diminuer en surface, particulièrement entre 5 et 10 cm (- 6 %), et à augmenter en profondeur (+ 3 % de 15 à 20 cm et 11 % de 20 à 25 cm).

L'étude du rapport carbone de la fraction légère sur carbone total (voir graphique n° 12) montre qu'il existe une interaction hautement significative entre les techniques de travail du sol et les différents niveaux de la couche arable.

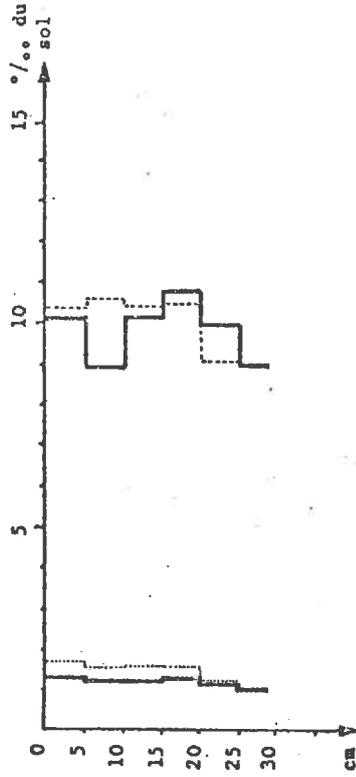
On constate effectivement qu'en travail superficiel et en semis direct, la proportion de matière organique libre dans la matière organique totale augmente dans les cinq premiers centimètres et diminue dans le reste de la couche arable.

Par ailleurs, le traitement labour est caractérisé par la diminution systématique du rapport C fraction libre / C total quel que soit le niveau considéré.

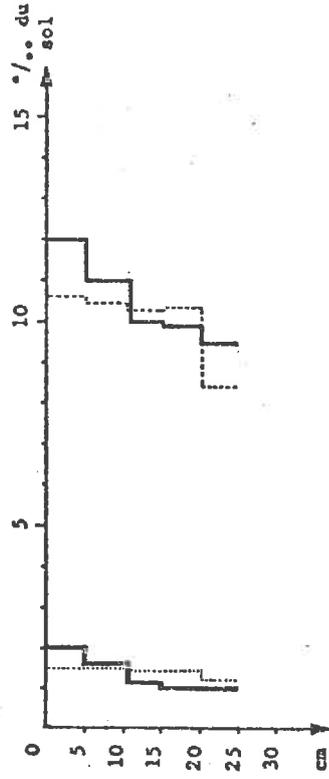
Il faut enfin noter que, de 10 à 25 cm de profondeur, la réduction de la richesse des matières organiques libres par rapport aux matières organiques totales tend à être plus importante dans les traitements travail superficiel et semis direct que dans le traitement labour.

CARBONE ORGANIQUE Boigneville

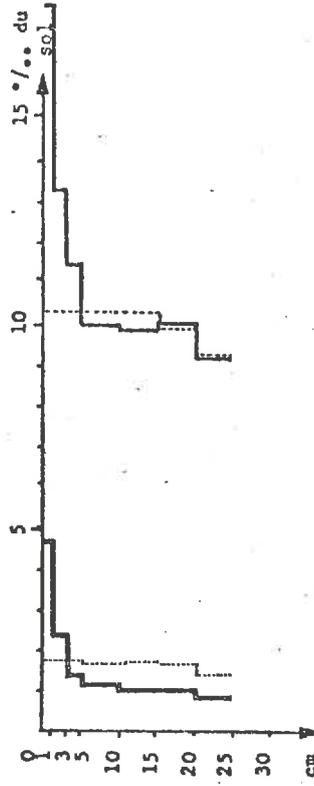
Teneurs en 1970 et 1974



LABOUR
 x = 24 cm
 y = 28 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 11 cm
 y = 25 cm

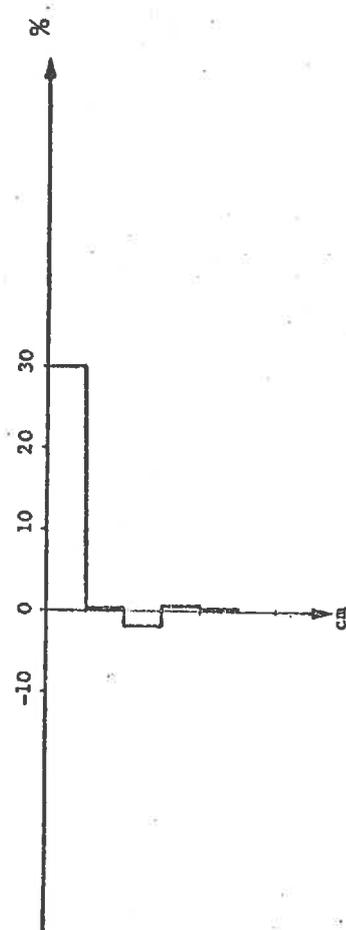
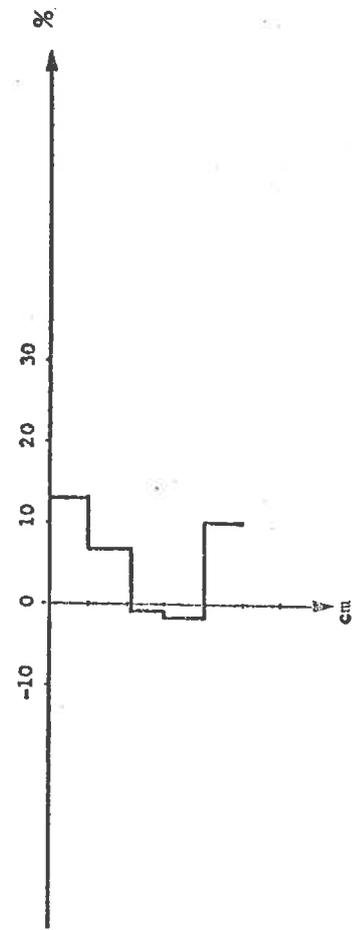
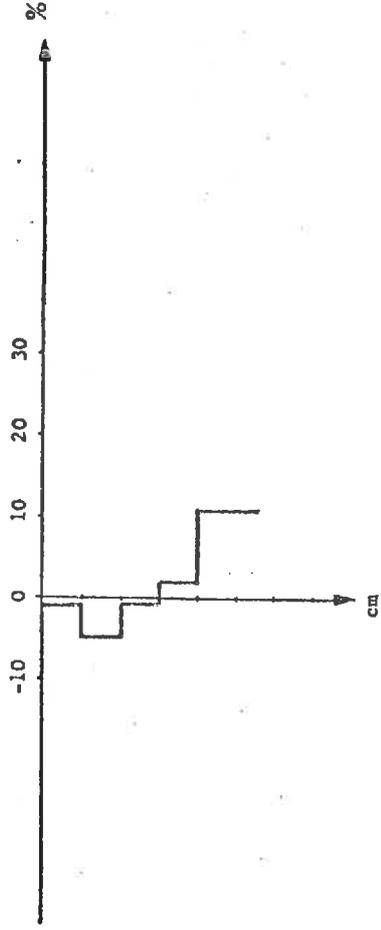


SEMIS DIRECT
 y = 25 cm

- - - - - teneurs en Carbone total en 1970
 ————— teneurs en Carbone total en 1974
 { teneurs en C₂ de la fraction légère en 1970
 { teneurs en C₂ de la fraction légère en 1974

x = profondeur de travail en 1973
 y = fond de la couche arable

Evolution du Carbone total en % de la teneur 1970

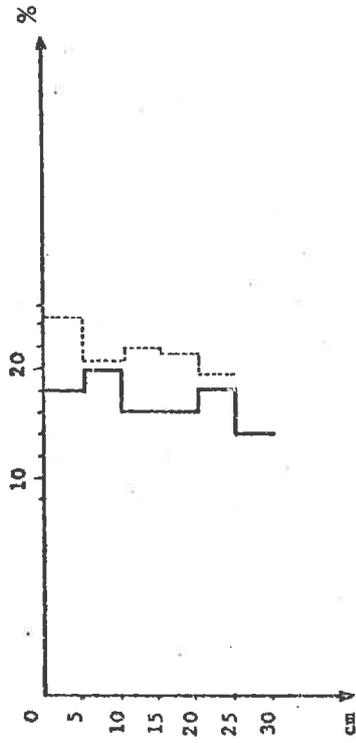


Graphique n° 11 - Evolution des teneurs en carbone organique selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

CARBONE FRACTION LEGERE / CARBONE TOTAL BOIGNEVILLE

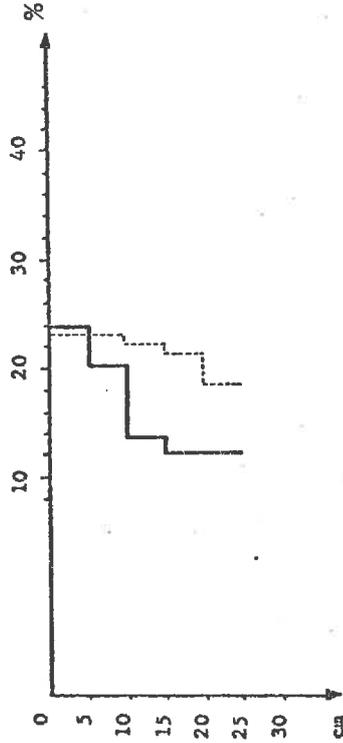
Evolution du rapport C. fraction légère /
C. total en % du rapport 1970

