Ecole Nationale Supérieure Agronomique
de Rennes

Institut National de la
Recherche Agronomique

Laboratoire de Sciences du Sol

# CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES RELATIONS ENTRE L'ÉVOLUTION DU PROFIL CULTURAL ET LE COMPORTEMENT DES ASSOLEMENTS CÉRÉALIERS INTENSIFS DANS L'OUEST DE LA FRANCE

SdS 28

Patrice PLET
Hervé TANGUY

# S O M M A I R E

Chapitre 1 : LA DEMANDE - LA MISE EN PLACE DE L'ETUDE - PRESENTATION GENERALE DU TRAVAIL

1. - La demande - La mise en place de l'étude
2. - Présentation générale du travail

Chapitre 2 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES PLANTES

1. - Inventaire des différentes situations
2. - Etablissement de cartes de végétation
3. - Etude du profil cultural dans trois cas extrêmes de développement du maïs

Chapitre 3 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES MODES CULTURAUX

1. - Observation de différents outils de pseudo-labour
2. - Incidence d'une récolte en conditions humides
3. - La mise en place des cultures
4. - Incidence de passages de tracteurs après préparation du sol
5. - Labour et non-labour

Chapitre 4 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES ORGANISMES TELLURIQUES

1. - Relations faune-sol-plante dans un profil type
2. - Quelques observations sur les populations de Pucerons
3. - Quelques observations sur la répartition des attaques de Piétin Echaudage

Chapitre 5 : ETUDE SYNTHETIQUE

1. - Etude de l'homogénéité du sol de la parcelle
2. - Le profil cultural de la parcelle
3. - Les contraintes inhérentes aux rotations céréalières intensives

Chapitre 6 : CRITIQUE DE LA METHODE EMPLOYEE - PERSPECTIVES

1. - Critique de la méthode employée
2. - Autres méthodes

CONCLUSION

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES MATIERES

# CHAPITRE 1

## LA DEMANDE

## MISE EN PLACE DE L'ETUDE

## PRESENTATION GENERALE DU TRAVAIL

# LA DEMANDE - MISE EN PLACE DE L'ETUDE

# PRESENTATION GENERALE DU TRAVAIL

## 1. - LA DEMANDE - MISE EN PLACE DE L'ETUDE

Depuis quelques années on observe dans certaines régions (Bassin Parisien, Nord, Sud-Ouest), l'abandon des rotations classiques au profit de rotations céréalières intensives, essentiellement à base de maïs et de blé. Généralement, après quelques années d'assolements intensifs satisfaisants, on observe une chute de rendement : des problèmes quant à la fertilité des sols et à l'état sanitaire des cultures apparaissent.

C'est pour répondre à certaines inquiétudes des agriculteurs vis-à-vis de ces risques des assolements céréaliers intensifs que le programme d'action concerté INRA-ITCF-ONIC a été mis en place.

## 2. - PRESENTATION GENERALE DU TRAVAIL

### 2.1 - L'EVOLUTION DES HORIZONS CULTIVES - DEFINITION D'UNE DEMARCHE POUR LEUR ETUDE

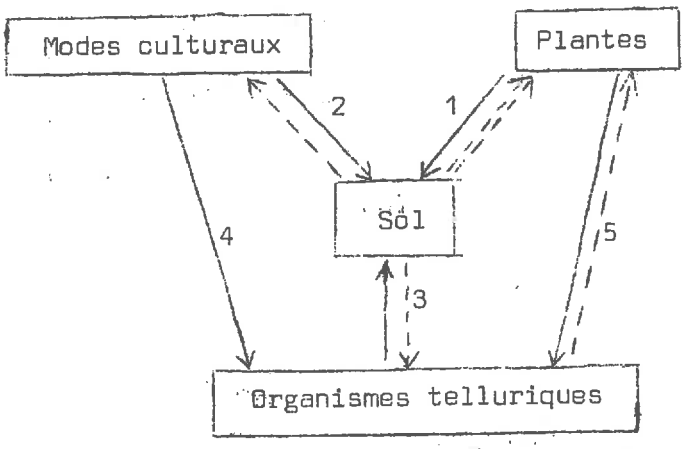
#### 2.11 - Schéma général

Les assolements céréaliers intensifs posent donc des problèmes au bout de quelques années. Il s'agit alors de rechercher

quelle a été l'évolution du sol sous l'effet de telles rotations. Cette évolution est sous l'interdépendance de trois facteurs primordiaux :

- les modes culturaux adoptés
- les cultures réalisées
- les organismes telluriques favorisés

On peut donc représenter schématiquement cette évolution

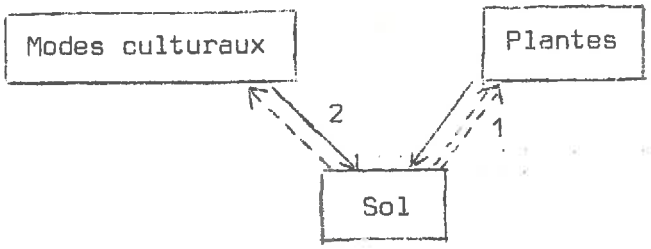



Notre étude n'abordera pas toutes les relations indiquées par ce schéma. Elle s'attachera surtout à mieux cerner :

- le développement et la productivité des cultures
- le développement des maladies phytosanitaires en relation avec le sol

On peut donc envisager deux volets principaux dans cette étude :

## 2.12 - Premier volet

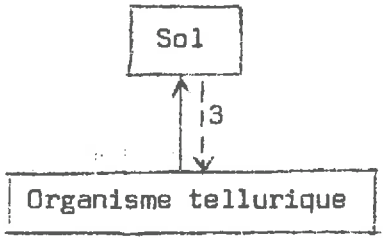



On définira tout d'abord les organisations pédologiques consécutives aux rotations céréalières intensives, c'est à dire les organisations dues aux techniques et aux travaux culturaux, mais aussi aux plantes choisies ( ——————> ).

On s'attachera ensuite à rechercher les contraintes subies par les plantes mises en présence de ces organisations (= = = = =>).

On pourra également envisager les choix de modes culturaux qu'imposent les contraintes de certains types de sols (- - - →).

2.13 - Deuxième volet




On s'efforcera de définir parallèlement les organisations, les structures, les porosités favorables au développement de certains organismes telluriques, ainsi que les organisations semblant défavorables (- - - →).

On suivra également l'activité des organismes telluriques et leur incidence sur les organisations pédologiques (——→).

On peut donc espérer qu'après ces deux étapes, on sera en mesure de définir les organisations qui semblent à la fois favorables à la croissance de la plante et défavorables au développement de certains parasites telluriques. Connaissant d'autre part l'incidence des différents modes culturaux sur le sol, on serait alors en mesure d'orienter ces modes de travail afin d'obtenir les organisations souhaitables.

2.2 - LES METHODES

L'approche morphologique du profil cultural est notre démarche essentielle, qui comporte les étapes suivantes :

- On essaiera de mettre en évidence macromorphologiquement des organisations caractéristiques des horizons cultivés en rotations céréalières intensives (Méthode définie par S. HENIN dans son livre "Le Profil Cultural")
- Des observations sur le terrain permettront de préciser qualitativement l'incidence de ces organisations sur le développement des plantes et des organismes telluriques.
- Pour suivre l'évolution de ces organisations caractéristiques, on se basera surtout sur des observations de terrain, mais aussi sur des observations micromorphologiques qui permettront d'affiner l'étude.
- Enfin pour préciser la constitution de ces organisations et leur évolution, on fera appel à des caractérisations physiques du matériau.

Jusqu'à maintenant nous avons surtout étudié au niveau macromorphologique les relations sol-plantes et sol-modes culturaux en laissant à A. GOSSELIN le soin d'étudier les aspects sol-organismes telluriques.

## 2.3 - LE CADRE DE L'ETUDE

### 2.31 - Observations analytiques et étude synthétique

En ce qui concerne le Centre de Rennes, une parcelle expérimentale est à l'étude depuis 1973. Pour le Laboratoire de Sciences du Sol, cette étude a commencé en 1974 (du 1/1 au 30/9) par la reconnaissance pédologique de la parcelle. Un "point zéro" de l'étude a ainsi pu être réalisé et nous disposons actuellement d'une somme considérable de données qui n'ont d'ailleurs été exploitées que partiellement jusqu'à présent. Nous avons suivi, dans la mesure du possible, les cultures sur cette parcelle, afin d'avoir une vue assez synthétique du fonctionnement du profil cultural en assolements céréaliers intensifs.

Par ailleurs, il nous a semblé bon de poursuivre des études analytiques dans différentes parcelles de la région afin d'étudier plus particulièrement certains points, mais aussi d'avoir une certaine diversité d'observations, indispensable à une extrapolation régionale des résultats obtenus au niveau de la parcelle synthétique.

### 2.32 - Géographie et données générales

La situation géographique des différents lieux de travail est donnée par la figure n° 1.

- A Pacé, nous avons travaillé sur une parcelle ayant porté en 1974 une culture d'orge. A l'occasion des championnats départementaux de labours, des démonstrations de façons superficielles en vue d'un déchaumage y ont été effectuées. Nous avons ainsi pu comparer, sur un même sol, l'action des différents engins utilisés, à la fois sur l'organisation structurale et sur l'enfouissement des chaumes et mauvaises herbes.

- A Méjusseaume, sur la parcelle n° 11 de la ferme de l'ENSAR, nous avons pu faire une première reconnaissance des horizons cultivés sous une culture de maïs après céréale. Nous avons pu ainsi mettre en évidence certaines organisations morphologiques et différents comportements du système racinaire.

- A la Chapelle-des-Fougeretz, sur un essai mis en place par la SOPRA et Huard, nous avons pu comparer, pendant la deuxième quinzaine du mois de juillet 1974, les états végétatifs de maïs semés après labour ou sans labour.

- Au Rheu, la parcelle expérimentale, après deux ans de maïs et une année de blé d'hiver, a été subdivisée à partir de 1974 en trois types

Fig. 1 Différents sites d'observations *

Echelle : $\frac{1}{80\,000}$

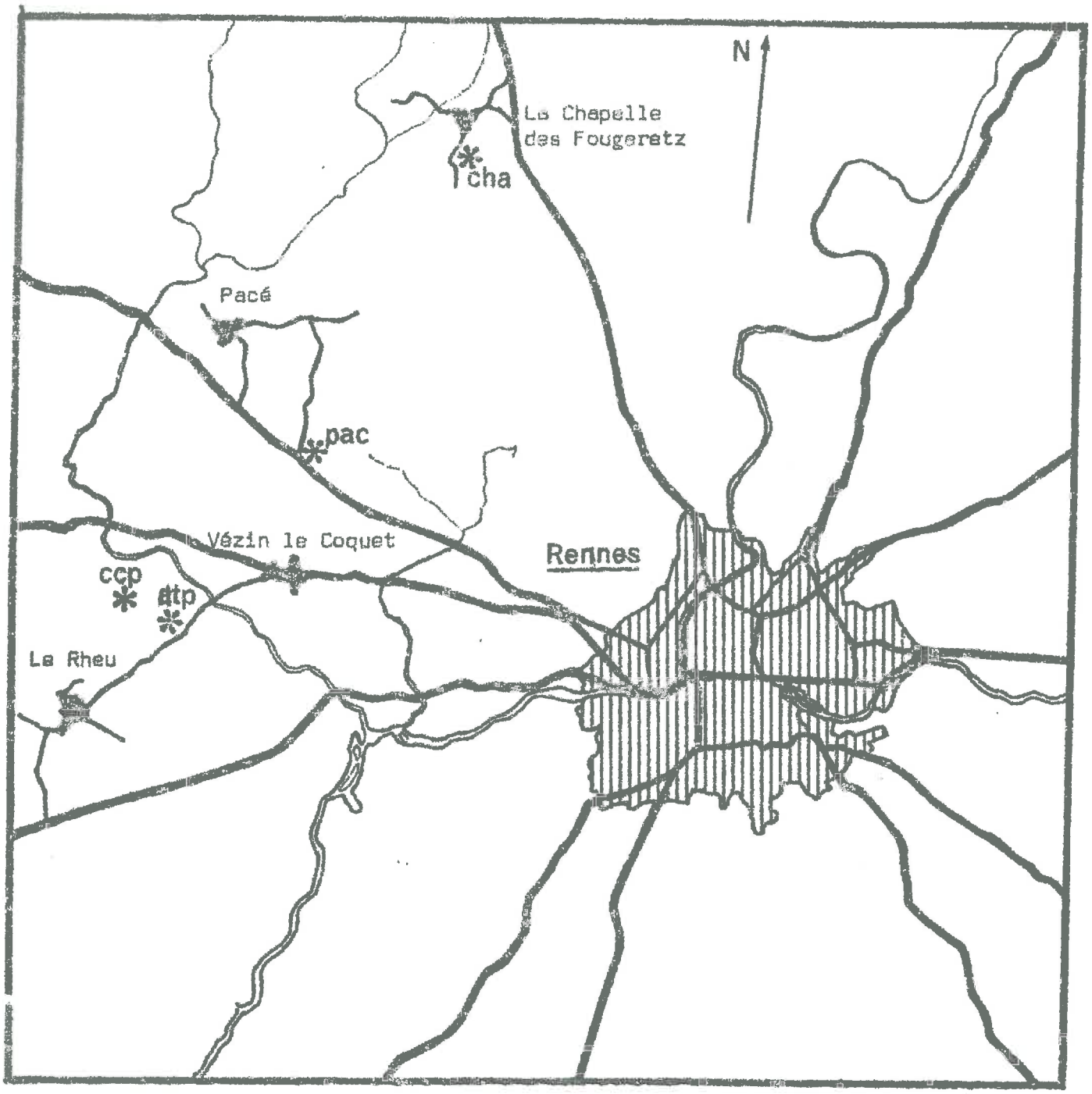
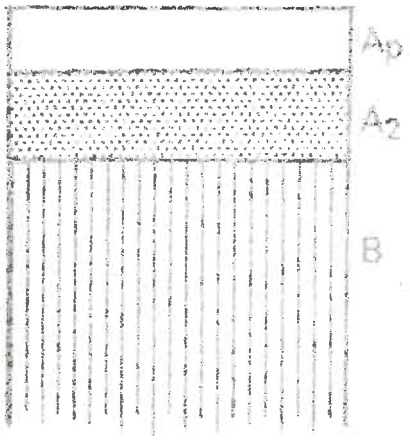
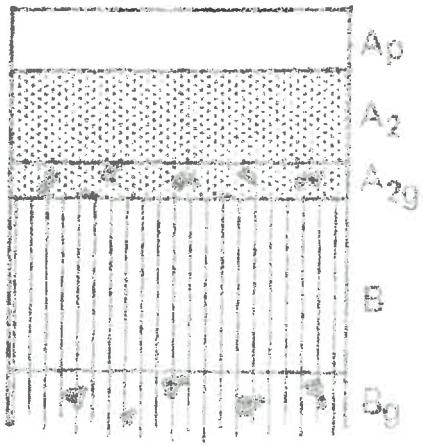


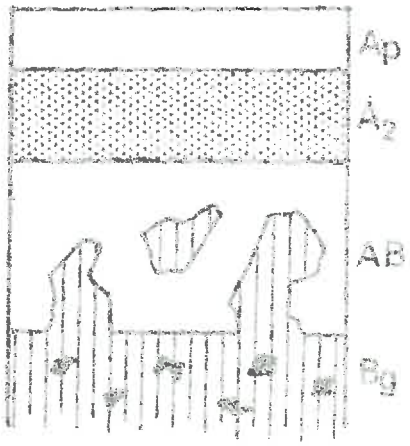
Fig. 2 formations pédologiques




Sols lessivés




Sols lessivés hydromorphes




Sols lessivés dégradés hydromorphes

de rotations : monoculture de maïs, monoculture de blé, rotation maïs-blé. Pour notre part, nous avons pu suivre la fin de la culture de maïs de 1974 (juillet à octobre), la culture de blé dans son ensemble (décembre 1974 à juillet 1975) et le début de la nouvelle culture de maïs (jusqu'en juillet 1975).

## 2.33 - Formations pédologiques

Les données suivantes sont extraites des travaux de P. CURMI (1974).

Les quatre sites prospectés sont localisés à l'Ouest du Bassin de Rennes. Les formations pédologiques que l'on y trouve sont, pour la plupart, des formations limoneuses qui constituent un manteau d'épaisseur variable (moins de 40 cm à plus de 3 m), de texture fine (environ 60 % d'éléments de 2 à 50 µ), à faible stabilité structurale. Dans certains cas, le manteau limoneux est très réduit et on trouve dès la surface des formations alluviales très riches en cailloux, graviers et sables.

Parmi les formations limoneuses, on peut reconnaître des limons sur schistes briovériens et sur sables caillouteux pliocènes.

On peut observer une différenciation en horizons éluviaux, illuviaux et hydromorphes qui donne les organisations verticales schématisées figure 2).

.

. .

Après cette présentation générale, nous aborderons le sujet proprement dit par trois chapitres très analytiques rassemblant des observations précises dans trois domaines:

- Etudes des relations entre les organisations du sol et les plantes.
- Etude des relations entre les organisations du sol et les travaux culturaux
- Etude des relations entre les organisations du sol et les organismes telluriques

Suivra un chapitre synthétique qui nous permettra de rassembler les observations analytiques afin de suivre le fonctionnement du profil cultural sous rotations céréalières intensives.

Enfin nous présenterons dans un dernier chapitre une critique de notre méthode de travail afin de pouvoir tracer dès maintenant les voies à envisager pour la suite de cette étude.

# CHAPITRE 2

# ETUDE DES RELATIONS

# ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL

# ET LES PLANTES

# ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES PLANTES

Le sol est, comme l'on sait, un ensemble très hétérogène. On y trouve de nombreux types d'organisations, différant tant par leurs caractères propres que par leurs relations avec les ensembles voisins. Juxtaposées ou associées, superposées ou contigües, ces zonations dans la couverture pédologique existent, très nombreuses et très différenciées dès l'horizon cultivé.

Comment la plante réagit-elle face à chacun de ces ensembles ? Certains types d'organisations du sol ont-ils une influence sur le comportement de la plante ? Quelle en est l'importance ?

C'est à cette série de questions que nous nous intéresserons dans ce chapitre. Pour cela nous suivrons l'ordre chronologique des observations de terrain, afin de bien comprendre l'évolution de ce travail.

Nous avons procédé de la façon suivante :

- Inventaire des différentes situations au niveau du sol; il s'agit, en ouvrant quelques profils au hasard, d'inventorier les comportements des racines face aux divers types d'organisations et, en particulier, face aux obstacles que ces organisations peuvent opposer au développement des racines.

- Etablissement de cartes de comportement et de développement de la végétation, de façon à rechercher les relations qui existent entre cet état de la végétation et les comportements de racines étudiées ci-dessus.

- Pour vérification des hypothèses, étude détaillée au niveau du sol (relations organisations-racines) de quelques cas extrêmes concernant l'état de la végétation.

## 1. - INVENTAIRE DES DIFFERENTES SITUATIONS

Les plantes, par l'intermédiaire de leurs racines, réagissent de diverses manières aux conditions offertes par le sol. De précieux renseignements seront apportés par l'observation de la densité des racines, de leur morphologie, de leur état sanitaire. On peut ainsi mettre en évidence des comportements particuliers des racines face aux obstacles qu'elles rencontrent lors de leur croissance et de leur développement. Ces obstacles sont de différents ordres selon la caractéristique prise en considération :

- obstacles organiques (matières enfouies) ou minéraux
- impossibilités d'origine mécanique ou chimique (conditions de milieu)
- obstacles constitués par des zones très compactes ou par des vides
- obstacles localisés (mottes compactes) ou continus (horizons compacts)
- obstacles au niveau de la"terre fine" (zone compacte) ou des cailloux

### 1.1 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE AUX CAILLOUX

Les graviers, cailloux et blocs que nous avons observés dans les horizons du Rheu et de Pacé sont presque toujours constitués d'un matériau quartzeux. Ils ont une forme arrondie. Les cailloux sont en général peu nombreux dans les horizons supérieurs de la couche pédologique, mais il existe des zones où ils sont très nombreux dès la surface. On observe ainsi de véritables foyers de cailloux,de tailles variables (15$m^2$ à plusieurs centaines de $m^2$) et qui seraient des restes d'alluvions de la fin du Tertiaire ou du début du Quaternaire (CURMI, 1974; ESTEOULE-CHOUX, 1970).

Le caillou constitue un milieu impénétrable pour la racine. Par contre, le contact caillou- terre fine peut constituer une voie de progression préférentielle. Lorsque le caillou est isolé, la racine fait donc un coude brutal et contourne l'obstacle en courant à sa surface. Une fois le caillou enlevé, la seule marque visible sur la racine est sa déviation. Le caillou gène donc principalement la croissance de l'organe souterrain.

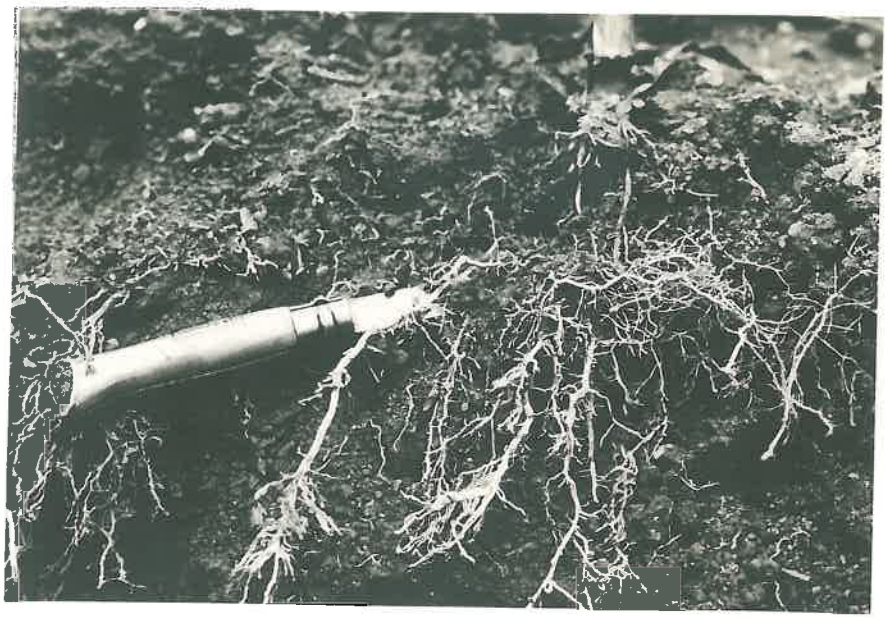
Cependant, quand les cailloux sont nombreux, la croissance de la racine est de plus en plus perturbée : les coudes deviennent très importants; le tracé est sinueux. On observe des étranglements entre les cailloux; les radicelles ont une forme aplatie comme si elles étaient écrasées. Tout ceci rappelle la morphologie des "racines en arêtes de poisson" des horizons profonds tassés. En plus de leur influence sur la croissance des racines (progression des racines, élongation), les cailloux ont alors un effet sur leur développement (extension de l'appareil racinaire, nombre et longueur des radicelles, état sanitaire).

photo.1 Racines de maïs sur motte compacte



Racines de maïs courant sur une motte compacte laissée par le labour

photo.2 Appareil racinaire de maïs



Au premier plan, mise en évidence par le couteau, racine ayant traversé une zone compacte (absence de radicelles, racine traçante)

## 1.2 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE AUX MOTTES COMPACTES

Il existe, au sein de l'horizon cultivé (Ap), des mottes compactes au milieu d'une matrice relativement plus meuble. Il est possible d'individualiser ces mottes à l'aide d'un couteau, celles-ci offrant une résistance beaucoup plus grande à la pénétration de la lame. De plus, elles sont généralement caractérisées par une porosité très faible : la macroporosité est nulle (à part quelquefois une fissure ou plus rarement une galerie d'origine animale), la microporosité semble elle aussi très faible. Compacité et absence de porosité sont des caractères qui rapprochent beaucoup ces obstacles des cailloux étudiés précédemment.

Et, de fait, les racines ont sensiblement le même comportement : progression vers le bas momentanément interrompue, croissance perturbée, tracé sinueux; très souvent la racine s'épaissit en formant un bourrelet au contact de la motte (voir figure n° 3). La photo n° 1 montre des racines de maïs courrant sur une motte compacte ayant encore la forme que lui a donnée la charrue lors du labour.

Entre plusieurs mottes compactes, on peut même observer des étranglements des racines et des aplatissements.

Dans certains cas cependant, il peut arriver que la racine réussisse à pénétrer dans une motte relativement compacte. Elle possède alors très peu de radicelles et serait plutôt droite et traçante (voir photo n° 2).

## 1.3 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE AUX HORIZONS COMPACTS

Lorsque la proportion de mottes compactes devient très importante, on en arrive à avoir de véritables horizons compacts. Dans ce cas, le facteur discontinuité verticale prend une importance considérable : bloquées par une véritable table compacte, les racines ne peuvent que fuir latéralement.

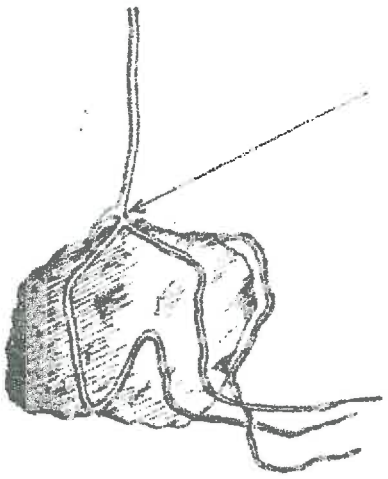
Trois cas peuvent se présenter :

### 1.31 - Horizon compact dans l'Ap

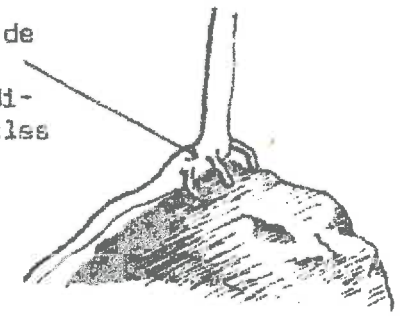
On rencontre alors fréquemment, à faible distance de la surface du sol, des horizons relativement compacts par rapport à la partie supérieure ou par rapport aux horizons situés sous l'Ap. Les racines arrivant sur ces horizons réagissent souvent par un changement brusque de direction et une progression latérale.

Deux cas peuvent alors se présenter :

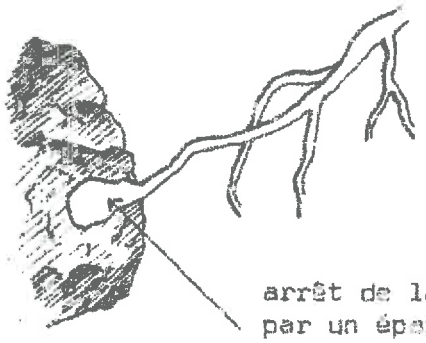
## Fig.3 Comportements des racines face aux mottes compactes




Racine de blé ayant butté sur un petit agregat très compact (schéma grandeur nature)




Racine de maïs buttant sur un agrégat tassé




La racine de maïs a pénétré dans l'agrégat tassé

photo.3 Racine de maïs sur semelle de pseudo-labour



Racines de maïs progressant horizontalement après avoir butté sur une semelle de pseudo-labour à 10 cm.

photo.4 Racine dans une zone moins compacte



Ayant utilisé une zone peu compacte pour progresser, les racines forment un véritable faisceau qui butte sur la semelle de labour.

- Si l'horizon compact est assez homogène, les racines ne peuvent progresser que difficilement vers la profondeur. Elles ont alors une progression oblique ou horizontale. Leur morphologie est assez tourmentée, car elles essaient d'utiliser toutes les zones de moindre résistance pour s'approfondir (voir photo n° 3).

Le système racinaire des plantes prend alors une forme anormale : l'angle au sommet du cône qu'il constitue grossièrement s'aggrandit. Les racines restent longtemps superficielles, sauf celles qui se trouvent juste sous le pied de la plante. En effet, à ce niveau, on observe fréquemment une poche grumeleuse, zone de passage important des racines. Très importante sous le maïs, cette poche est peu ou pas marquée pour le blé.

*On aborde, à ce niveau, un aspect important des interrelations sol-plante : nous avons observé que la structure du sol avait une importance considérable pour la croissance et le développement des racines. Mais, inversement, les racines ont une influence sur la structure du sol, plus ou moins grande d'ailleurs selon la culture. Le maïs aurait un effet structurant plus grand que le blé. Il est intéressant de noter dès à présent ce fait que nous aurons l'occasion de vérifier et d'étudier plus précisément par la suite.*

- Le deuxième cas est celui d'un horizon compact mais discontinu. Les racines buttant sur un ensemble compact ont tout d'abord le même comportement que dans le cas précédent. Mais au cours de leurs investigations suivant le plan horizontal, elles découvrent des chemins de descente possibles. Elles s'y engouffrent et il est possible d'observer de véritables faisceaux de racines dans ces voies de progression préférentielle (voir photo n° 4).

La morphologie du système racinaire prend alors un caractère tout à fait spécial (figure n° 4). Il est très irrégulier et, alors que certaines zones sont exploitées intensivement par les racines, d'autres sont complètement délaissées. Et, qui plus est, ces faisceaux de racines empruntent le plus souvent des creux; ayant alors pes de contacts avec le sol, ces racines n'assurent pas correctement l'alimentation en eau et en éléments nutritifs de la plante.

## 1.32 - Horizon compact de profondeur

Nous entendons par cette expression les horizons se trouvant sous l'Ap et situés à des profondeurs normalement atteintes par les racines du maïs et du blé.- dans la mesure où elles n'ont pas été arrêtées plus haut dans leur progression.

En général ces horizons sont très mal colonisés par les racines : leur état structural s'oppose à la croissance de celles-ci. La majeure partie des racines se trouve alors uniquement dans les vides. On peut rencontrer deux types de morphologie :

Fig.4 Appareil racinaire de maïs

en sol tassé

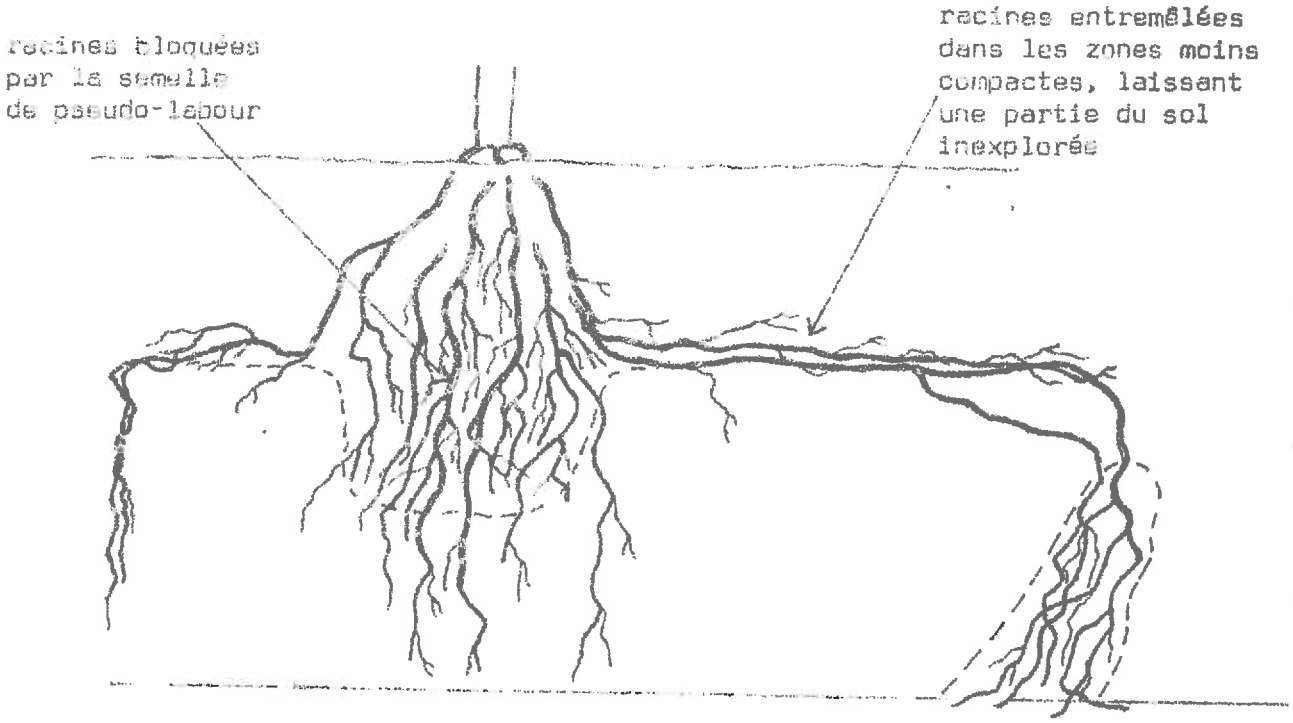



Fig.5 Racines de maïs "en arête de poisson"

dans un horizon tassé

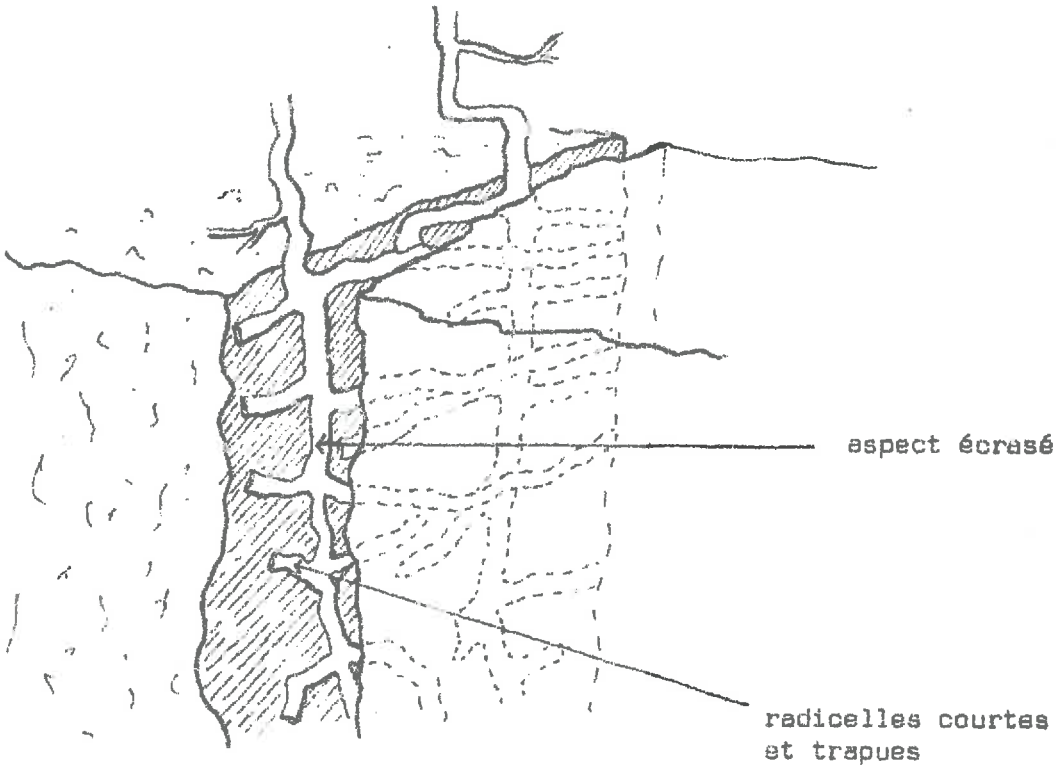


Fig.6- Comportement de racines face aux horizons compacts

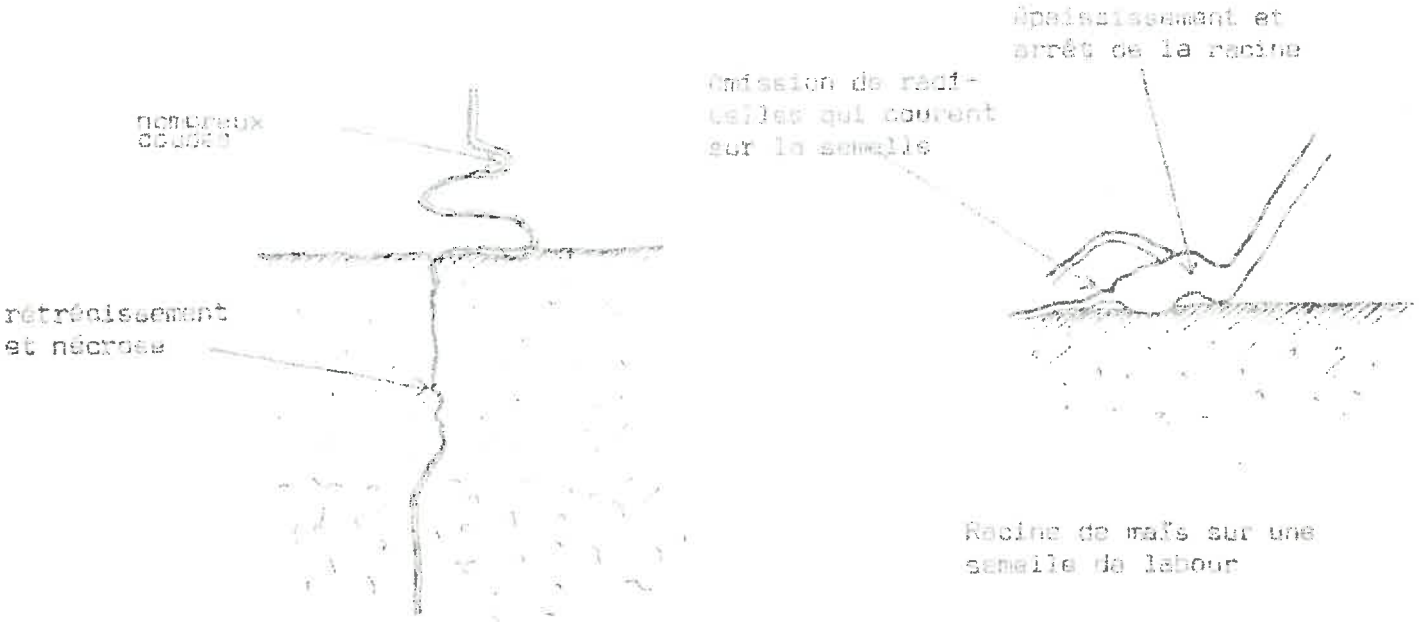



photo.5 Semelle de labour



Racines de maïs arrêtées par la semelle de labour

- Dans les vieilles galeries de lombrics, on trouve des faisceaux de racines entremêlées, mais de forme très rectiligne. Il n'y a presque pas de radicelles. Ces racines sont entourées d'un joli manchon de poils absorbants, à l'aspect blanc et duveteux.