Teneurs en 1970 et 1974



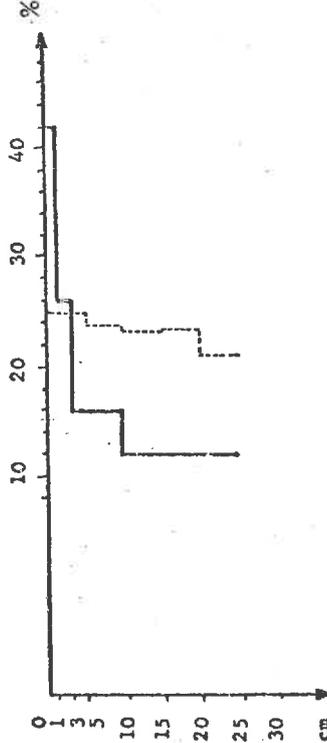
LABOUR

x = 24 cm
y = 28 cm



**TRAVAIL
SUPERFICIEL**

x = 11 cm
y = 25 cm



**SEMIS
DIRECT**

y = 25 cm

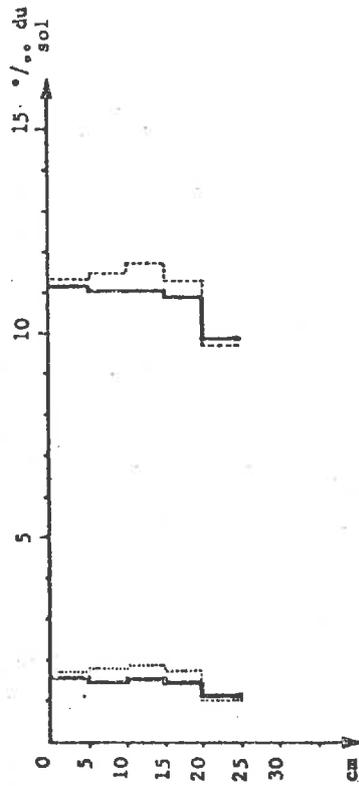
x = profondeur de travail en 1973 - - - - - teneurs en 1970
y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

Graphique n° 12 - Evolution du rapport carbone fraction légère/carbone total selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

CARBONE ORGANIQUE

St Aubin

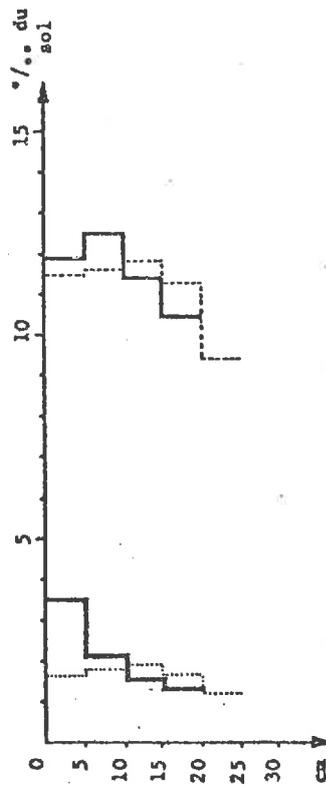
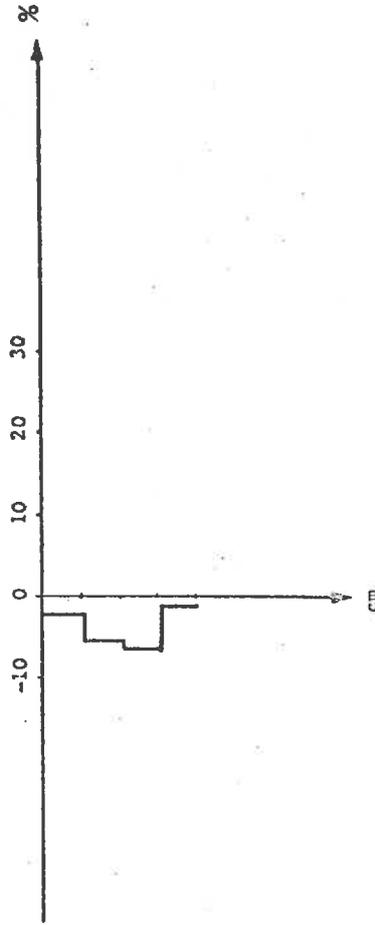
Teneurs en 1970 et 1974



LABOUR

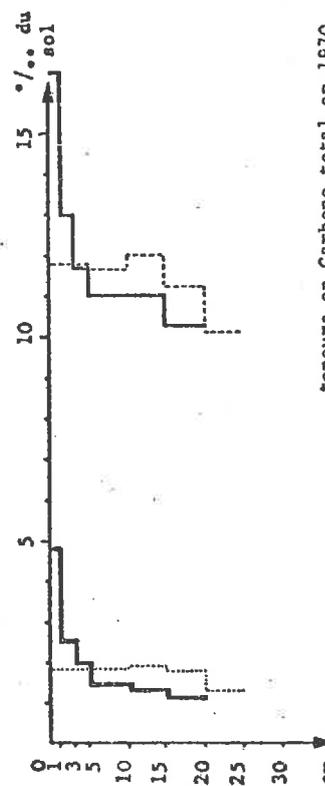
x = 25 cm
y = 30 cm

Evolution du Carbone total en % de la teneur 1970



TRAVAIL
SUPERFICIEL

x = 8 cm
y = 27 cm



SEMIS
DIRECT

y = 27 cm

- - - - - teneurs en Carbone total en 1970
 ————— teneurs en Carbone total en 1974
 - - - - - { teneurs en C. de la fraction
 { légère en 1970
 ————— { teneurs en C. de la fraction
 { légère en 1974

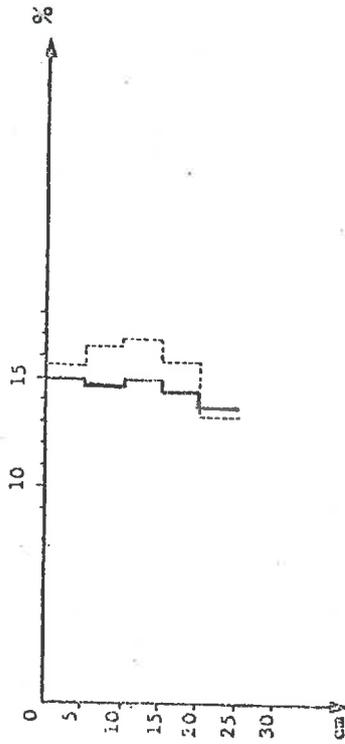
x = profondeur de travail en 1973
y = fond de la couche arable

Graphique n° 13 - Evolution des teneurs en carbone organique selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

CARBONE FRACTION LEGERE / CARBONE TOTAL St Aubin

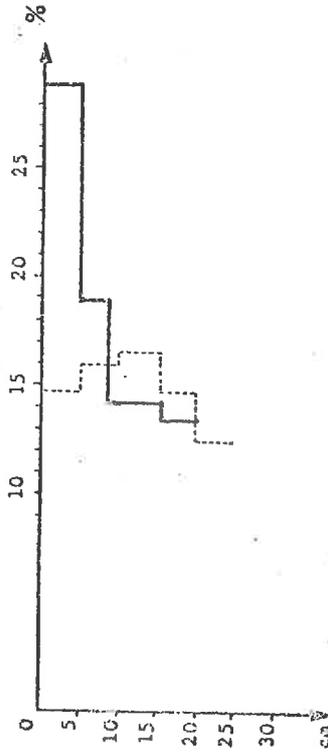
Evolution du rapport C. fraction légère/
C. total en % du rapport 1970

Teneurs en 1970 et 1974



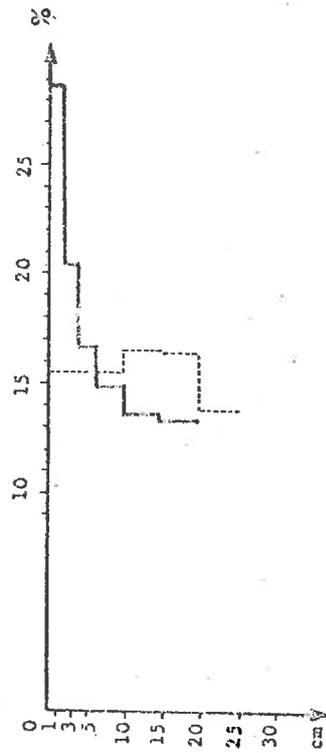
LABOUR

x = 25 cm
y = 30 cm



TRAVAIL
SUPERFICIEL

x = 3 cm
y = 27 cm



SEMIS
DIRECT

y = 27 cm

x = profondeur de travail en 1970 teneurs en 1970
y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

Graphique n° 14 - Evolution du rapport carbone fraction légère/carbone total selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

32 Saint-Aubin-la-Plaine

Comme on peut le voir sur les graphiques n° 13 et 14, l'évolution des teneurs en carbone total de la couche arable et celle du rapport carbone de la fraction légère sur carbone total dépendent à la fois de la profondeur et de la technique de travail du sol (interactions hautement significatives).

En effet, dans les parcelles labourées, la richesse en carbone total des différents niveaux de la couche arable a très peu varié dans le traitement labour (de -1 à -5 % en 4 années d'expérimentation) ; cependant, dans le traitement travail superficiel, les teneurs en carbone total des niveaux 0 à 5 et 5 à 10 cm ont augmenté respectivement de 18 % et 7 %.

De même, les parcelles en semis direct se caractérisent par une augmentation très importante de la richesse en matière organique totale (+ 11 %).

La proportion de matière organique libre dans la matière organique totale a tendance à diminuer à tous les niveaux de la couche arable dans les parcelles labourées (de -4 % à -9,5 %).

On retrouve le même phénomène dans les horizons profonds des parcelles en travail superficiel (-15 % de 10 à 15 cm et -9 % de 15 à 20 cm) et en semis direct (-7 % de 5 à 10 cm, -16 % de 10 à 15 cm et -18 % de 15 à 20 cm). Toutefois, on observe que le rapport carbone de la fraction légère sur carbone total augmente sensiblement dans les dix premiers centimètres du traitement travail superficiel (+ 49 % de 0 à 5 cm, + 18 % de 5 à 10 cm) et dans les cinq premiers centimètres du traitement semis direct (+ 38 %).

33 Discussion

Dans les deux essais, la suppression du labour a pour conséquence une augmentation sensible de la teneur en matière organique totale dans les couches qui restent travaillées. Cet accroissement de la richesse en matière organique est d'autant plus marqué que le travail du sol est réduit.

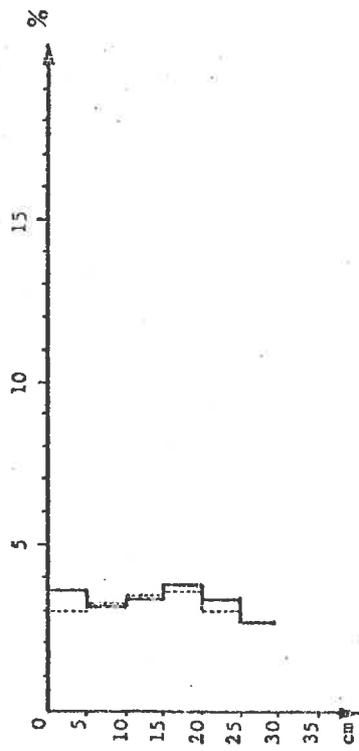
Les graphiques traduisent bien cette accumulation des matières organiques en surface, en particulier dans le premier centimètre des parcelles en semis direct où le taux de carbone total passe en quatre années d'expérimentation de 1,04 % à 1,82 % à Boigneville et de 1,16 % à 1,76 % à Saint-Aubin-la-Plaine.

Par ailleurs, dans les deux essais, les matières organiques accumulées en surface contiennent davantage de matières organiques libres que celles mélangées au sol par un labour. Ce phénomène est particulièrement net dans le premier centimètre du traitement en semis direct où le taux de carbone de la fraction libre passe de 1,80 % à 4,68 % à Boigneville et de 1,80 % à 4,75 % à Saint-Aubin-la-Plaine.

Il faut noter en outre que cette évolution vers une plus grande richesse en matière organique libre dans les dix premiers centimètres du travail superficiel et dans les cinq premiers centimètres du semis direct semble un peu plus marquée à Saint-Aubin qu'à Boigneville (voir graphiques n° 12 et n° 14).

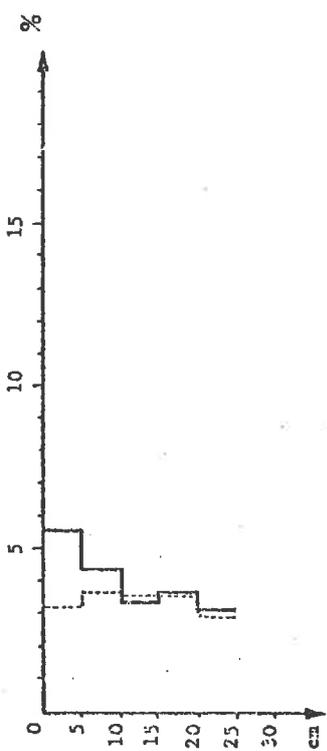
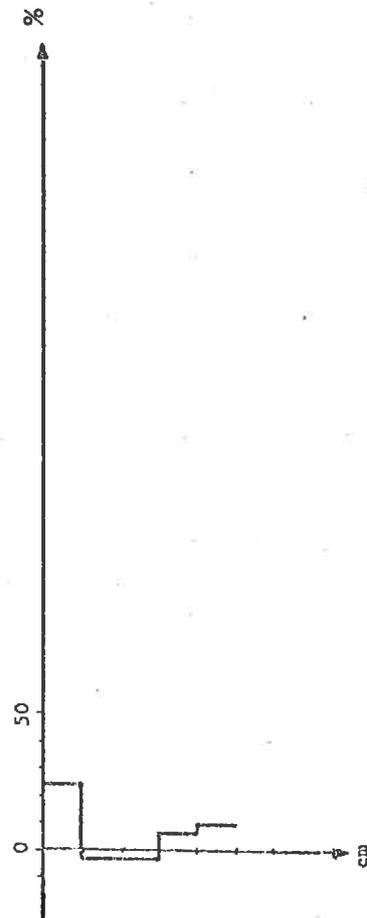
AGREGATS STABLES Boigneville

Teneurs en 1970 et 1974

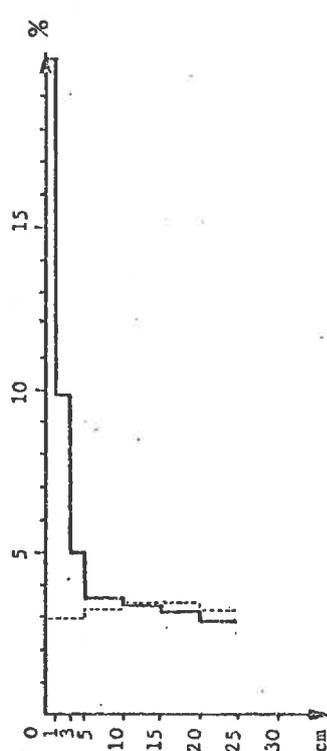
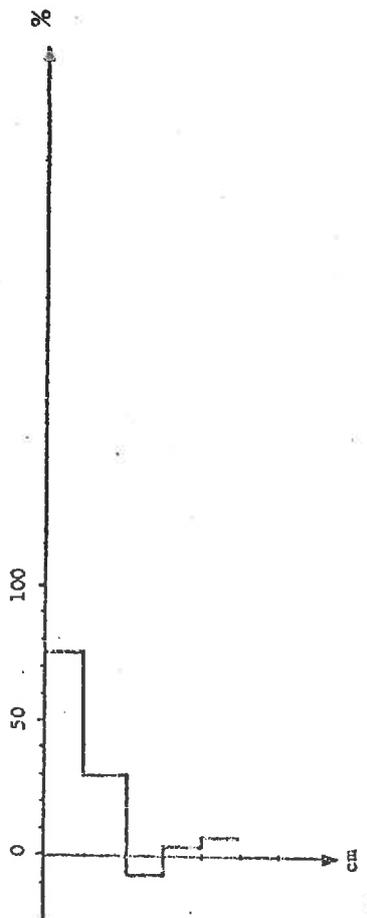


LABOUR
 x = 24 cm
 y = 28 cm

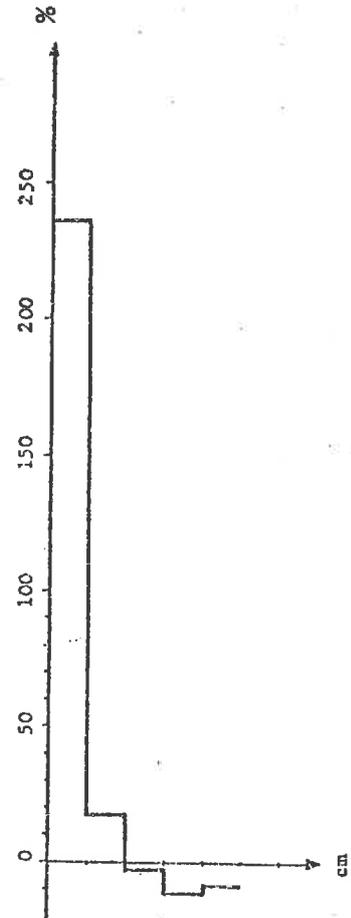
Evolution en % de la teneur 1970



TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 11 cm
 y = 25 cm



SEMIS DIRECT
 y = 25 cm



x = profondeur de travail en 1973 teneurs en 1970
 y = fond de la couche arable ——— teneurs en 1974

Graphique n° 15 - Evolution des teneurs en agrégats stables selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

4. AGREGATS STABLES APRES PRETRAITEMENT AU BENZENE

41 Boigneville

Comme le montre le graphique n° 15, l'incidence des techniques de travail du sol sur l'évolution du pourcentage d'agrégats stables après prétraitement au benzène est très différent suivant le niveau considéré.

L'évolution du taux d'agrégats stables est en effet très limité dans les parcelles labourées (+ 24 % de 0 à 5 cm et entre +10 et -10 % dans le reste de la couche arable).

Les parcelles en semis direct présentent par contre une augmentation considérable du pourcentage d'agrégats stables en surface (+ 230 % en 4 années d'expérimentation de 0 à 5 cm).

On constate le même phénomène dans les dix premiers centimètres des parcelles travaillées superficiellement (+ 75 % de 0 à 5 cm et + 30 % de 5 à 10 cm).

Dans ces deux dernières techniques, les zones non travaillées de la couche arable ne présentent que de très faibles variations par rapport aux taux initial d'agrégats stables.

42 Saint-Aubin-la-Plaine

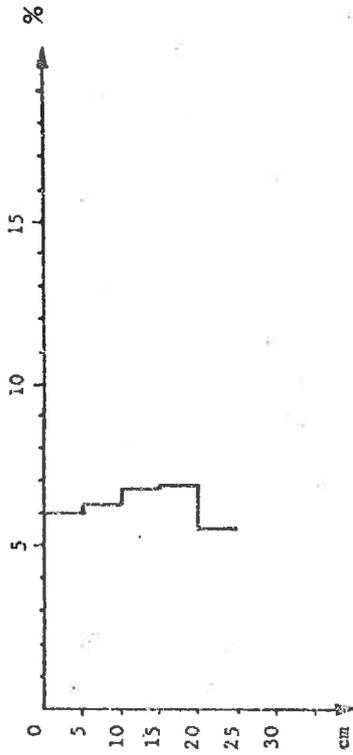
L'analyse du taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène n'ayant pas été effectuée sur les échantillons prélevés dans cet essai en 1970, il est seulement possible de comparer les résultats obtenus dans les trois techniques de travail du sol en 1974.

Toutefois, comme on peut le voir sur le graphique n° 16, les profils obtenus dans les traitements travail superficiel et semis direct sont caractérisés par un taux d'agrégats stables beaucoup plus élevé en surface qu'en profondeur.

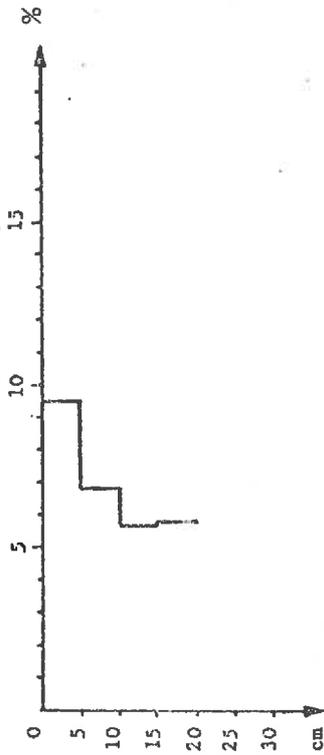
Le traitement labour présente, en revanche, peu de différences entre le pourcentage d'agrégats stables observés dans les cinq niveaux de la couche arable.