- Les racines peuvent être localisées aussi dans les fentes et les fissures. Elles ont alors une forme singulière dite "en arête de poisson" (voir figure n° 5).

### 1.33 - Semelle de labour

Les semelles de labour sont très fréquentes dans ces sols. Leur forme très caractéristique permet de les rattacher sans équivoque à l'opération de labour. Nous les étudierons dans le chapitre 3 . Pour le moment, il nous suffit de savoir qu'elles sont constituées d'un horizon généralement très tassé, de plusieurs centimètres d'épaisseur, assez continu, surmonté d'un lissage. Elles sont intéressantes à observer car elles présentent tous les inconvénients énumérés jusqu'à maintenant. Les racines peuvent y avoir tous les types de comportements que nous avons vus et très souvent, leurs réactions semblent exacerbées au niveau de la semelle (voir photo n° 5 et figure n° 6).

## 1.4 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE A DIFFERENTS LISSAGES

Il arrive souvent de rencontrer dans l'horizon cultivé des surfaces lissées. Celles-ci ont des formes et des dimensions très diverses. Leur effet sur les racines est très variable et il est fonction de la continuité du lissage et du degré de compaction sous la face lissée.

S'il n'existe qu'une face lissée sans phénomènes de compaction, l'incidence sur la croissance des racines est faible. Seul joue le facteur discontinuité et les racines ne réagissent que par un léger coude.

Donc, plus que la discontinuité, c'est l'association compaction - discontinuité qui a les conséquences les plus marquantes au niveau des racines. On voit, une fois de plus, le rôle primordial de la compacité du matériau.

## 1.5 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE AUX VIDES

La présence de vides dans un sol perturbe énormément le développement des racines. C'est pourquoi ils peuvent être parfois considérés comme des obstacles aux racines.

Les racines se trouvant dans des zones creuses ont un aspect très caractéristique : elles sont très blanches, sont entourées de poils absorbants très nombreux, de longueur souvent supérieure au rayon de la racine. La racine a alors un aspect duveteux. De plus, les radicelles sont très peu nombreuses, voire absentes. Lorsqu'elles existent (racines séminales de maïs par exemple), elles sont très blanches et très longues, tout en conservant assez bizarrement un aspect trappu (voir figure n° 7).

Le tracé suivi est différent suivant les cas : une racine de maïs dans une galerie verticale de lombric descendra de façon rectiligne, très droite, au centre de la galerie; plusieurs racines de blé, dans la même galerie, formeront une sorte de tresse qui descendra, de la même manière, au centre de la galerie (voir figure n° 8).

Par contre, des racines débouchant dans une cavité fermée (creux provenant du labour, espace entre mottes, galerie de taupe), ont un tracé souvent très sinueux; les racines semblent errer un moment dans la cavité, puis ont tendance à se plaquer sur la paroi de celle-ci; elles émettent alors souvent quelques radicelles qui elles-mêmes tapissent les bords de la cavité. Rares sont les radicelles qui réussissent immédiatement à repénétrer la paroi. Elles y arrivent parfois, à la faveur d'une discontinuité ou d'une petite fente.

Un autre cas très spectaculaire que nous avons pu observer, est celui d'une préparation trop creuse d'un lit de semence pour maïs. Si, de plus, les racines buttent sur une semelle de pseudo-labour, on trouve un véritable enchevêtrement de racines tordues en tous sens. Ces racines cheminent horizontalement, dans le labyrinthe créé par la préparation du lit de semence, sans pouvoir adhérer aux agrégats qui en forment les piliers. Là encore, ces racines sont très blanches (les racines qui adhèrent bien aux agrégats ont une couleur jaune-crème) (photo n° 3).

Toutes ces racines de vides n'auraient qu'un rôle nutritionnel très faible. En effet, ayant peu de contact avec les éléments du sol, elles ne peuvent en tirer les substances nutritives. Les échanges avec la solution du sol sont restreints également, car il faudrait assez d'eau pour remplir les cavités de taille souvent importante.

*Toutes ces observations nous suggèrent deux remarques :*

*- le facteur discontinuité est très important : une racine se trouvant dans un milieu donné, a beaucoup de mal à pénétrer dans un milieu plus compact, et ceci d'autant plus, semble-t'il, que la différence de compacité est importante. Le cas où la racine se trouve au départ dans un vide, est un cas extrême. Et, lorsque les mottes encadrant un vide sont trop compactes pour les laisser pénétrer, les racines sont prisonnières de la cavité.*

*- Dans les horizons tassés, on trouve relativement beaucoup plus de racines dans les cavités. Or, très souvent, les racines n'empruntent les cavités (galeries, fentes, poches de matière organique), qu'après avoir erré en vain au-dessus de blocs trop compacts pour les laisser pénétrer. Une constatation s'impose donc : les racines n'utilisent les cavités et les grands vides que par "nécessité" de progresser. Ce comportement est une conséquence de la compacité du sol.*

## Fig. 7 et 8 Morphologie des racines de vides

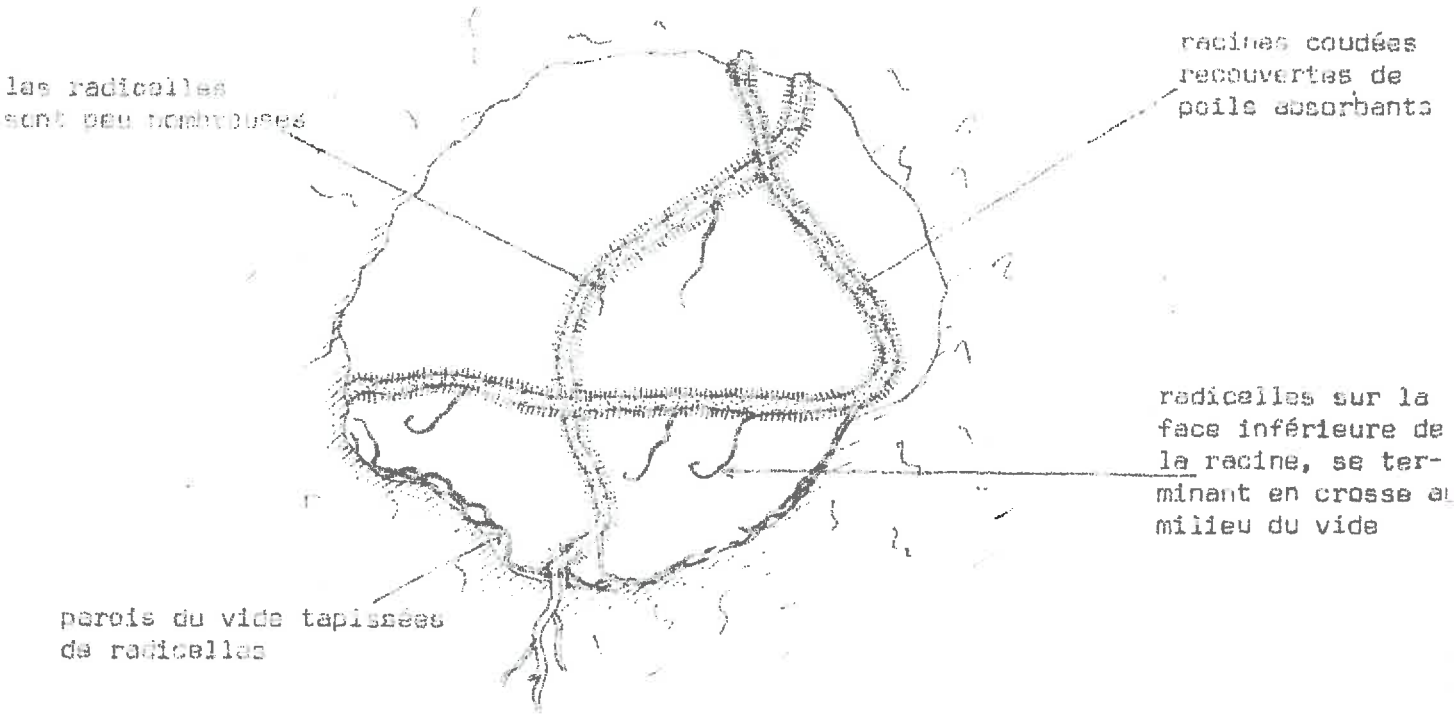



Figure 7 : Racines de maïs dans un vide
(dessin d'après nature (diamètre des racines : 0.8 mm
avec poils : x 2 )

La racine de maïs descend toute droite au centre de la galerie verticale de lombric.

Les racines de blé sont entremêlées en une tresse très droite au centre de la galerie

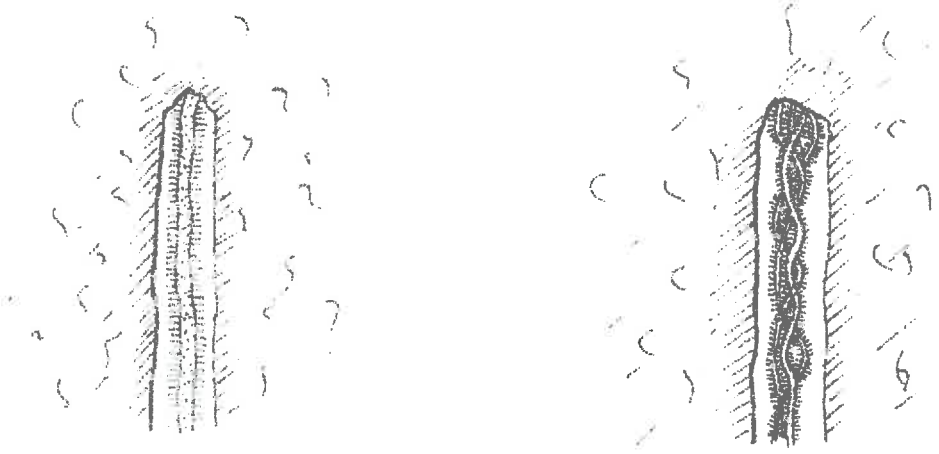


Figure 8 : Racines munies de nombreux poils absorbants dans des galeries de lombric.

photo. 6 Bouchons de matière organique



## 1.6 - COMPORTEMENT DES RACINES FACE A LA MATIERE ORGANIQUE

L'influence de la matière organique sur la croissance et le développement des racines est complexe. Il convient de distinguer trois cas :

- Matière organique fraiche :
Il s'agit de résidus de matière organique incorporés au moment du labour. Très souvent, surtout après une culture de maïs grain, ces matières sont très mal réparties dans le sol et se trouvent sous forme de bouchons (voir photo n° 6). La matière organique fraiche constitue alors un obstacle essentiellement physique au développement des racines. Cet obstacle est constitué par la matière organique elle-même et par les vides qui l'accompagnent.

- Matière organique en décomposition:
La matière organique en décomposition contitue un obstacle essentiellement chimique. En effet, dans certaines conditions (matière organique mal répartie, humidité importante, sol tassé), apparaissent des phénomènes de réduction. On voit alors, autour de la matière organique, un véritable halo de réduction gris-bleuté.

- Matière organique évoluée :
Plusieurs mois après son incorporation, on retrouve la matière organique le plus souvent au niveau de poches plus ou moins grumeleuses, de teinte foncée. Pendant ce laps de temps (hiver, printemps, été, par exemple), la matière organique a évolué sous l'influence de nombreux micro-organismes, puis elle a été remaniée par les vers de terre, les insectes, les arthropodes, et ainsi mélangée à la terre. Les anciennes poches de matière organique sont maintenant devenues des ensembles bien structurés de matériaux fins.

A ce stade, on observe une exploitation intense de cette zone par les racines. La matière organique bien décomposée, bien évoluée, bien incorporée, apparait donc comme un facteur favorable au développement des racines.

## 1.7 - COMPORTEMENT DES RACINES AU NIVEAU DES ZONES DE REDUCTION

Ces zones de réduction sont caractérisées par l'absence d'oxygène, aussi bien dans l'atmosphère du sol, si elle existe, que dans la solution. Des conditions réductrices s'installent alors, matérialisées sur le terrain par une coloration gris-bleuté et par une odeur fétide.

Les conditions réductrices dans un sol ont deux origines différentes :

- zone saturée en eau, au moins temporairement : l'eau occupe toute la porosité et circule très lentement. Elle est alors très pauvre en oxygène dissout; de plus, il n'y a plus d'atmosphère dans le sol.

Dans ces conditions, nous avons observé des racines de maïs en"arête de poisson" comparables à celles reconnues dans les horizons tassés de pro-

fondeur. Mais en plus, celles-ci avaient des couleurs brunâtres, démontrant un état sanitaire très mauvais.

- zone à proximité de matière organique en décomposition : la décomposition de la matière organique exige une grande quantité d'oxygène, d'où appauvrissement du milieu et apparition de conditions réductrices.
Il est important de remarquer que ce phénomène n'apparait qu'au niveau de mottes ou d'horizons compacts, à faible porosité. Et, il n'existera pas dans un ensemble, voisin de quelques centimètres, mais ayant une bonne structure.

Dans ces zones on ne trouve que quelques rares racines qui sont extrèmement grèles et ont un aspect maladif et tourmenté. On ne voit que quelques moignons de radicelles.

Nous avons donc constaté que, par l'intermédiaire de ses racines, la plante réagissait énormément aux différents états du sol. Les figures n° 9, 10 et 11 dressent un récapitulatif des différents obstacles rencontrés par les racines.

*Nous avons donc observé des racines tordues, écrasées, malades, ne pouvant pas progresser en profondeur, n'étant capables d'exploiter qu'une faible partie du sol. Tout cela a-t'il une influence sur le développement végétatif de la plante et sur les rendements futurs ? ... Nous avons posé l'hypothèse que cela ne pouvait pas ne pas avoir une incidence sur le plante toute entière. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons dressé un inventaire de l'état de la végétation (que l'on pourra appeler : "carte de végétation"), afin d'observer le sol et les racines dans des cas extrèmes bien déterminés.*

## 2. - ETABLISSEMENT DE "CARTES DE VEGETATION"

Nous avons dressé ces cartes dans la parcelle expérimentale de l'INRA au Rheu, début Octobre 1974. Le maïs avait alors terminé son développement et son seul aspect végétatif pouvait nous renseigner sur son histoire.

Nous avons procédé de la manière suivante : en partant du bord Est de la parcelle, nous avons fait 14 passages Nord-Sud suivant les rangs, laissant en général 10 m entre deux passages (parfois plus, lorsque la ligne d'observation correspondait à une zone non représentative : bandes de maïs peu développé, manifestement dues à un mauvais recoupement du traitement herbicide). Le long de chaque passage, nous avons relevé toutes les variations visibles de la végétation concernant trois critères :

- hauteur du maïs
- "degré de sécheresse"
- aspect chlorotique

## Fig.9 Morphologie d'une racine de blé

(dessin à l'échelle et d'après nature relevé le 22/4/75)

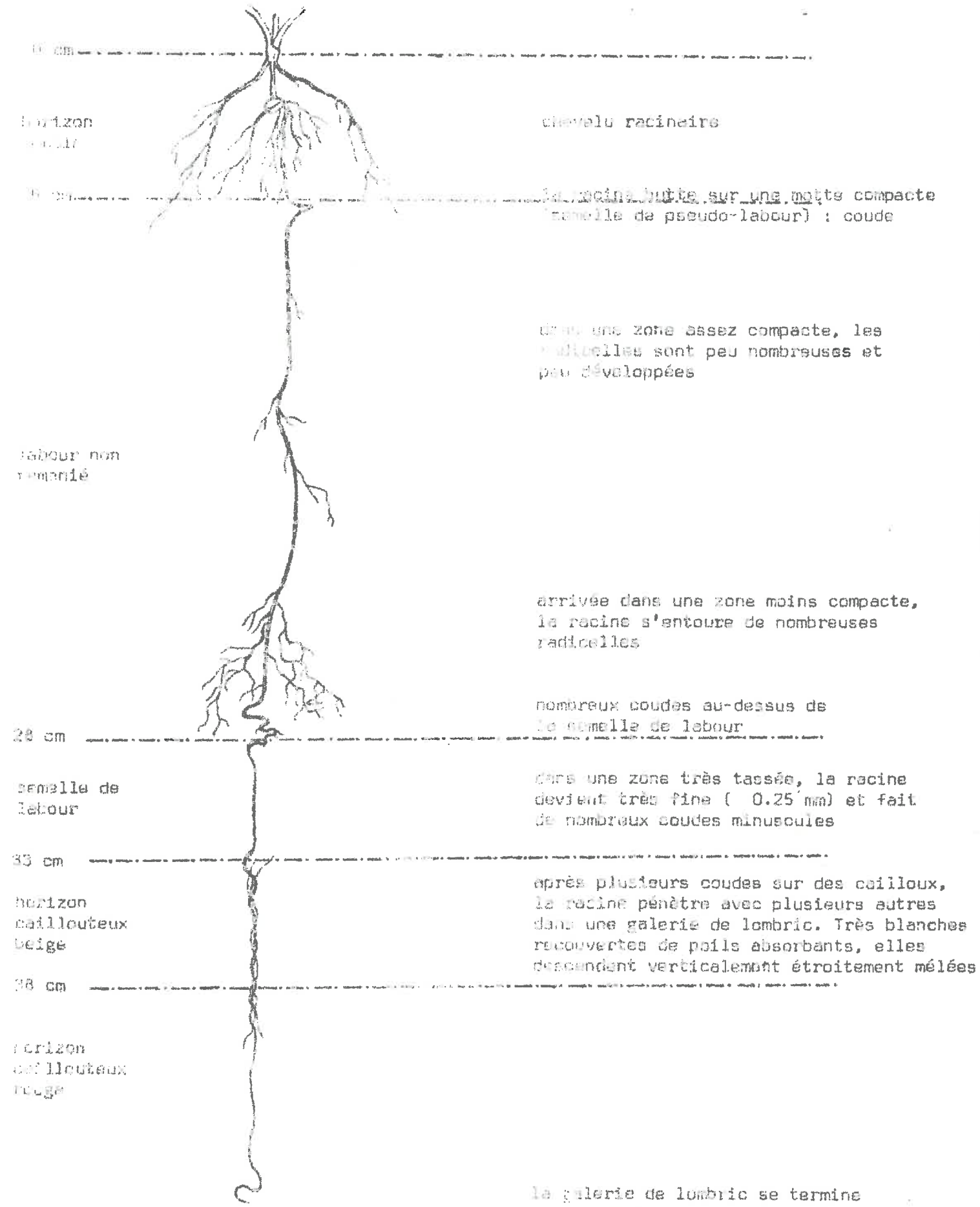


Fig. 10 Schéma d'un système racinaire de maïs en profil cultural défavorable

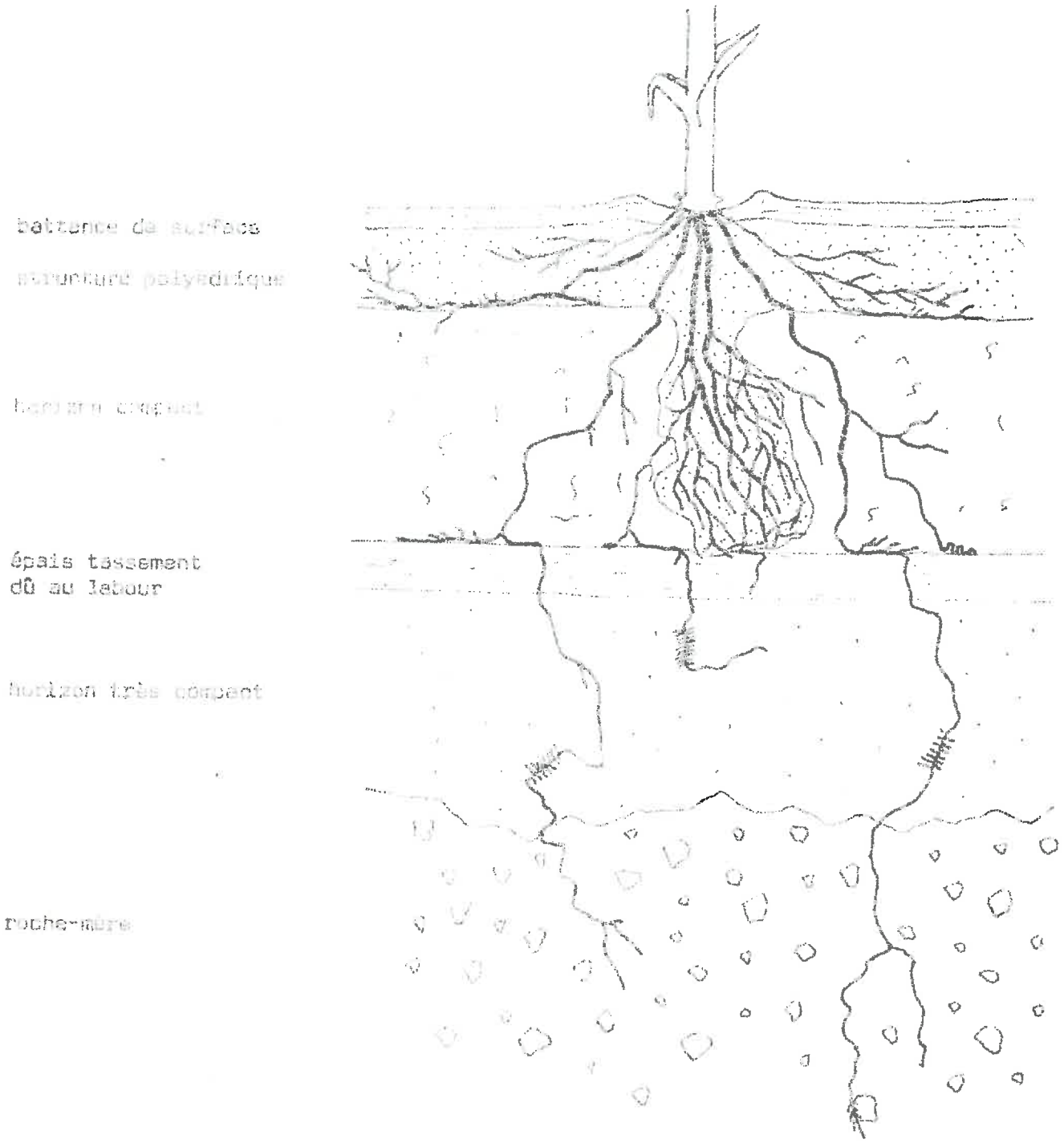
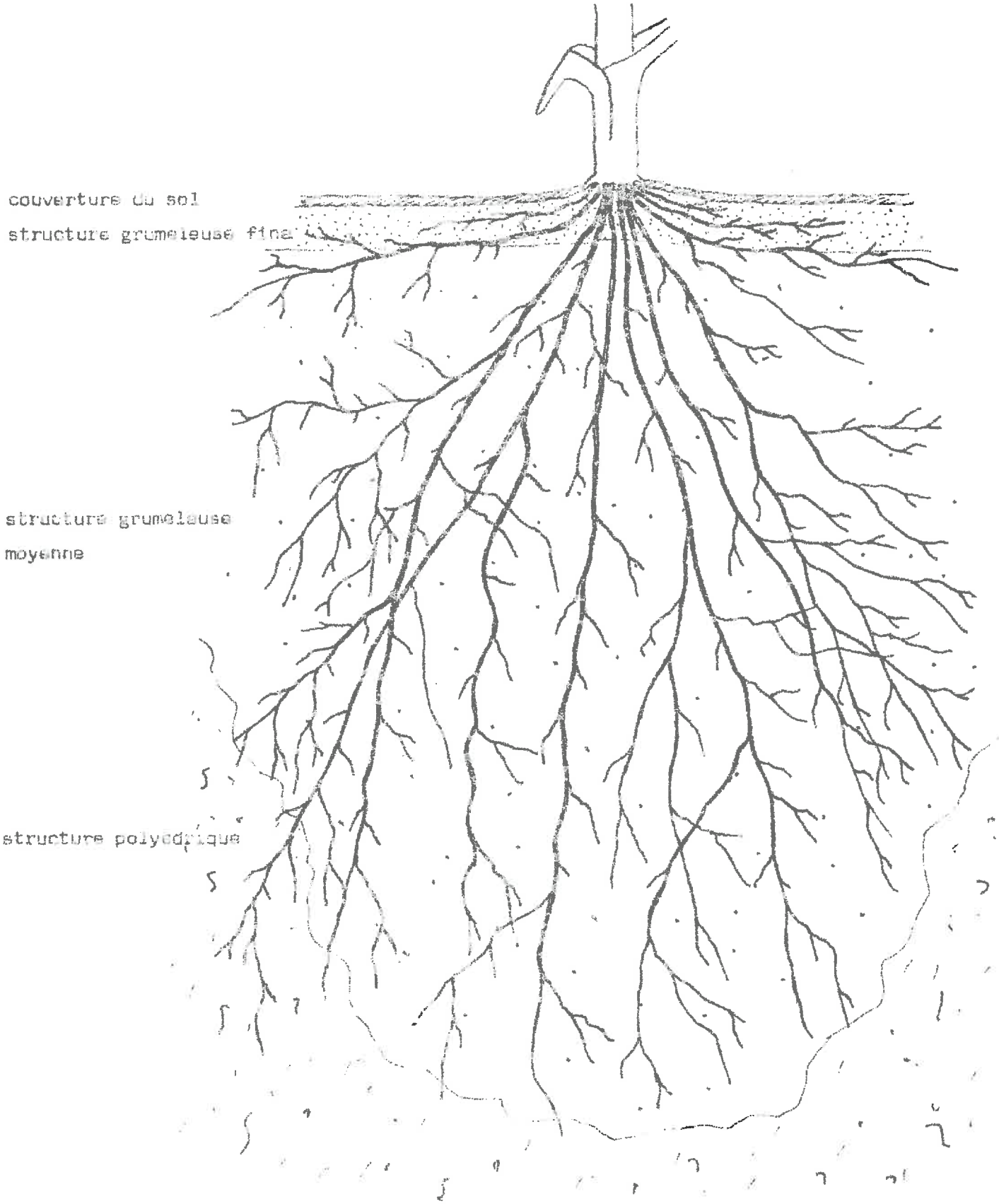


Fig.11 Schéma d'un système racinaire de maïs en profil cultural idéal



Nous avions choisi ces critères parce qu'il nous était relativement facile d'en suivre les variations sur le terrain ; de plus, ils nous semblaient caractériser assez bien les différents états de la végétation face aux contraintes.

En effet, dans une parcelle donnée, les différences de hauteur d'un maïs, en fin de végétation, reflètent des conditions de développement variables, en ce qui concerne l'implantation de la culture, l'alimentation en eau et en éléments nutritifs, etc...

L'interprétation de la notion de "degré de sécheresse" que nous avions choisie, est plus délicate; et c'est pourquoi nous ne raisonnerons que peu sur ce facteur. En effet, le fait qu'un plant de maïs possède un aspect sec, au mois d'octobre, peut avoir différentes origines : cela peut être l'indice de la maturité du maïs grain; mais cela peut signifier aussi que la plante a souffert d'un manque d'eau pendant l'été. Dans un cas, cependant, la plante sera bien développée; dans l'autre, elle sera plutôt basse et jaunâtre .

En relevant la couleur du maïs, nous avons essayé d'avoir un aperçu de la dynamique de l'eau sur la parcelle et de son influence sur les plantes. La couleur jaune peut provenir d'un excès d'eau (hydromorphie) ou d'un déficit en eau. En règle générale, cet aspect chlorotique du maïs est l'indice de mauvaises conditions de développement.

Nous avons ainsi pu définir différents ensembles cartographiques qui seront exposés et discutés au chapitre 5, § . Nous avons alors choisi de faire des observations dans trois cas extrêmes :

- maïs très petit ( $\leq$ 1.60 m), jaune - profil ATP 8
- maïs petit ( $\leq$ 1.60 m), très sec, attaque de pucerons - profil ATP 6
- maïs assez bien développé : haut, vert, un peu sec - profil ATP 7

## 3. - ETUDE DU PROFIL CULTURAL, DANS TROIS CAS EXTREMES DE DEVELOPPEMENT DU MAIS

La description des profils se trouve en annexes II-1, II-2 et II-3.

L'organisation générale de ces trois profils culturaux est à peu près identique : on trouve,en surface, une croûte de battance plus ou moins épaisse. Puis on passe à une couche assez meuble limitée à une dizaine de centimètres de profondeur par une semelle de pseudo-labour. De 10-15 à 28 cm, le labour n'a pas été remanié, et cette couche présente de grosses mottes, en général assez compactes, séparées par des vides ou des bouchons de matière organique. La transition avec l'horizon inférieur est très nette et est soulignée par une semelle de labour, lisse, plane et tassée. Le tout repose sur un horizon de type A2 (horizon lessivé).

Cependant, les différences sont d'importance :

- Au niveau de l'ATP 8, l'horizon 10 - 28 cm est très compact et limite beaucoup l'extension des racines. Cette compacité existe aussi, mais à degré moindre dans l'ATP 6 ; elle est moins marquée dans l'ATP 7.

- La semelle de pseudo-labour constitue un blocage très important pour les racines dans l'ATP 8. Dans les deux autres profils, bien des racines sont déviées et retardées, mais beaucoup réussissent à passer après quelques hésitations.

- Dans l'ATP 8, la semelle de labour est un arrêt définitif pour la grande majorité des racines. Assez marquée dans l'ATP 7, la semelle est plus discrète au niveau de l'ATP 6.

- L'horizon sous-jacent est très différent, selon les cas :
  . Dans l'ATP 8, il est très compact et présente des traces d'hydromorphie temporaire. Les racines y sont très peu nombreuses, toutes écrasées dans les fissures; leur état sanitaire est défectueux.
  . Pour l'ATP 6, si la semelle n'a pas été un obstacle sérieux aux racines, celles-ci se retrouvent bientôt dans un horizon extrèmement caillouteux. Beaucoup de racines finissent alors, écrasées entre deux cailloux.
  . L'ATP7est moins compact; on y retrouve quelques taches d'oxyde de fer, témoins d'une petite hydromorphie temporaire. Les racines y ont parfois un aspect écrasé, mais sont plus nombreuses que dans les autres profils.

*En résumé :*

*Nous avons mis en évidence, dans la zone où le maïs était très petit et jaune (ATP 8), des problèmes de circulation de l'eau, associés à des problèmes de tassement, et une mauvaise exploitation du sol par les racines.*

*Nous avons trouvé , à l'endroit où le maïs était petit et sec (ATP 6), un problème d'épaisseur de sol (horizon caillouteux), avec, une fois de plus, des conséquences au niveau de la circulation de l'eau et de l'exploitation du sol par les racines.*

*Au niveau du maïs bien développé (ATP 7), les obstacles présents (mottes compactes, semelle) n'ont pas entravé la bonne croissance du maïs. On peut donner à cela plusieurs explications :*

- *il n'y a pas eu conjonction, à cet endroit, de plusieurs difficultés (hydromorphie ou présence d'horizon caillouteux dans les autres profils).*

- *les obstacles constitués par les zones compactes ne sont pas de même type dans les trois profils : il pourrait y avoir des différences au niveau des organisations fines.*

Les observations ci-dessus nous montrent donc l'étroite dépendance qui existe entre le sol et la manière dont il est organisé, d'une part, et la croissance de la plante, d'autre part. Il nous faut dès lors envisager les moyens d'agir sur ce sol pour créer les conditions les plus favorables possibles. Le chapitre suivant étudiera les résultats du travail du sol par certains instruments et les premières conclusions que nous pouvons en tirer.

# CHAPITRE 3

# ETUDE DES RELATIONS

# ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL

# ET LES MODES CULTURAUX

# ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES MODES CULTURAUX

Ces observations ont deux buts essentiels :

- comparer les caractéristiques de travail de différents engins sur un même sol.

- essayer de faire une première démarche dans le sens d'une caractérisation de leur incidence sur le sol suivant les conditions d'emploi.

On peut considérer deux niveaux d'étude :

- reconnaissance des caractéristiques de travail des différents outils :
  - . profondeur de travail
  - . type de travail : par arrachement, par cisaillement
  - . émiettement
  - . action sur la répartition des résidus de culture .... afin de définir les types d'arrangements inhérents aux différents outils (=différents facteurs).
- mise en évidence de l'incidence sur le sol des différents outils suivant les conditions d'emploi afin de définir les types d'organisations en résultant, et leurs conséquences sur l'état du sol.

Par ces observations,on doit pouvoir :

- rattacher un type d'arrangement à un outil
- préconiser l'emploi d'un outil adapté à certaines conditions.

## 1. - OBSERVATION DE DIFFERENTS OUTILS DE PSEUDO-LABOUR

Les démonstrations d'engins de pseudo-labour à Pacé en Septembre-Octobre 1974, nous ont permis d'effectuer quelques observations du travail réalisé par différents outils employés en déchaumage. Ce déchau-

Fig.12 Cover-crop

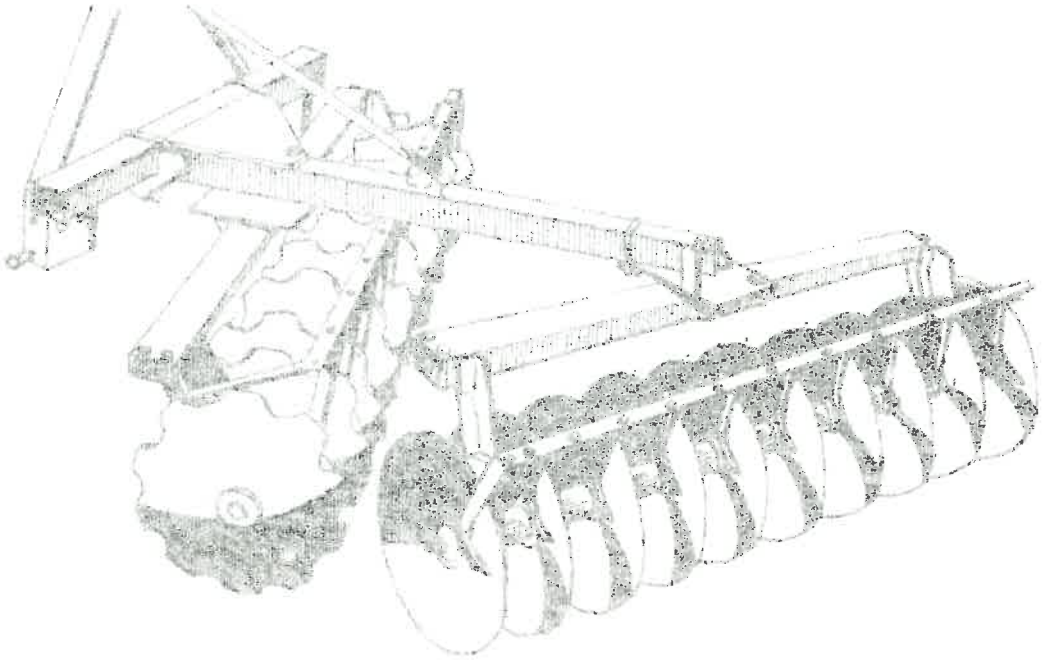
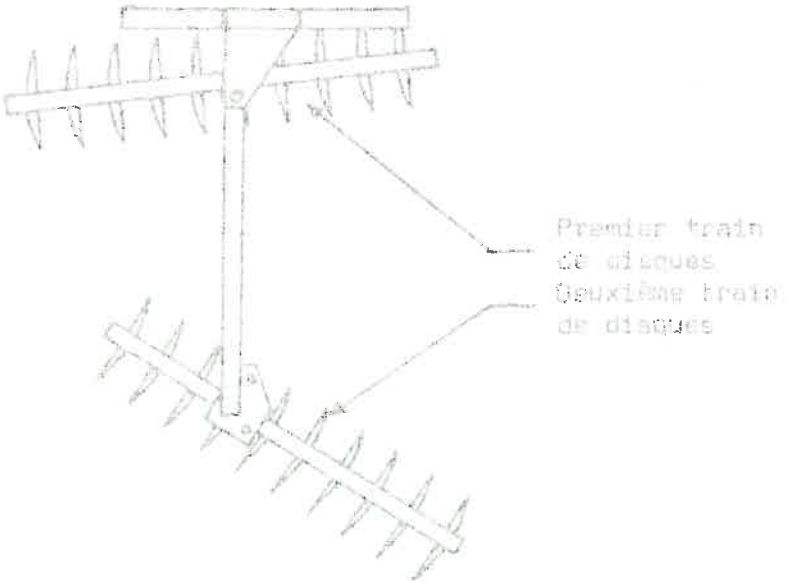


Fig.13 Travail axial



mage d'une céréale d'hiver (orge) après un maïs s'est effectué sur un sol très sec. L'ensemble de l'horizon travaillé est très bien structuré (excepté une légère battance en surface) avec une très bonne activité biologique (nombreux vers de terre et insectes). Le système racinaire est bien développé et pénètre toute la masse de l'horizon. Les nombreux résidus rencontrés indique un épandage récent d'ordures. L'ensemble de l'horizon parait riche en matière organique. (voir schémas et description complète en annexes III-1 et III-2).

## 1.1 - LES DIFFERENTS OUTILS EMPLOYES

Cette démonstration présentait un large éventail d'outils pouvant être employés en déchaumage.

- landroller
- cover-crop
- fraise KRONE à deux vitesses de rotation
- bêche rotative SAME
- lely tera LELY FRANCE
- cultivateur lourd VIAUD, deux modèles
- vibroculteur VERTIBER
- multicultor BONNEL

Nous avons particulièrement retenu les outils employés le plus classiquement en grande culture :

- cover-crop
- cultivateur lourd
- fraise

Les autres outils font l'objet d'une description sommaire et d'un schema en annexe (voir les annexes III-3, III-4, III-5, III-6, III-7).