AGREGATS STABLES St Aubin

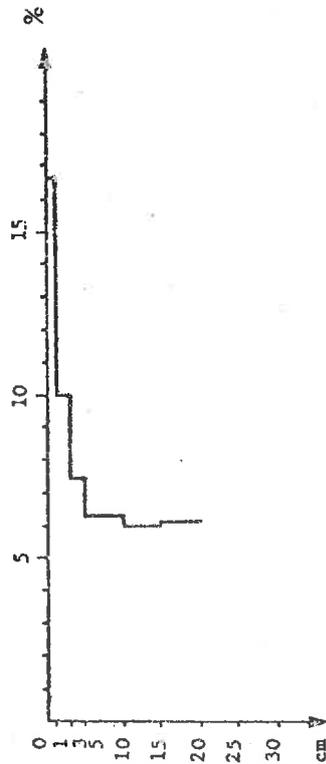
Teneurs en 1974



LABOUR
 x = 25 cm
 y = 30 cm



TRAVAIL SUPERFICIEL
 x = 8 cm
 y = 27 cm



SEMIS DIRECT
 y = 27 cm

x = profondeur de travail en 1973 — teneurs en 1974

y = fond de la couche arable

Graphique n° 16 - Evolution des teneurs en agrégats stables selon différentes techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation.

43 Discussion

La mesure du taux d'agrégats stables après prétraitement au benzène rend compte de l'influence des matières organiques sur la stabilité structurale du sol. Il est par conséquent logique de trouver une augmentation considérable du taux d'agrégats stables dans les horizons où la suppression du labour a eu pour conséquence une accumulation des matières organiques. C'est particulièrement le cas des cinq premiers centimètres des parcelles en semis direct et des dix premiers centimètres des parcelles travaillées superficiellement.

Par ailleurs, lorsque les teneurs en matières organiques varient peu, comme c'est le cas de 0 à 25 cm dans le traitement labour, de 10 à 25 cm dans le traitement travail superficiel et de 5 à 25 cm dans le traitement semis direct, le pourcentage d'agrégats stables ne subit que de très faibles variations en quatre années d'expérimentation (voir graphique n° 15).

C O N C L U S I O N

L'emploi systématique de techniques de travail superficiel ou de semis direct pendant quatre ans modifie donc considérablement la répartition des éléments minéraux et des matières organiques à l'intérieur de la couche arable.

La suppression du labour entraîne, en effet, un enrichissement important en potasse, en acide phosphorique et en matières organiques dans les cinq ou dix premiers centimètres du profil. En revanche, l'incidence des techniques étudiées sur la répartition des autres éléments analysés (calcium, magnésium et sodium) est, jusqu'à présent, peu marquée.

L'augmentation des teneurs en potasse et en acide phosphorique en surface risque de créer à terme de graves problèmes pour l'alimentation des plantes cultivées, en particulier dans le cas de cultures (comme le maïs) qui sont souvent contraintes à s'alimenter au-dessous de la couche superficielle en raison du dessèchement fréquent de cette zone.

Par contre, l'accumulation des matières organiques dans les premiers centimètres de la couche arable, notamment en semis direct, a permis d'améliorer sensiblement la stabilité structurale de cette zone et de limiter les risques de battance. Néanmoins, cette accumulation de résidus organiques en surface peut être un inconvénient dans la mesure où elle constitue une gêne pour le passage de certains outils de travail du sol et lors du semis. Elle favorise en outre le développement de certains ravageurs comme les pyrales et les limaces.

Les résultats de cette étude relative à l'incidence du travail du sol sur l'évolution des teneurs de la couche arable en éléments minéraux et en matières organiques conduisent à penser que la pratique systématique de techniques de travail superficiel ou de "semis direct" nécessite la localisation en profondeur d'au moins une partie de la fumure.

A cet égard, de nouvelles études devront probablement être entreprises pour préciser les conditions de réalisation de ce procédé cultural, et mettre au point des outils permettant d'effectuer simultanément la localisation de l'engrais en profondeur et le semis.

Enfin, l'augmentation importante des teneurs en matières organiques qui a suivi le remplacement du labour par un travail superficiel illustre bien, a contrario, le problème de l'approfondissement des labours et des inconvénients qui en résultent.

A ce propos, il est probable que les charrues à larges corps, actuellement utilisées, ont souvent amené les agriculteurs à labourer trop profondément. Il serait peut-être intéressant de revenir à des corps moins larges (8 à 10 pouces), quitte à ameublir de temps en temps le sol en profondeur avec des outils du type "ripper" dont l'effet de mélange est très limité.

A N N E X E S.

- ANNEXE N° 1 Teneurs initiales (1970) Boigneville
2 Teneurs 1974 Boigneville
3 Teneurs initiales (1970) Saint-Aubin-la-Plaine
4 Teneurs 1974 Saint-Aubin-la-Plaine
5 Evolution des teneurs entre 1970 et 1974
(Boigneville et Saint-Aubin)
6 Essais de bilans minéraux
7 Calendrier des apports
(Boigneville : parcelles en blé 1970-71)
8 Calendrier des apports
(Boigneville : parcelles en maïs 1970-71)
9 Calendrier des apports
(Saint-Aubin-la-Plaine)
10 Rendements en blé et maïs des quatre premières
années d'expérimentation
11 Profils culturaux réalisés sur blé (Boigneville 1973-74)
12 Profils culturaux réalisés sur maïs (Boigneville 1973-74)
13 Profils culturaux réalisés sur blé (Saint-Aubin 1973-74)
14 Profils culturaux réalisés sur maïs (Saint-Aubin 1973-74)

niveaux (cm)	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅ ‰	C total %	Cf.l. Ct.	Ag. stab. %	
	meq/100 g								
L ₀	0 → 5	14,8	0,84	0,53	0,07	0,11	10,3	0,17	2,9
	5 → 10	14,8	0,83	0,45	0,08	0,12	10,6	0,15	3,2
	10 → 15	14,7	0,83	0,47	0,07	0,11	10,4	0,16	3,4
	15 → 20	14,7	0,84	0,49	0,08	0,12	10,5	0,16	3,6
	20 → 25	15,3	0,88	0,45	0,07	0,09	9,1	0,15	3,0
	y → y+10	21,3	1,05	0,32	0,11	0,01	4,8	0,09	1,3
L ₁	0 → 5	14,6	0,81	0,49	0,07	0,13	10,6	0,15	3,2
	5 → 10	14,6	0,81	0,43	0,07	0,13	10,3	0,17	3,3
	10 → 15	14,3	0,81	0,49	0,07	0,13	10,3	0,16	3,5
	15 → 20	14,3	0,81	0,51	0,07	0,13	10,4	0,16	3,5
	20 → 25	14,9	0,83	0,41	0,08	0,08	8,7	0,14	2,9
	y → y+10	22,9	0,92	0,30	0,11	0,01	5,1	0,09	1,5
L ₂	0 → 5	14,4	0,82	0,61	0,07	0,14	10,4	0,17	3,0
	5 → 10	14,9	0,81	0,41	0,08	0,15	10,3	0,17	3,2
	10 → 15	14,8	0,82	0,47	0,07	0,13	10,4	0,17	3,4
	15 → 20	15,0	0,82	0,51	0,07	0,13	10,2	0,17	3,5
	20 → 25	15,2	0,84	0,45	0,08	0,11	9,4	0,16	3,2
	y → y+10	19,2	1,01	0,32	0,11	0,01	5,1	0,10	1,2

L₀ = LabourL₁ = Travail superficielL₂ = Semis direct

ANNEXE N°1 - Teneurs initiales en éléments minéraux et en matières organiques dans la couche arable et dans les 10 premiers centimètres du sous-sol (Boigneville - Octobre 1970)

	niveaux (cm)	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅	C	Cf.l.	Ag.
		meq / 100g				%	%	Ct.	%
L ₀	0→5	13,7	0,77	0,58	0,06	0,14	10,2	0,14	3,6
	5→10	14,7	0,76	0,45	0,06	0,14	8,8	0,15	3,1
	10→15	14,8	0,77	0,50	0,07	0,15	10,3	0,13	3,3
	15→20	14,6	0,77	0,55	0,07	0,16	10,8	0,13	3,8
	20→X	15,0	0,78	0,53	0,08	0,15	10,0	0,14	3,3
	X→Y	15,3	0,80	0,45	0,08	0,11	9,0	0,12	2,6
	Y→Y+5	17,5	0,91	0,35	0,10	0,01	5,5	0,09	1,4
L ₁	0→5	12,3	0,79	0,92	0,05	0,27	12,0	0,17	5,6
	5→X	13,6	0,74	0,56	0,06	0,23	11,0	0,15	4,3
	X→15	13,9	0,71	0,43	0,06	0,14	10,1	0,12	3,3
	15→20	14,2	0,71	0,39	0,07	0,13	10,0	0,11	3,6
	20→Y	14,2	0,73	0,37	0,08	0,12	9,5	0,11	3,1
	Y→Y+5	15,8	0,86	0,32	0,09	0,01	5,9	0,08	1,5
L ₂	0→1	12,6	0,80	1,30	0,05	0,43	18,2	0,26	20,2
	1→3	12,1	0,74	1,00	0,05	0,39	13,3	0,18	9,8
	3→5	13,1	0,75	0,81	0,06	0,27	11,2	0,13	5,0
	5→10	14,3	0,73	0,63	0,06	0,13	10,2	0,13	3,7
	10→15	14,7	0,71	0,46	0,07	0,14	10,1	0,11	3,3
	15→20	15,0	0,71	0,41	0,07	0,13	10,3	0,11	3,1
	20→Y	14,8	0,73	0,37	0,08	0,11	9,3	0,11	2,9
	Y→Y+5	16,2	0,83	0,32	0,09	0,01	5,8	0,08	1,4

L₀ = Labour
 x = 25 cm
 y = 28 cm

L₁ = Travail superficiel
 x = 11 cm
 y = 25 cm

L₂ = Semis direct
 y = 25 cm

ANNEXE N°2 - Teneurs de la couche arable et des 5 premiers centimètres du sous-sol selon les 3 techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation (Boigneville - Octobre 1974)

	niveaux cm	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅ ‰	C total %	Cf.L. Ct.	Ag. stab. %
		meq/100g							
L ₀	0 → 5	8,3	0,55	0,44	0,08	0,10	11,4	0,16	-
	5 → 10	8,5	0,55	0,28	0,09	0,08	11,6	0,16	-
	10 → 15	8,5	0,57	0,27	0,10	0,08	11,7	0,17	-
	15 → 20	8,6	0,58	0,26	0,09	0,07	11,4	0,16	-
	20 → 25	8,7	0,60	0,23	0,08	0,05	9,7	0,13	-
L ₁	0 → 5	8,3	0,57	0,41	0,09	0,09	11,5	0,15	-
	5 → 10	8,5	0,56	0,26	0,10	0,08	11,7	0,14	-
	10 → 15	8,4	0,58	0,26	0,10	0,08	11,9	0,17	-
	15 → 20	8,7	0,59	0,25	0,09	0,07	11,3	0,15	-
	20 → 25	8,6	0,61	0,22	0,08	0,05	9,4	0,13	-
L ₂	0 → 5	8,0	0,56	0,47	0,08	0,10	11,8	0,16	-
	5 → 10	8,5	0,56	0,28	0,09	0,07	11,7	0,16	-
	10 → 15	8,6	0,56	0,26	0,09	0,08	12,0	0,16	-
	15 → 20	8,5	0,58	0,26	0,09	0,08	11,3	0,17	-
	20 → 25	8,6	0,60	0,22	0,08	0,05	10,1	0,14	-