## 1.2 - COVER-CROP

Il s'agit d'un instrument à disques. Les disques qui sont verticaux sont montés en série sur deux axes horizontaux. Les deux trains de disques font un angle variable (voir figures

La profondeur de travail est d'environ 10 à 18 cm. Dans le cas d'un réglage de l'appareil tel que les deux trains de disques ne travail-

Fig.14 Travail du cover-crop

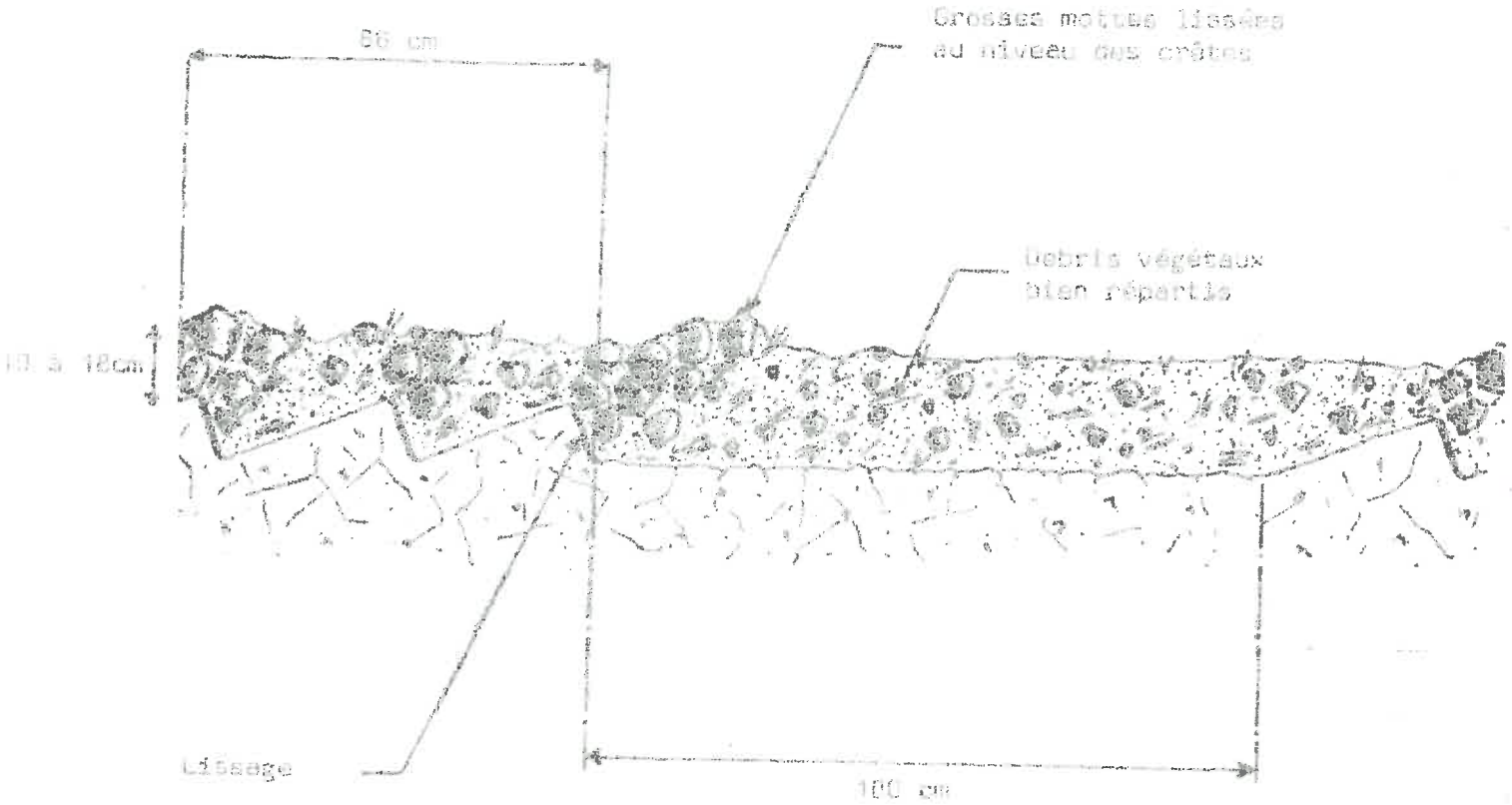



photo. 7



lent pas sur la même bande de terre, on observe localement des crêtes : la profondeur de travail y est de 8 cm.

La limite inférieure de travail est régulière sur la partie où les deux trains de disques sont passés, très irrégulière sur la partie où seul un train de disques est passé.

On n'observe pas de lissages évidents au niveau des deux passages, mais il existe des lissages et des tassements structuraux au niveau des crêtes :

- lissages très nets sur les parois les plus verticales (environ 7 cm)
- sur les parois plus obliques, il y a plutôt tassement léger qu'un véritable lissage.

L'horizon travaillé présente de nombreuses mottes dont la taille et l'aspect sont différents suivant le réglage :

- au niveau des crêtes (passage d'un seul train de disques), on observe surtout de grosses mottes (12 à 15 cm) relativement anguleuses et lissées.
- au niveau du passage des deux trains de disques, les mottes sont plus petites et plus émoussées (en effet, les grosses mottes anguleuses et lissées reprises par le deuxième train de disques sont fragmentées à nouveau et projetées les unes contre les autres, ce qui leur donne cet aspect plus émoussé).

Les chaumes sont bien répartis, à l'exception de paquets que l'on retrouve au niveau des crêtes laissées par le premier train de disques, sous les grosses mottes.

Dans le cas d'un travail normal (passage de deux trains de disques), on a donc un assez bon hachage et mélange des chaumes sur une épaisseur moyenne de 15 cm, avec émiettement assez important. Ce travail semble assez bon en tant que déchaumage puisqu'il permet l'incorporation de la matière organique sur une profondeur relativement faible ce qui va donc favoriser son évolution avant le labour.

*On peut cependant noter qu'il existe certains risques, différents suivant l'humidité du sol :*

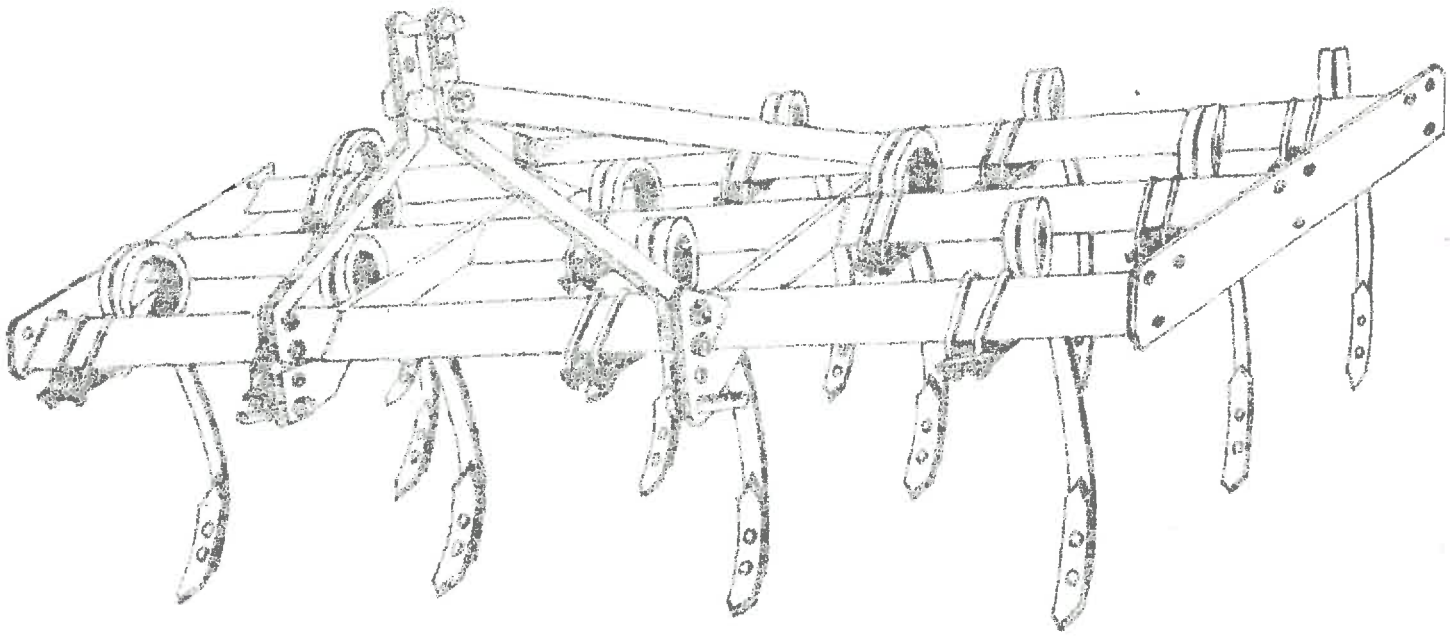
*En sol humide, il y aura tendance à former une légère semelle par tassement et même par lissage. On pourra également obtenir des mottes plus ou moins lissées par le premier train de disques qui ne seront pas vraiment modifiées par le passage du second train de disques.*

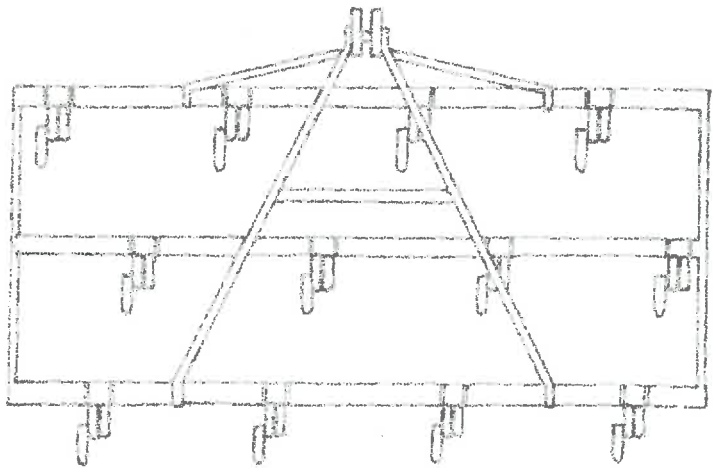
*En sol sec, il y aura tendance à fragmenter au maximum les mottes et on pourra alors avoir une bonne proportion de terre fine qui pourra ensuite facilement se reprendre en masse lors d'une période humide suivante.*

## 1.3 - CULTIVATEUR LOURD

C'est un appareil à dents qui travaille par vibrations à demi-profondeur (voir figures 15 et 16).

Fig. 15 et 16 Cultivateur lourd





Vue de dessus

Fig.17 Travail du cultivateur lourd

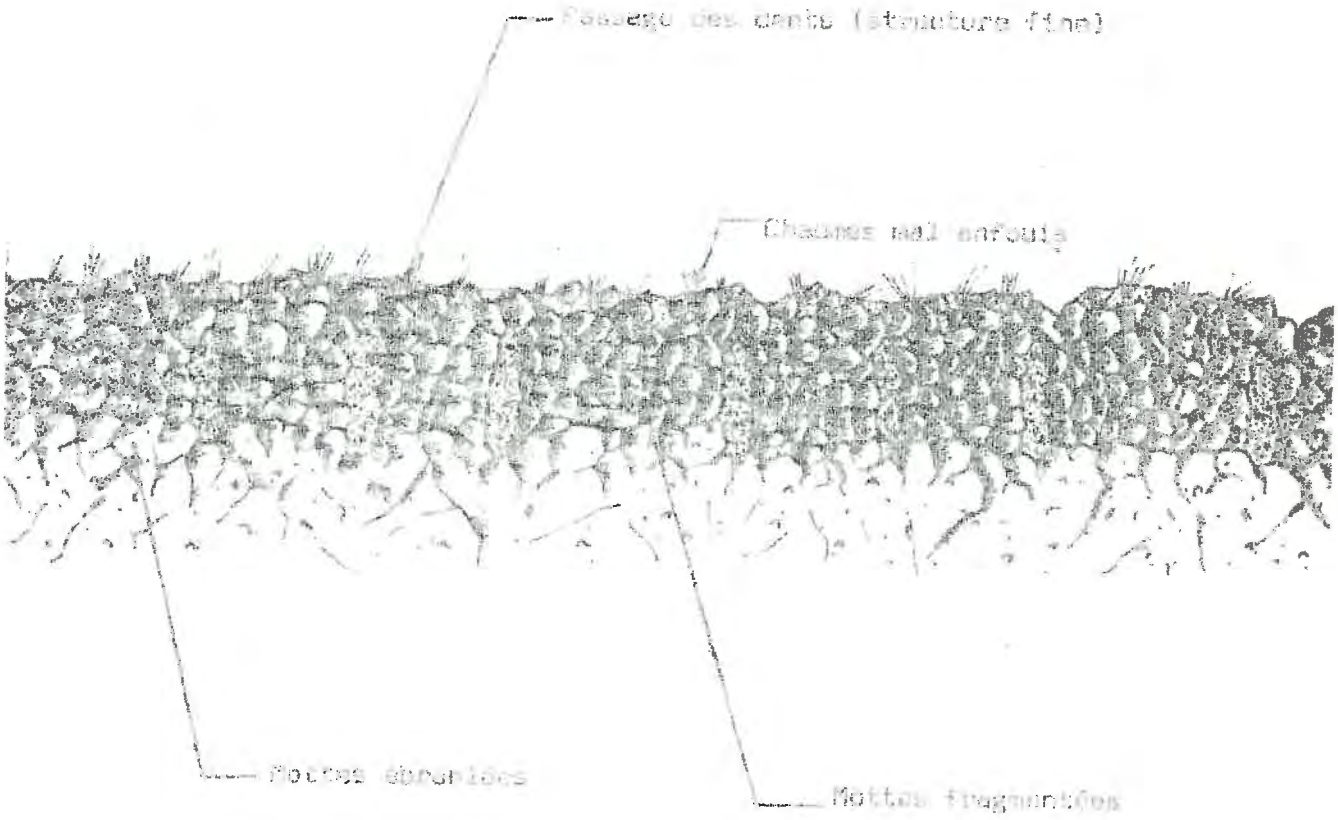



photo.8



La profondeur de travail est de 22 cm au niveau des dents; le travail est très irrégulier.

On peut observer une répartition particulière des mottes et de la terre fine:

- à l'intérieur des cavités laissées par le passage des dents, la terre est meuble et fine (agrégats polyédriques subanguleux)
- de chaque coté du passage de la dent, le sol a été ébranlé en grosses mottes (6 à 12 cm) et en mottes plus petites (2 à 3 cm) à arêtes anguleuses. Il y a un peu de terre fine entre ces mottes ébranlées.
- le sol est également légèrement affecté sous le passage des dents (mottes ébranlées).

On remarque d'ailleurs que le schéma théorique qui montre les différences entre les zones cassées en mottes et les zones simplement ébranlées peut être légèrement modifié suivant les hétérogénéités pré-existantes du profil (voir photo n° 8).

On note également l'importance de l'écartement des dents: entre le passage de deux trains de dents, dans la partie la plus large, les mottes sont moins divisées. Elles sont plus nombreuses vers la surface du sol et on trouve plus de terre fine entre ces mottes (voir figure n°17).

Il n'y a pas de lissage, ni de tassement structural. Les chaumes restant souvent en pieds dressés à la surface du sol. Seule une faible proportion est répartie dans la couche travaillée.

*Ce travail ne réalise absolument pas l'enfouissement de la matière organique et ne va donc pas favoriser son évolution avant le labour.*

*Il permet cependant de briser une structure souvent compacte après une récolte de céréales.*

*En ce qui concerne les risques que l'on peut craindre, signalons qu'en terrain humide, l'effet de cassure des mottes ne se produira pas; de plus, on pourra localement obtenir un gâchage de la terre (au niveau du soc porté par les dents).*

## 1.4 - FRAISE

Il s'agit d'un instrument rotatif à axe horizontal entrainé par la prise de force du tracteur (voir figures n° 18 et 19).

Pour cet instrument, nous avons pu observer deux types d'arrangements différents suivant la vitesse de rotation de l'appareil (voir figures n° 20 et 21 et photos n° 9 et 10).

Fig.18 Fraise

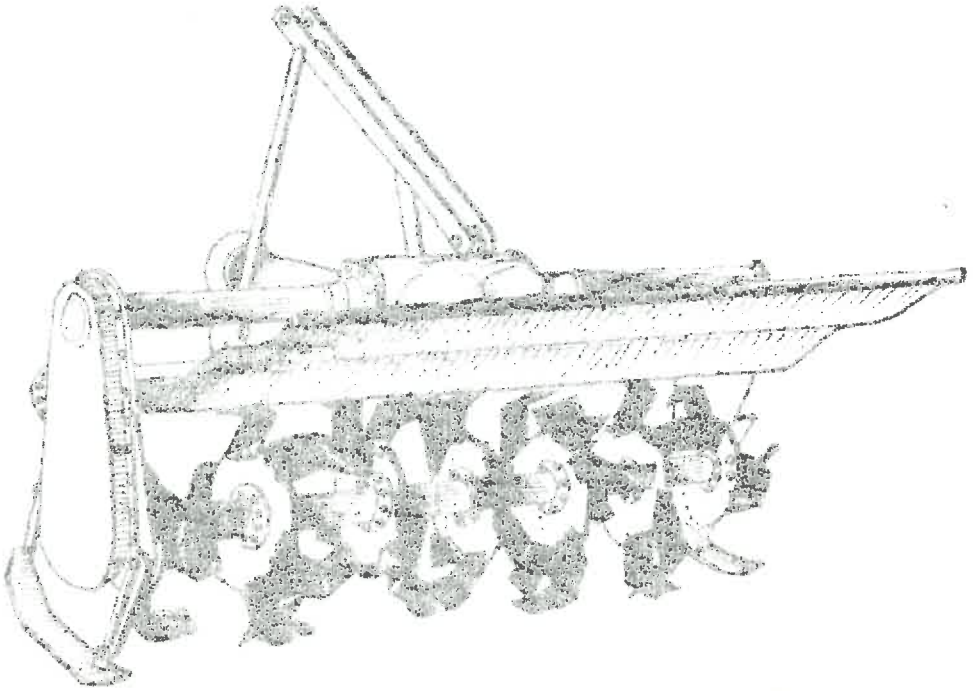
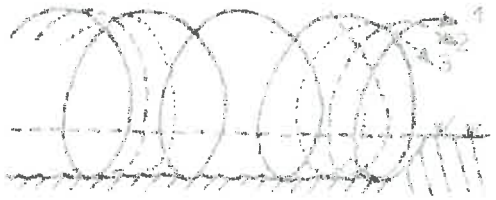
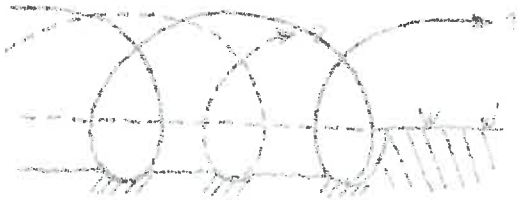


Fig.19 Trajectoire d'une dent
(d'après SELTNER)



tissage continu

trajectoire avec faible vitesse d'avancement et rotation rapide



tissage local

trajectoire avec vitesse élevée d'avancement et rotation lente

Fig. 20 Travail à grande vitesse de rotation

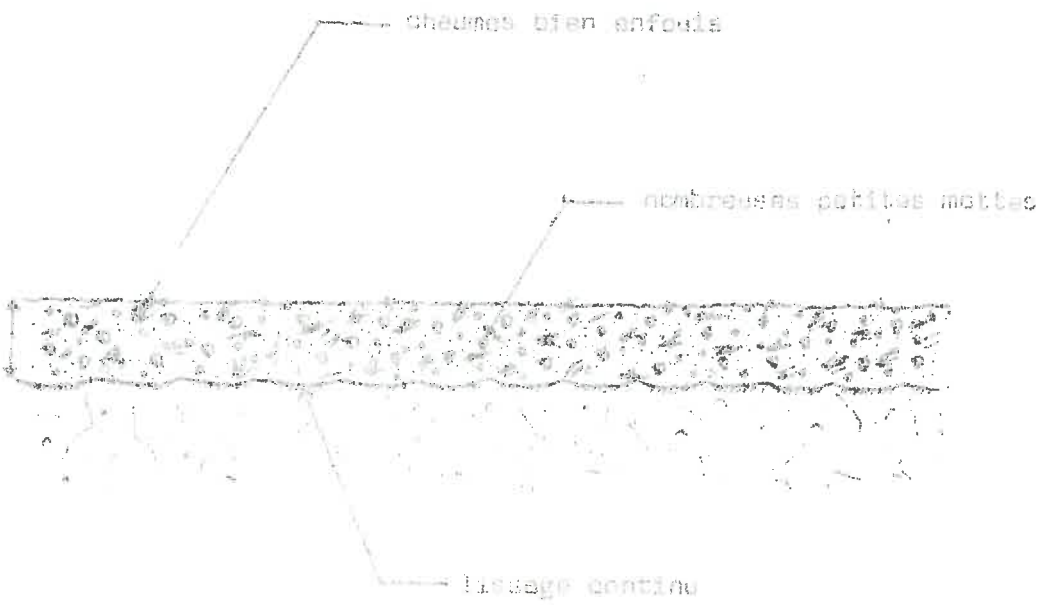



photo. 9



Fig.2) Travail à faible vitesse de rotation

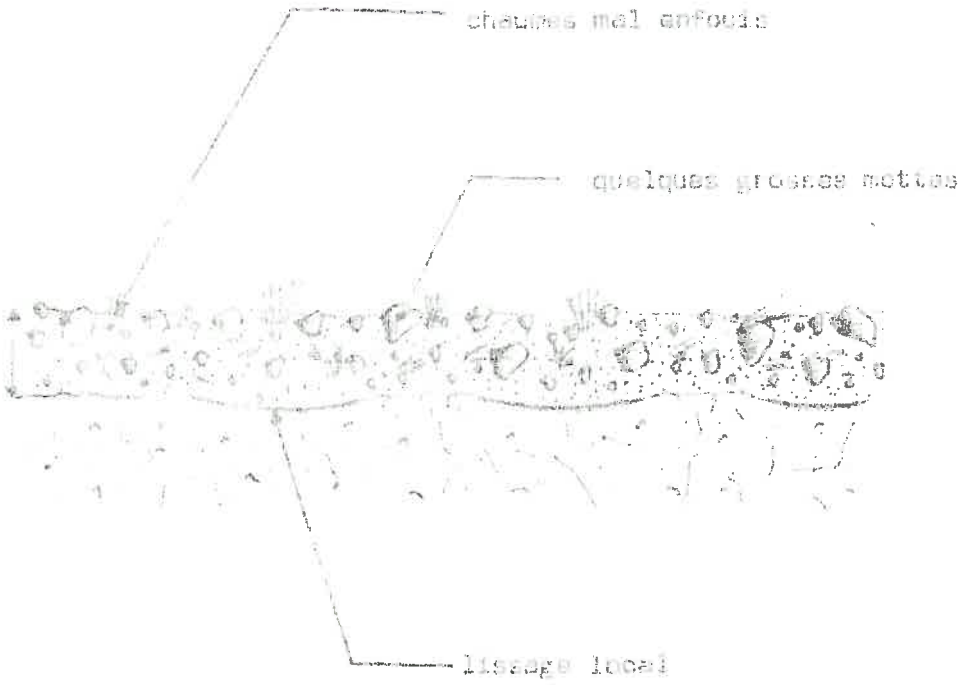



photo. 10



- A 268 t/mn (grande vitesse de rotation pour un avancement lent), la profondeur de travail est d'environ 10 cm. La limite inférieure de travail est très régulière (cisaillement). On observe un léger lissage. On obtient ainsi quelques petites mottes arrondies (3 à 5 cm de diamètre) noyées dans une terre très fine (aspect pulvérulent). Les chaumes sont fragmentés, bien mélangés et incorporés à la terre.

- A 140 t/mn (faible vitesse de rotation pour un avancement plus rapide), la profondeur de travail est d'environ 10 cm également. La limite inférieure est irrégulière (arrachement). Elle présente quelques lissages localisés entre des mamelons relativement accentués. On obtient par ce travail, de nombreuses mottes de toutes tailles ( < 14 cm) dans une terre fine grenue. Il y a un léger effet de triage, puisqu'en surface on trouve surtout des mottes de 8 à 10 cm , anguleuses, ce qui donne un aspect chaotique. De plus, les chaumes sont très peu enfouis; les pieds de blé restent assez souvent entiers et relativement dressés à la surface.

*On peut faire des critiques de ces travaux, différentes suivant la vitesse de rotation :*

*Dans le cas d'une vitesse de rotation élevée, on risque bien sûr la création d'une semelle et ceci d'autant plus que l'on travaille en sol humide. D'autre part, le fait de bien mélanger la matière organique dans les premiers centimètres du sol peut être très favorable à son évolution à la fin de l'été, avant les labours. Cependant, dans nos terres de limons, il y a - de par l'importance de la terre fine créée - un risque de prise en masse de cette couche travaillée s'il y a des pluies avant la reprise par le labour. Il y aurait alors une forte compaction et un blocage de l'évolution de la matière organique par asphyxie.*

*Dans le cas d'une vitesse de rotation moins élevée, les risques de semelle et de reprise en masse signalés plus haut sont moindres. Par contre, il faut noter que la répartition de la matière organique n'est pas très favorable à une évolution rapide avant la reprise par le labour.*

## 1.5 - CONCLUSION D'ENSEMBLE

Plusieurs critères peuvent être pris en considération si on veut décider d'un choix entre ces différents instruments.

Il faut tout d'abord rappeler que ces travaux ont pour but un déchaumage de fin d'été sur céréales, avant une reprise par les labours d'automne.

On doit donc favoriser l'évolution de la matière organique en l'incorporant au sol. On doit cependant éviter la formation de terre fine qui risquerait de se prendre en masse aux premières pluies. Pour cela, il est nécessaire de conserver une structure assez grossière.

*Il semble donc, d'après nos observations, que sur un sol relativement sec, ce soit le cover-crop qui réalise - dans le cas d'un bon réglage - le compromis le plus profitable.*

## 2. - INCIDENCE D'UNE RECOLTE EN CONDITIONS HUMIDES

La récolte du maïs, sur la parcelle expérimentale du Rheu, nous a donné l'occasion d'observer l'incidence du passage d'un engin lourd en conditions humides. Cette récolte s'est effectuée le 30 Novembre 1974 après une période de pluies automnales assez longue.

Parfois, notamment dans les parties les plus pentues, le corn-sheeler a patiné, glissé, dérapé, s'est enfoncé, créant des ornières assez profondes. Sur l'ensemble de la parcelle, les traces de son passage seront restées très nettes (voir figures n° 22 et 23 et Photo n° 12) : on observe des ornières peu profondes (environ 8 cm), bordées de bourrelets peu importants. Le tassement affecte l'ensemble de l'horizon travaillé jusqu'à la semelle de labour (soit une profondeur d'environ 28 cm). Pour la zone immédiatement sous le pneu, on pourrait donc estimer un tassement d'environ 25 %; mais en fait, ce calcul est vraisemblablement surestimé puisque le tassement ne se localise pas à la zone immédiatement sous le pneu mais s'étend sur les côtés : il y a eu fluage.

Pour une largeur de roue d'environ 60 cm, on observe une zone tassée sur 90 à 120 cm. L'écartement des roues du corn-sheeler étant de 245 cm, il reste, dans le plus mauvais cas - le plus fréquent d'ailleurs - une zone non affectée , entre les roues, de 125 cm. Visuellement, on constate une perte de porosité structurale de la zone tassée : les vides inter-agrégats et inter-mottes sont comblés.

Une observation micromorphologique et des mesures physiques nous permettront de préciser si ce type de tassement structural s'associe ou non à un tassement textural, c'est à dire s'il y a compactage proprement dit.

Au niveau des empreintes du pneu elles-mêmes, une organisation particulière a pu être observée (voir figure n° 24).

*Il faut noter ici les risques de tassements importants encourus lors d'une récolte en conditions humides.*

Fig.22 Traces du corn-sheeler

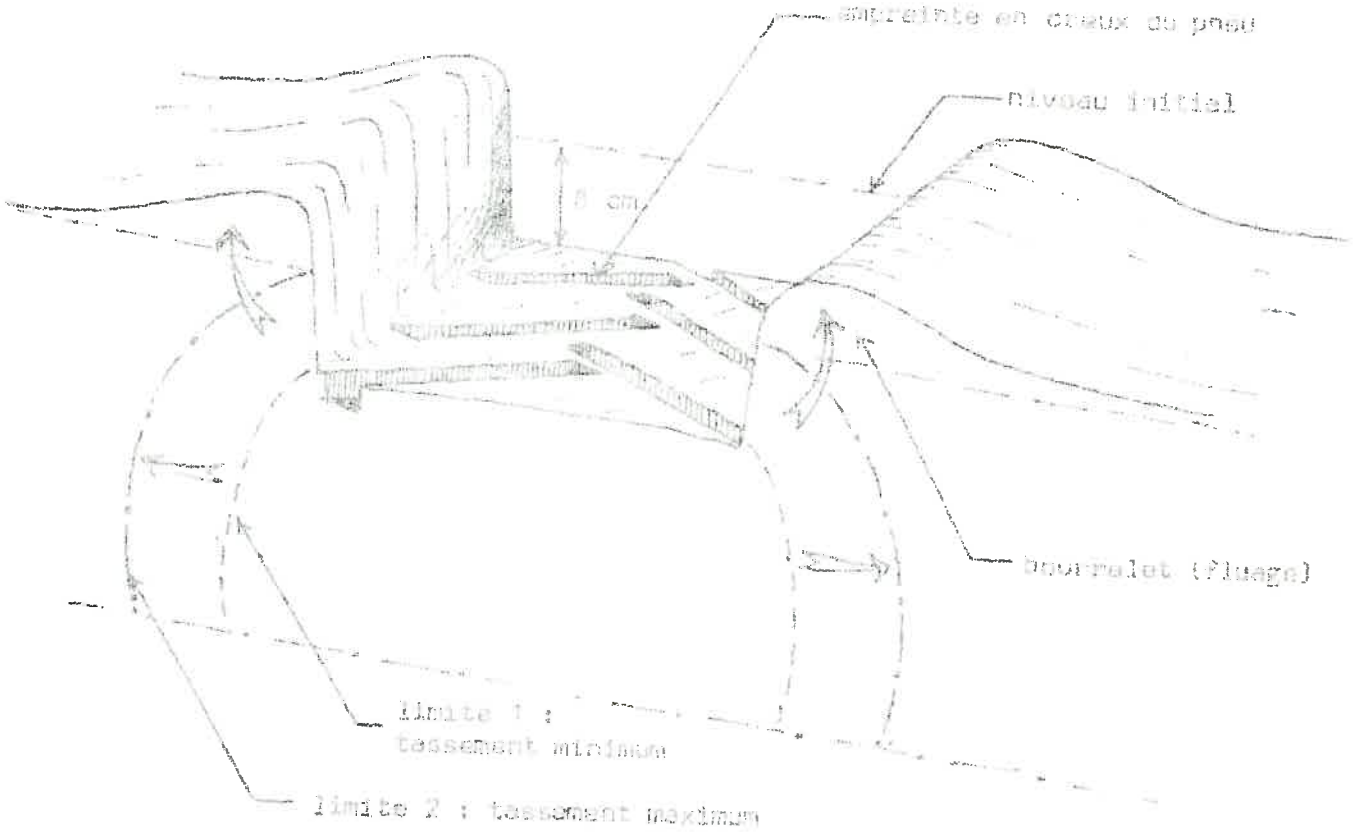



photo.11



Fig. 23 Les tassements produits

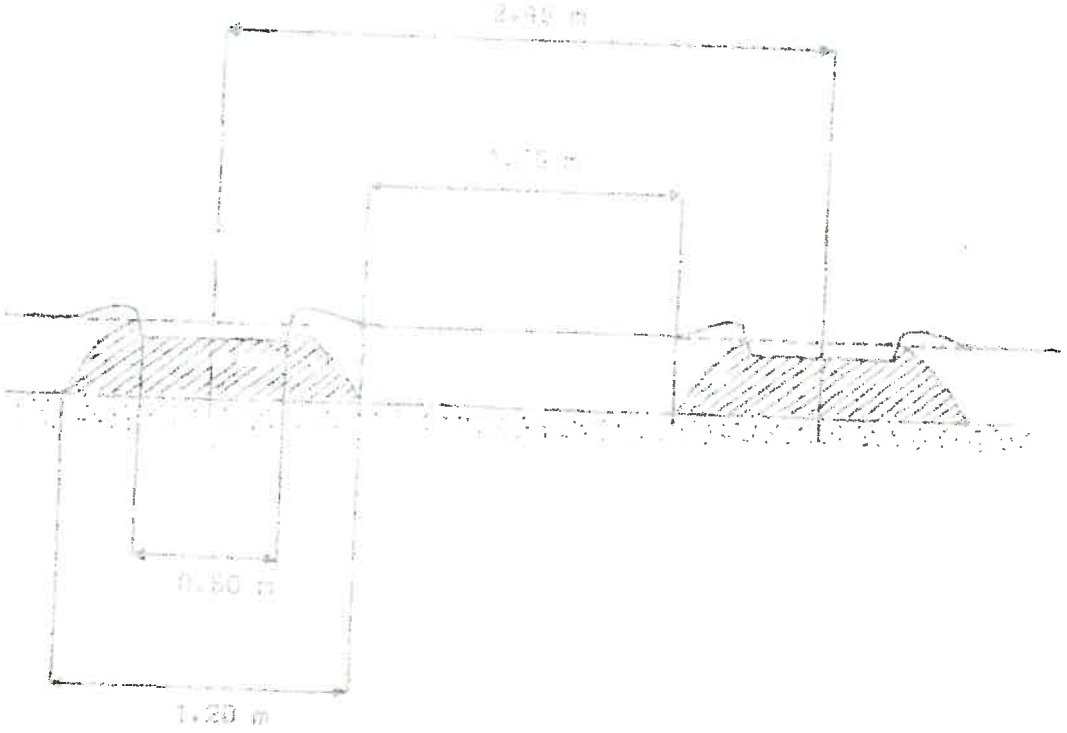



Fig. 24 Au niveau d'une empreinte de pneu

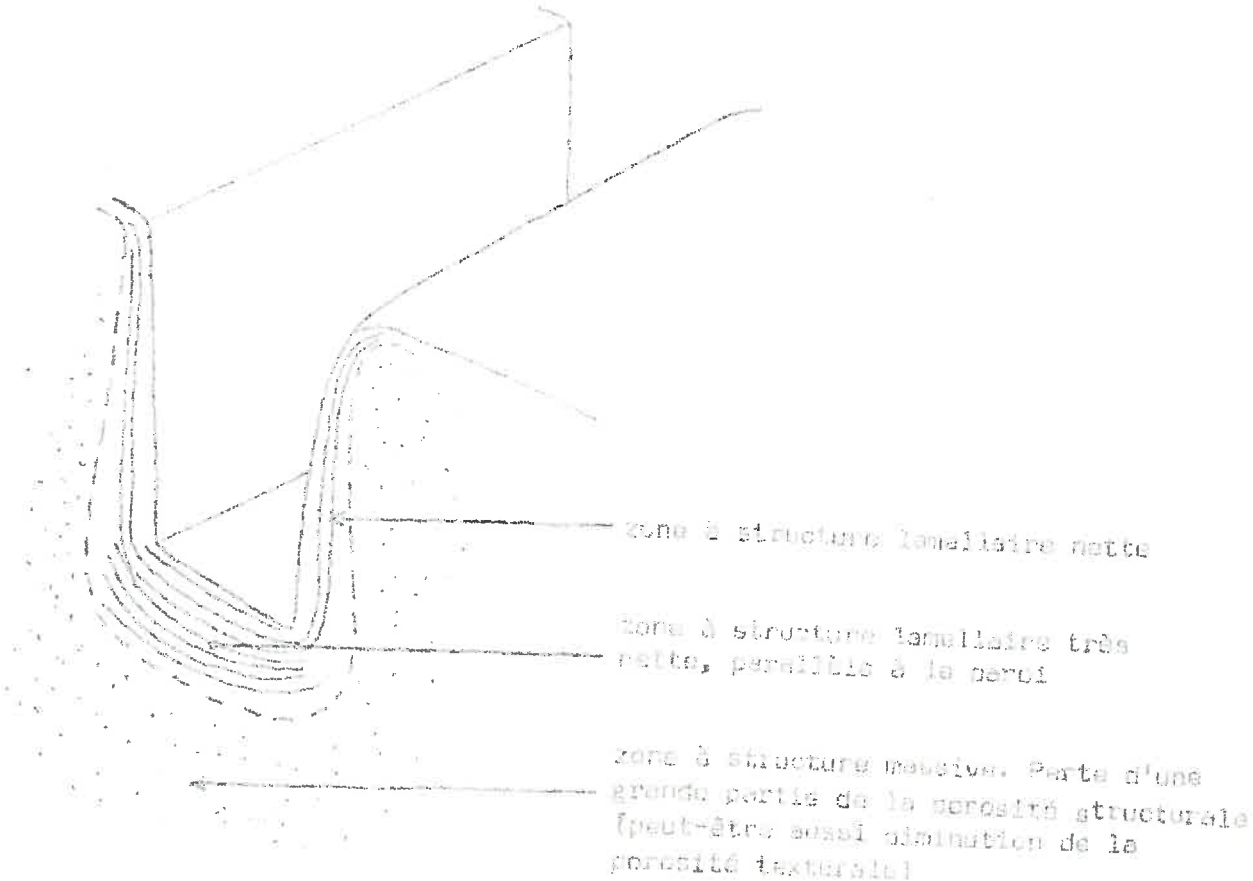


Fig. 25 Après déchaumage du blé

(Septembre 1974)

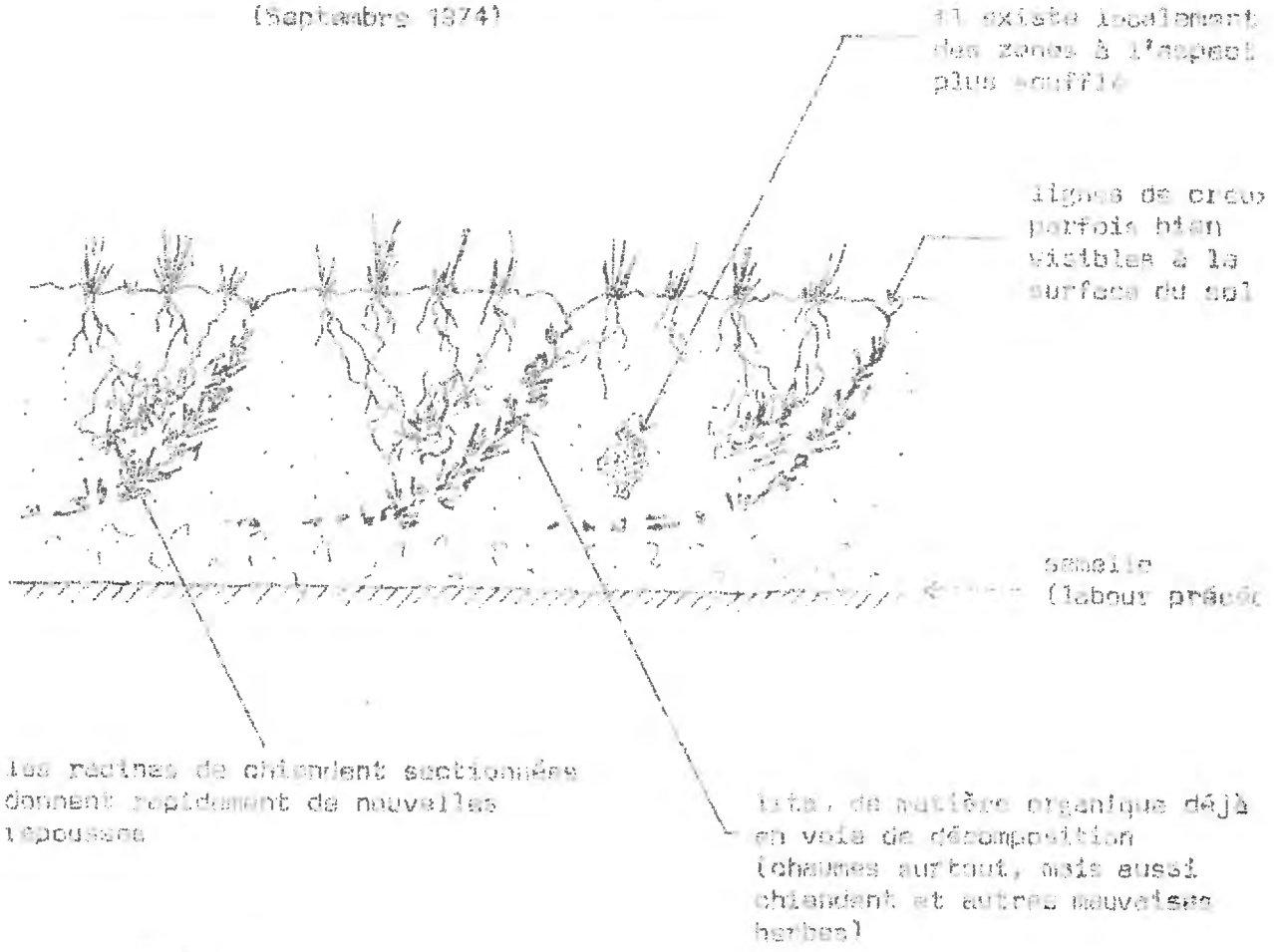



photo. 12



## 3. - LA MISE EN PLACE DES CULTURES

En ce qui concerne les rotations étudiées, nous avons deux époques de labour :

- pour l'installation d'une culture de blé d'hiver, nous avons des labours d'automne
- pour l'installation d'une culture de maïs, nous avons des labours de printemps.