L0 = Labour L1 = Travail superficiel L2 = Semis direct

ANNEXE N°3 - Teneurs initiales en éléments minéraux et en matières organiques dans la couche arable (St-Aubin-la-Plaine - Octobre 1970)

niveaux (cm)	Ca	Mg	K	Na	P ₂ O ₅ ‰	C total %	Cf.l. Ct.	Ag. stab. %	
	meq/100g								
L ₀	0 → 5	7,9	0,45	0,43	0,08	0,08	11,2	0,15	6,0
	5 → 10	8,6	0,47	0,28	0,08	0,08	11,1	0,15	6,2
	10 → 15	8,8	0,49	0,31	0,08	0,09	11,1	0,15	6,8
	15 → 20	8,9	0,51	0,32	0,08	0,10	11,3	0,14	6,9
	20 → X	9,0	0,52	0,26	0,08	0,06	9,9	0,14	5,5
	y → y+5	9,7	0,63	0,19	0,12	0,01	6,5	0,10	3,8
L ₁	0 → 5	7,0	0,46	0,69	0,08	0,18	11,9	0,29	9,5
	5 → X	8,2	0,48	0,43	0,07	0,12	12,4	0,19	6,8
	X → 15	9,1	0,48	0,29	0,08	0,08	11,4	0,14	5,7
	15 → 20	9,3	0,49	0,21	0,08	0,06	10,4	0,13	5,8
	y → y+5	9,4	0,60	0,19	0,10	0,01	6,9	0,10	4,4
L ₂	0 → 1	6,6	0,51	0,95	0,10	0,27	16,6	0,29	16,6
	1 → 3	6,4	0,42	0,66	0,07	0,23	13,0	0,20	10,0
	3 → 5	7,6	0,46	0,50	0,07	0,13	11,7	0,17	7,3
	5 → 10	8,7	0,49	0,41	0,08	0,09	11,1	0,15	6,2
	10 → 15	9,2	0,48	0,28	0,07	0,07	11,1	0,14	6,0
	15 → 20	9,4	0,49	0,21	0,08	0,05	10,3	0,13	6,1
	y → y+5	9,3	0,59	0,19	0,10	0,01	6,4	0,10	4,8

L₀ = Labour
 x = 25 cm
 y = 30 cm

L₁ = Travail superficiel
 x = 8 cm
 y = 27 cm

L₂ = Semis direct
 y = 27 cm

ANNEXE N°4 - Teneurs de la couche arable et des 5 premiers centimètres du sous-sol selon les 3 techniques de travail du sol après 4 années d'expérimentation (St-Aubin-la-Plaine - Octobre 1974)

		Boigneville	St Aubin
CALCIUM	L0	-1,7 %	-1,2 %
	L1	-5,8 %	0
	L2	-3,5 %	+2,1 %
MAGNESIUM	L0	-8,4 %	-14,2 %
	L1	-9,3 %	-15,5 %
	L2	-11,3 %	-14 %
POTASSIUM	L0	+11,8 %	+11,6 %
	L1	+18 %	+34,9 %
	L2	+19,8 %	+23 %
SODIUM	L0	-8,8 %	-10,4 %
	L1	-8,3 %	-16,7 %
	L2	-3,4 %	-15,5 %
P ₂ O ₅ assimilable	L0	+40 %	+10,7 %
	L1	+45,4 %	+33,5 %
	L2	+56 %	+23,2 %

		Boigneville	St Aubin
CARBONE TOTAL	L0	+1,2 %	-3,1 %
	L1	+5,2 %	+3,5 %
	L2	+5,9 %	-2,7 %
Carbone de la fraction légère	L0	-12,7 %	-10,6 %
	L1	-10,6 %	+16,9 %
	L2	-16,4 %	-1,4 %
Carbone de la fraction dense	L0	+4,2 %	-1,5 %
	L1	+8,3 %	+1,3 %
	L2	+10,6 %	-2,5 %
C. fraction légère C. fr. dense	L0	-13,6 %	-7,5 %
	L1	-15,6 %	+10,7 %
	L2	-22,7 %	-0,4 %
Agrégats stables au benzène	L0	+7,8 %	-
	L1	+21,6 %	-
	L2	+45,4 %	-

L0 = Labour
L1 = Travail superficiel
L2 = Semis direct

ANNEXE N°5 -

Evolution de différents teneurs de la couche arable (d'après analyses statistiques) (Les résultats, exprimés en %, traduisent la variation de chaque teneur obtenue après les 4 années d'expérimentation).

(1) A St-Aubin-la-Plaine les moyennes n'ont pu être réalisées que sur les 20 premiers centimètres.

	K ⁺ (kg/ha)			P ₂ O ₅ (kg/ha)		
	L ₀	L ₁	L ₂	L ₀	L ₁	L ₂
Boigneville						
Bilan agricole	+ 331	+ 321	+ 325	+ 459	+ 452	+ 462
Bilan analytique	+ 49	+ 123	+ 156	+ 126	+ 252	+ 294
Saint-Aubin						
Bilan agricole	+ 232	+ 232	+ 235	+ 229	+ 228	+ 246
Bilan analytique	+ 176 ₍₊₎	+ 420 ₍₋₎	+ 384 ₍₋₎	+ 50 ₍₊₎	+ 143 _(≈)	+ 105 ₍₋₎

L₀ = Labour - L₁ = Travail superficiel - L₂ = Semis direct

ANNEXE N° 6 - Essais de bilans minéraux

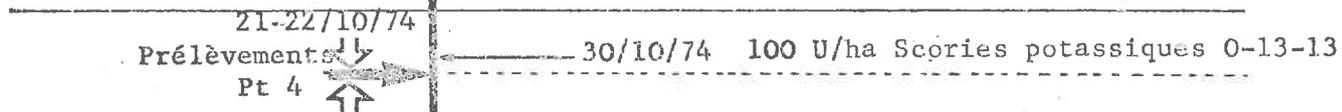
Les bilans analytiques ci-dessus sont représentatifs de toute l'épaisseur de la couche arable sur l'essai de Boigneville et des 20 premiers centimètres sur l'essai de Saint-Aubin-la-Plaine.

Dans ce dernier essai, les indices (+) ou (-) signifient que les bilans analytiques relatifs à toute la couche arable (30 cm) auraient été supérieurs ou inférieurs aux résultats inscrits.

1975

74

BLE



1974

MAÏS

1973



9/8/73 120 U/ha Scories 0-14-14

BLÉ



6/11/72 150 U/ha Scories 0-24-24

1972

MAÏS

31/03/72 90 U/ha Super triphosphate 45 %

1971

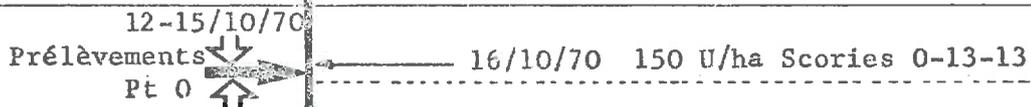


10/8/71 150 U/ha Scories 0-13-13

BLÉ

1970

MAÏS



28/10/69 130 U/ha Scories 0-14-14

ANNEXE N°7 - Boigneville - Calendrier des apports en acide phosphorique et potasse.

1 - Parcelles cultivées en Blé en 1970-71

1975

75

MAÏS

1-2/10/74

Prélèvements
Pt 4

← 30/10/74

100 U/ha Scories potassiques 0-13-13

1974



BLÉ

1973



← 4/10/73

140 U/ha Scories potassiques 0-14-14

MAÏS

← 5/04/73

90 U/ha Super triphosphate 45 %

1972



BLÉ

← 31/08/72

160 U/ha Super phosphate 0-24-24

1971



MAÏS

← 20/10/71

150 U/ha Scories potassiques 0-13-13

← 20/04/71

90 U/ha Super triphosphate 45 %

1970

12-15/10/70

Prélèvements
Pt 0

← 18/03/70

150 U/ha Scories potassiques 0-12-12

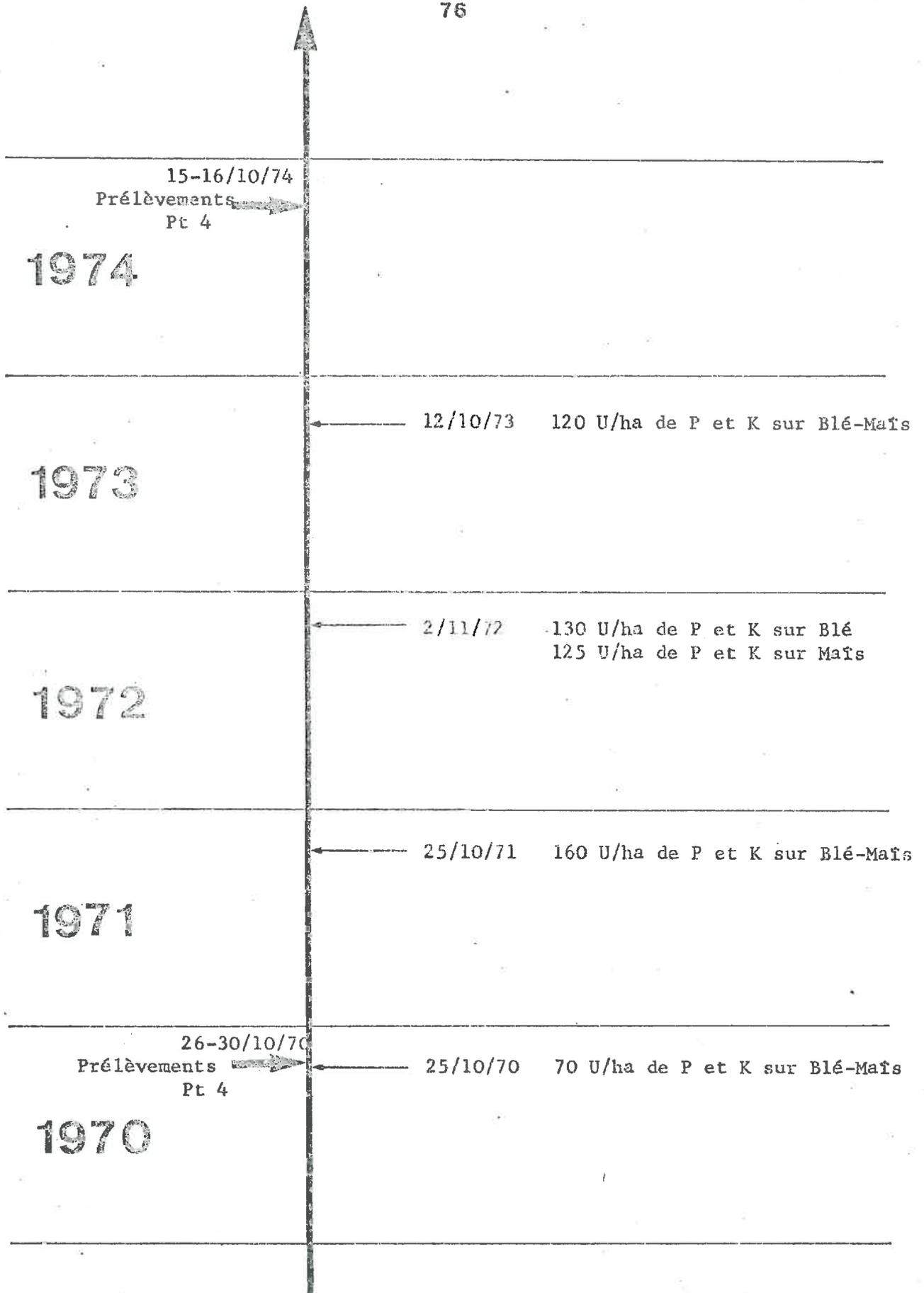
BLÉ

← 28/10/69

130 U/ha Scories 0-14-14

ANNEXE 8 - Boigneville - Calendrier des apports en acide phosphorique et potasse.

2 - Parcelles cultivées en Maïs en 1970-71



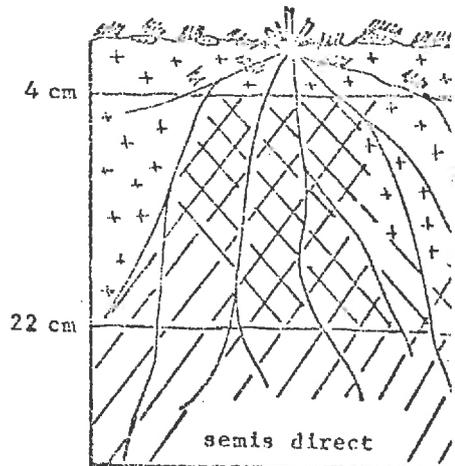
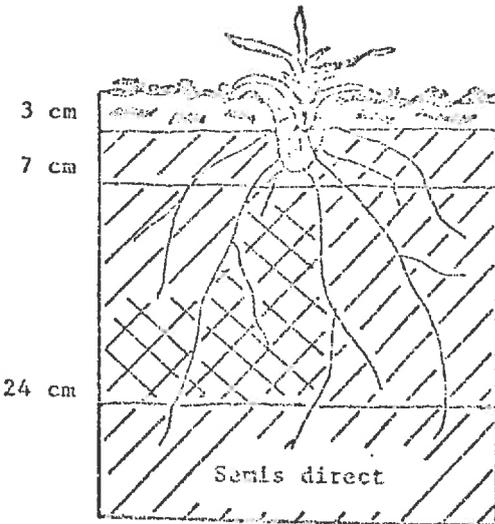
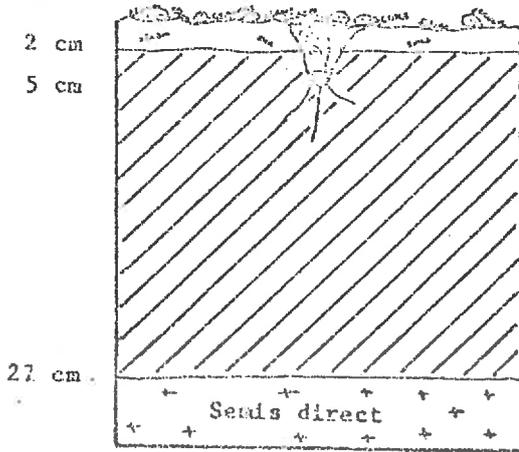
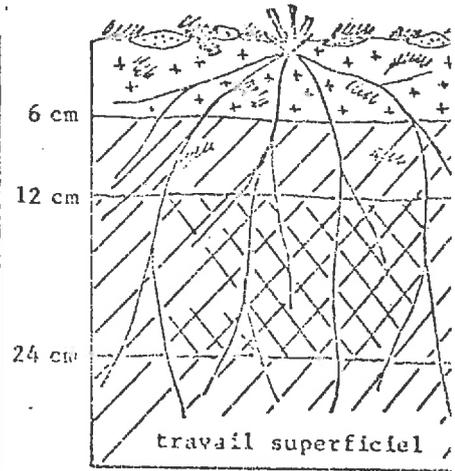
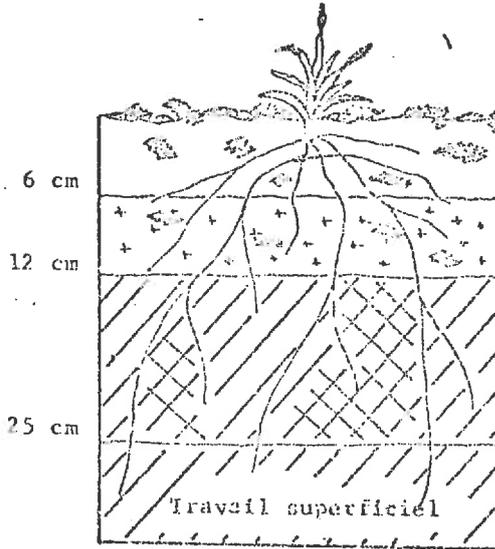
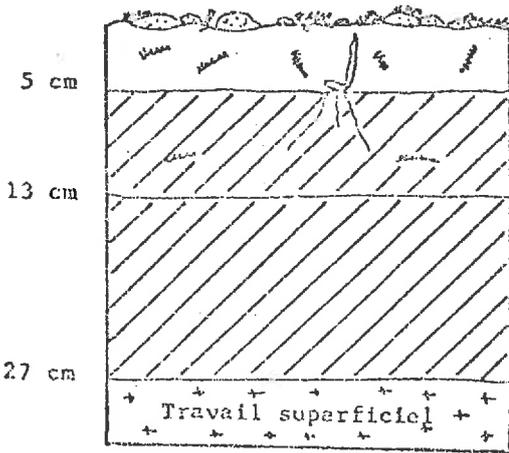
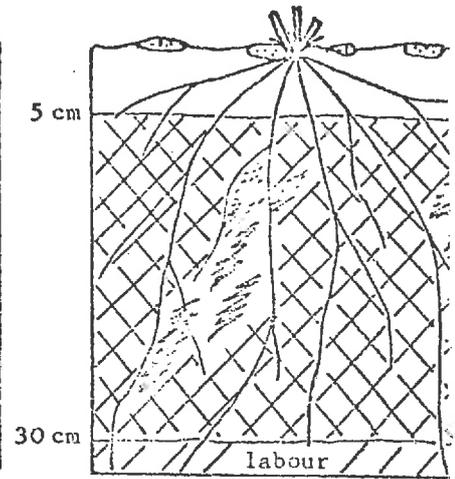
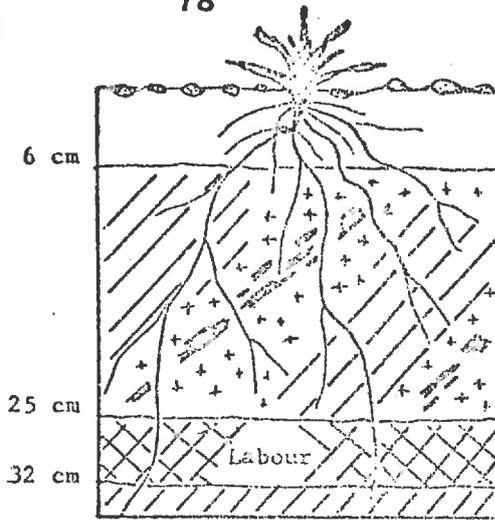
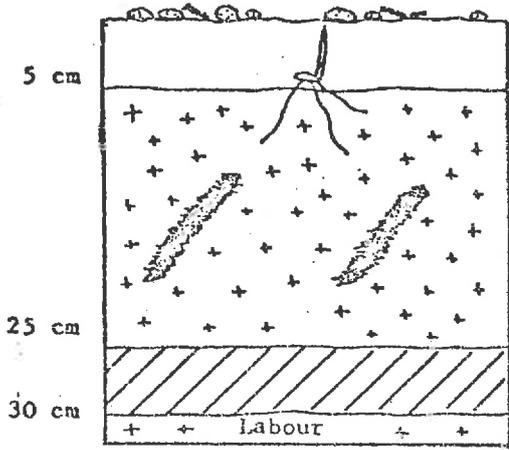
culture		blé			maïs		
Composantes du rendement Campagne		Nombre d'épis au m ²	Poids de 1000 grains à 15% d'eau en g	Rendements à 15% d'eau en q/ha	Nombre d'épis par ha	Poids de 1000 grains à 15% d'eau en g	Rendements à 15% d'eau en q/ha
	L1	424	41,9	46,9	66400	333,8	73,8
	L2	489	41,3	50,4	57590	323,7	63,9
1971-72	L0	448	40,1	69,9	65052	280,4	69,9
	L1	470	41,7	70,4	62604	273,6	66,9
	L2	444	37,2	65,9	60619	239,9	53,3
1972-73	L0	556	35,3	55,0 *	47618	316,0	61,4
	L1	566	36,6	70,0	49129	320,7	62,0
	L2	556	36,9	66,7	43445	323,3	53,9
1973-74	L0	411	39,3	66,9	52175	318,9	60,5
	L1	459	38,4	67,7	48581	318,7	60,4
	L2	536	37,8	67,1	50878	316,7	60,4