De plus, pour une même époque de labour, nous avons deux types de travail suivant le précédent cultural.

### 3.1 - LA MISE EN PLACE DU BLE

#### 3.11 - Labour d'automne après un blé (blé/blé)

Dans ce cas, les labours se font sur un sol qui a déjà été travaillé, en été, après la récolte.

Pour la partie en monoculture blé, après la récolte qui s'est effectuée fin juillet, en conditions sèches (pas de tassements notables), on a utilisé un cover-crop travaillant sur une grande profondeur (environ 25 cm) pour le déchaumage (fin Août).

La masse des débris végétaux à enfouir était assez importante car, en plus des chaumes et de la paille, il y avait beaucoup de mauvaises herbes (chiendent, avoine à chapelets).

Des observations réalisées mi-septembre nous ont permis de vérifier l'évolution de la partie travaillée
voir : - description détaillée en annexe III-8
- photo n° 12
- figure n° 25

On peut distinguer ici deux sous-unités dans l'horizon travaillé : un "fond" motteux encadrant des poches de matière organique:

- le fond motteux : on y observe une structure polyédrique subanguleuse moyenne, à sous-structure grumeleuse très fine; l'ensemble est très poreux mais la porosité reste fine. Il existe cependant très localement, des zones à l'aspect plus soufflé.
- les poches de matière organique : la structure y est grumeleuse, moyenne et fine. La porosité inter-agrégats est importante, mais

les agrégats eux-mêmes ne présentent pas de pores visibles. La matière organique, surtout les chaumes de blé, est déjà bien décomposée (présence de champignons). Par contre, les mauvaises herbes (moins sèches lors de l'enfouissement) sont mal décomposées. De nombreuses racines de chiendent qui ont été sectionnées, donnent des repousses.

L'ensemble est assez bien structuré et très bien remanié par l'activité biologique : il y a notamment de nombreux vers de terre (gros et petits).

En ce qui concerne l'enfouissement et la répartition de la matière organique - but même du déchaumage - le travail est satisfaisant. Le problème de la destruction des mauvaises herbes reste cependant posé. On peut toutefois noter que le couvert végétal réalisé par ces plantes permet au sol de conserver une bonne structure en surface : on n'a pas observé de croûte de battance très importante.

Les labours ont été effectués début Décembre (10, 11 et 12). Le travail a commencé sur une terre relativement sèche en surface, mais s'est poursuivi et terminé, notamment dans cette partie, dans des conditions plus humides (pluie le 11 au matin et le 12 toute la journée). Après le labour, on retrouve des bandes relativement compactes. En effet, cet horizon assez finement structuré a subi une reprise en masse provoquée par les pluies. Le labour n'a donc pas pu réaliser une fragmentation suffisante de l'ensemble; il a même - au contraire - créé localement un certain gâchage.

La matière organique, déjà bien évoluée, se trouve - après ce nouveau brassage - répartie dans l'ensemble de l'horizon.

Au niveau du fond de labour, on peut noter un lissage net dont la formation est directement en rapport avec les conditions d'humidité. Il existe, sous ce lissage, une semelle proprement dite (zone tassée sur plusieurs centimètres), à structure massive et à faible porosité. (En fait, il est difficile de reconnaître un tassement récent dans cette zone qui apparait toujours plus tassée, tout au long de l'année)

De plus, on a pu observer localement, en fond de raie, des mottes écrasées par la roue du tracteur, ayant pris en creux l'empreinte du pneu.

*A cette date, on peut donc observer différents arrangements et différentes organisations que l'on doit essayer de rattacher aux différents travaux:*

*- l'arrangement en grosses bandes constitue un témoin évident du labour (et surtout des conditions du labour)*

*- cependant, l'organisation interne de ces bandes peut réapparaître plus précisément (surtout si l'humidité diminue) et révéler des témoins de l'évolution du profil entre le passage du cover-crop et le labour : mottes à structure moyenne juxtaposées à des plages de structure grumeleuse fine (activité biologique).*

*- quant à la répartition et à la fragmentation des débris végétaux, elles montrent l'importance du travail de déchaumage.*

## 3.12 - Labour d'automne après un maïs (blé/maïs)

Il s'est effectué aux mêmes dates que le labour après le blé. Les conditions d'humidité étaient donc à peu près les mêmes. (En fait, les conditions étaient meilleures,puisque ce labour a été terminé le 11 au matin, alors que le labour sur blé s'est effectué le 11 et le 12, sous et après la pluie).

Les conditions de sol étaient, elles, fort différentes puisque la charrue a travaillé sur un sol non remanié après la récolte. Seul un passage de broyeur de fanes avait été effectué, laissant des débris nombreux et grossiers à la surface du sol.

Dans ce cas, le labour a été un parfait révélateur des tassements dus au passage du corn-sheeler. En effet, on a pu mettre en évidence deux ensembles très distincts suivant que le labour s'effectuait en zone affectée ou non.

La zone affectée s'étendait sur deux à trois bandes de labour (voir photo n° 13 et figure n° 26)

Les zones non affectées présentaient un labour de type jeté à nombreuses petites mottes moyennes et fines (surtout localisées en surface) dans une masse de terre relativement fine. Immédiatement après le labour, cet ensemble avait un aspect aéré sans être creux (voir photo n° 14).

Les zones affectées présentaient, elles, un labour de type moulé, à grosses mottes obtenues par fissuration de la bande retournée. Seuls quelques interstices contenaient localement de la terre fine (voir photo n° 15)

Dans les deux zones, on a pu observer un lissage net à très net, en fond de labour, ce qui peut être expliqué par le fait que la terre était tout de même relativement humide en fond de raie. Une semelle proprement dite, avec tassement structural sur quelques centimètres était également visible (voir photo n° 16).

Le travail s'est effectué sur une profondeur de 30 cm. La différence de hauteur, après retournement, entre les deux zones :

- 30 à 37 cm en zone tassée
- 30 à 32 cm en zone non tassée

est dûe au fait que dans un cas, la terre étant plus finement divisée, l'arrangement des éléments y est plus jointif.

Dans les deux ensembles, les débris de maïs enfouis sont restés, très localisés en bouchons, sur le fond du labour.On pouvait cependant déjà prévoir que leur évolution serait différente : dans la zone tassée, ils sont écrasés entre des mottes compactes, alors que dans la zone non tassée, ils sont en contact avec de la terre fine relativement aérée.

photo.14 En zone non taillée



Structure fragmentaire fine

photo.15 En zone taillée



Structure fragmentaire massive

*Là encore, on peut essayer d'associer les différents arrangements et organisations et leurs origines :*

*- l'arrangement général, en bandes, de l'horizon est, à ce moment, le témoin direct du labour*

*- le type d'arrangement et plus précisément, les dimensions des mottes, reflètent l'incidence du corn-sheeler : on observe des grosses mottes peu nombreuses dans les zones tassées et de nombreuses petites mottes associées à la terre fine dans les zones non tassées.*

*- l'organisation interne des mottes observées résulte elle aussi directement du tassement provoqué par le corn-sheeler :*
*. structure massive et faible porosité dans les zones tassées*
*. structure fragmentaire moyenne et fine et bonne porosité dans les zones non tassées.*

*- quant à la répartition et à la fragmentation des débris végétaux, elles indiquent :*
*. d'une part, un mauvais réglage de la charrue*
*. d'autre part, une insuffisance du broyage des fanes.*

*En résumé, juste avant les préparations superficielles en vue du semis du blé, le profil cultural présente trois types d'arrangements différents :*

*- grosses mottes à structure interne relativement bonne et répartition convenable des débris végétaux, dans la parcelle de monoculture blé.*

*- grosses mottes mal structurées et mauvaise répartition des débris végétaux, dans la parcelle blé-maïs, en zone tassée.*

*- nombreuses petites mottes à structure interne relativement bonne et mauvaise répartition des débris végétaux, dans la parcelle blé-maïs, en zone non tassée.*

## 3.13 - Les façons superficielles et le semis

La préparation du lit de semences s'est bornée à un passage de herses immédiatement après le labour. Ce passage de herses a créé une petite couche à structure fragmentaire fine en surface (5 à 8cm) présentant un léger effet de triage, puisqu'on a pu retrouver quelques mottes en surface. Sous cette couche meuble, le labour est resté non remanié, c'est à dire avec un aspect différent suivant les zones considérées. Dans les zones tassées, on retrouve donc des mottes compactes immédiatement en dessous de cette couche; et, localement, on a pu observer des lissages de dents.

Le semis a enfoui les grains dans de petits sillons plus ou moins creusés dans la partie supérieure de la couche non reprise (voir figure 27).

*On peut donner plusieurs explications aux différences de profondeur de sillons creusés par la herse :*

- *les dents de herses peuvent être plus ou moins usées*
- *les dents s'enfoncent plus ou moins profondément suivant qu'elles passent sur une motte compacte ou dans de la terre fine.*

*Les lissages toujours nets sont dûs au fait que le travail s'est fait en conditions humides.*

*Dans tous les cas, il y a eu création d'une bonne structure fine en surface (risque de reprise en masse en conditons humides).*

## 3.2 - LA MISE EN PLACE DU MAIS

Pour l'année 1974-75,nous n'avons pu observer qu'une mise en place du maïs après maïs.

### 3.21 - Labour de printemps après un maïs (maïs/maïs)

Ce labour s'est effectué fin Mars dans une terre relativement ressuyée. Il a révélé lui aussi, parfaitement,les deux ensembles déjà reconnus : zone affectée et zone non affectée par le passage du corn-sheeler, et ceci après que le sol ait reçu les pluies et les gelées de l'hiver.

. On a pu noter un approfondissement général du labour d'environ 4 cm. En effet, les mottes retournées par le labour présentaient de la terre plus jaune (horizon A2). Les lissages de fond de labour étaient toujours visibles.

*On a retrouvé les mêmes arrangements et organisations décrits au § 3.12 :*

- *grosses mottes compactes dans la zone tassée donnant au labour un aspect moulé*
- *mottes moyennes et fines dans la zone non tassée donnant au labour un aspect jeté.*

*On a pu cependant observer une différence avec le labour d'automne quant à l'aspect des débris enfouis. Ceux-ci sont un peu mieux répartis, en bouchons obliques, sans doute du fait d'un meilleur réglage de la charrue; de plus, après avoir passé l'hiver à la surface*

Fig.27 Couche reprise par la herse

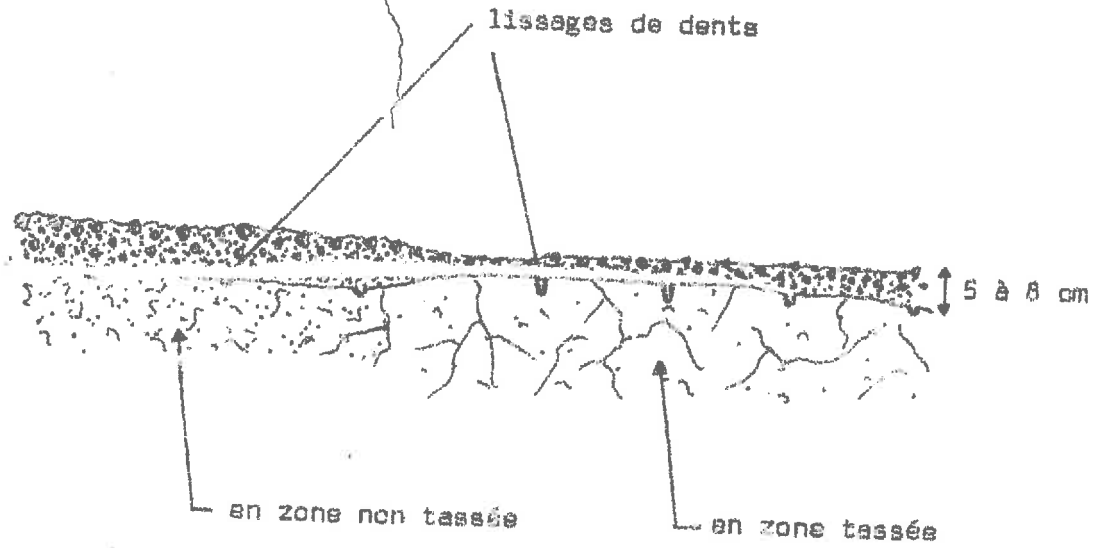
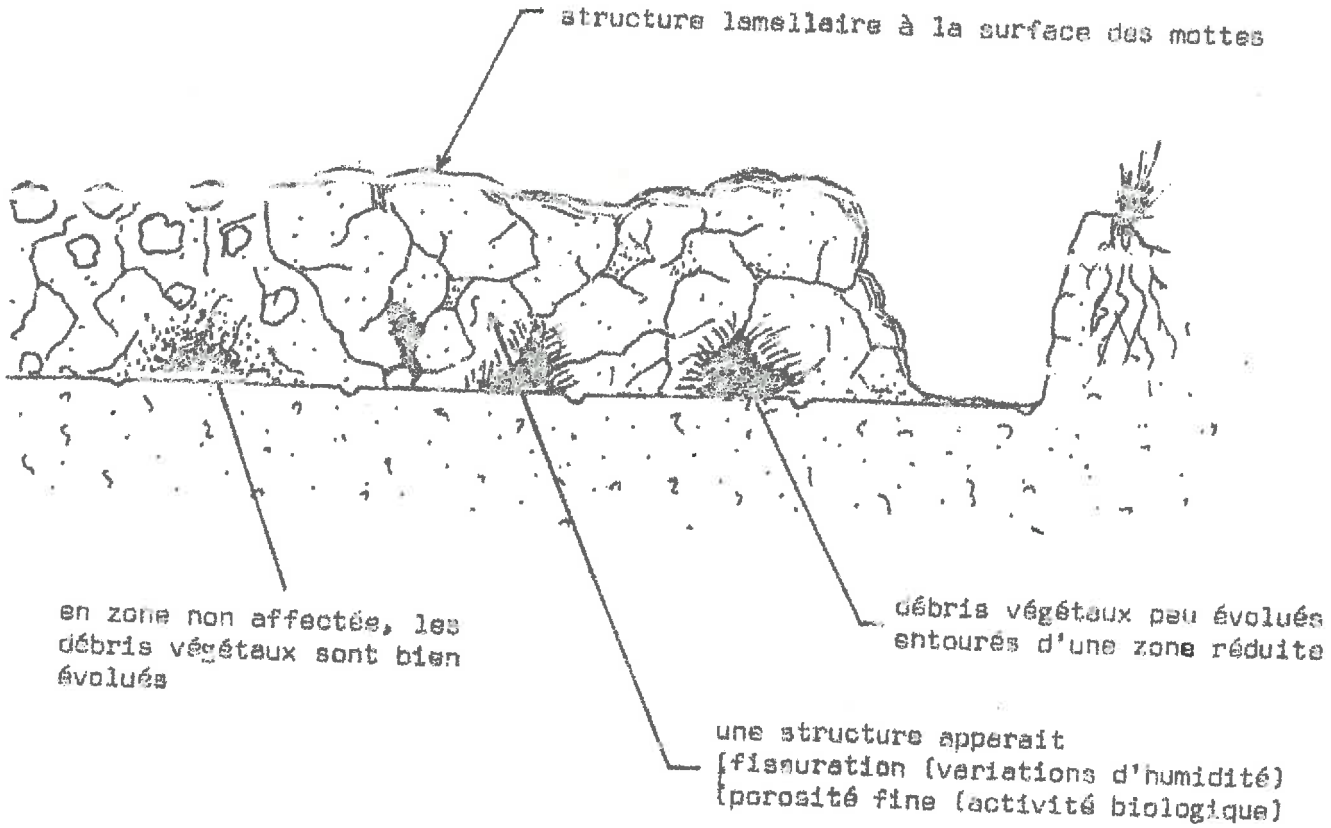



Fig.28 Labour avant reprise (avril 75)



*du champ, leur évolution était plus avancée et, en général, ces débris étaient plus divisés.*

*Il faut noter que l'on a retrouvé de nombreuses zones réduites dans les mottes (ces zones réduites étaient localisées avant le labour, immédiatement sous les pieds de maïs et dans les zones tassées par le passage du corn-sheeler).*

### 3.22 - Les façons superficielles - le semis

Nous n'avons malheureusement pas pu être présents lors de ces préparations du sol, aussi avons-nous dû nous contenter d'observations réalisées après que les différents travaux suivants aient été effectués :

- 2 passages de canadien-herse
- 1 passage de cross killette
- traitements (azote et atrazine)
- 1 passage de vibroculteur

Nous avons pu mettre en évidence différentes organisations-témoins de ces travaux. On trouve notamment :

- une couche reprise par les façons superficielles dont la limite inférieure est très irrégulière et présente de nombreux lissages locaux. Ceci peut être attribué au canadien herse qui a travaillé en conditions assez humides sur les mottes encore compactes, créées par le labour.

- le passage de cross killette a contribué à la création d'une structure fragmentaire fine; la couche créée présente de nombreuses petites mottes et de la terre fine.

- on peut également remarquer un léger effet de triage (la proportion de petites mottes est plus grande en surface) dû au passage du vibroculteur préparant le lit de semence.

*L'ensemble du travail réalisé est satisfaisant; mais les bandes et les mottes de labour restent des obstacles au développement des racines en profondeur.*

## 4. - INCIDENCE DU PASSAGE DES TRACTEURS ARRES PREPARATION DU SOL

Que ce soit pour les cultures de blé ou de maïs, différents traitements pesticides et apports de fertilisants (apports frac-

tionnés sur blé) nécessitent le passage de tracteur , parfois en conditions relativement humides.

Les dégats occasionnés sont en général bien moindres que ceux observés après le passage du corn sheeler car les conditions de travail sont plus satisfaisantes. On peut cependant noter une modification des organisations créées par les travaux précédents.

On observe des ornières très peu profondes (environ 3 cm). Le tassement affecte cependant l'horizon travaillé jusqu'à la semelle de labour (soit une profondeur d'environ 28 cm). Suivant les conditions d'humidité lors du passage du tracteur, la zone affectée par le tassement peut se localiser immédiatement sous le pneu (la largeur tassée correspond alors à la largeur du pneu : 35 cm) ou s'étendre sur les côtés, sans pour cela entraîner la formation de véritables bourrelets de part et d'autre, à la surface.

De plus, il faut noter que plusieurs traitements sont généralement effectués. Il y a donc, dans la plupart des cas, plusieurs passages de tracteur dans les mêmes traces.

Or, on a pu observer, dans certains cas, l'extension de la zone tassée sur les côtés (voir figures 29, 30,31). Mais ne disposant pas de deux observations en un même endroit et dans des conditions d'humidités équivalentes, nous ne pouvons que présumer un effet cumulatif après plusieurs passages.

*Une telle hypothèse pourrait avoir une incidence notable au niveau d'une éventuelle conservation des organisations tassées sur plus d'un an.*

## 5. - LABOUR ET NON LABOUR

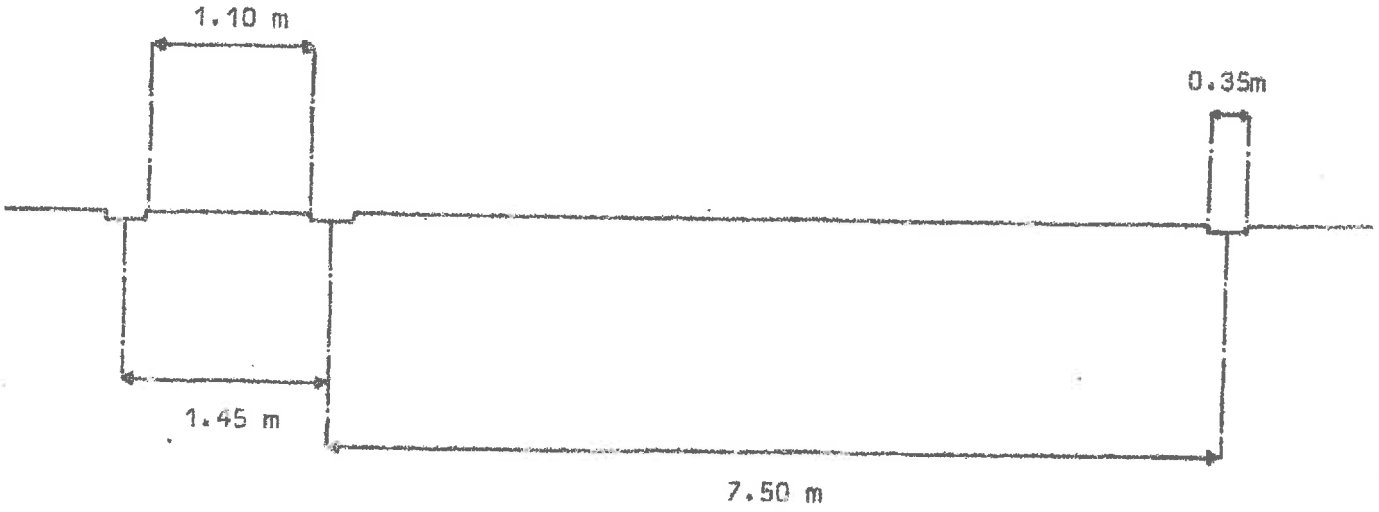
Après avoir observé les organisations créées par les techniques culturales classiques, il était intéressant d'avoir une idée de certaines techniques plus récentes.

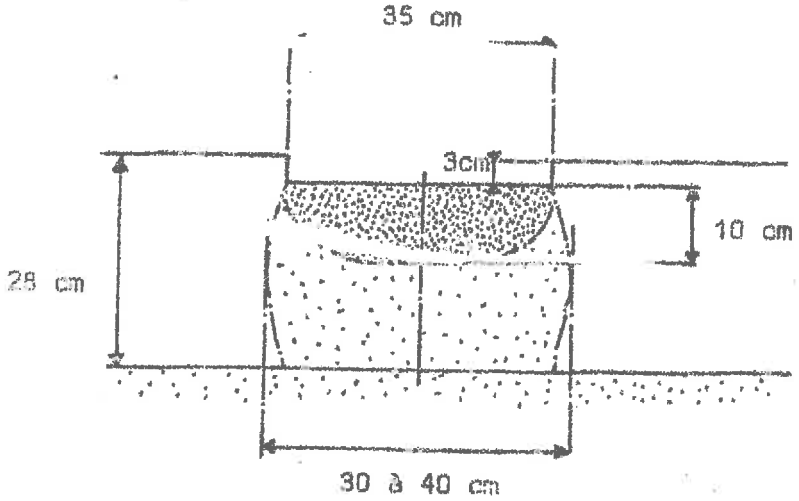
A la Chapelle des Fougeretz, nous avons pu réaliser quelques observations comparées d'implantation de maïs, sur un précédent ray gras de 6 mois.

Trois profils ont été étudiés comparativement :

CHA 1 semis de maïs après préparation classique : labour et façons superficielles

Fig. 29 ; 30 et 31 Tassements par le tracteur



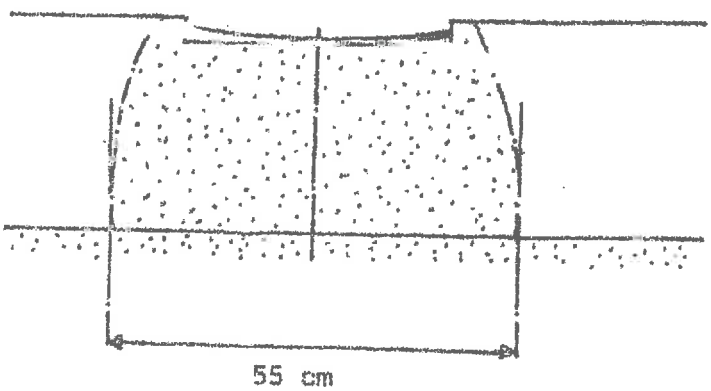
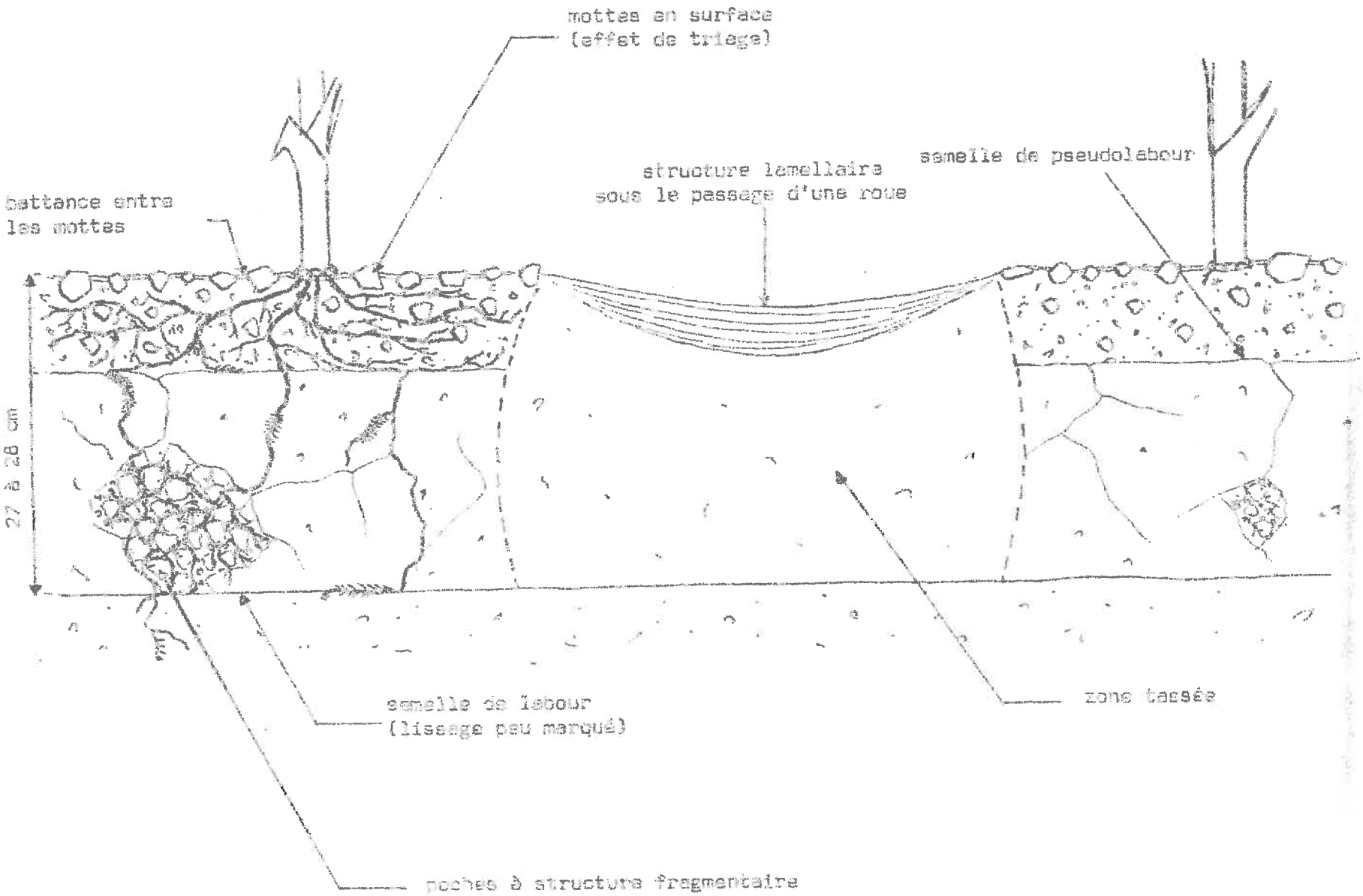



Fig. 32 Profil CHA 1



CHA 2 semis direct de maïs, immédiatement après l'ensilage de ray gras. Le travail s'est effectué en conditions très humides.

CHA 3 semis direct de maïs, avec traitement herbicide après l'ensilage de ray gras. Le travail s'est effectué dans de meilleures conditions.

L'appareil utilisé en semis direct est un prototype réalisé par la maison HUARD.

## 5.1 - PROFIL CHA 1

Voir description détaillée en annexe III 9.

### 5.11 - Le labour

On trouve les organisations classiquement observées, après évolution au cours d'une année, d'un labour effectué dans de mauvaises conditions d'humidité :

- des mottes compactes très peu poreuses individualisées à partir des bandes de labour
- des plages plus meubles, à l'activité biologique plus marquée, correspondant aux poches d'enfouissement de la matière organique remaniées par les animaux.

En fond de labour, on observe une semelle plus ou moins marquée :

- un lissage localement très net
- une couche tassée, à structure massive, très peu poreuse, sur environ 2 cm.

### 5.12 - Les façons superficielles

On trouve en surface (de 0 à 8 ou 10 cm) une couche qui a été reprise par les façons superficielles.

Elle présente une structure grumeleuse et polyédrique subanguleuse fine, bien remaniée par l'activité biologique.

On peut noter un effet de triage qui localise les mottes (moyennes et grosses) en surface. Il existe entre ces mottes une battance plus ou moins marquée (voir figure n° 32).

## 5.2 - PROFILS CHA 2 et CHA 3

L'appareil utilisé est le même dans les deux cas. On observe les mêmes types d'arrangements. Cependant, le travail ayant été effectué dans des conditions d'humidité différentes, il est intéressant d'observer les types d'organisations créées (voir descriptions détaillées en annexes III 10 et III 11, voir les figures n° 33, 34 et 35).

## 5.3 - CONCLUSIONS

On remarque encore ici les imperfections du travail du sol, dans le but d'installer une culture de maïs. S'effectuant - comme la plupart du temps - dans des conditions d'humidité défavorables, sur des sols à faible stabilité structurale, ce travail a produit des arrangements (mottes compactes) et des organisations (faible porosité) mal adaptés à un bon développement du maïs.

Mais il faut surtout insister sur l'inadaptation de l'outil testé en non labour : non pas inadaptation totale à la culture du maïs, mais plutôt inadaptation aux conditions de culture du maïs en Bretagne (humidité, sols à mauvaise stabilité structurale); en effet, dans d'autres conditions, il semble que cet outil pourrait réaliser un travail convenable.