* parcelles entièrement versées

S^t AUBIN-LA-PLAINE

	Travail profond	Travail superficiel	Non travail du sol
1971	48,2 Qx/Ha	50,5	49,6
1972	73,9	71,4	66,3
1973	50,4	47,9	50,0
1974	51,6	53,8	55,5

	Travail profond	Travail superficiel	Non travail du sol
1971	48,5 Qx/Ha	51,3	48,5
1972	56,3	56,8	23,5
1973	49,9	46,8	51,7
1974	35,9	35,7	34,5

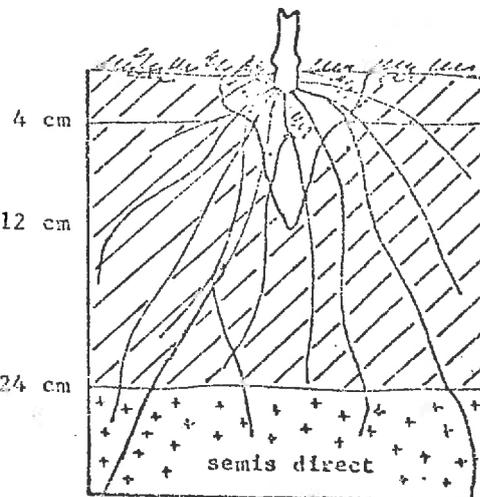
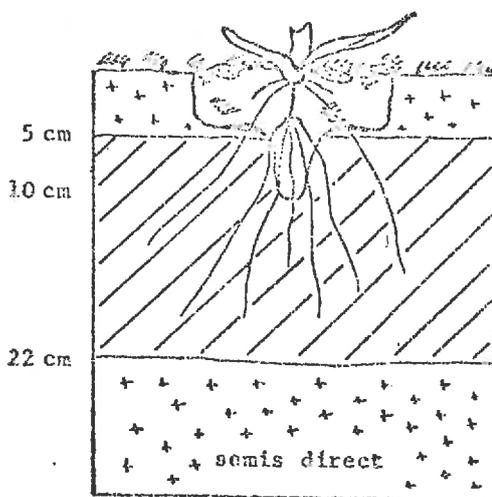
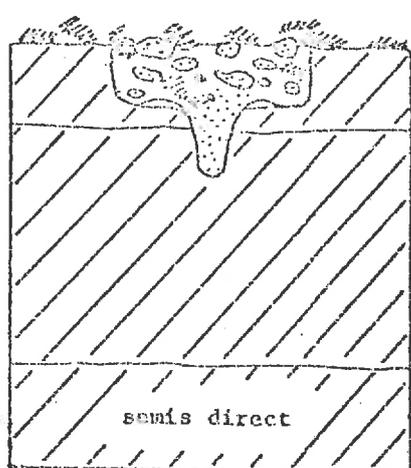
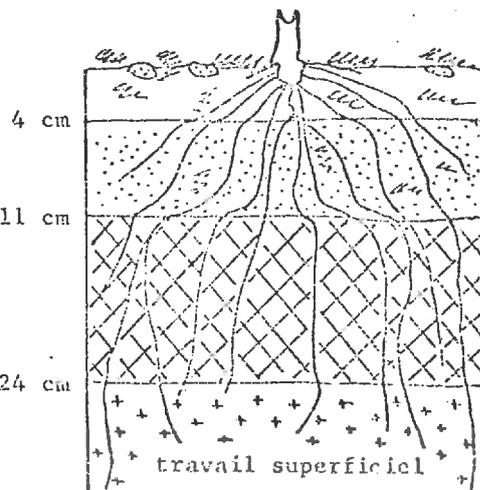
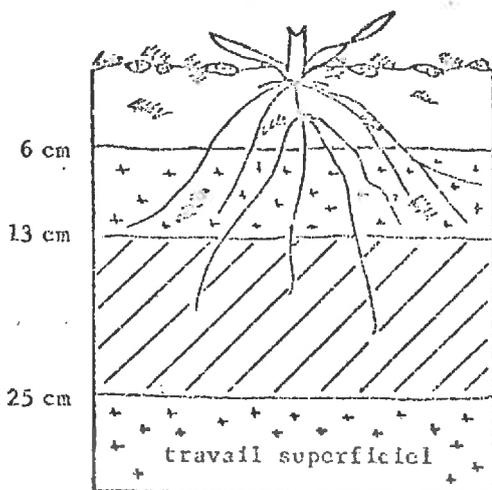
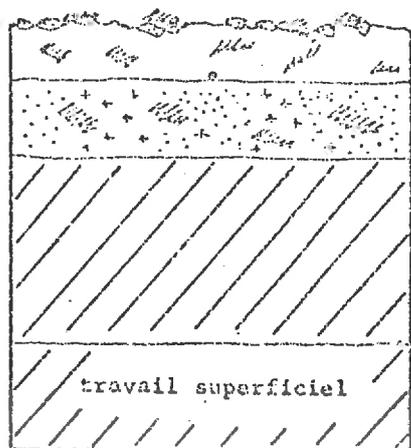
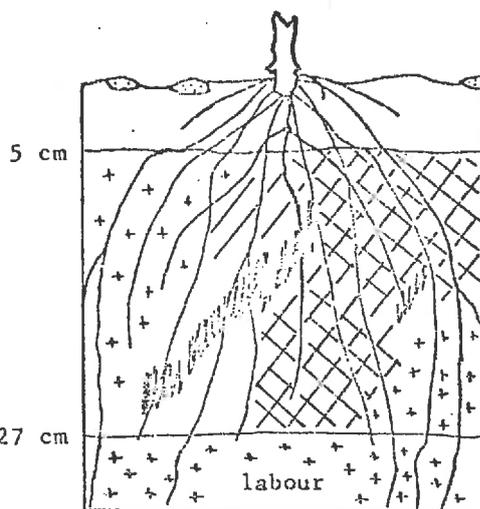
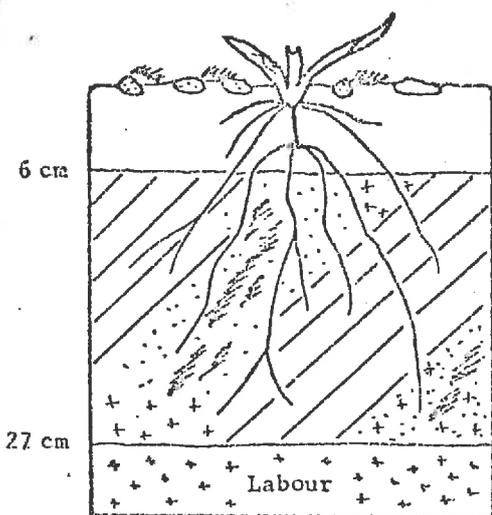
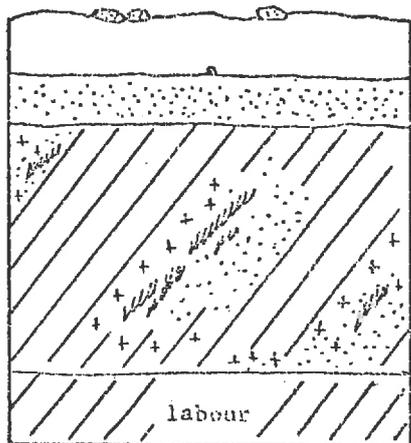


08/11/1973

15/03/1974

13/06/1974

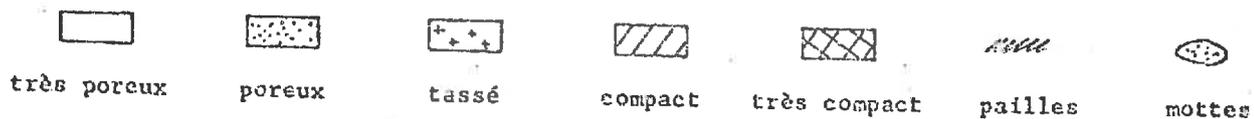
- 
 très poreux
- 
 poreux
- 
 tassé
- 
 compact
- 
 très compact
- 
 pailles
- 
 mottes