*Cependant ces observations nous ont permis d'envisager une meilleure utilisation de cet appareil en Bretagne :*

- *employé en conditions d'humidité meilleures, on éviterait les gâchages et les lissages,*
- *l'arrangement qu'il crée semble plus adapté à une plante à racine plutôt pivotante.*

*Il semble donc que l'on puisse envisager son utilisation pour l'implantation des cultures de choux.*

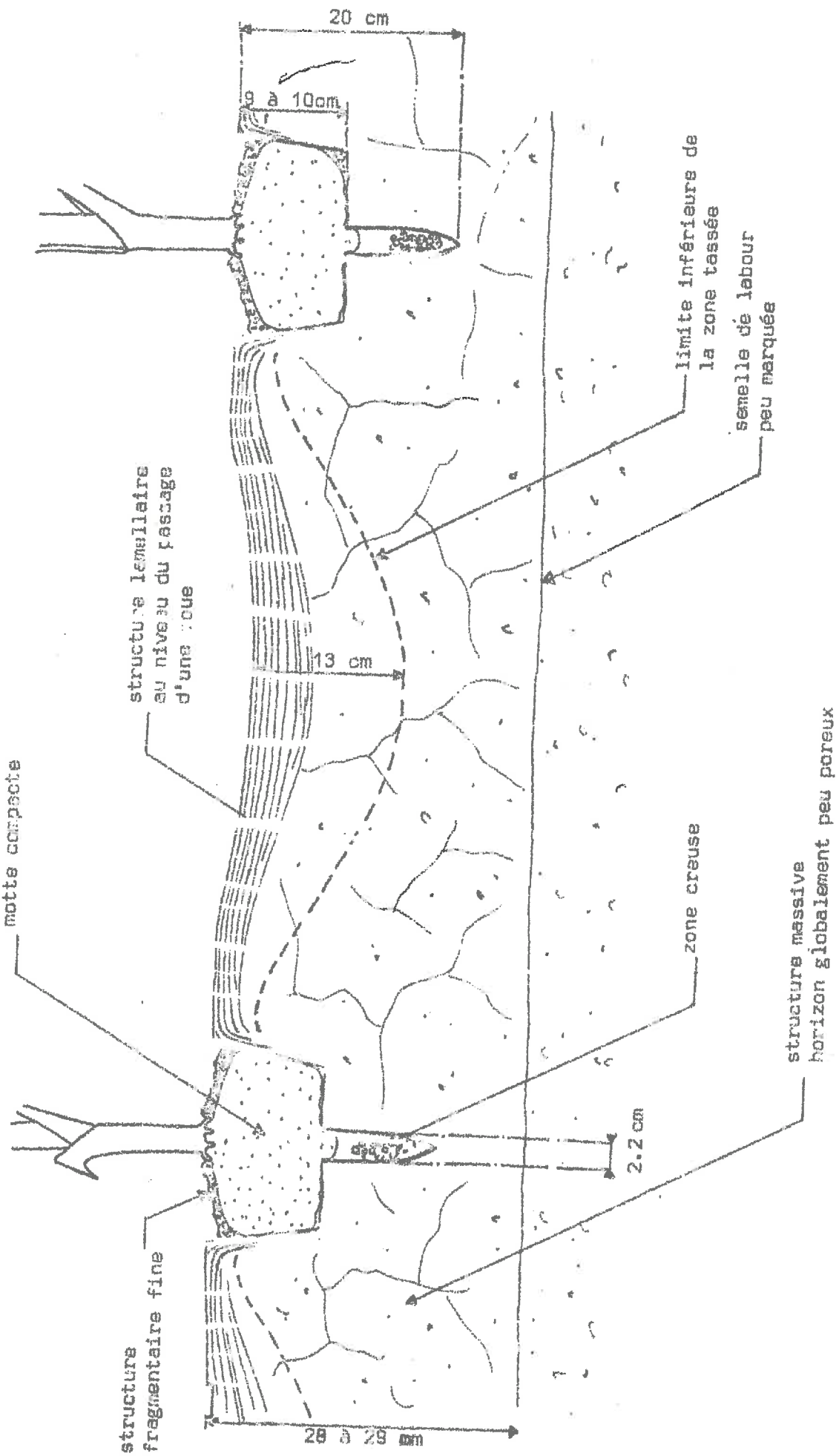



Fig.33 Profil CHA 2

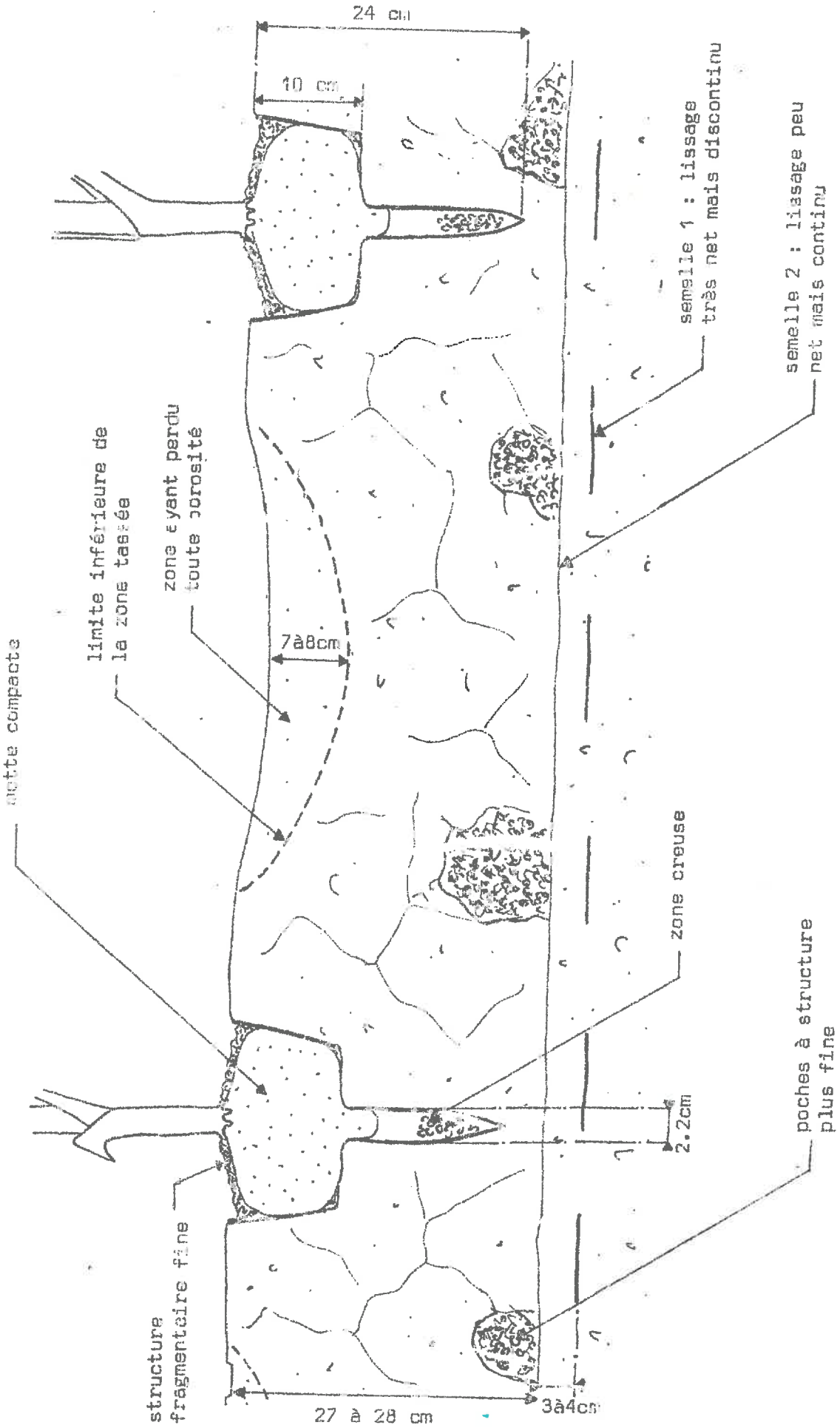
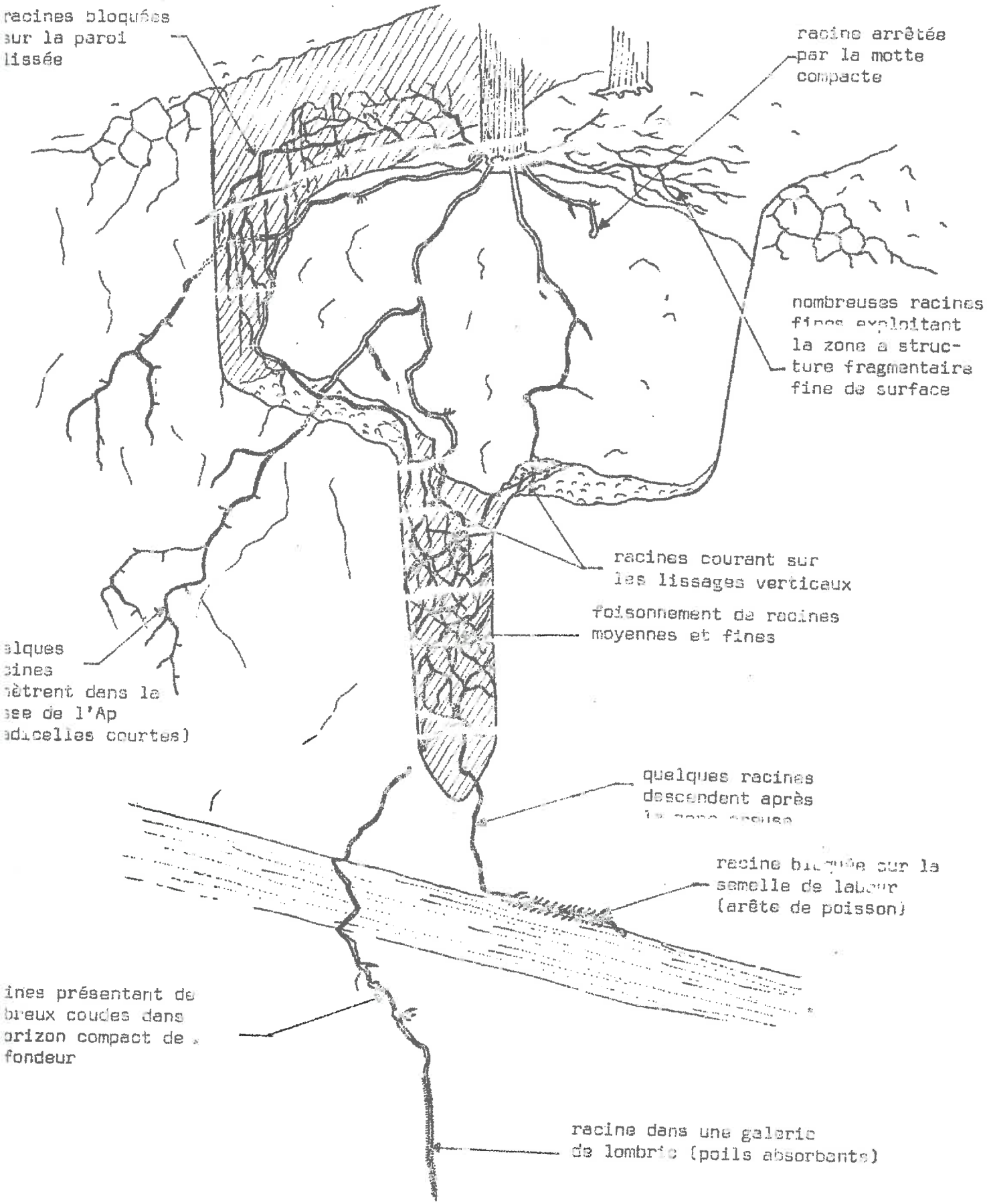



Fig. 34 Profil CHA 3

Fig.35 Détail du profil CHA 3



Certains outils créent donc des arrangements qui peuvent persister pendant l'année (ex : les bandes de labour), voire pendant plusieurs années (ex : la semelle de labour); d'autres donnent naissance à des éléments plus éphémères (ex : les petites mottes créées par les façons superficielles, immédiatement remaniées par l'activité biologique).

Après avoir reconnu ces nombreux arrangements et organisations, le problème est justement pour nous de préciser leur pérennité et, éventuellement, d'envisager l'étude plus fine de certains cas où des effets cumulatifs sont pressentis.

# CHAPITRE 4

# ETUDE DES RELATIONS

# ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL

# ET LES ORGANISMES TELLURIQUES

# ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES ORGANISMES TELLURIQUES

Les organismes telluriques, flore ou faune, jouent un rôle fondamental au niveau du sol et de la plante. Cependant, ce chapitre sera court et incomplet en raison de notre méthode d'observation.

Nous n'avons fait que des observations macroscopiques, laissant ainsi de côté une grande partie des êtres vivants du sol. De plus, nous fondant sur l'observation des organisations du sol, nous ne pouvions qu'avoir une vue très partielle de la biologie de chaque espèce.

Nos observations ont consisté à :

- reconnaitre les grands groupes d'animaux visibles sur un profil cultural
- préciser certains aspect du milieu écologique de l'espèce : profondeur, conditions de tassement...
- observer la biologie de l'espèce en en dégageant les conséquences au niveau du sol : structuration, évolution de la matière organique..

Il faut enfin préciser que nous avons travaillé en collaboration avec Agnès GOSSELIN qui étudie plus particulièrement le développement des Nématodes en fonction des organisations pédologiques du profil cultural.

Les quelques observations que nous avons pu faire ont donc été consécutives à la description de profils culturaux. C'est pourquoi, plutôt que de faire une présentation par espèce, il est plus intéressant de suivre l'écologie des différentes organisations d'un profil cultural. Nous allons donc décrire un profil-type, en nous attachant à mettre en évidence les relations faune-sol.

## 1. - RELATIONS FAUNE - SOL DANS UN PROFIL-TYPE

### 1.1 - HORIZON 0-10 cm

Les dix premiers centimètres de notre profil-type forment un horizon bien structuré : des agrégats polyédriques subanguleux moyens et fins y sont associés à des agrégats grumeleux. On y reconnait le travail intense des vers de terre : nombreuses galeries de toutes orientations, nombreux turricules.

Cet horizon correspond à peu près au lit de semence. Il a donc été travaillé, à l'époque du semis, par des engins de pseudo-labour, mais on peut penser que l'activité biologique du milieu a eu une action au moins aussi importante sur le sol. En effet, les lombrics :

- ont eu une action structurante par la création d'une nouvelle porosité (galeries) et d'agrégats grumeleux (turricules)
- ont joué un rôle de moteur pour le développement de l'activité biologique ; on trouve, le plus souvent, associés au travail des vers de terre, des coprolithes, traces de l'activité de nombreux organismes (insectes, arthropodes). Cette remarque est d'ailleurs valable pour tout le profil : on trouve des coprolithes dans les galeries de lombrics ou dans les endroits remaniés par eux.

A ce niveau, nous avons trouvé aussi des représentants d'autres groupes comme des limaces, dont l'importance semble plus faible.

### 1.2 - HORIZON 10-27 cm

Cet horizon a été labouré, mais n'a pas été remanié par les façons superficielles. On y trouve des bandes de mottes compactes, plus ou moins fissurées, séparées par des poches de matière organique.

#### 1.21 - Les mottes compactes

*On voit peu de traces d'activité biologique à l'intérieur des mottes.*

Ces zones, déjà non exploitées par les racines, semblent délaissées de la même manière par de nombreux animaux (du moins, ceux qui ont une action visible sur le sol).

Par contre, les fissures entre les mottes sont très tôt colonisées par les lombrics et les arthropodes, si bien que l'on observe souvent un début de digestion de l'extérieur des mottes à partir des fentes.

## 1.22 - Les poches de matière organique

Dans ce cas, les observations sont fonction du type de matière organique et de l'époque de l'année. Pendant toute une période suivant l'enfouissement, la colonisation de la matière organique par les animaux reste faible, surtout quand s'installent des conditions réductrices. On aperçoit seulement, de temps à autres, des pelotes serrées de grêles Enchytréides.

Puis viennent les limaces et seulement plus tard apparaissent turricules et coprolithes. C'est alors que se développe une intense activité biologique qui aboutira à la formation de véritables poches grumeleuses.

## 1.23 - Importance des galeries de taupe

Dans cet horizon, on trouve d'assez nombreuses galeries de taupes. Nous nous bornerons, en ce qui concerne ces animaux, à deux observations précises, mettant en évidence les relations sol-animaux.

### 1.231 - Influence de la semelle sur le comportement de ces animaux

Au niveau de l'ATP 8, nous avons observé que les galeries se trouvaient toutes situées juste au-dessus de la semelle de labour (voir photo n° 16).

Deux hypothèses peuvent être avancées :

- Dans ce profil, la semelle de labour est particulièrement épaisse et compacte; les animaux ont pu être gênés dans leur travail de fouissage.

- Les animaux sont restés à ce niveau parce que c'est là qu'ils trouvaient leur nourriture.

Quoiqu'il en soit, la semelle de labour a arrêté dans leur progression ces animaux fouisseurs que sont les taupes. Les conséquences au niveau du sol peuvent être importantes :

- les animaux n'effectuent plus leur travail d'homogénéisation du profil

- la semelle de labour reste un obstacle presque continu à la pénétration des racines et à la circultion de l'eau.

### 1.232 - Rôle des galeries dans la circultaion de l'eau

Le rôle des galeries de taupes dans la circulation de l'eau nous est apparu lors de la description du profil ATP 6 qui a été décrit en détail dans le chapitre 2 : il est constitué d'une couverture limoneuse très mince (25 cm) recouvrant un matériau alluvial très caillouteux. Or, le limon est assez peu perméable et au moment de fortes pluies, on arrive vite à un ruissellement de surface, d'autant plus que la parcelle est en pente. Mais il se trouve qu'à cet endroit, l'horizon cultivé était colonisé par une taupe, et ce sont ces galeries qui vont servir de canal d'évacuation des eaux (voir photo n° 17 et commentaire).

## 1.3 - HORIZON 27 - 35 cm

A ce niveau se situe la semelle de labour. Son incidence sur la biologie du sol est variable selon son épaisseur, sa compacité, sa continuité. Nous avons déjà vu le rôle d'obstacle qu'elle pouvait avoir. Il faut dire cependant qu'en général, elle n'arrête que peu les gros lombrics, sauf dans les cas extrêmes.

## 1.4 - HORIZON SOUS-JACENT

Il est fréquent d'observer, dans les horizons non caillouteux situés sous l'Ap, de nombreuses galeries de lombrics, à orientation verticale. Ces galeries peuvent descendre très profondément, jusqu'à plus de 2 mètres. Elles augmentent alors la porosité du milieu.

Les observations que nous avons regroupées ci-dessus sont bien évidemment sujettes à des variations selon l'époque de l'année et les conditions de milieu.

Nous avons pu remarquer d'autre part, lors de nos visites de parcelle, des faits qui méritent d'être signalés ici, pour une meilleure

photo.16 Galerie de taupe au dessus d'une semelle

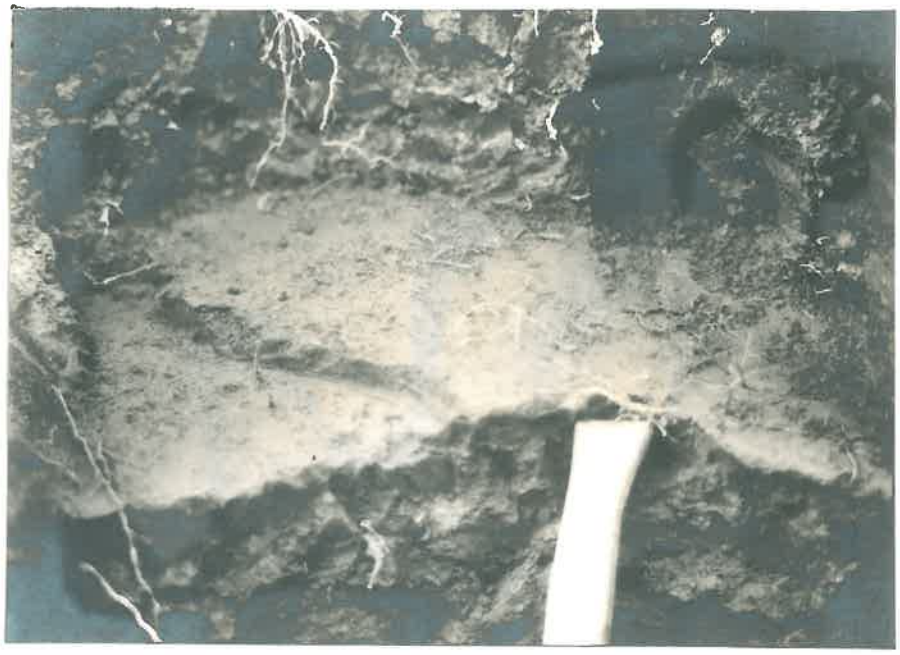


photo.17 Galerie au dessus des cailloux



L'eau circule dans la galerie. Lors de pluies plus intenses, des éléments fins se sont déposés dans le tiers inférieur.

connaissance du milieu :

- observations sur les populations de pucerons
- observations sur la répartition des attaques de Pietin échaudage.

Nous nous bornerons à un bref exposé des faits.

## 2. - QUELQUES OBSERVATIONS SUR LES POPULATIONS DE PUCERONS

Lorsque nous avons dressé les cartes de végétation du maïs dans la parcelle expérimentale, au début du mois d'Octobre 1974, nous avons remarqué qu'en certains endroits les plantes étaient couvertes de pucerons (ce seraient peut-être des *Aphis Fabae*). A ces emplacements, parfois très localisés, le maïs était bas, sec et jaune. L'observation du sol nous a révélé que ces zones d'attaque de pucerons, liées à une mauvaise croissance des racines, correspondaient exactement à une lentille d'alluvions caillouteuses, qui affleuraient à cet endroit. Nous avons alors cherché d'autres foyers d'attaque de Pucerons dans la parcelle expérimentale et dans la parcelle de Méjusseaume, pour en arriver à la conclusion suivante : A cette époque de l'année, dans les conditions de 1974, il y avait une attaque très importante de pucerons sur maïs en chaque endroit où les alluvions caillouteuses se trouvaient à moins de 50 cm de profondeur.

Il ne nous appartient pas de donner ici des explications à ce phénomène. Cependant, il est probable que les Pucerons n'aient joué qu'un rôle de révélateur de la mauvaise croissance du maïs. En effet, les réserves en eau sont faibles sur alluvions caillouteuses, et, à la fin de l'été sec de 1974, le maïs devait présenter déjà des caractères de souffrance (faible hauteur, couleur jaune). Ce sont peut-être ces caractères qui ont attiré les pucerons.

## 3. - QUELQUES OBSERVATIONS SUR LA REPARTITION DES ATTAQUES DE PIETIN ECHAUDAGE

La parcelle expérimentale du Rheu a été emblavée depuis 1971, 2 ans en maïs-grain, puis dans une partie, 2 ans en blé d'hiver. Or, la deuxième année en blé, on a pu voir une localisation des foyers de

Piétin échaudage au niveau de l'emplacement d'un ancien talus.

La suppression du talus a été faite dans cette parcelle en 1982. Leur emplacement est facilement repérable par la dépression qui subsiste. De plus, l'horizon sous l'Ap se distingue par sa faible cohérence. Enfin, on retrouve très bien les anciennes racines d'arbres.

Les causes de cette localisation sont sans doute complexes. Peut-être s'agit-il de problèmes d'humidité ou de circulation d'eau ? En tous cas, cet exemple montre bien l'étroite relation qui existe entre les conditions de milieu (le sol en particulier) et les infections parasitaires.

*En résumé, nous pouvons donc tirer les conclusions suivantes :*

- *Lorsque les plantes sont placées dans de mauvaises conditions, elles semblent plus sujettes aux attaques des parasites telluriques mais aussi aériens.*
- *Il existe une relation étroite entre les caractères d'un sol et les attaques parasitaires*
- *La vie du sol, dans la complexité de ses équilibres biologiques, est influencée par des états sur lesquels l'homme a une action : tassements du sol, émiettement, mélange des constituants organiques et minéraux, etc....*

# CHAPITRE 5

# ETUDE SYNTHETIQUE

# ETUDE SYNTHETIQUE

Dans les parties précédentes, nous avons étudié, les uns après les autres, différents éléments du profil cultural. Mais après avoir observé chaque rouage en ses détails, il nous faut examiner le fonctionnement de l'ensemble, c'est à dire réfléchir sur le fonctionnement du profil cultural tel que nous l'avons décrit. Pour cela,nous avons un terrain d'étude de choix : la parcelle expérimentale du Rheu; nous y avons fait la plupart de nos observations; nous avons pu suivre, dans la mesure du possible, chaque opération culturale; de plus, nous possédons un certain nombre de données fournies par les chercheurs phytotechniciens et surtout par P.CURMI dans son mémoire de fin d'études "contribution à la connaissance des formations superficielles du Bassin de Rennes" (1974).

Nous nous efforcerons donc au cours de ce chapitre, d'approfondir la connaissance de cette parcelle; ceci nous semble important pour la suite de cette expérimentation qui durera encore de nombreuses années. Nous mettrons ainsi en évidence des facteurs d'homogénéité, mais aussi d'hétérogénéité au niveau de cette parcelle. Puis, à la lumière de ces résultats, nous essaierons de redéfinir le profil cultural-type de cette parcelle, ce qui nous amènera à quelques réflexions sur les assolements céréaliers.

## 1. - ETUDE DE L'HOMOGENEITE DU SOL DE LA PARCELLE

Nous avons trois sources de renseignements :

- les cartes pédologiques de P. CURMI
- les cartes de rendements fournies par le Laboratoire de Phytotechnie
- les cartes de végétation que nous avons dressées en Octobre 1974 sur maïs.

## 1.1 - CARTES DE VEGETATION ET CARTES DE RENDEMENTS

Nous avons exposé dans le chapitre 2, la démarche qui nous a poussés à dresser des cartes de végétation du maïs. Le paragraphe 2 du chapitre 2 a précisé la méthode suivie et les critères pris en compte. hauteur du maïs, degré de sécheresse, aspect chlorotique. Nous avons alors montré qu'il y avait des relations nettes entre le développement des plantes et l'état du profil cultural. Nous possédons donc à présent un élément de diagnostic du sol par l'intermédiaire des plantes.

### 1.11 - Carte de la hauteur du maïs (figure n° 36)

On note tout d'abord la complexité de la carte : il y a des zones basses au niveau de maïs plus haut et vice versa. Cependant de grands ensembles s'individualisent nettement :

- sur la périphérie, trois zones allongées encadrent la parcelle: le maïs y est bien développé et mesure souvent plus de 2.15 m (mesuré jusqu'au sommet de la fleur mâle). On appellera ces bandes les zones I, II et III.

- la zone IV est très nette : c'est une bande de maïs très petit (moins de 1.70 m), souvent couché, qui traverse la parcelle en oblique Est-Ouest.

- au centre de la parcelle, se trouve un ensemble assez hétérogène, appelé zone V, où le maïs est en général relativement petit (inférieur à 2.00 m, jusqu'à moins de 1.50 m).

- enfin, on note l'effet de bordure sur 2.00 m du côté sud-ouest de la parcelle.

### 1.12 - Carte de l'aspect chlorotique et de dessèchement du maïs (figure n° 37)

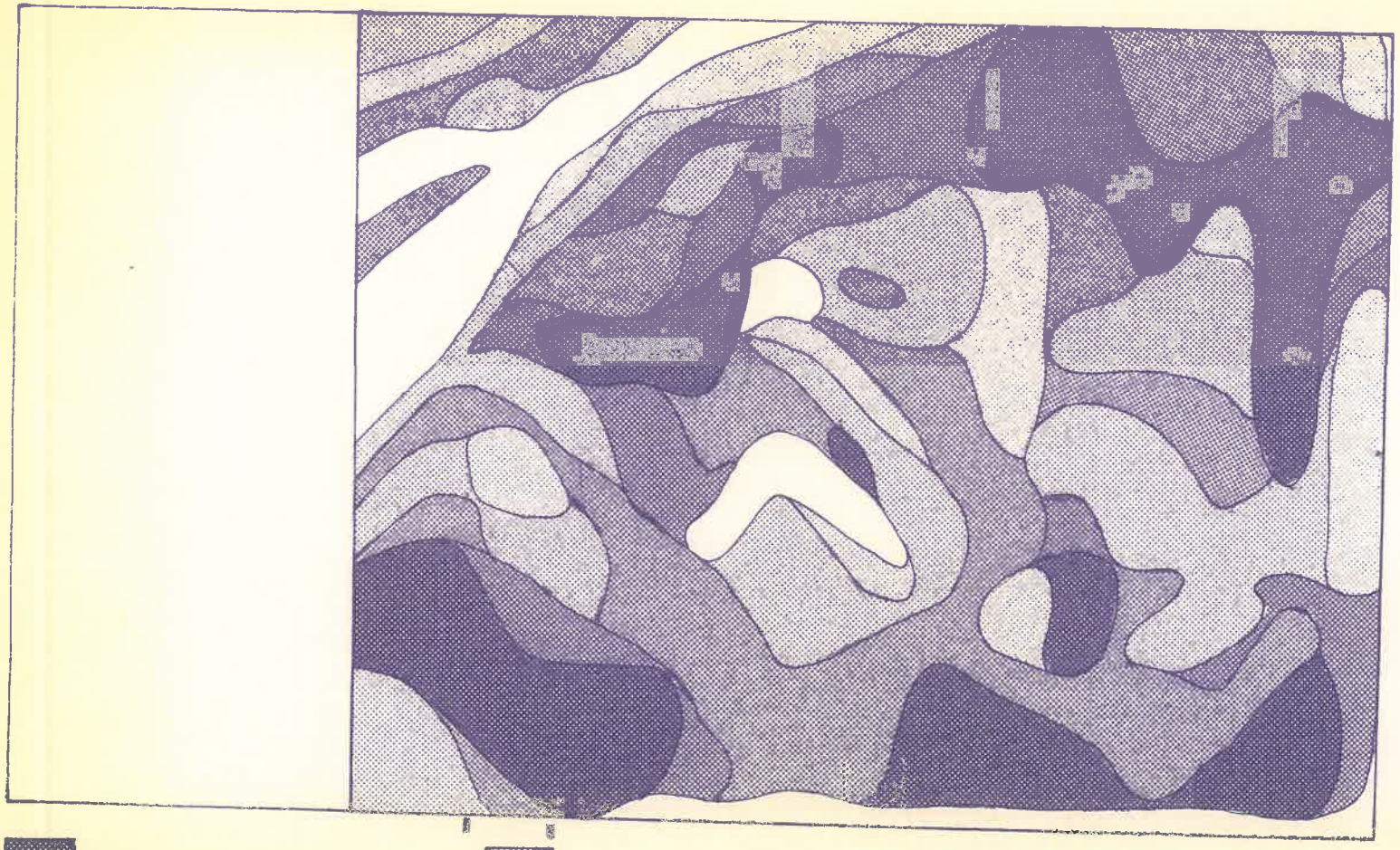
Il faut tout d'abord préciser le caractère plus subjectif et relatif de ces relevés. Alors que les hauteurs étaient mesurées à l'aide d'une réglette très précise, ces observations ne reposent que sur la fiabilité de l'oeil. En outre, pour les raisons exposées au chapitre 2, § 2, nous ne raisonnerons que très peu sur le caractère sécheresse.

- les zones I, II et III sont en général bien vertes

- la zone IV est toujours très jaune

- la zone V regroupe la majorité des plages à aspect chlorotique. Les plantes y ont assez souvent un aspect sec, surtout à la limite avec la zone I.

Fig. 36 Carte des hauteurs du maïs



N

échelle 1/1000

2.15 < h

2.10 < h < 2.15

2.00 < h < 2.10

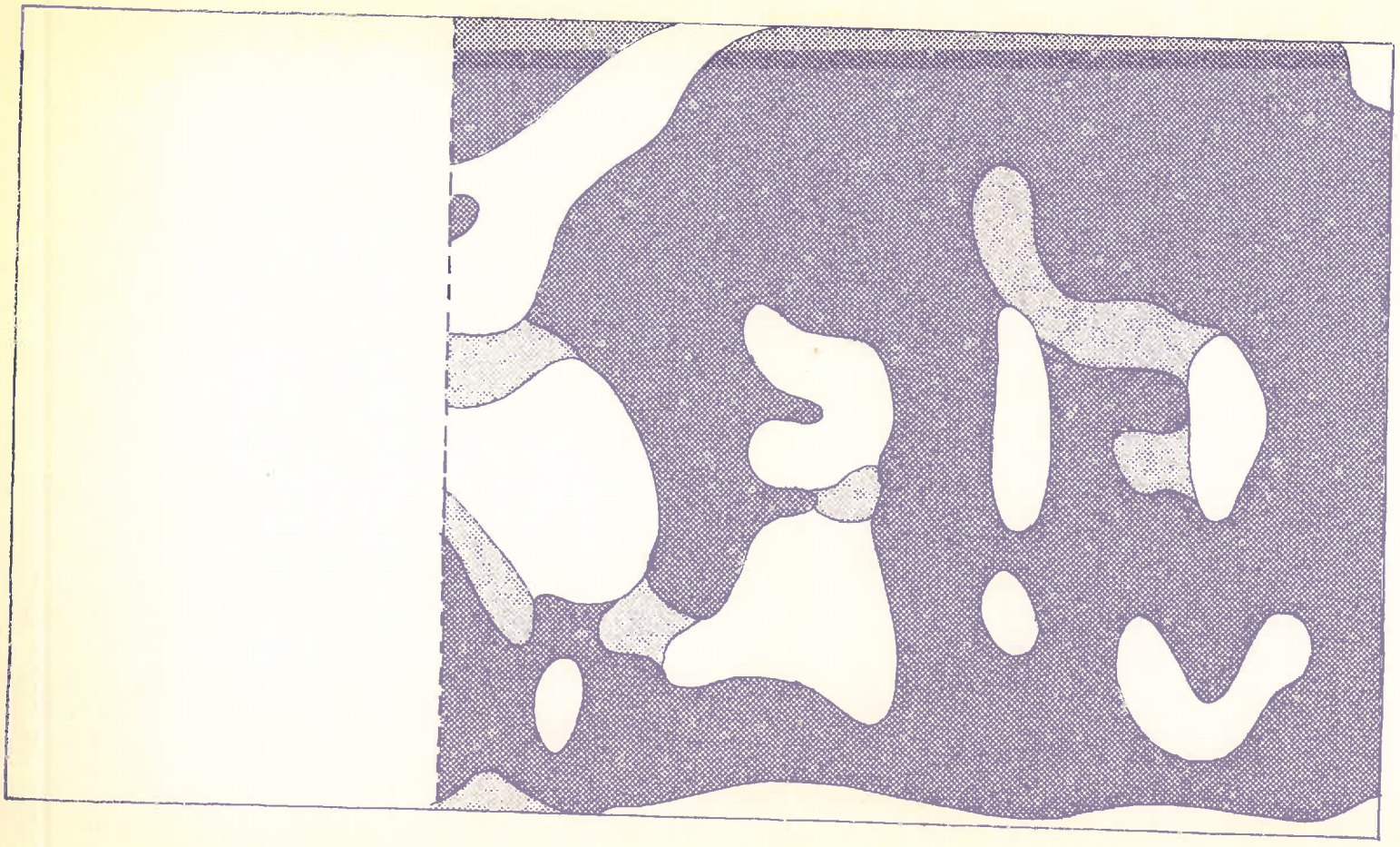
1.90 < h < 2.00

1.70 < h < 1.90

h < 1.70

h = hauteur du maïs mesurée de la base au sommet de la fleur mâle (en mètres)

Fig.37 Carte de l'aspect chlorotique du maïs




échelle 1/1000

maïs bien vert

maïs un peu jaune

maïs jaune

### 1.13 - Comparaison de ces cartes avec les cartes de rendements (figure n° 38)

Deux cartes de rendements étaient disponibles : rendement en matière sèche de la plante entière et rendement en matière sèche du grain.

- zones I, II et III : les rendements y sont les plus importants
- zone IV : rendements très faibles ou nuls (surtout marqué par la plante entière)
- zone V : rendements faibles ou moyens, particulièrement nets en ce qui concerne les rendements en grains.

Remarque : Les limites d'unité ne correspondent pas toujours exactement; ceci est probablement dû au mode d'établissement de la carte : découpage de la parcelle élémentaire 9 m x 20 m et estimation de rendement sur les 2 rangs du centre

*En résumé, si on prend en compte les critères de rendement et d'aspect végétatif du maïs, on peut distinguer cinq ensembles (figure n° 39)*

*- Trois zones I, II, III où le maïs est haut, bien vert, et où on obtient de plus forts rendements*

*- La zone IV regroupe des maïs très bas et très jaunes; les rendemnts y sont faibles.*

*- La zone V occupe le centre de la parcelle. Elle est caractérisée par des maïs irréguliers, généralement plus bas que sur les bords, parfois très bas, jaunes et secs. Les rendements, en particulier les rendements en grains, y sont faibles.*

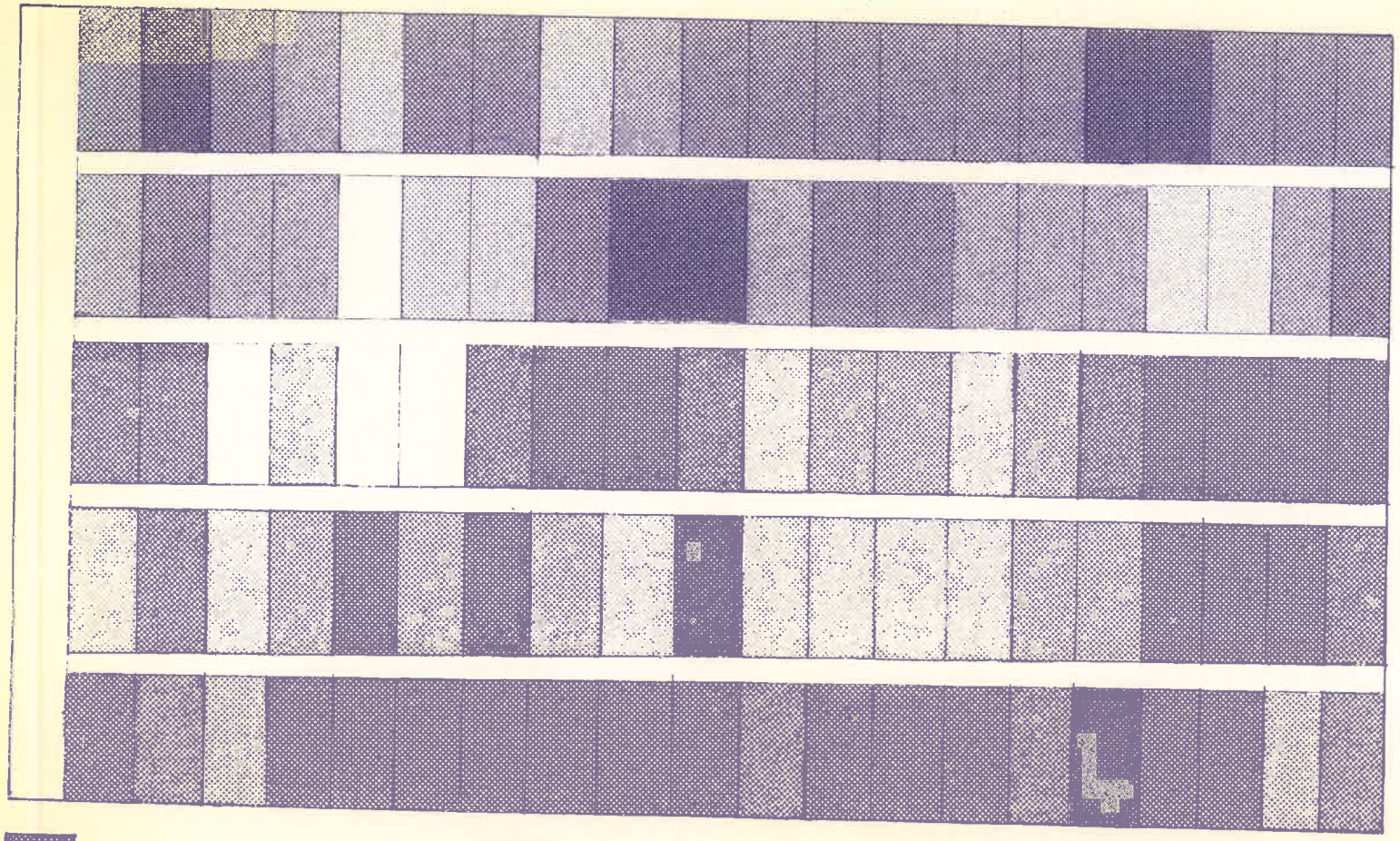
Nous avons mis en évidence différents ensembles cartographiques pour le maïs. Or nous avons vu (chapitre 2) qu'il existait une relation étroite entre le développement de la plante et les caractéristiques du sol. Il s'agit donc maintenant de comparer cette carte du maïs avec la carte pédologique de la parcelle dressée par P. CURMI.

## 1.2 - CARTE DU MAIS ET CARTES PEDOLOGIQUES

### 1.21 - Carte topographique

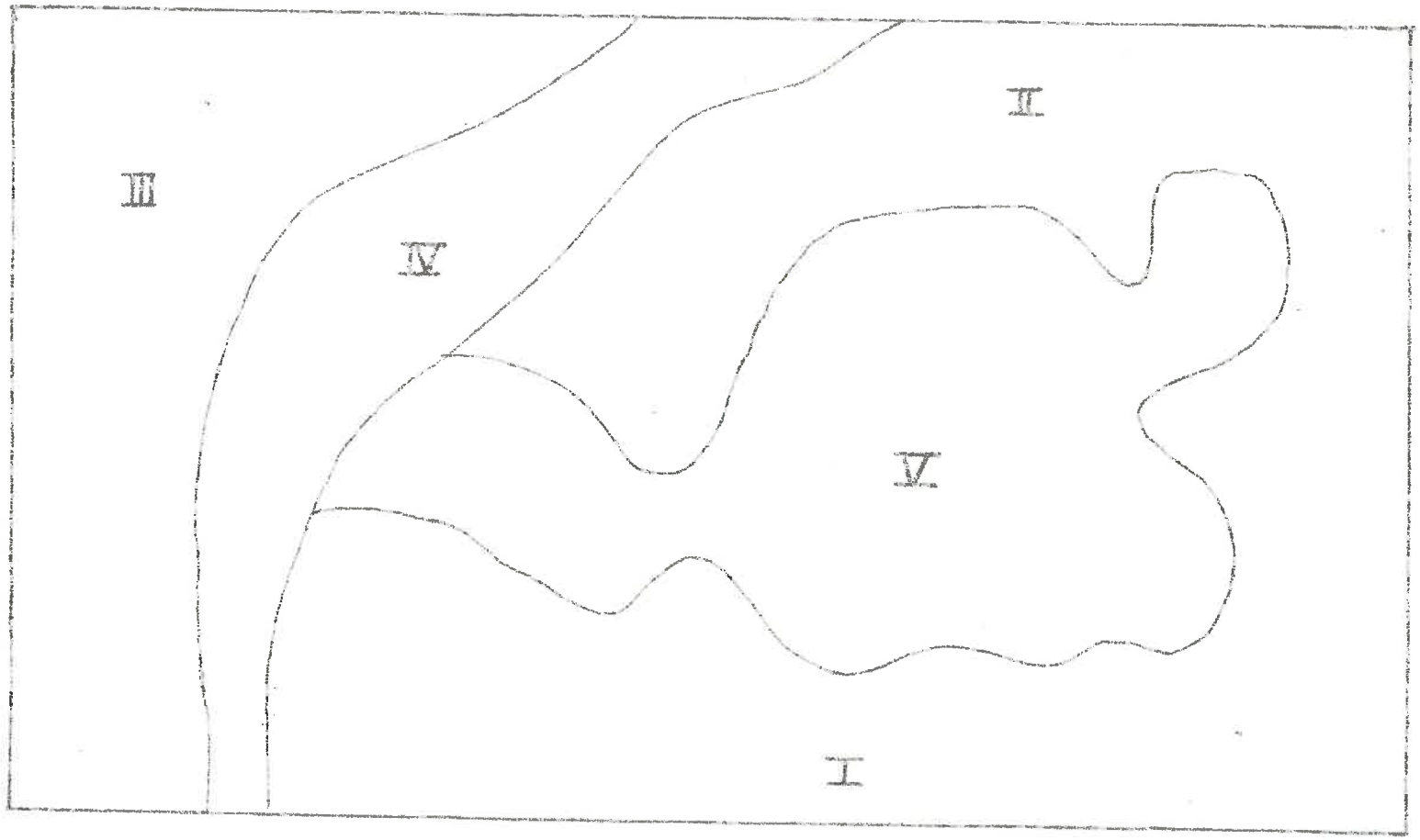
Dans le travail de P. CURMI, on trouve tout d'abord une carte topographique (figure n°40 ). En comparant avec la carte du maïs

Fig. 38 Carte des rendements en matiere seche : maïs grain




q : estimation du rendement sur 15 m² (en kg)

Fig.39 Carte synthetique du mais




N

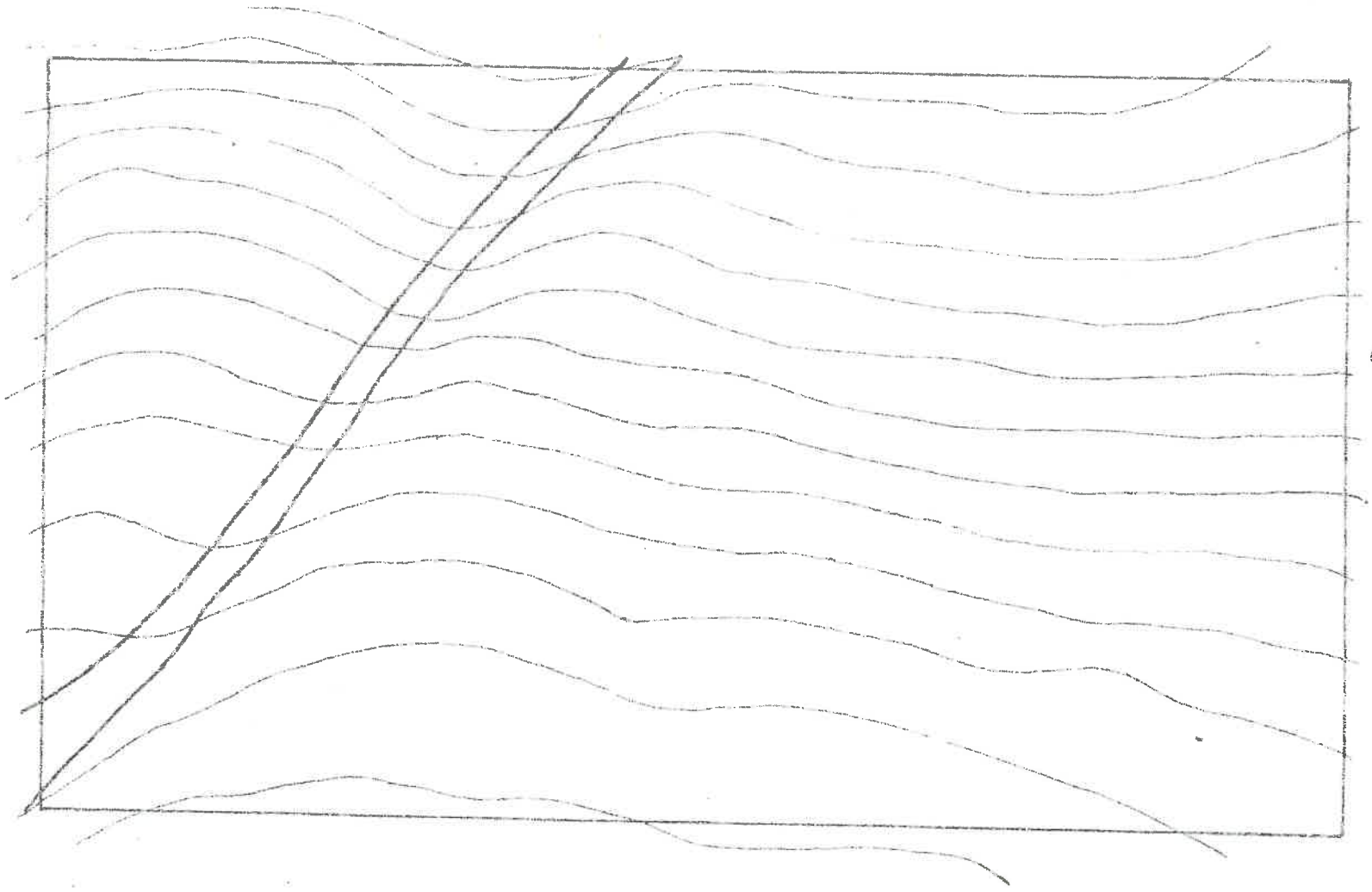
échelle 1/1000

I,II,III : zones périphériques
- maïs haut et vert
- rendements les plus forts

IV : emplacement de l'ancien chemin creux
- maïs très bas et jaune
- rendements très faibles

V : zone centrale
- maïs bas, irrégulier souvent jaune
- rendements faibles ou moyens

Fig.40 Carte topographique (d'après P. CURMI)




emplacement de
l'ancien chemin creux

courbes de niveau
(équidistance 1 m)

on retrouve très bien la zone de l'ancien chemin qui s'inscrit en creux dans le paysage. On voit d'ailleurs aussi bien l'emplacement de l'ancien talus dans la partie monoculture blé que nous n'avons pas cartographiée.

Il apparait d'autre part que la parcelle a une pente SO-NE, mais il semblerait que celle-ci soit moins forte sur le pourtour de la parcelle qu'au centre. Toutefois, un relevé topgraphique plus précis serait nécessaire pour confirmer cette affirmation.

*Donc, d'ores et déjà, deux résultats intéressants :*

- *la zone IV correspond à l'emplacement d'un ancien chemin creux.*
- *le centre de la parcelle (zone V) aurait une pente plus forte que les pourtours (zones I, II et III).*

1.22 - Place de la parcelle de maïs par rapport aux principales unités pédologiques

La carte pédologique a été dressée sur une grande parcelle de l'INRA où se trouve, entre autres essais, la parcelle qui nous intéresse. Cette cartographie repose sur une étude morphogénétique : à partir de différents points d'observation, on a mis en évidence des mécanismes pédologiques (lessivage, érosion, hydromorphie, dégradation). On a créé ensuite des unités cartographiques selon les mécanismes prédominants.

*La parcelle à laquelle nous nous intéressons est incluse presque totalement dans la même unité cartographique. Cela est un facteur d'homogénéité intéressant : elle se trouve dans une unité de versant, caractérisée par un sol peu différencié en voie d'érosion et de lessivage, peu hydromorphe.*

De ces caractéristiques, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- l'érosion existe et l'on risque de rencontrer des sols peu épais.
- le lessivage est relativement peu marqué: l'entrainement de l'argile et du fer sera donc modéré. La capacité d'échange reste pourtant assez faible (P. CURMI). La différenciation en A2 et B entraine toujours une diminution de la stabilité structurale dans les horizons superficiels. Dans ces sols de limons, cela se traduit par de la battance de surface et une susceptibilité accrue aux tassements.

- ce sol serait peu hydromorphe : la pente assez forte favoriserait l'écoulement des eaux.

## 1.23 - Relations entre les types de formations pédologiques et l'état du maïs

### 1.231 - Rôle des substrats

Si la parcelle est homogène sur le plan des mécanismes pédologiques prépondérants, elle ne l'est pas en ce qui concerne le substrat. (Les figures 41 et 42 montrent les différents types de profils et leur répartition sur la parcelle).

La carte de répartition des différents types de profils ne présente que peu de ressemblances avec notre carte du maïs. On ne retrouve que l'emplacement du chemin creux et une zone à très faible productivité qui coïncide avec un affleurement du cailloutis rouge. En ces deux endroits, le sol était peu profond. Plus que le type de profil, c'est donc l'épaisseur de la couche de limon qu'il faut considérer.

### 1.232 - Rôle de l'épaisseur des couches limoneuses

La carte de l'épaisseur du limon (figure n° 43) indique que celui-ci est peu épais au niveau de l'ancien chemin et au centre de la parcelle. Dans cette deuxième zone, l'épaisseur du limon est toujours inférieure à 80 cm et nous avons pu observer sur le terrain, qu'en certains endroits, l'horizon caillouteux affleurait.

Remarque : L'épaisseur du limon dans cette zone est très variable. Or la carte que nous utilisons a été dressée à partir d'un nombre faible d'observations, ce qui explique l'imprécision des limites cartographiques.

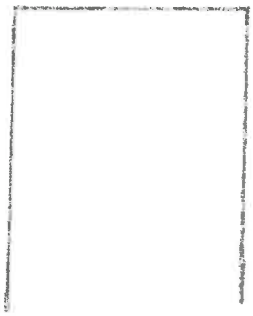
*La relation entre le sol et la productivité du maïs se précise donc. L'épaisseur du limon serait un facteur important pour la productivité du maïs.*

De ce résultat on peut tirer les conclusions suivantes :

- le terrain est situé en pente et les phénomènes d'érosion peuvent expliquer la faible épaisseur de la couche de limon. Il nous avait d'ailleurs semblé en étudiant la topographie, que la pente était plus forte au centre de la parcelle : cette observation est confirmée par le fait que le limon y est moins épais.

Fig.41 Différents types de profils

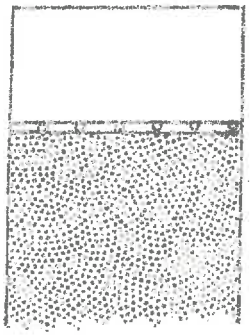
(d'après P. CURMI)



Limon ( 3m)

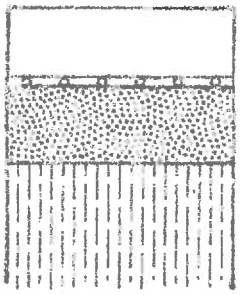


Limon (1m) / schiste

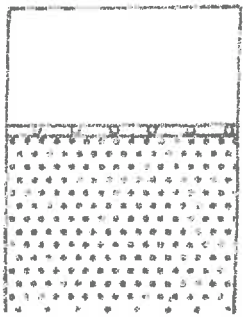


Limon (1m) / Limoneux argileux

cailloutis beige
(20 cm)

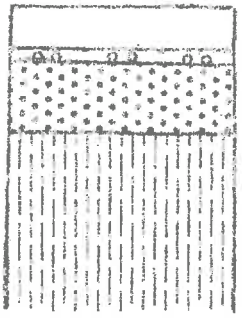


Limon (1m) / Limoneux argileux (1m)
/ schiste altéré



Limon (1-2m) / Cailloutis rouge ( 1m)

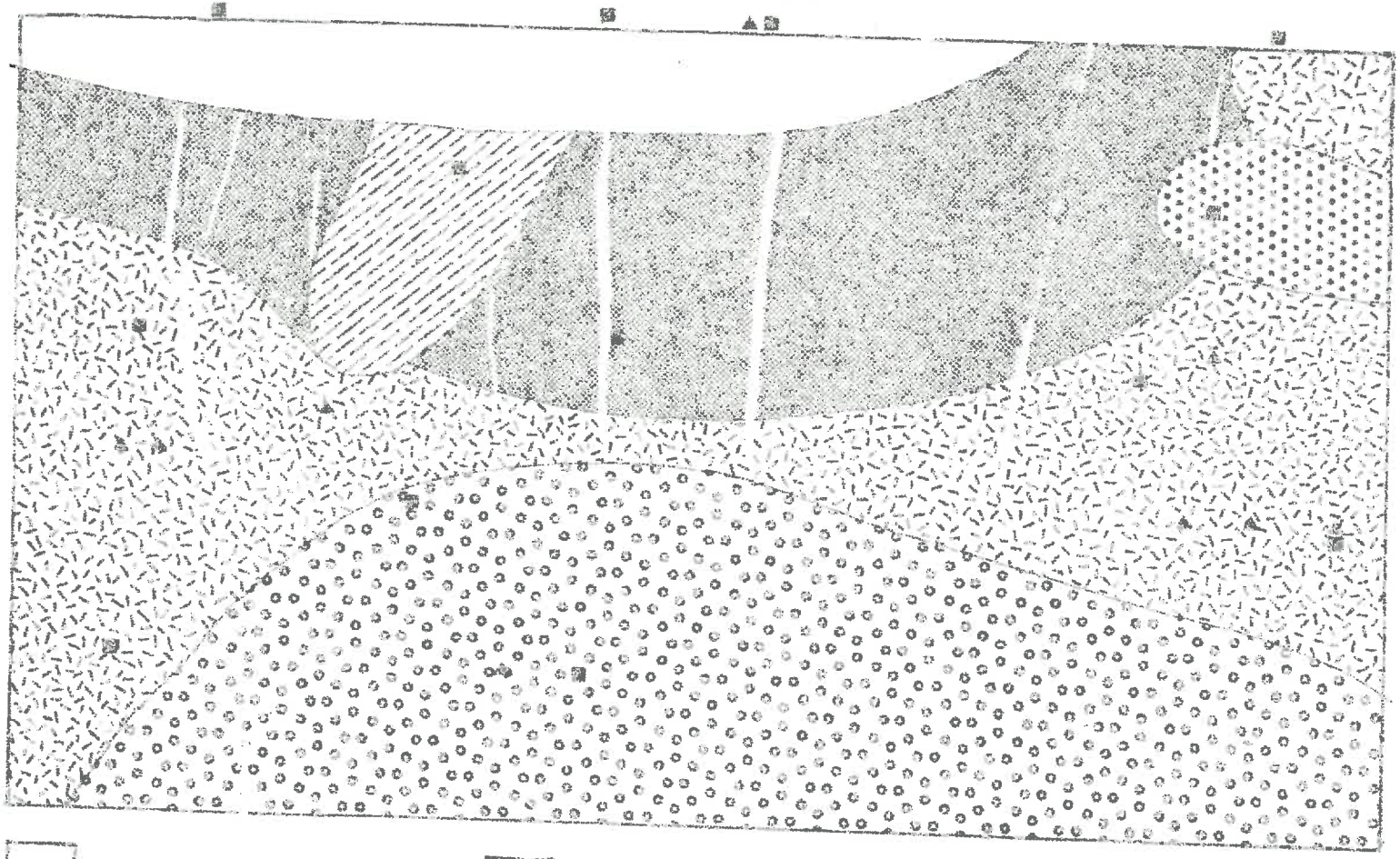
cailloutis beige
(20 cm)



Limon (50cm) / Cailloutis rouge (1m)
/ schiste altéré

Fig.42 Carte de repartition des differents types de profils

(d'après P. CURMI)




limon ( 1m)

limon (1-2m) / limoneux argileux

limon (1-2m) / cailloutis rouge( 1m)

Profils pédologiques (1974)

limon (1m) / schiste

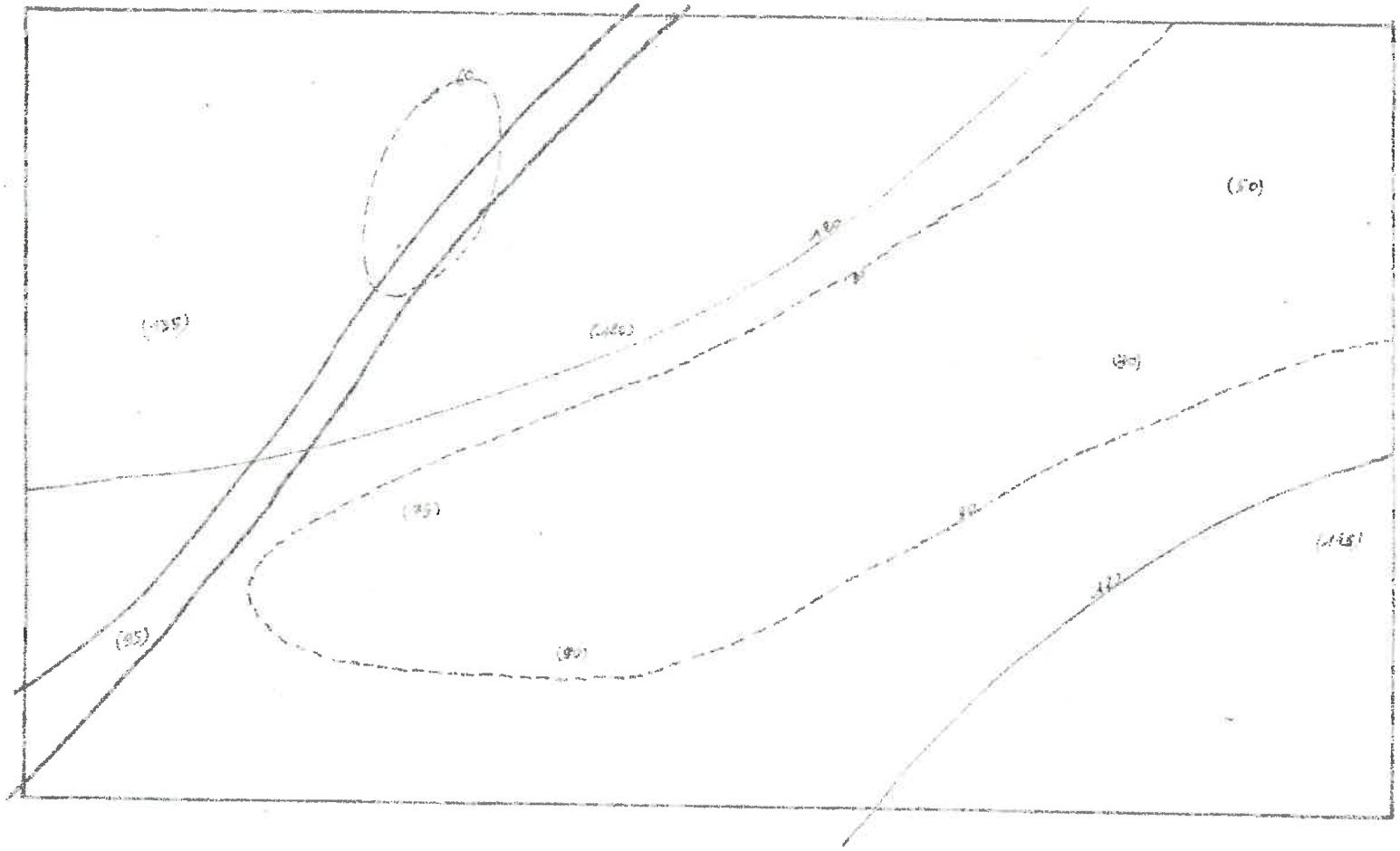
limon (1m) / limoneux argileux / schiste altéré

limon (50cm) / cailloutis rouge (1m) / schiste altéré

Profils culturaux (1974-75)

Fig.43 Carte de l'épaisseur de la formation limoneuse

(d'après P. CURNI)



N

Echelle 1/1000

emplacement de l'ancien chemin creux

courbes d'égale épaisseur du limon (cm)

(115) épaisseur du limon (cm)

- sur presque toute la parcelle, on retrouve le cailloutis beige à la base du limon. Or c'est un obstacle à peu près infranchissable pour les racines. On comprend alors l'importance de la profondeur à laquelle il se trouve.

- le cailloutis beige présente une porosité grossière très importante, alors que le limon a une porosité fine et que les matériaux sous-jacents sont peu poreux et imperméables. Cet horizon doit donc jouer un rôle très important pour la circultion de l'eau. En hiver, l'eau suinte à ce niveau (observation P. CURMI). Mais cette eau semble provenir en grande partie du plateau. Le cailloutis jouerait alors le rôle d'un drain à débit permanent pendant la saison humide. Ceci peut avoir deux conséquences :
  . la porosité située à la base du limon est occupée par de l'eau immobile pendant une partie de l'année, ceci étant dû à des phénomènes d'ascension capillaire (P. CURMI).
  . Dans la zone basse de la parcelle, il y a un afflux d'eau qui crée des zones humides et hydromorphes. Ceci est visible sur le bord du chemin.

Pendant la saison sèche, au contraire, les réserves en eau du sol sont très faibles si le cailloutis est situé près de la surface.

*Conclusion*

*L'épaisseur du limon sur la parcelle expérimentale a donc une influence considérable sur le développement du maïs. Elle conditionne le volume de sol exploitable par les racines et influe sur la circulation de l'eau dans le sol. En certains endroits (ancien chemin creux), c'est l'hydromorphie qui serait contraignante, en d'autres (centre de la parcelle), ce serait plutôt la sécheresse.*

*Ceci étant établi, il faut préciser que l'épaisseur du limon n'est pas la seule contrainte. Nous en avons déjà examiné d'autres dans les chapitres précédents. Les tassements dans l'horizon cultivé, les mottes et les couches compactes par exemple, gardent leur importance. Toutes ces contraintes ne sont d'ailleurs pas forcément indépendantes et, dans certains cas, elles peuvent conjuguer leurs effets sur la plante.*

## 2. - LE PROFIL CULTURAL DE LA PARCELLE

Dans plusieurs des parties analytiques qui ont précédé, nous avons eu l'occasion d'étudier le profil cultural de la parcelle sous ses différents aspects. Il nous faut maintenant en faire une synthèse dans laquelle nous regrouperons les principales caractéristiques. Nous dessinerons ainsi un schéma de base, appelé profil-type, à partir duquel nous pourrons mettre en évidence les differences induites par les divers traitements.

## 2.1 - DESCRIPTION D'UN PROFIL CULTURAL TYPE

En tout point de la parcelle, l'horizon cultivé est organisé de la manière suivante (voir figure n° 44)

- Glaçage superficiel ou battance
- 0-10 cm : Ap1
- 10-27 cm : Ap2
- 27-32 cm : semelle de labour
- Horizon sous-jacent A2, A3, AB, B ou B/C

### 2.11 - La battance

Elle apparait très vite après la préparation du sol. C'est tout d'abord un petit glaçage superficiel. Puis, sous l'action de la pluie, une couche de limons s'individualise, d'abord plus importante entre les mottes. Il arrive qu'elle n'évolue plus. Mais dans d'autres cas, elle aboutit à la formation d'une véritable croûte de battance d'épaisseur variable (1 mm à plusieurs centimètres) (voir en annexes V-1 et V-2, l'estimation de la susceptibilité à la battance sur l'ensemble de la parcelle).

La structure de ces croûtes de battance est tout à fait caractéristique : on observe des couches successives d'éléments fins, alternance de litages absolument non poreux et de lits extrêmement poreux. Les pores sont alors vacuolaires et la porosité fermée.

Le toucher indique une très forte proportion de limon. La couleur en est brun très pâle (10 YR 7.5/3).

Cette absence de résistance à la pluie indique une faible stabilité structurale (voir en annexe V-3 "La stabilité structurale"). Une petit expérience simple permet de montrer rapidement cette faiblesse de la stabilité : si l'on creuse un profil au début d'une ondée pas trop violente, on voit nettement les limons entrainés par l'eau dans les micro-reliefs situés au bord du trou. A la fin de la pluie, les parois du profil seront recouvertes de traînées blanchâtres de limons. Entrainement de limons de surface ou séparation sur place des éléments ? Toujours est-il que l'on observe parfois de tels revêtements limoneux sur les parois de fentes qui débouchent à la surface du sol.

C'est au niveau des traces de roues de tracteurs (traitements après semis) que l'on trouve les plus importantes accumulations de limons (voir photo 18 ) . Les traces de roues, dans le sens de la pente, forment des voies préférentielles de ruissellement. Or les eaux de pluies entrainent de nombreux limons du fait de la faible stabilité du sol. Après plusieurs pluies, les limons forment une croûte de plusieurs centimètres d'épaisseur au niveau de l'empreinte (Le

Fig.44 Profil type

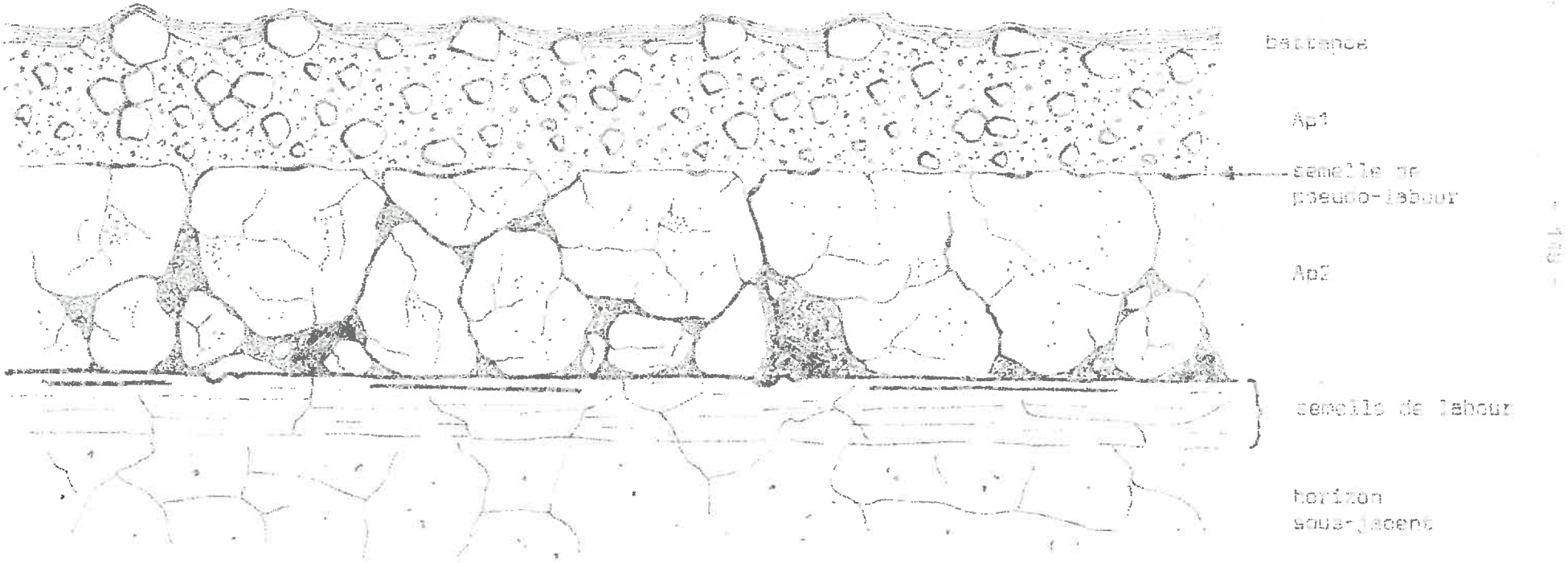


photo. 18 Accumulations de limons dans l'empreinte d'une roue de tracteur



terme de croûte de battance est ici impropre car il y a entrainement du limon sur une distance assez longue). On trouve d'ailleurs là une vérification de l'existence de phénomènes d'érosion sur la parcelle.

## 2.12 - Horizon Ap1

Cet horizon correspond à peu près au lit de semence. Il est en général assez meuble. On y trouve de nombreuses galeries, des turricules et des coprolithes. Sa structure grumeleuse est associée à une structure polyédrique. Composé d'agrégats assez fins, il présente toutefois des mottes de tailles moyennes, surtout dans sa partie supérieure (en surface).

Deux ensembles d'origine différente y sont donc associés :

- un ensemble de mottes et d'agrégats plutôt polyédriques, qui a une origine surtout mécanique. Ces éléments ont été peu remaniés depuis le fractionnement produit par les engins de travail superficiel du sol, lors de la préparation du lit de semence.
- un ensemble d'agrégats grumeleux dont l'origine est surtout biologique. Il résulte du remaniement par les organismes du sol de l'ensemble précédent.

Ces deux ensembles sont étroitement mêlés. Leurs proportions respectives reflètent en définitive l'intensité de l'activité biologique depuis la préparation du lit de semence. Mais il semblerait que le fractionnement mécanique soit indispensable pour l'installation à brève échéance d'une activité biologique importante. *Autrement dit, le fractionnement mécanique agirait comme catalyseur du remaniement biologique de cet horizon.*

## 2.13 - Horizon Ap2

Cet horizon est un ensemble complexe d'éléments de toutes tailles et de toutes origines.

Sa limite supérieure, plus ou moins régulière, est toujours très nette. Elle est soulignée par les empreintes lissées des dents d'appareils de pseudo-labour. Juste en - dessous se trouve, le plus souvent, une zone assez tassée, plus ou moins nette selon les endroits : la semelle de pseudo-labour.

En-dessous, on observe des zones à compacités variables, séparées par des poches grumeleuses ou de la matière organique. Cette organisation a été à l'origine mise en place par le labour et on peut voir les bandes de terre qui ont été découpées. Certes, l'opération du labour a fractionné les blocs, mais on retrouve des mottes très compactes, parfois séparées par de la terre plus fine. De plus, certaines parties ont été reprises par les organismes du sol.

La description et la compréhension de cet horizon sont des plus difficiles. En effet, il est non seulement marqué par son passé récent, depuis le labour et l'implantation de la culture, mais, de plus, il porte encore l'empreinte d'une histoire plus ou moins lointaine. Comment décrire et à quoi rattacher tel ensemble compact, non exploité par les racines et délaissé de la plupart des organismes macroscopiques du sol ? Ce sont peut-être les restes d'un passage de tracteur ou d'instrument de récolte de la culture précédente. Ou d'avant ? Cela suppose que le tassement du sol à cet endroit soit resté marqué et n'ait du moins pas évolué énormément vers une décompaction. *Combien de temps un tassement pourrait-il subsister ? Et si un autre tassement survenait, y aurait-il effet cumulatif ? Ce sont là des questions essentielles auxquelles il serait intéressant de pouvoir répondre.* Pour notre part, nous ne pouvons apporter que l'observation suivante : nous avons reconnu des mottes compactes découpées par le labour, 6 mois après celui-ci, en Octobre, sous culture de maïs et, une autre fois, en Mai, après 5 mois 1/2, sous culture de blé. Ces mottes avaient toujours leur forme originale, des contours très nets, une compacité et une porosité propres, différentes du milieu environnant. Dans les deux cas, elles avaient été des obstacles pour les racines (surtout pour le maïs).

## 2.14 - Semelle de labour

Elle est présente sur toute la parcelle bien qu'elle ne soit pas continue (voir photo 19 ). Classiquement, elle est constituée d'un lissage et d'un tassement sur quelquefois 10 cm d'épaisseur. Il arrive que l'on trouve plusieurs semelles superposées et l'on peut fréquemment distinguer la marque du soc de celle de la pointe du soc ou du talon (voir photo 20 ). Le matériau a quasiment perdu toute sa porosité fine et il n'est traversé que par des galeries de gros lombrics. La porosité augmente progressivement lorsque l'on passe à l'horizon sous-jacent.

Il existe cependant de nombreuses variations au niveau de l'épaisseur de la semelle, de sa porosité, etc... On regroupe ainsi souvent sous le même vocable des organisations qui, malgré leur origine commune, ont des caractéristiques différentes. Leur incidence sur les plantes, la vie du sol, la dynamique de l'eau, etc... pourra donc être variable selon les endroits; d'autant plus que certains caractères (résistance à la pénétration et densité apparente, par exemple) sont susceptibles de changer selon l'humidité et l'époque de l'année.

## 2.15 - Horizon sous-jacent

Il peut s'agir d'un horizon limoneux de type A2 ou A3 (lessivé), B (accumulation), B/C ou C (horizon caillouteux, schiste)

photos 19 et 20 Semelle de labour



Semelle bien marquée, lissée et continue sur tout le profil (on distingue bien aussi l'Ap1 et l'Ap2)



Deux semelles superposées.
A gauche, empreinte de talon de la charrue.

En partant du profil théorique ainsi défini, on met en évidence des variations de certains caractères dues à différents facteurs :

- la culture en place
- le précédent cultural
- l'époque d'observation

## 2.2 - VARIATIONS SELON LA CULTURE

Pour le maïs et pour le blé, les différences apparaissant dans l'état structural du sol, ont deux origines principales :

- dates différentes de travail du sol
- systèmes racinaires différents.

### 2.21 - Dates de travail du sol : conséquences sur l'état structural

Il existe en fait peu de variations dans l'arrangement du profil cultural, mais celles-ci apparaissent au niveau de l'organisation de chaque couche ou horizon. Ainsi, l'horizon Ap1, dans les conditions de cette année, est en général plus poreux et plus grumeleux sous maïs. Au contraire, sous blé, les mottes sont plus nombreuses, l'horizon est moins meuble et aussi moins épais.

Par contre, la semelle de pseudo-labour serait, semble-t'il plus développée sous maïs. Les traces de dents d'engins de travail superficiel y sont nombreuses.

Les labours ont été faits à des époques différentes pour le blé et le maïs. Dans les deux cas, on a pu observer des lissages plus ou moins marqués et la semelle est présente partout. Cependant, pour le blé, le labour a été repris tout de suite en vue du semis, tandis que pour le maïs les mottes découpées par la charrue sont restées à l'air libre pendant plus d'un mois et demi (labour le 12 Mars, semis le 30 Avril). Pendant ce laps de temps a eu lieu un début de structuration sur le bord des mottes (voir figure n° 45.

*Ce fait mérite d'être signalé car il montre qu'une possibilité de structuration sous l'effet des agents climatiques, existe dans ces sols. De plus, cette observation nous a permis de reconnaitre par la suite au sommet de l'Ap2 des mottes présentant la même structure, provenant donc directement des bandes de terre du labour.*

Certes, globalement, l'importance de cette structuration est faible, mais nous avons remarqué que, à la surface du champ de blé, toutes les mottes présentaient le même phénomène de structuration, à condition qu'elles ressortent bien de la terre environnante. Une conclusion s'impose : le semis immédiat après labour enlève une chance de restructuration de mottes compactes.

## 2.22 - Systèmes racinaires différents : conséquences sur l'état structural

Les racines de blé et de maïs ont des comportements différents :

- -les racines de maïs marquent tous les obstacles et sont très vite arrêtées par des zones compactes ou des mottes
- - au contraire, les fines racines du blé réussissent à progresser dans beaucoup de milieux, leurs difficultés étant révélées par des coudes et des amincissements dans les endroits plus compacts

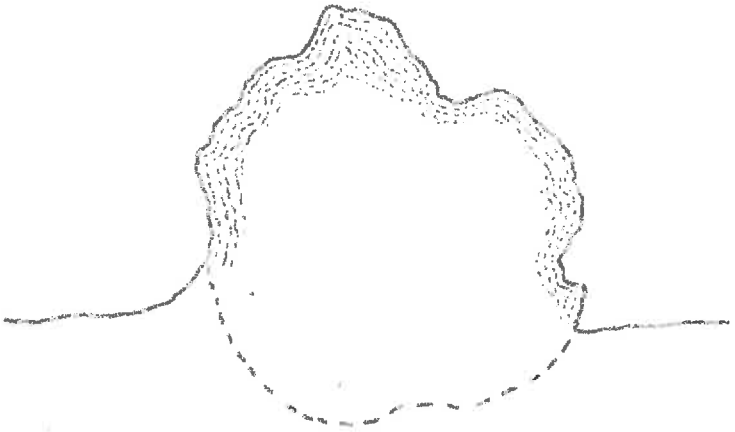
On est surpris alors par l'observation suivante : il existe sous les pieds de maïs, des poches grumeleuses, à forte concentration de racines, tandis que, sous le blé, on n'observe rien de semblable. Effet direct des racines de maïs sur la structure du sol ou causes indirectes ? Il est difficile de le dire. Toujours est-il que le pied de maïs a un effet structurant : sous la ligne de maïs, l'Ap2 est toujours grumeleux (voir figure 46.