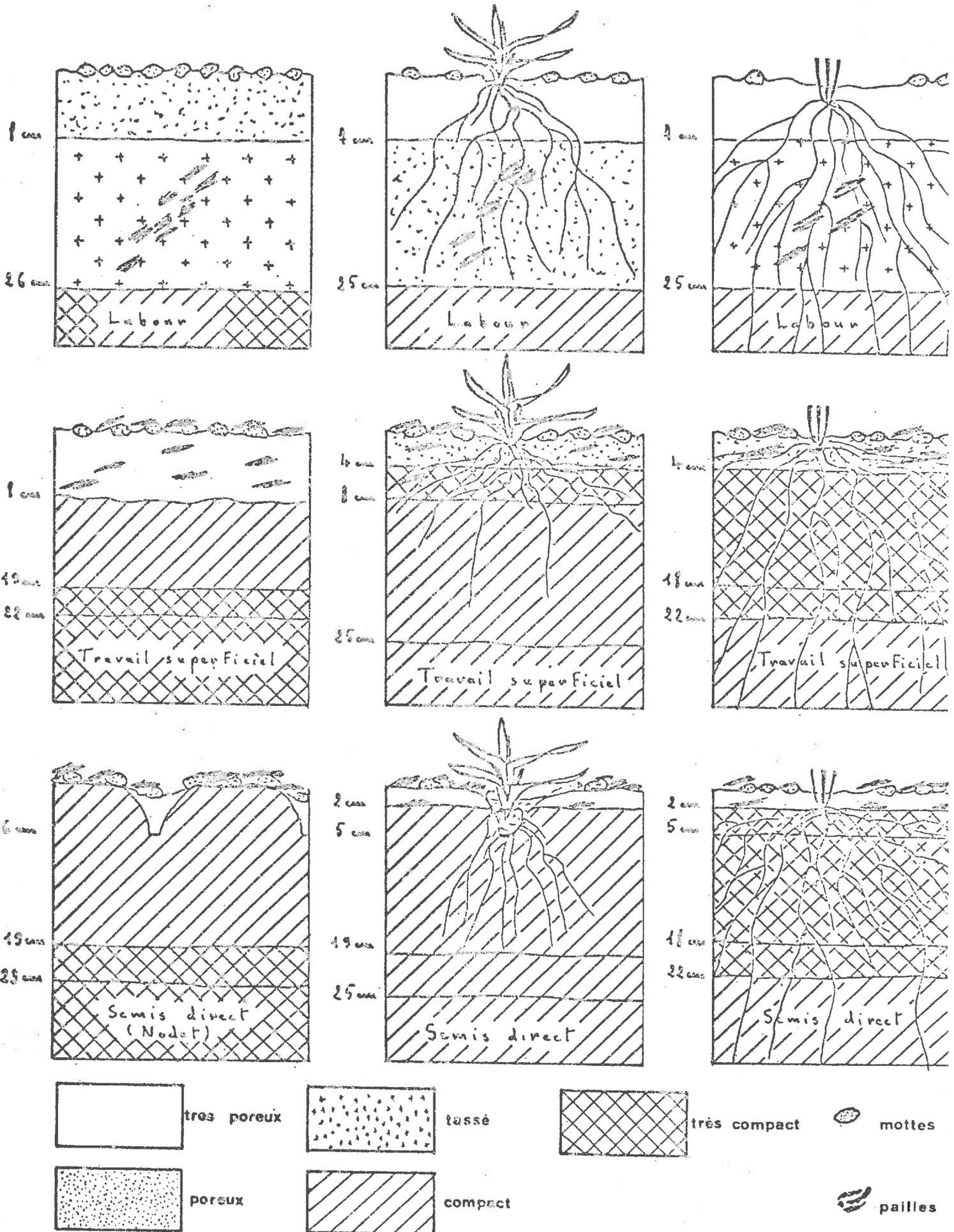


30/04/1974

16/06/1974

26/07/1974



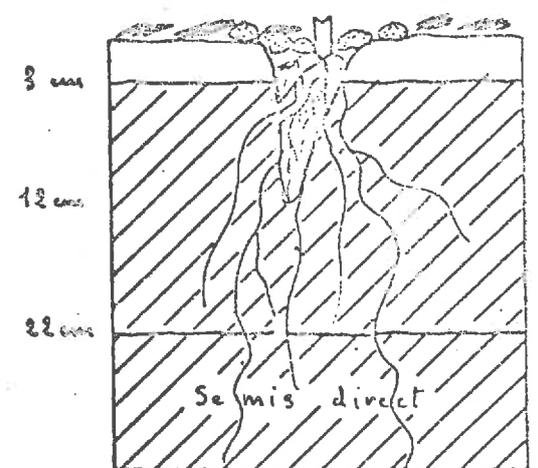
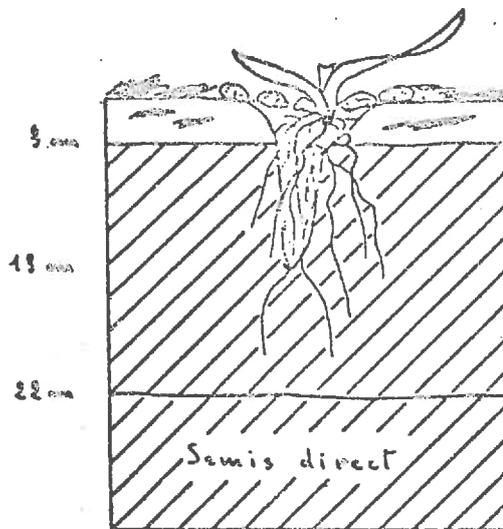
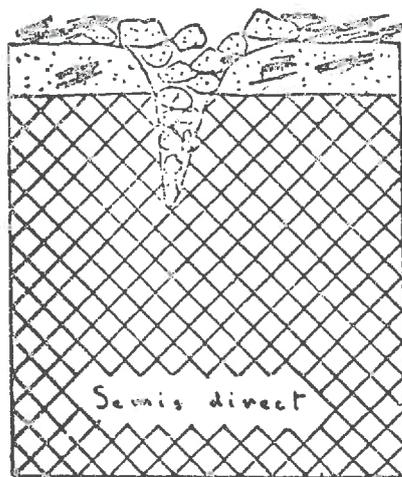
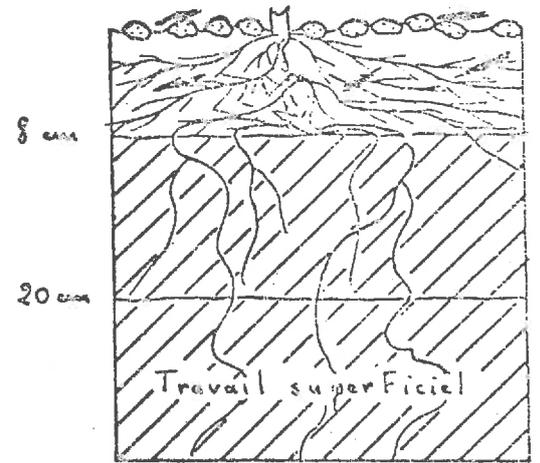
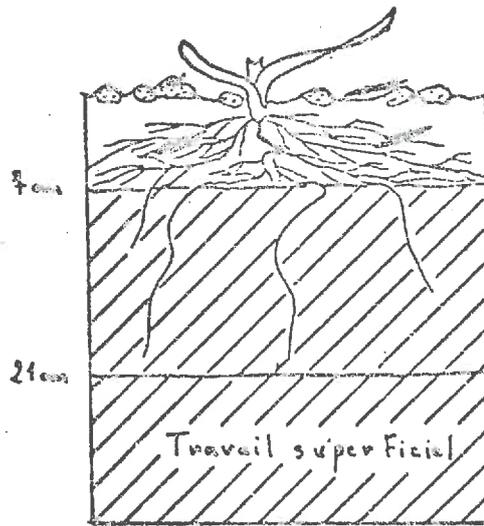
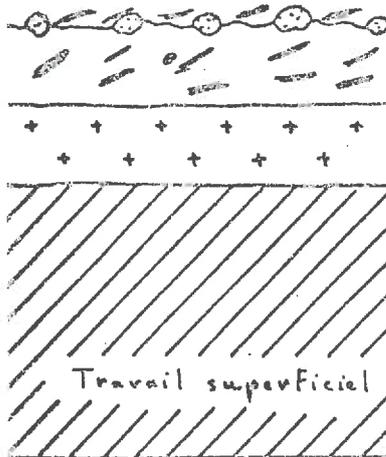
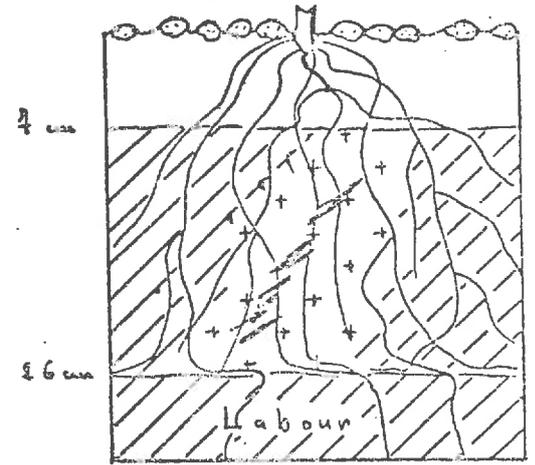
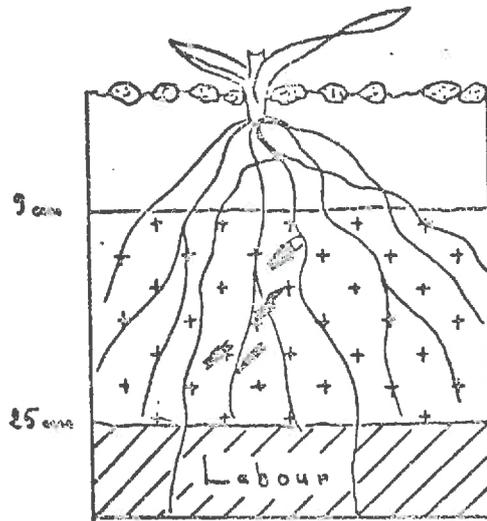
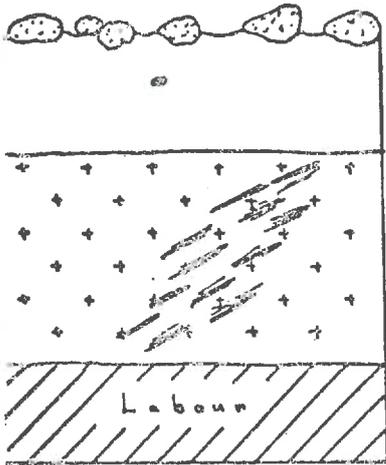


ANNEXE N°13 - Profils culturaux réalisés sur blé pendant la 4^e année d'expérimentation (Essai de St-Aubin-la-Plaine). 9

10 MAI 1974

21 JUIN 1974

2 AOUT 1974



B I B L I O G R A P H I E

- [1] Duchaufour "Précis de Pédologie" - Masson 1970
 - [2] Hénin, Gras, Monnier "Le Profil Cultural" - Masson 1960
 - [3] M. Duthion "Revue Agricole de France" N° 52 Fertilisation - Dunod 1966
 - [4] G. Gaucher "Traité de Pédologie Agricole - Le Sol" - Dunod 1968
 - [5] J. Gros "Les Engrais - Guide pratique de la fertilisation" -
La Maison Rustique 1969
 - [6] J. Magny et J. Baur "Pour comprendre les analyses de terre" -
Purpan N° 41-42
 - [7] J.P. Gouet "Les comparaisons de moyennes et de variances ; application
à l'application" - Bureau d'Etudes Statistiques de l'I.T.C.F.
 - [8] J. Duthil "Eléments d'Ecologie et d'Agronomie" (Tome II et Tome III) -
Baillière 1973
 - [9] Comptes rendus d'essais I.T.C.F. "Techniques de travail du Sol"
Boigneville 1970-1971, 1971-1972, 1972-1973, 1973-1974
Saint-Aubin 1970-1971, 1971-1972, 1972-1973, 1973-1974
-
- A. Demolon "Dynamique du Sol" - Dunod 1966
 - J. Prats "La Fertilisation raisonnée" - Ministère de l'Agriculture 1970
 - "Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux" (Belgique)
Semaine d'étude Sol et Fertilisation 1973
 - S.H. Phillips et H.M. Young "No-tillage Farming" - Reiman Associates
 - D. Soltner "Les Bases de la Production Végétale" - Collection Sciences
et Techniques
 - G. Philippeau "Théorie des plans d'expérience - application à l'agronomie"
Bureau d'Etudes Statistiques de l'I.T.C.F.