*Remarque : De cette observation, il ne faudrait pas tirer trop rapidement la conclusion que le maïs est une culture améliorant la structure du sol. En effet, les poches grumeleuses sont localisées et ne touchent pas les inter-rangs. De plus, d'autres facteurs interviennent (conditions de récolte, passage de tracteurs, etc...)*

## 2.3 - VARIATIONS EN FONCTION DU PRECEDENT CULTURAL - ROLE DES RESIDUS DE RECOLTE

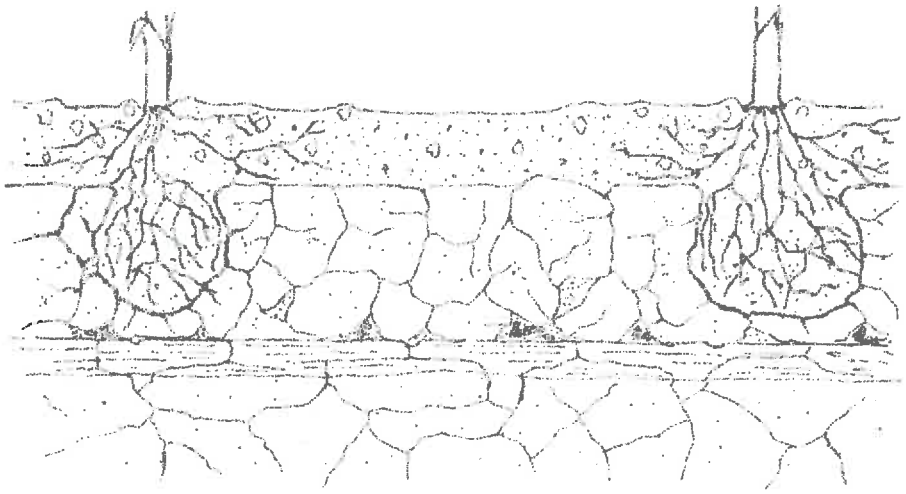
Lors de la préparation du sol ont été enfouis les débris végétaux subsistant de la culture précédente. Le maïs a fourni des quantités importantes de restitutions (fanes, tiges, rafles). Malgré un broyage préalable, tous les débris végétaux se sont trouvés accumulés par la charrue en bouchons enfouis sur le fond du labour

Fig.45 Structuration d'une motte



La structure lamellaire très fine (0.5 à 1 mm) suit exactement les contours de la motte. Elle a une épaisseur globale de 0.5 à 2 cm.

Fig.46 Poches grumeleuses



Les poches grumeleuses de dimensions variables, restent localisées sous les pieds de maïs.

Les conséquences d'une telle localisation sont diverses. Les poches de matière organique peuvent constituer des obstacles mécaniques aux racines. Mais surtout, dans de telles conditions, la matière organique se décompose mal. Elle évolue peu et pendant tout l'hiver et une partie du printemps, chaque bouchon est entouré d'une auréole de réduction. Ceci est encore accru lorsque le sol est compact. Il semble que dans ces conditions, l'apport important de matière organique par le maïs profite bien peu au sol : dans la parcelle expérimentale, les teneurs en matière organique de l'horizon cultivé sont en général inférieures à 2 % (P. CURMI, 1974).

Dans la partie monoculture maïs les résidus ont été broyés à la même époque, mais ils sont restés à la surface du sol jusqu'à la mi-mars. Il semblerait, d'après les observations ultérieures, que cette étape a été bénéfique pour l'évolution du maïs. Il faut dire aussi qu'il a été mieux réparti dans le sol lors de son incorporation.

Dans le cas du blé, pailles et chaumes ont été enfouis. Mais le champ avait été déchaumé auparavant, ce qui fait que la matière organique avait déjà bien commencé son évolution lors de l'enfouissement. En général, les résidus de paille, mieux répartis et en quantités moins importantes, ne présentent pas les inconvénients des résidus de maïs.

*Ainsi le rôle du précédent est surtout visible dans le profil cultural au niveau de la répartition et de l'évolution de la matière organique. Cependant, chaque plante ayant par son système racinaire, une action spécifique sur la structure du sol, il est fort probable que l'état structural de la culture suivante en sera marqué. Il faudrait des études finies et suivies pour le démontrer. D'autre part, à la culture sont associés des instruments de récolte et de traitements. Nous verrons que, s'ils sont employés dans de mauvaises conditions, ces engins créent une structure encore visible sous la culture suivante.*

## 2.4 - VARIATIONS SELON LES EPOQUES D'OBSERVATION

Selon l'époque de l'année, le sol a des caractéristiques différentes. Ainsi l'activité biologique, très peu visible en hiver, devient beaucoup plus importante au printemps. L'humidité est le principal facteur faisant varier les caractéristiques biologiques, chimiques et physiques du sol. Des grandeurs comme la densité et la porosité sont fonction de l'humidité.

Mais, de plus, ces caractéristiques peuvent apparaître différemment à l'observateur selon les saisons : les structures, par exemple, apparaissent beaucoup moins en été (sol très sec) ou après de fortes pluies d'hiver (sol trop humide). D'autre part, certaines propriétés du sol peuvent en masquer les caractères : il ne faut pas confondre par exemple les notions de résistance à la pénétration et de structure du sol.

## 3. - LES CONTRAINTES INHERENTES AUX ROTATIONS CEREALIERES INTENSIVES

Nous avons suivi tout au long de ce travail, les cultures de blé et de maïs dans trois cas différents : monoculture de blé, monoculture de maïs-grain, rotation maïs grain - blé. Ces types de rotations imposent des conditions de travail qui peuvent être contraignantes au niveau du sol.

### 3.1 - LES CONTRAINTES INHERENTES AUX SYSTEMES DE ROTATION

Le rythme imposé par la rotation maïs grain - blé est très rapide : le maïs est récolté en Novembre et le blé semé début Décembre. Le délai entre les deux cultures est très court, ce qui fait que l'on ne peut pas toujours apporter le soin nécessaire à la préparation du sol en vue du semis du blé, en particulier lorsque la saison est pluvieuse (comme en 1974). De plus, les éléments du sol n'ont pas le temps d'évoluer dans un sens favorable. La matière organique, par exemple, est enfouie fraîche à 25 cm; nous avons déjà étudié plus haut les conséquences de cette pratique. Or ces conséquences défavorables semblent moindres, lorsque les résidus sont restés plusieurs mois en surface du sol. Il est évident d'autre part, qu'après seulement un labour et un hersage, les jeunes racines de blé se retrouveront face à un sol ayant gardé les caractères de compacité qu'il avait peu de temps avant.

### 3.2 - LES CONTRAINTES INHERENTES A LA PLANTE

La plante impose des conditions de travail parfois difficiles : en 1974, le blé a été semé sous la pluie. On imagine aisément les difficultés du travail et les tassements ainsi produits. Les semis de maïs ont été retardés par une période pluvieuse. Le maïs est d'ailleurs une plante très exigeante et par là-même, très contraignante : il demande une terre bien travaillée, sèche, réchauffée, toutes ces conditions étant parfois difficiles à remplir en nos régions. Ensuite, il souffre de la sécheresse pendant l'été si les réserves en eau sont insuffisantes. Puis sa maturité étant tardive, il faut le récolter alors que les sols sont de nouveau très humides. En 1974, dans le Bassin de Rennes, certains maïs ont dû être récoltés à la main, d'autres n'ont jamais pû l'être. Mais quelles sont les conséquences que l'on a pu observer sur la parcelle expérimentale ?

## 3.3 - LES CONSEQUENCES : DESTRUCTION DE LA STRUCTURE DU SOL - EFFET DEPRESSIF SUR LA CULTURE SUIVANTE

En dehors de la formation de semelles de labour et de pseudo-labour, on a pu observer les effets des passages de deux engins :

- passage d'un tracteur après semis de blé
- passage d'un corn sheeler pour la récolte du maïs

### 3.31 - Tassement par un passage de tracteur

Peu de temps après le semis, a été fait un traitement herbicide (voir chapitre 3, § 4). Le sol était alors humide et le tracteur a provoqué un tassement qui a eu les conséquences suivantes : (voir photos n° 21,22,23,24 & 25)

- Perte à la levée d'environ 75 % des grains sur une ligne. Les seuls grains ayant pu germer sont ceux qui étaient situés à moins de 1.5 cm de la surface. Les autres ont été arrêtés par l'obstacle mécanique mais aussi chimique : chaque grain s'est très vite entouré d'une auréole grise de réduction montrant le manque d'oxygène dans ce milieu à faible porosité.

- Mauvais développement des plantules de blé marqué par un aspect rachitique, un retard de la végétation, un appareil radiculaire défectueux.

- Faible tallage herbacé.

Puis un autre traitement a été effectué, le tracteur repassant dans ses traces, ce qui a détruit la ligne à 100 % sur toute la longueur du champ.

Il est alors intéressant d'essayer de chiffrer ces conséquences, afin de fixer les idées : une roue de tracteur tasse tout l'Ap sur une largeur de 35 cm. S'il y a 7.50 m entre 2 passages, un seul traitement tasse 7 % de la surface du champ. En considérant que chaque roue de tracteur a détruit une ligne de blé, on obtient une perte de plus de 2.4 qx/ha pour un traitement (en se basant sur un rendement de 60 qx/ha).

A la lecture de ces chiffres, vient une réflexion : même s'il entraine une petite perte de rendement, le traitement est indispensable et en définitive apporte un gain de rendement. Cela est sans doute vrai lorsqu'on envisage l'effet direct et à court terme. Mais on peut se demander quels seraient les effets à long terme si les tassements étaient persistants d'une année sur l'autre et s'ils étaient cumulatifs. Ces questions fondamentales sont loin d'être résolues, mais l'exemple suivant apportera un élément de réponse.

photo. 21 Tassement sous une roue de tracteur



photo.22 et 23 incidence du tassement en début de végétation



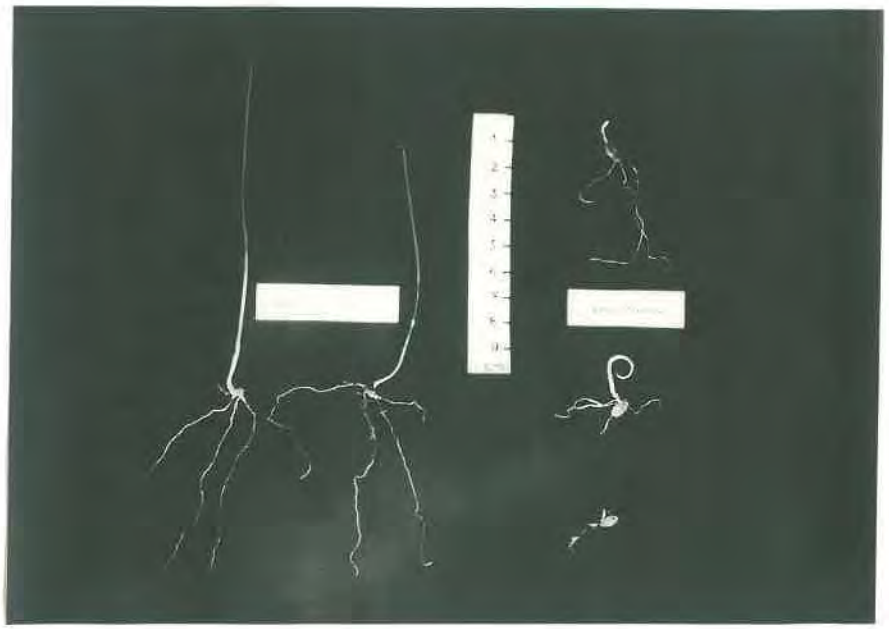
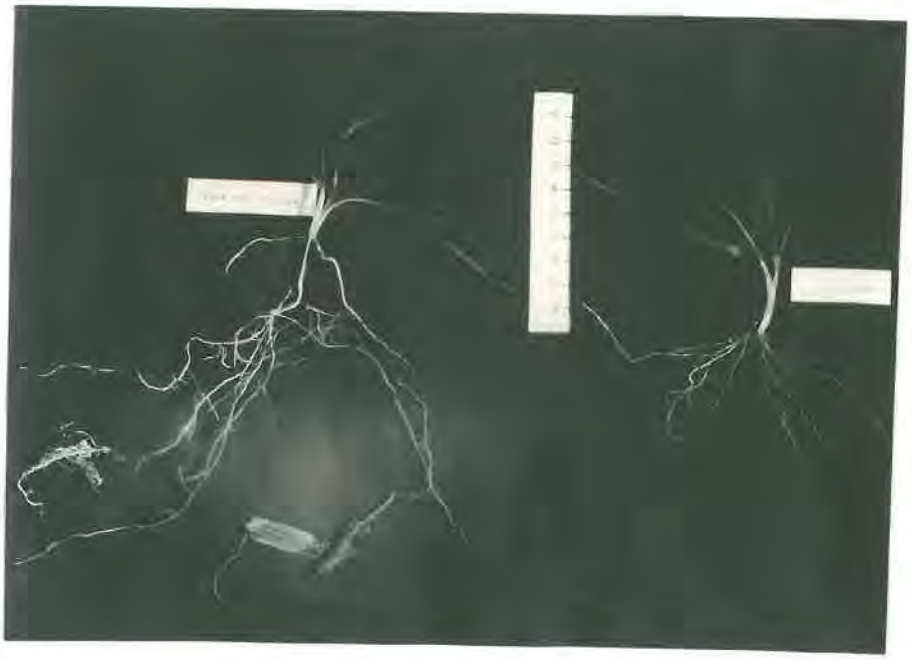


photo. 24 et 25 Incidence du tassement après tallage





3.32 - Tassement par un passage de corn sheeler

Cet instrument a été utilisé pour la récolte du maïs alors que le sol était très mouillé. C'est une machine trsè lourde qui tasse sans doute beaucoup plus qu'un tracteur (voir chapitre 3, § 2). Une roue fait 60 cm de large et tasse tout l'horizon cultivé sur 90 à 120 cm. Sachant que l'écartement des roues est de 2.45 m, on aboutit à un tassement de 35 à 45 % de la surface du champ !

*Cinq mois plus tard, au mois de Mai, on retrouvait très bien les zones tassées par le corn sheeler. A ces endroits, le blé s'était moins bien développé et sur tout le champ avec une récurrence correspondant à l'écartement des roues du corn sheeler, on voyait des bandes de blé moins haut. Puis des différences visibles se sont marquées au niveau du tallage épis.*

Pour mettre en évidence ces différences, nous avons fait des estimations de rendements avec l'aide de Phytotechniciens. Le mode de prélèvement était le suivant :

- prélèvement d'échantillons de blé au niveau de zones reconnues morphologiquement tassées et non tassées
- 10 répétitions

Les variables choisies étaient :

- rendement (prélèvement à la moissonneuse-batteuse de 3 rangs de blé sur 10 m)
- nombre d'épis sur une longueur donnée (2 m)
- poids de 1000 grains en sec et en frais

Les résultats sont les suivants :

- *Toutes les variables ont régulièrement des valeurs inférieures en zone tassée par le corn sheeler*
- Rendement : de 63.06 qx/ha, il passe à 44.79 qx/ha en zone tassée, soit une différence de 18.27 qx/ha qui équivaut à une perte de 29%.
- Nombre d'épis : en moyenne, on note en zone tassée, une baisse de 30 épis par mètre sur la ligne (de 87 épis/m, on passe à 57)
- Poids de 1000 grains : on observe une diminution moyenne du poids frais de 2.93 g (50.12 g - 47.19 g), une diminution moyenne du poids sec de 2.10 g (45.94 g - 43.84 g)

*De ces données, on peut tirer les conclusions suivantes:*

*- les tassements survenus à la récolte du maïs dans les conditions de l'automne 1974 ont persisté au moins jusqu'à la fin du printemps 1975.*

*- ni les opérations culturales, ni l'évolution naturelle n'ont supprimé les tassements pendants cette période.*

*- la culture suivante (blé) a été fortement affectée par ces tassements. L'effet des tassements s'est traduit par une mauvaise implantation des racines du blé, un mauvais développement végétatif et une nutrition défectueuse de celui-ci (grains ridés nombreux en zone tassée). En définitive, la perte de rendement de la zone tassée par rapport à la zone non tassée par le corn sheeler est de 30 %.*

Une idée principale ressort de ce chapitre : il existe une relation étroite entre le développement des plantes et les caractéristiques du sol. Certains caractères limitants sont inhérents au matériau: c'est le cas de l'épaisseur de la couche limoneuse. D'autres ont été créés artificiellement : c'est ainsi que l'on aboutit à la formation d'états structuraux défavorables aux plantes.

Les plantes elles-mêmes ont un effet sur le sol que l'on peut diviser en un effet direct (action structurante, types de matière organique ...) et un effet indirect par l'intermédiaire des contraintes qu'elles imposent (date de travail du sol, de passage dans les champs,...)

Enfin, l'importance du facteur tassement apparait maintenant nettement. Elle se situe à trois niveau :

- intensité des tassements et étendue sur la parcelle
- effet direct sur la culture en place
- effet sur la culture suivante.

# CHAPITRE 6

## CRITIQUE DE LA METHODE EMPLOYEE

## PERSPECTIVES

# CRITIQUE DE LA METHODE EMPLOYEE

# PERSPECTIVES

Nous avons donc fait, grâce à la méthode de description du profil cultural telle qu'elle est décrite par S. HENIN dans son livre "Le Profil Cultural", une approche de ce milieu très complexe qu'est l'horizon cultivé. Grâce à cette méthode, nous avons pu en même temps avoir une vue globale de l'horizon cultivé et suivre des phénomènes précis comme, par exemple, l'implantation du système racinaire. Il nous faut maintenant analyser et critiquer la méthode que nous avons employée. Dans une perspective d'avenir, il est précieux de connaitre ses avantages, afin de les mettre à profit, il est essentiel de connaitre ses défauts afin d'essayer d'y pallier.

## 1. - CRITIQUE DE LA METHODE EMPLOYEE

La méthode de description du profil cultural présente de nombreux avantages dont le premier en est l'essence même : elle est fondée sur l'observation directe. S. HENIN compare lui-même sa méthode au diagnostic du médecin qui relève différents symptômes caractérisant un état du patient. Il s'agit donc d'établir le syndrôme de l'horizon anthropique ou des ensembles qui le constituent. Et la description qualitative ainsi obtenue est bien plus intéressante que de nombreux résultats de mesures aveugles, car l'on peut replacer chaque observation dans son contexte. Ce type de description permet donc de lier le global au particulier, le détail au général.

Cependant, il existe aussi des inconvénients : la méthode est mal adaptée aux observations fines. Par exemple, on peut, lors de la description, ranger dans un ensemble homogène du point de vue de la macroporosité, des éléments très différents par leur porosité fine. Certes, grâce à son expérience, l'observateur peut affiner sa description mais il existe des limites absolues. D'autre part, on dresse un diagnostic immé-

diat de chaque profil mais les comparaisons dans le temps et dans l'espace sont délicate. Enfin, la description d'un profil cultural est une étude ponctuelle, à un moment donné du résultat de l'action de très nombreux facteurs difficiles à séparer les uns des autres.

On peut alors envisager la solution suivante : garder la description du profil cultural comme méthode de base et la compléter par d'autres méthodes pour remédier aux défauts. Les résultats obtenus par les différents procédés d'étude pourront alors être replacés sur le canevas dressé par la description du profil cultural.

## 2. - AUTRES METHODES

### 2.1 - MICROMORPHOLOGIE

Le premier inconvénient de la méthode que nous avons employée est de ne pas se prêter aux observations fines. Tout en restant dans le domaine de l'observation morphologique, nous pouvons alors passer de la macroscopie à la microscopie. La possibilité d'affiner l'observation de la porosité, par exemple, permettrait de mieux différencier les ensembles homogènes, donc d'arriver à une meilleure connaissance de leur histoire (passé), des conditions qu'ils offrent aux organismes animaux ou végétaux du sol (présent) et de leur évolution possible (futur). Un autre exemple: afin de caractériser une semelle de labour, il serait très intéressant de pouvoir suivre au microscope le passage de l'horizon cultivé à la semelle, puis à l'horizon sous-jacent. Il faut préciser que nous avons d'ores et déjà prélevé des échantillons pour lame mince en fonction des organisations reconnues macromorphologiquement; ces échantillons ont déjà été traités (imprégnation par la résine et montage entre lame et lamelle).

Il faudra cependant, pour différents échantillonnages, préciser le passage entre les échelles macroscopiques et microscopiques.

### 2.2 - MESURES DE POROSITE

Cependant, le qualitatif, à côté de ses avantages, présente aussi des inconvénients. Ainsi, les comparaisons sont difficiles,

surtout lors d'expérimentations importantes ou de longue durée. Dans certains cas, on aura donc intérêt à avoir recours à des mesures.

Les mesures de porosité semblent très indiquées pour pouvoir caractériser les différentes organisations décrites morphologiquement. En effet, l'organisation de la porosité a une incidence très grande au sein du matériau par ses effets directs sur :

- la circulation de l'eau
- l'activité biologique
- l'intensité de la minéralisation
- etc.....

et donc sur l'implantation du système racinaire d'une part, sur la localisation et la propagation des parasites telluriques d'autre part.

La porosité du sol mérite donc une étude approfondie. Il convient de souligner dès à présent que pour l'année 1974-75, nous nous sommes bornés avant tout à une étude méthodologique du problème.

De notre travail bibliographique, illustré par des visites aux laboratoires de pédologie de Versailles et d'Avignon, nous tirons les enseignements suivants : on peut considérer deux grands types de porosité :

- une porosité d'origine texturale liée à la granulométrie et à la minéralogie du matériau;
- une porosité structurale due aux facteurs agissant sur le matériau
  - le climat { gel - dégel
    { dessication - humectation
  - les plantes { résidus
    { systèmes racinaires
  - la faune { galeries
    { terriers
    { éléments coprogènes
  - les techniques culturales

  etc .....

## 2.21 - L'assemblage élémentaire : porosité texturale

Si on assimile le sol à un ensemble de particules plus ou moins sphériques de tailles différentes, on conçoit que l'assemblage de ces particules se fasse différemment suivant la forme, la taille, la répartition granulométrique des constituants : c'est l'assemblage élémentaire que l'on peut caractériser par la porosité texturale Pt.

Cependant cette porosité texturale n'est pas constante: en effet, l'assemblage élémentaire des particules peut subir certaines contraintes (tassements des particules consécutivement à des passages d'engins dans certaines conditions), certaines modifications naturelles (en fonction notamment des variations d'humidité du matériau).

Donc, pour un matériau donné n'ayant subi aucune contrainte, à une humidité donnée, la porosité texturale est caractérisable.

Cependant, on peut déjà noter que, précisément lors de variations d'humidité assez importantes, et ceci préférentiellement pour les matériaux argileux, il existe un début de structuration inhérente au matériau. On voit alors que la limite entre la porosité texturale et la porosité structurale est parfois difficile à fixer (travaux de J.C. FIES - INRA - Montfavet).

## 2.22 - Les organisations : porosités structurales (voir figure 47)

A partir de cet assemblage élémentaire, le matériau s'organise en fonction des différentes contraintes qu'il subit.

On peut distinguer un réseau principal de fissures qui définit une structure. Mais les agrégats ainsi formés présentent aussi généralement une certaine porosité interne différente de la porosité texturale (dans le cas d'une porosité organisée, on peut parler de sous-structure).

On peut donc définir une porosité totale $P_T$ qui prend en compte à la fois la porosité d'origine texturale Pt et la porosité d'origine structurale Ps.

On peut donc écrire :

$$P_T = P_t + P_s$$

Mais cette porosité structurale $P_s$ regroupe à la fois la porosité inter-mottes (ou porosité fissurale) $P_{of}$ et la porosité interne des mottes (ou porosité de fissures intra-mottière) $P_{ofim}$

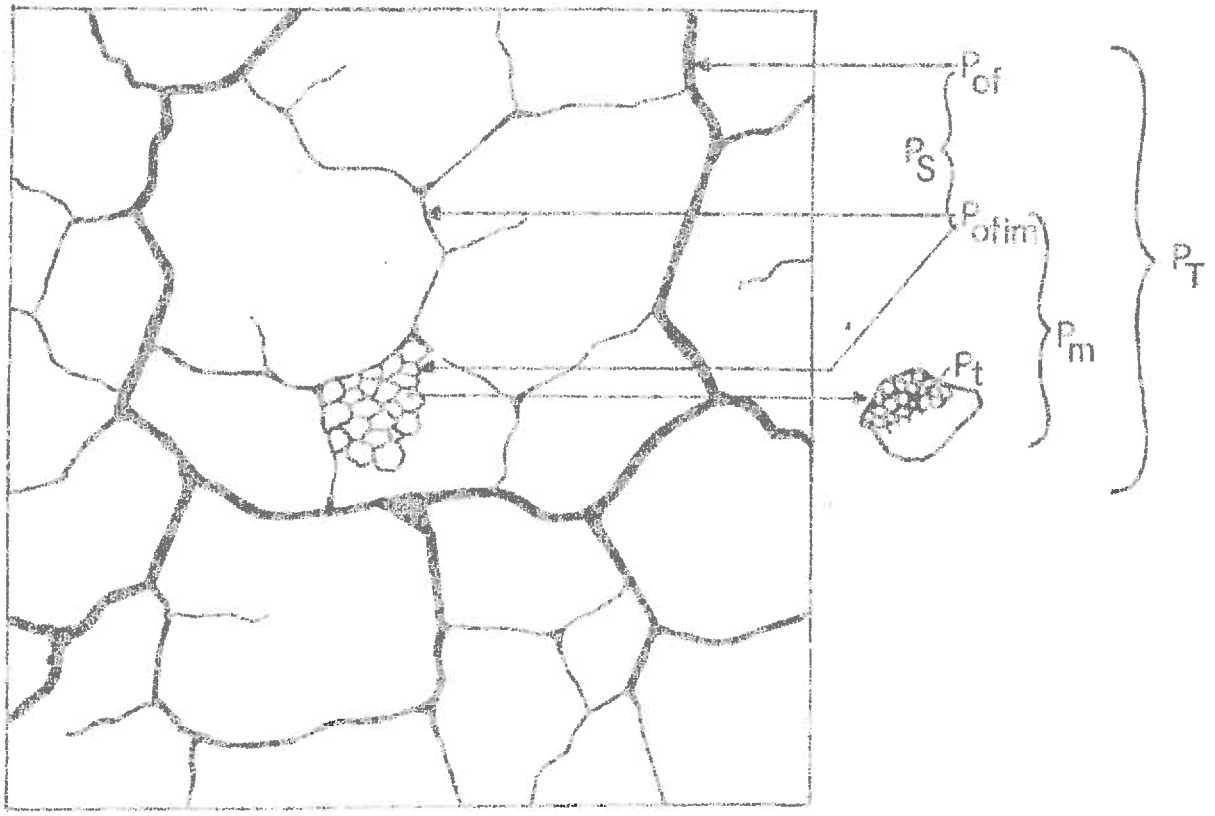
On a donc

$$P_s = P_{of} + P_{ofim}$$

Les difficultés de mesures de ces porosités interdisent leur approche directe; on peut, par contre, évaluer la porosité mottière $P_m$. Cette porosité comprend à la fois la porosité tecturale et la porosité de fissures intra-mottière, soit

$$P_m = P_t + P_{ofim}$$

Fig.47 Différents niveaux de porosité



A partir du calcul de la porosité texturale $P_t$ et de la porosité mottière $P_m$, on peut donc déterminer par différence la porosité de fissures intra-mottière

$$P_{ofim} = P_m - P_t$$

D'autre part, si on considère que l'ensemble de l'échantillon caractérisé par sa porosité totale $P_T$ n'est qu'un ensemble de mottes de porosité $P_m$, séparées simplement par des fissures, on peut écrire :

$$P_T = P_m + P_{of}$$

Connaissant la porosité totale et la porosité mottière, on peut, par différence, déterminer la porosité fissurale inter-mottes

$$P_{of} = P_T - P_m$$

## 2.23 - Les différentes classes de porosités

La connaissance de ces différents niveau de porosité est, comme nous l'avons déjà dit, indispensable à une bonne compréhension des différentes organisations, et nécessaire avant toute comparaison; cependant, on peut déjà noter que dans la suite de l'étude il pourrait être envisagé une caractérisation encore plus fine de ces porosités.

C'est ainsi qu'en ce qui concerne l'étude de la dynamique des parasites telluriques, il parait important de subdiviser certains niveaux de porosité déjà reconnus. Il semble plus particulièrement intéressant de pouvoir préciser les différents diamètres des pores constituant la porosité structurale $P_s$.

En effet, d'après les différentes informations déjà recueillies, il semble que la progression des parasites telluriques et notamment des nématodes soit très liée aux dimensions des pores et à l'eau qu'ils contiennent (A. GOSSELIN, SOS n° 29).Il serait donc important d'établir un classement des pores en fonction de leur diamètre, chaque classe étant déterminée à partir des exigences des parasites et en particulier des nématodes.

Les observations réalisées jusqu'à présent nous ont montré que les différents systèmes de porosité pouvaient présenter certaines évolutions :

- soit vers une dégradation des structures : tassement, compactage
- soit vers l'amélioration de l'état structural : terre fine, mottes.

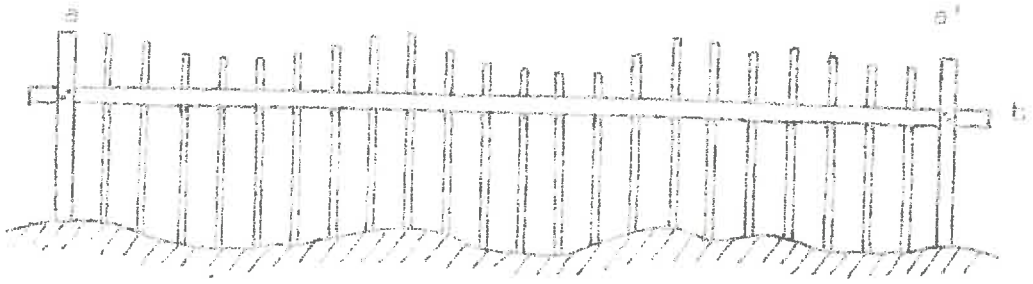
## 2.3 - CARACTERISATION DES TASSEMENTS

Pour préciser, sur le terrain, les modifications de systèmes de porosité et plus particulièrement les phénomènes de tassements structuraux, il parait intéressant d'avoir recours à l'emploi d'un aspérimètre. Cet appareil (voir figure n° 48 ) permet de mettre en évidence et d'enregistrer (photographiquement) le profil des ornières créées par le passage d'engins lourds. On peut ainsi mettre en évidence différents types d'ornières suivant qu'il y a eu tassement ou non, en étudiant le rapport partie enfoncée ($S^-$), bourrelet ($S^+$)

Cette méthode sera intéressante pour l'étude des zones tassées par les passages d'engins de récolte (corn-sheeler) ou de tracteur (après semis).

Remarque : D'autres mesures pourraient être envisagées afin de caractériser les tassements. L'essai Proctor permet d'avoir une idée de la susceptibilité théorique d'un sol au compactage. En effet, on peut établir des courbes de variations de la densité d'un sol en fonction de l'humidité, et ceci pour différentes énergies de compactage. Malheureusement, il n'est pas actuellement possible d'établir une relation entre l'énergie développée au niveau du sol par un engin de culture et l'énergie obtenue lors de l'essai.

Fig. 48 Aspérimetrie

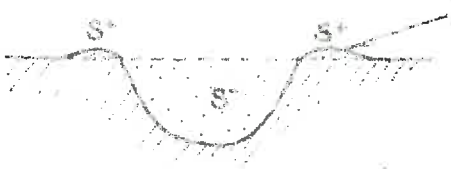



Les supports a et a' sont fixes et se placent de part et d'autre de la zone affectée par le tassement. Ils sont reliés par une barre transversale b dans laquelle coulissent librement des tiges de même longueur espacées régulièrement, leur extrémité inférieure venant en contact avec la surface du sol, les extrémité supérieures permettent de reproduire exactement le profil, rendant l'observation meilleure et notamment la prise de photographies possible.

Différentes ornières possibles




en sol sableux humide




en sol limono-argileux humide

$S^- > S^+$




en sol argileux humide

$S^- = S^+$

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail avait pour but d'aborder les problèmes des assolements céréaliers intensifs à l'aide de l'étude morphologique des horizons cultivés. Il a porté sur une année d'observations réalisées principalement dans une parcelle expérimentale de l'INRA au Rheu. Il faut donc bien préciser que toutes les observations que nous avons faites entrent dans un cadre géographique, climatique, pédologique et cultural bien précis. Toute généralisation demande un élargissement du champ d'observation et une étude répétitive sur plusieurs années.

Nos observations nous ont permis d'établir les points suivants :

- le profil cultural sous culture de blé et de maïs présente une organisation générale type
- cette organisation est le résultat de différentes actions dont celle des engins culturaux. On peut souvent relier un arrangement du sol au passage d'un engin particulier
- les rotations céréalières intensives imposent aux agriculteurs l'emploi d'instruments dans des conditions souvent précaires, ce qui a pour conséquence une destruction de la structure du sol
- la structure du sol et son organisation ont une influence nette sur les cultures. La réaction des plantes peut être appréciée à trois niveaux : comportement des racines, état végétatif, productivité.

En dernier lieu, il importe d'envisager une suite à ce travail, en prenant en considération tous ces résultats. Les problèmes de dégradation des structures paraissent particulièrement importants, tant par leur influence sur l'évolution physique et chimique du sol lui-même, que sur la productivité des cultures et les équilibres biologiques. C'est pourquoi il semble que l'approndissement de l'étude des tassements grâce aux méthodes macromorphologiques, micromorphologiques et physiques, soit la voie la plus intéressante à suivre.

# ANNEXES

PROFIL ATP 6 28/10/74 ANNEXE II .1

HORIZON 1 : 0 - 2 CM Battance $Ap_1$

- Très humide - 10 YR 4/4 - sans taches - graviers abondants - cailloux peu abondants
- Structure massive à tendance lamellaire
  porosité vacuolaire - poreux dans l'ensemble
- Pas de racines - galeries
- Transition distincte avec horizon sous-jacent

HORIZON 2 : 2 - 12 CM $Ap_2$

- Très humide - 10 YR 4/4 - graviers - cailloux peu abondants
- Structure fragmentaire nette, grumeleuse, très fine associée à une structure polyédrique subanguleuse
  Volume des vides assez important entre agrégats - agrégats à pores peu nombreux, très fins, tubulaires - très poreux dans l'ensemble
- Nombreuses racines
  Nombreuses galeries, turricules peu nombreux
- Transition : nette

HORIZON 3 : 12 - 27 CM $Ap_3$

- Très humide - 10 YR 4/4 - sans taches - graviers - cailloux peu abondants
- Structure fragmentaire polyédrique. Sommet de l'horizon en mottes, base plus compacte
  Volume des vides faible entre agrégats - agrégats à pores peu nombreux très fins, tubulaires - peu poreux dans l'ensemble
- Racines bloquées au sommet (semelle pseudo labour)
  quelques racines, souvent entre les agrégats

HORIZON 4 : à partir de 27 CM + semelle au sommet

- Très humide - 7,5 YR 5/8 - graviers et cailloux abondants
- Structure massive surtout au niveau de la semelle
  aspect non poreux
- Les racines sont déviées au niveau de la semelle mais pénètrent
  Elles sont alors déviées, écrasées, bloquées au niveau des cailloux

REMARQUES :

. La semelle de pseudo-labour est assez importante et dévie beaucoup de racines qui profitent de fentes pour traverser
. La semelle de labour existe mais ne constitue pas un obstacle
. L'Ap est assez compact en général
. L'horizon Ap est très caillouteux - Les racines y sont coudées et écrasées - peu nombreuses sont celles qui arrivent à pénétrer en profondeur

ANNEXE II .2

PROFIL ATP 7 29/10/74

HORIZON 1 : 0 - 7 CM $Ap_1$
- Humide - 10 YR 4/4 - très peu de graviers
- Structure fragmentaire nette, grumeleuse, moyenne et fine associée à une structure polyédrique subanguleuse
  Volume des vides important entre agrégats - Agrégats à pores peu nombreux; Localement pores vacuolaires (Battance) - globalement poreux
- Quelques racines fines et moyennes à la base de l'horizon
  Turricules
- Transition distincte et ondulée

HORIZON 2 : 7 - 15 CM $Ap_2$
- Légèrement humide - 10 YR 4/4
- Structure massive juxtaposée à une structure polyédrique subanguleuse
  Volume des vides assez important entre agrégats. Agrégats à pores peu nombreux, fins et moyens, tubulaires. Globalement peu poreux
- Racines fines et moyennes buttant sur l'horizon 3
- Transition nette et régulière

HORIZON 3 : 15 - 28 CM $Ap_3$
- Légèrement humide - 10 YR 4/4 - Très peu de graviers
- Structure massive à tendance polyédrique
  Volume des vides très faibles - pores peu nombreux - Très peu poreux globalement
- Racines à la surface des mottes, déviées, applaties
  Turricules nombreux et galeries
- Transition très nette et régulière

HORIZON 4 : à partir de 28 CM $A_2$ + semelle au sommet
- Légèrement humide - 7,5 YR 4,5/4 - Taches peu étendues, irrégulières, peu contrastées
- Structure massive
- Volume des vides faible. Pores nombreux très fins et fins, tubulaires globalement très poreux
- Racines déviées au niveau de la semelle, parfois applaties

REMARQUES :

. Assez peu compact dans la masse
. Semelle de pseudo labour discontinue, blocage pour certaines racines
. La semelle de labour est un obstacle, mais il y a plus de racines dans l'horizon sous-jacent par rapport aux ATP 6 et 8

PROFIL ATP 8 30/10/74 ANNEXE III .3

HORIZON 1 : 0 - 8 CM Ap1

- Légèrement humide - 10 YR 4/6 - sans taches - graviers peu abondants. Très peu de cailloux
- Structure fragmentaire nette, généralisée, polyédrique subanguleuse, moyenne associée à une structure grumeleuse
  Volume des vides assez important entre agrégats - Agrégats à pores nombreux, très fins, tubulaires, sans orientation dominante
  poreux dans l'ensemble
- Localement battance en surface
- Racines à la base de l'horizon, fines; turricules
- Transition distincte et régulière avec l'horizon sous-jacent

HORIZON 2 : 8 - 28 CM Ap2

- Légèrement humide - 10 YR 4/6 - sans taches - graviers peu abondants - Très peu de cailloux
- Structure massive nette juxtaposée à une structure polyédrique subanguleuse, semelle de pseudo-labour au sommet de l'horizon
  Volume des vides faible entre agrégats - sans pores visibles dans le massif, peu poreux dans l'ensemble
- Racines absentes dans les zones massives, très nombreuses et entremêlées dans les creux et les zones polyédriques - Buttent sur l'horizon sous-jacent (semelle)
  Galeries, turricules, coprolithes, terriers
- Transition très nette et régulière avec l'horizon sous-jacent

HORIZON 3 : à partir de 28 CM Ap3 : semelle

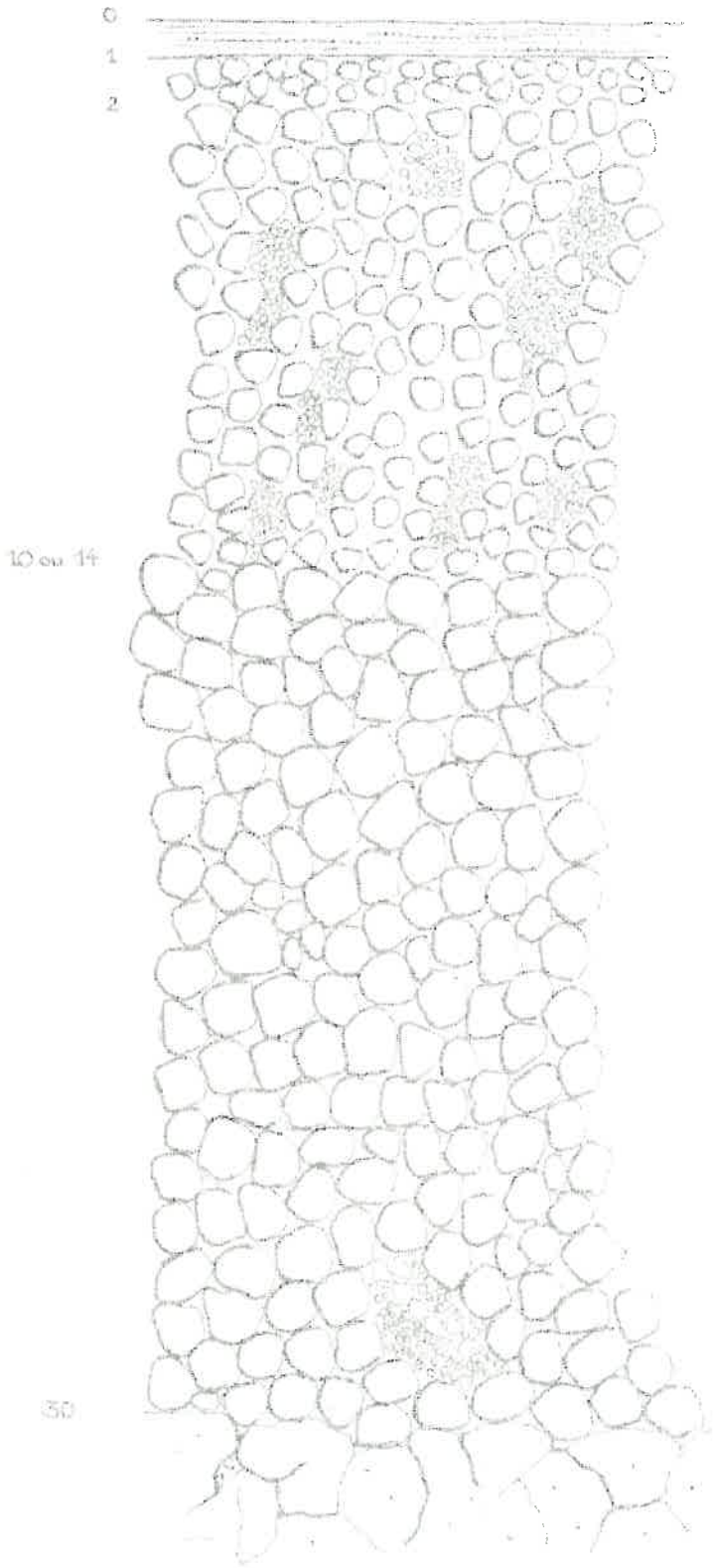
- Légèrement humide - 10 YR 5/4 - Très nombreuses taches étendues, liées aux faces des unités structurales, irrégulières, à limites peu nettes, contrastées, aussi cohérents, couleur 10 YR 4/6 associées à d'autre 5 YR 5/6 et 10 YR 1,7/1 - Eléments ferro-manganésifères en taches ferrugineuses
- Structure fragmentaire nette, lamellaire, fine, très fine au sommet (semelle), à tendance massive
  Volume des vides très faible entre agrégats - Très peu poreux
- La majorité des racines est bloquée au sommet (semelle) - Quelques racines pénètrent par les fissures ; ont alors une morphologie en "arête de poisson "

REMARQUES :

. Sol en général très compact; les racines sont localisées au niveau de zones creuses
. Les semelles de labour et de pseudo-labour sont très développées. Elles constituent des obstacles importants et arrêtent définitivement beaucoup de racines dans leur progression en profondeur
. L'horizon sous l'Ap présente des marques d'une hydromorphie temporaire

Annexe III.1

PAC 0






PROFIL PAC 0 24/9/74 ANNEXE III .2

- HORIZON 1 de 0 à 1 Cl battance.

légèrement humide
10 YR 3/4 humide. brun jaunâtre foncé.
taches peu étendues 10 YR 5/4. brun jaunâtre liées aux faces des unités structurales en traînées horizontales. hétérogénéité dans les dimensions. à limites nettes, contrastées. moins cohérentes. aucune autre taches
à matière organique non directement décelable.
Sans éléments grossiers
approximativement 10 % d'argile, 6 % de sables fins, 3 % sables grossiers - texture limono-argileuse
Structure fragmentaire nette et généralisée lamellaire très fine.
Volume des vides très faible entre agrégats - agrégats à pores nombreux très fins vacuolaires et tubulaires horizontaux.
Matériau à consistance semi-rigide, très friable.
Pas de racines.
Coprolithes et turricules.
nombreux déchets de toutes sortes
Transition nette et régulière.

- HORIZON 2 de 1 à 2 Cl Ap1

légèrement humide
10 YR 3/4 humide. Brun jaunâtre foncé;
quelques taches peu étendues 10 YR 5/4, brun jaunâtre sans relations visibles avec les autres caractères, irrégulières. hétérogénéité dans les dimensions. à limites nettes, contrastées. moins cohérente. aucune autre taches
à matière organique directement décelable
Sans éléments grossiers
approximativement 10 % d'argile, 6 % sables fins, 3 % sables grossiers.
Structure fragmentaire nette et généralisée, polyédrique subanguleuse fine
Volume des vides assez important entre les agrégats. agrégats à pores nombreux, très fins tubulaires et vacuolaires sans orientation dominante
Matériau à consistance semi-rigide, très friable
Nombreuses racines fines pénétrant les agrégats dans la masse de l'horizon
pas de chevelu
très nombreux turricules et coprolithes. nombreuses galeries
nombreux déchets de toutes sortes
Transition graduelle et régulière

- HORIZON 3 de 2 à 10 ou 14 CM $Ap_2$

légèrement humide
10 YR 3/4 humide. brun jaunâtre foncé
sans taches
à matière organique directement décelable
sans éléments grossiers
approximativement 13 % d'argile, 5 % de sables fins, 3 % de sables grossiers
texture L.A
Structure fragmentaire nette et généralisée polyédrique subanguleuse moyenne
associée à une structure grumeleuse
Volume des vides faible entre agrégats. agrégats à pores nombreux très fins,
tubulaires, sans orientation dominante.
Matériau à consistance semi-rigide, friable.
Racines fines pénétrant les agrégats. pas de chevelu.
très nombreux turricules et coprolithes. Nombreuses galeries
nombreux déchets de toutes sortes.
Transition graduelle et régulière.

- HORIZON 4 de 10 ou 14 à 30 CM $Ap_3$

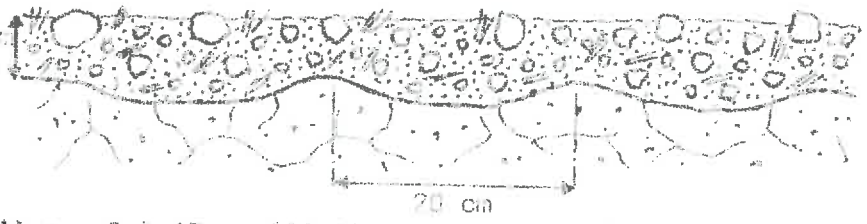
légèrement humide
10 YR 3,5/4 humide. Brun jaunâtre foncé.
sans taches.
à matière organique directement décelable
sans éléments grossiers
approximativement 13 % d'argile, 5 % de sables fins, 3 % de sables grossiers
texture L.A
Structure fragmentaire nette et généralisée polyédrique subanguleuse.
moyenne et grossière.
Volume des vides faible entre agrégats. agrégats à pores nombreux
très fins, tubulaires, sans orientation dominante.
Matériau à consistance semi-rigide, friable.
Quelques racines fines, pénétrant les agrégats. Pas de chevelu
très nombreux turricules et coprolithes. nombreuses galeries.
nombreux déchets de toutes sortes.
Transition nette et régulière

- HORIZON 5 de 30 CM à - ? $A_2$

sec
10 YR 4/6 humide. brun jaunâtre
sans taches.
apparemment non organique.
sans éléments grossiers.
approximativement 12 % d'argile, 5 % de sables fins, 1 % de sables grossiers
texture. L.A
Structure massive nette et généralisée, à éclats anguleux
à sous structure polyédrique moyenne
Volume des vides assez important entre agrégats. agrégats à pores peu
nombreux, très fins, tubulaires, sans orientation dominante.
Matériau à consistance rigide, peu friable.
Quelques racines fines pénétrant les agrégats. pas de chevelu.
Nombreux turricules et coprolithes. nombreuses galeries.

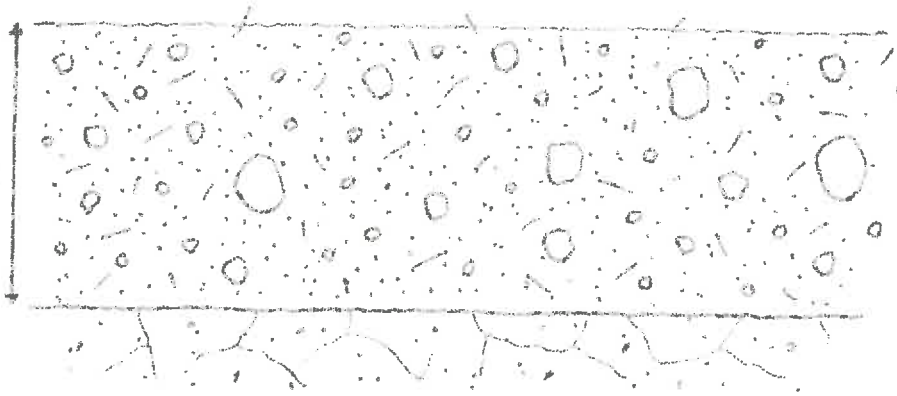
Annexes III.3
III.4
III.5

Morphologie des pseudo-labours



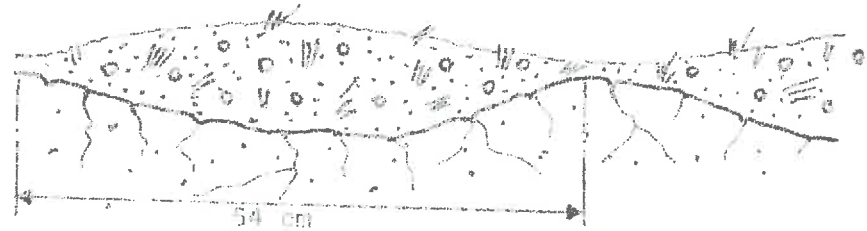

Landroller

. travail sur 8 à 12 cm (limite inférieure très irrégulière) . chaumes bien répartis dans cette couche mais dont une grande partie reste à l'extérieur. terrefine importante mélangée à de nombreuses mottes de 3 à 5 cm de diamètre, surmontée de quelques mottes moyennes de 8 à 12 cm de diamètre . la couche travaillée est sèche tandisque les couches inférieures sont fraiches . les mamelons réguliers (tous les 20 cm) sont en ligne parallèles faisant un angle de 40° avec la direction d'avancement.




Fléche rotative

travail sur environ 37.5 cm . limite inférieure très régulière sans lissage ni compactage . chaumes bien répartis dans la masse et sur tout la hauteur travaillée, bien enfouis . quelques grosses mottes arrondies (10 à 12 cm) noyées dans de la terre fine . aspect pulvérulent . quelques mottes moyennes de 3 à 6 cm de diamètre.

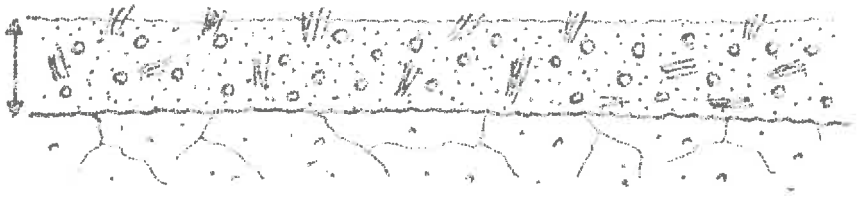



Vibroculteur

travail très irrégulier: limite inférieure de 3 à 11 cm; il y a des crêtes régulières parrallèles, espacées d'environ 54 cm et dans les creux laissés par ces crêtes un léger mamelonnage irrégulier . chaumes répartis à peu près sur toute l'épaisseur, il reste cependant souvent des fragments de pieds dressés à la surface . terre fine (grumeleuse à subanguleuse), aspect meuble; petites mottes de 2 à 3 cm.

Annexes III.6
III.7

Morphologie des pseudo-labours

12 cm 

Lely tera

travail sur environ 12 cm . limite inférieure irrégulière (nombreux petits mamelons) . chaumes mal répartis: les pieds de blé restent souvent entiers et surtout localisés en surface, plus ou moins dressés . petites mottes arrondies (2 à 4 cm de diamètre) + terre fine grenue à l'aspect pulvérulent . pas de lissage, ni de compactage ; surface mamelonnée irrégulièrement .

9 à 10 cm 

Multiculteur

travail sur 8 à 10 cm; limite inférieure régulière, légèrement mamelonnée . chaumes assez mal répartis, restent souvent en pieds couchés à la surface du sol . terre meuble : terre fine (polyédrique subanguleuse et grumeleuse) et quelques mottes petites (1 à 2 cm) et moyennes (3 à 5 cm) . lissages localisés au niveau de dents sur 1 cm de largeur . croisés, suivant que la dent se présente de face ou de travers, on a des types différents de lissage.

PROFIL ATP 5 17/9/74 ANNEXE III .8

HORIZON 1 : 0 - 25 CM

- légèrement humide - sans taches - sans éléments grossiers.
- structure fragmentaire nette et généralisée. polyédrique subanguleuse moyenne à sous structure grumeleuse très fine et fine.
- Volume des vides faible entre agrégats - agrégats à pores nombreux, tubulaires, sans orientation dominante.

HORIZON 2 : poches de matière organique.

- légèrement humide - sans taches - sans éléments grossiers.
- structure fragmentaire nette et généralisée, grumeleuse, moyenne et fine.
- Volume des vides très important entre agrégats - agrégats sans pores visibles.

REMARQUE :

- les débris végétaux sont plus ou moins bien évolués.
  - . les chaumes sont déjà bien décomposés.
  - . les pieds de chiendent restent verts et donnent de nombreuses repousses.
- il y a une bonne activité biologique dans l'ensemble du profil. On note surtout de nombreux coprolithes et turricules au niveau des poches de matière organique.

PRCU CHA 1 description détaillée ANNEXE III .9

L'horizon travaillé Ap est relativement profond (28 CM) ; la transition avec l'horizon sous jacent Ap est nette et marquée par une semelle de labour présentant localement des lissages.

Cet horizon peut se diviser en différentes couches :

. 1ère couche (de 0 à 8 ou 10 CM) : A structure grumeleuse et polyédrique subanguleuse assez fine, elle est bien remaniée par l'activité biologique et bien colonisée dans son ensemble par de nombreuses racines fines. Elle est limitée inférieurement par une semelle plu ou moins nette; on peut observer un effet de triage : il existe de nombreuses mottes moyennes et grosses en surface à structure lamellaire parallèle à la surface de ces mottes.

On peut remarquer une battance de surface entre ces mottes.
La structure y est lamellaire horizontale et présente une porosité vacuolaire caractéristique.
Cette couche correspond à la partie remaniée par les façons superficielles de de préparation du semis de maïs.

. 2ème couche (8 ou 10 à 20 CM) : Cette couche nous apparait globalement plus compacte. On y observe une structure massive (mottes de labour) sans pores visibles, juxtaposée à une structure polyédrique subanguleuse et grumeleuse très localisée. L'ensemble présente un aspect assez peu poreux, il n'y a pas d'activité biologique marquée. On ne trouve pas de matière organique directement décelable.
Il existe quelques marques d'oxydo-réduction localisées au-dessus de la semelle.
Les racines (grosses, moyennes et fines) pénètrent dans la masse de l'horizon, mais l'exploitation de l'ensemble reste insuffisante.

On retrouve les tracés classiquement observés en zone compact. Cette couche ne présente pas de fissures.
Elle correspond à la couche retournée par le labour - d'où l'existence des mottes - non reprise par les façons superficielles.

. 3ème couche (28 à 30 CM environ) : c'est la semelle de labour proprement dite avec un lissage plus ou moins marqué localement surmontant une zone tassée. Seules quelques grosses racines parviennent à la traverser. Elle constitue donc un obstacle sérieux au développement du système racinaire.
On observe localement entre les rangs une zone dont l'organisation est complètement modifiée par le passage de roues de tracteur (en vue de différents traitements). L'horizon travaillé est alors tassé sur son ensemble. La zone travaillée par les façons superficielles n'est pas différentiable macro morphologiquement.
L'ensemble a perdu toute structure et pratiquement toute sa porosité. On n'observe pas de battance aussi importante à ce niveau.

PRCU CHA 3 description détaillée ANNEXE III .10

L'horizon Ap n'est travaillé que localement. L'appareil employé a donné naissance à deux zones différentes. L'ensemble de l'horizon non travaillé est assez homogène. Sa transition avec l'horizon sous jacent A2 est nette et marquée par deux semelles de labour dont l'une est discontinue.
On peut donc diviser l'horizon Ap en différentes zones :

. 1ère zone travaillée par l'appareil : profonde de 9 à 10 CM et large d'environ 18 CM. Elle est limitée latéralement par des parois verticales lissées. Les parois horizontales constituant un étranglement avant la deuxième zone, ne sont pas lissées. Cette zone qui a été travaillée par une fraise est pratiquement entièrement occupée par une grosse motte compacte résultant de la reprise en masse d'une terre assez humide trop finement divisée.
Cette motte obture le goulet d'étranglement constituant le passage entre les deux zones travaillées.
Au-dessus de cette motte on observe une terre plus fine constituée par des petites mottes.

. 2ème zone travaillée par l'appareil descend jusqu'à environ 24 CM sur une largeur d'environ 2 CM. Les parois lissées sont obliques et se rejoignent en V à la partie inférieure. Cette zone ne contient que très peu de terre fine et est en général très creuse. Elle semble avoir été créée par le passage d'un soc, dans une terre assez humide, qui aurait créé une fente en coin.
Dans le fond du V, on retrouve l'engrais localisé qui semble ne pas avoir été solubilisé. Ceci confirmerait le rôle de bouchon de la motte compacte au niveau du goulet d'étranglement interdisant toute circulation (eau en particulier).
On observe pratiquement toujours deux galeries ( aux diamètres , compris entre 3 et 4 CM) dans ces deux zones travaillées.

- une galerie entre les petites mottes de surface, juste au-dessus de la grosse motte compacte.

- une galerie immédiatement sur le bouchon qui obture le goulet d'étranglement.

Face à ces types d'arrangement, le système racinaire du maïs présente un comportement tout à fait particulier :
A la base du pied, la racine forme deux réseaux :

- un réseau de racines nombreuses et fines avec de nombreux radicelles exploitant au maximum la très faible couche constituée par les mottes fines de surface. Quelques unes poursuivent dans la partie non travaillée.

- un réseau de grosses racines assez nombreuses formant un cône assez large descendant vers la motte compacte. Quelques unes parviennent à traverser, poursuivant alors dans la zone non travaillée.

La grande majorité tapisse les parois latérales et descendent verticalement, écrasées entre la motte et ses parois.
Au niveau des parois horizontales de la base de la 1ère zone quelques racines pénètrent encore dans la masse de l'horizon non travaillé. Le passage du goulet d'étranglement se fait à nouveau verticalement entre les parois latérales lissées de la 2ème zone et le "bouchon".
Sous la motte tassée dans la zone creuse on assiste à un foisonnement de racines moyennes et fines paraissant non fonctionnelles.
Très peu de racines pénètrent la masse de l'horizon non travaillé à la base de cette 2ème zone.

Ap zone non travaillée par l'appareil : cette zone paraît assez homogène. Elle présente une structure à tendance massive. On peut observer localement quelques plages grumeleuses. Les mottes de l'ancien labour ne s'individualisent pas nettement.
On observe également, en surface, quelques grosses mottes de chaque côté de la zone travaillée : la terre, relativement sèche, a été ébranlée lors du passage de l'appareil et s'est fissuré.
Il existe un passage de roue dans chaque inter-rang qui se marque par la création d'une zone compactée à structure lamellaire fine sur une profondeur maximum de 8 CM.

Les quelques racines qui pénètrent cette zone dans la masse de l'horizon présentent de nombreux coudes, quelques radicelles courts, mais paraissent les plus fonctionnelles (couleur jaune).

On a pu distinguer des différences du développement de la partie aérienne du maïs en relation avec la plus ou moins bonne pénétration de la masse de l'horizon au niveau des parois horizontales de la zone travaillée.

On peut émettre l'hypothèse que cet enracinement différent serait dû à des différences de compacité à ce niveau (mottes de l'ancien labour ?)

La base de l'horizon Ap est marquée par deux semelles de labour :

- la 1ère semelle est continue mais peu nette, il peut y avoir jusqu'à 2 CM de zone tassée.

- la 2ème semelle est discontinue mais très nette. On observe un lissage et une zone tassée sur 2 à 3 CM.

Très peu de racines - déjà peu nombreuses - qui ont réussi à pénétrer dans la masse de l'Ap parviennent à franchir ce barrage pourtant peu important dans les deux cas le tassement proprement dit est faible. Elles présentent généralement un tracé horizontal, applaties sur la semelle avec un réseau de radicelles courts en arête de poisson.

Environ 4 CM au dessous de la 2ème semelle on trouve un horizon $A_2$ très poreux dans lequel les racines qui ont réussi à franchir les semelles, pénètrent avec facilité. Elles présentent un tracé plus ou moins régulier avec quelques radicelles assez longs. Elles utilisent parfois les galeries verticales des vers de terre et présentent alors un manchon de poils absorbants.

PRCU ANNEXE III .11

description détaillée

Le travail est le même que pour le profil CHA 3. La transition entre l'horizon Ap et A2 est moins nette, et seulement marquée par une semelle au lissage peu net.

On peut distinguer les mêmes zones que dans le profil CHA 3.

. 1ère zone travaillée par l'appareil : on y retrouve les mêmes organisations qu'en CHA 3. Les lissages sont très nets.

. la 2ème zone travaillée par l'appareil est un peu moins profonde qu'en CHA 3 20 CM seulement.

On retrouve les organisations déjà décrites.

Le comportement du système racinaire est lui aussi similaire; mais les discontinuités (lissages - mottes compactes) étant encore plus nets, le système racinaire est encore plus réduit. Il n'y a pratiquement aucune racines dans la masse de l'horizon Ap non travaillé qui présente une structure massive.
Le passage de la semelle de labour semble moins difficile et on retrouve quelques racines ; utilisant les galeries de lombrics dans l'A2.

ANNEXE V.1

Annexes du chapitre 5 : Etude synthétique

Rappel :

Les différentes analyses ont été réalisées sur des échantillons prélevés dans 28 profils selon :

- 3 échantillons dans l'horizon travaillé
  de 0 à 10 cm, de 10 à 20 cm, de 20 à 30 cm
- 1 échantillon par horizon pédologique

Utilisation des données recueillies

Sur ces 28 profils décrits et analysés, 15 nous intéressent plus particulièrement, puisque précisément situés sur la parcelle "rotation céréales"

On peut regrouper ces 15 profils selon 3 unités cartographiques dont une seule recouvre pratiquement toute la parcelle.

Unité 3 de versant : sol peu différencié, en voie d'érosion et de lessivage, peu hydromorphe.

On y trouve les profils : IT 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24.

Pour simplifier l'étude, nous avons repris - après P.CURMI, 2 toposéquences de référence :

- coupe A avec les profils IT (12). 15. 21. 27
- coupe B avec les profils IT 14. 17. 20. 25

C'est plus précisément sur ces 7 derniers profils que nous raisonnerons.

ANNEXE V.2

Etude de la susceptibilité à la battance

Elle est surtout à craindre au niveau de l'horizon travaillé en surface, mais aussi en fond de labour puisqu'on a pu observer des battances au-dessus des semelles de labour. C'est pour cela que nous avons étudié la susceptibilité à la battance non seulement au niveau de l'Ap mais dans l'horizon immédiatement sous-jacent qui est, suivant les profils , un A2 ou un A3, voire un B.

D'autre part, il nous a semblé que l'étude des horizons non affectés par le labour pouvait confirmer des différences dégagées au niveau de l'Ap qui restent, sinon toujours incertaines (imperfection du prélèvement : non représentativité. erreur de manipulation...)

Pour quantifier cette susceptibilité à la battance, nous avons tout d'abord utilisé une formule d'indice de battance établie pour les limons du Bassin Parisien (cette formule a été choisie en raison des similitudes qui existe entre les limons du Bassin Parisien et les limons du Bassin de Rennes)

$$Ib = \frac{1.5\,Lf + 0.75\,Lg}{A + 10 \times m.o.} - TC$$

avec $\begin{cases} TC = 0.2\ (pH - 7) \text{ si } pH > 7 \\ TC = 0 \text{ si } pH \leqslant 7 \end{cases}$

Les références du Bassin Parisien étant :

| | |
|---|---|
| $Ib > 2$ | très battant |
| $1.8 < Ib < 2$ | battant |
| $1.6 < Ib < 1.8$ | assez battant |
| $1.4 < Ib < 1.6$ | peu battant |
| $Ib < 1.4$ | non battant |

En ce qui concerne l'horizon travaillé Ap, nous obtenons les valeurs suivantes :

Coupe A au niveau de l'Ap

| IT | 15 | 21 | 27 | T |
|---|---|---|---|---|
| Ib | 2.2 | 2.0 | 1.8 | 6.0 |

moyenne 2.0

Coupe B au niveau de l'Ap

| IT | 14 | 17 | 20 | 25 | T |
|---|---|---|---|---|---|
| Ib | 2.0 | 1.6 | 1.9 | 2.4 | 7.9 |

moyenne $\simeq$ 2.0

La moyenne générale sur l'ensemble des profils IT 13 à 27 : $\mu = 2.09$

Si nous faisons abstraction des causes de variations déjà exposées, nous constatons, et ceci pour les deux toposéquences :

- une diminution de la susceptibilité à la battance au niveau de la pente, alors que cette battance est moins accusée avant la pente et devient élevée en bas de pente

- l'indice de battance à prendre en compte pour ces horizons travaillés serait celui du sommet de pente; il coïncide d'ailleurs avec l'indice moyen (2.0). Sur la pente nous avons une diminution de la battance due à l'entraînement des limons par l'érosion, alors que leur "accumulation" en bas de pente réaugmente l'indice de battance. Globalement l'horizon Ap est assez battant à battant.

En ce qui concerne l'horizon sous-jacent (A2, A3 ou B), nous retrouvons les mêmes variations latérales qui viennent confirmer nos hypothèses.

Au niveau de l'A2 ou de l'A3

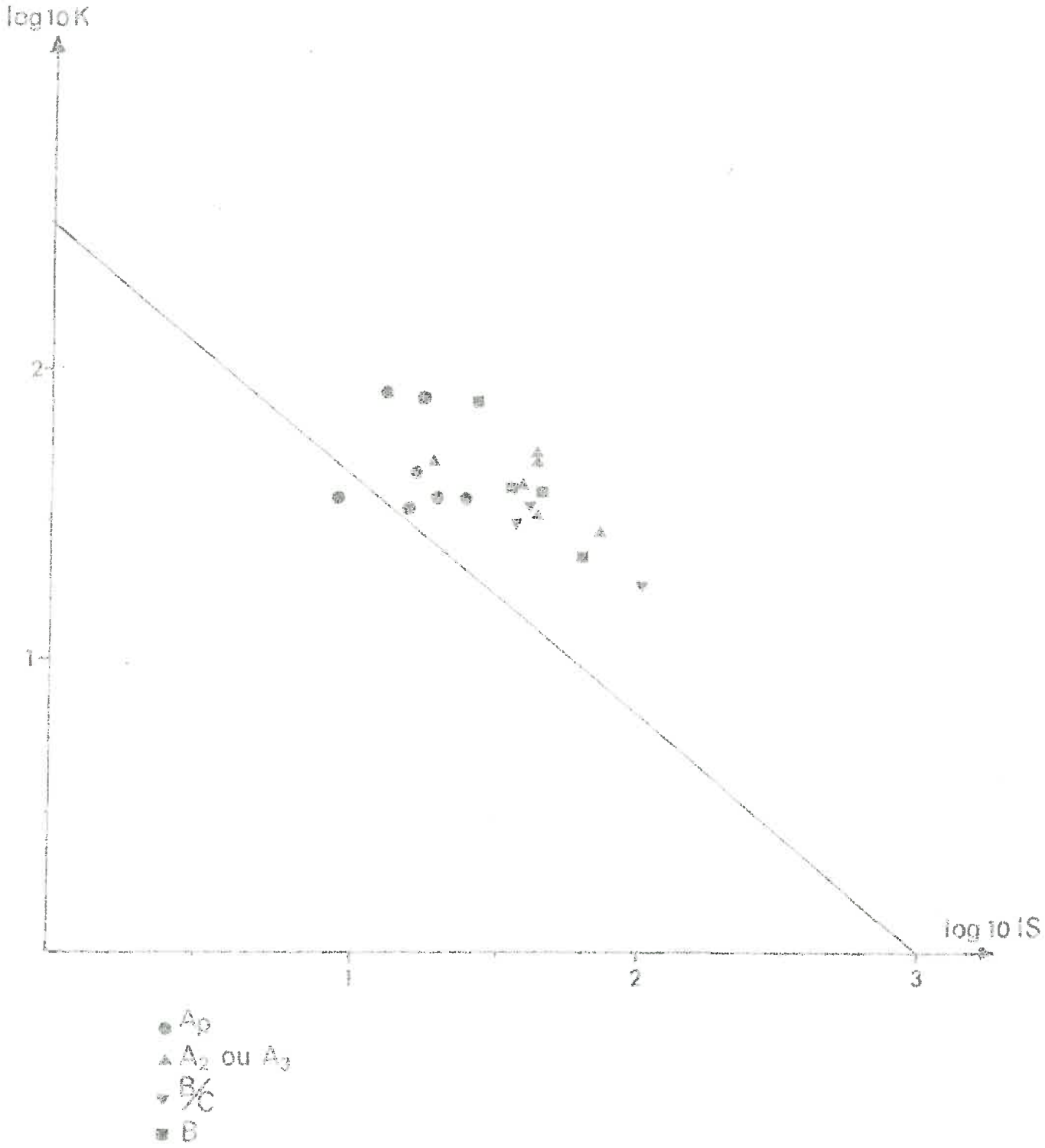
| IT | 14 | 15 | 17 | 20 | 21 | 25 | 27 | T |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ib | 3.4 | 3.2 | 2.7 | 3.0 | 3.0 | 3.2 | 3.9 | 22.4 |

moyenne : 3.2

Notons que l'augmentation globale des indices de battance peut s'expliquer essentiellement par une diminution du pourcentage de matière organique et du pourcentage de limon grossier au profit de l'argile.

ANNEXE V.3

Stabilité structurale



ANNEXE V.4

Etude de l'indice de plasticité et de la cohésion

Temoins des conséquences sur le sol d'un travail en conditions humides, nous avons été tentés de faire une première approche (assez théorique) des propriétés mécaniques de notre matériau.

Il nous parait intéressant, en effet, d'essayer de définir des humidités optima de travail du sol.

Nous avons ainsi utilisé pour établir notre courbe de cohésion, une formule expérimentale applicable aux limons :

$$C = 7 \left\{ \frac{LL - H}{LL - 10} \right\}^5$$

C : cohésion en $kg/cm^2$

LL: limite de liquidité en %
avec $LL = 21 + I_p$

Ip: indice de plasticité

Cet indice de plasticité a été lui-même établi par corrélation

$$Ip = 50 \log \frac{A}{10} - \log \frac{m.o.}{1.5}$$

A : argile en %

m.o. : matière organique en %

Dans ce cas nous avons considéré toutes les données recueillies sur l'ensemble de la parcelle : IT 13 à IT 27 (voir tableau).

On a donc pu établir une formule de cohésion à partir de la moyenne m : 29.18 établie pourla limite de liquidité .

Soit :

$$C = 7 \left\{ \frac{29.18 - H}{29.18 - 10} \right\}^5$$

A partir de cette formule, on peut donc tracer la courbe de cohésion en fonction de l'humidité (voir courbe).

En matière de cohésion, on donne souvent les limites suivantes :

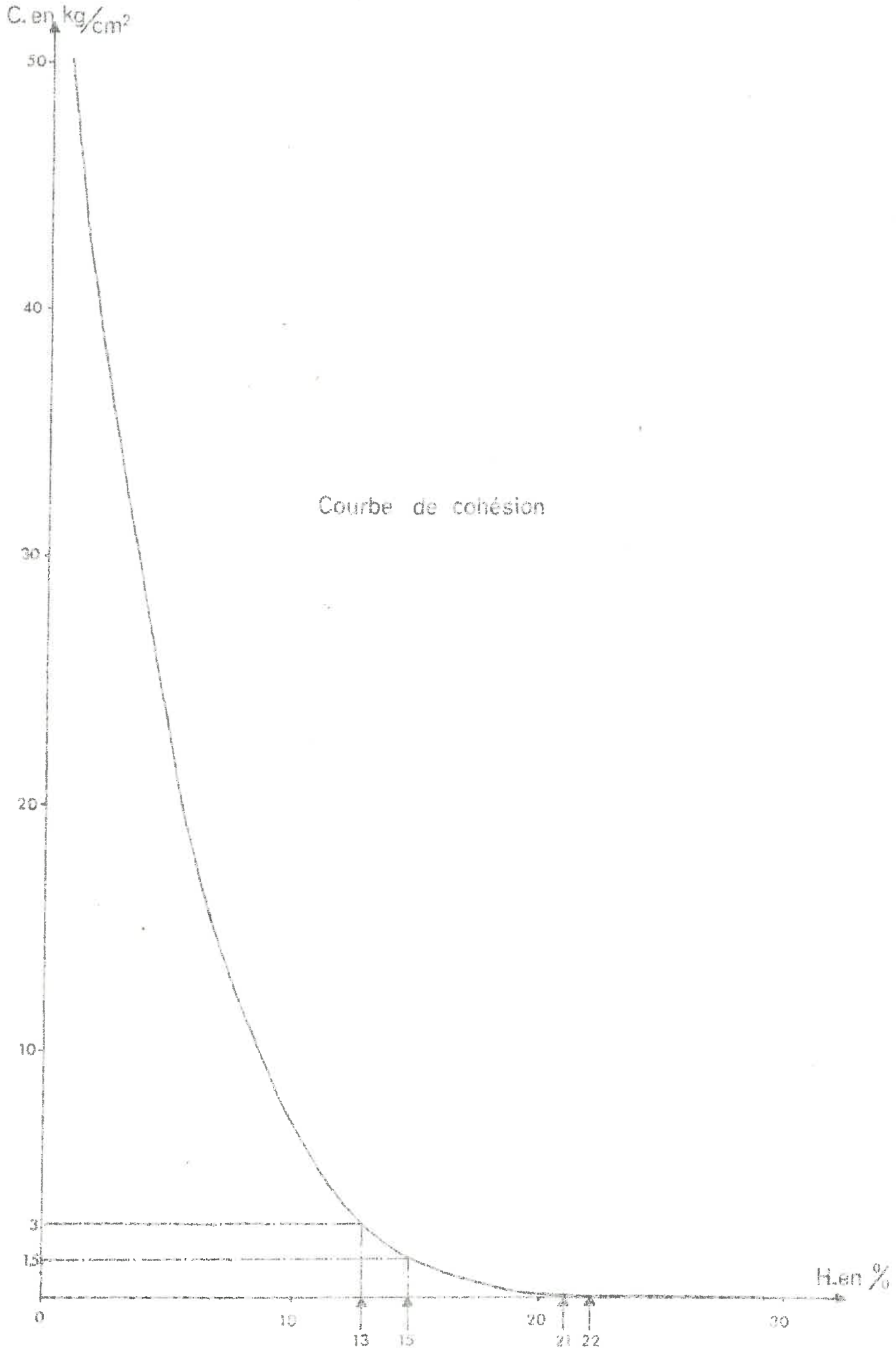
- pour le labour $0.050 \leqslant C \leqslant 1.5$ en $kg/cm^2$

et plus globalemnt :

- pour le travail du sol $0.150 \leqslant C \leqslant 3$ en $kg/cm^2$

On peut alors déterminer graphiquement (confirmé par le calcul) les limites d'humidité

- pour le labour $13\ \% \leqslant H \leqslant 21\ \%$
- pour le travail du sol $15\ \% \leqslant H \leqslant 22\ \%$




Courbe de cohésion

Calcul d'une limite de liquidité moyenne

| IT | A/10 | 50 log A/10 | $\frac{m.o}{1,5}$ | 10 log $\frac{m.o}{1,5}$ | Ip | LL = 21 + Ip |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 1,37 | 6,83 | 0,91 | - 0,04 | 6,87 | 27,87 |
| 14 | 1,44 | 7,91 | 1,49 | 1,73 | 6,18 | 27,18 |
| 15 | 1,51 | 8,94 | 1,19 | 0,75 | 8,19 | 29,19 |
| 16 | 1,48 | 8,51 | 0,91 | - 0,04 | 8,55 | 29,55 |
| 17 | 1,42 | 7,61 | 1,40 | 1,46 | 6,15 | 27,15 |
| 18 | 1,50 | 8,80 | 1,35 | 1,30 | 7,50 | 28,50 |
| 19 | 1,49 | 8,65 | 1,29 | 1,10 | 7,55 | 28,55 |
| 20 | 1,54 | 9,37 | 1,35 | 1,30 | 8,07 | 29,07 |
| 21 | 1,57 | 9,79 | 1,26 | 1,00 | 8,79 | 29,79 |
| 22 | 1,60 | 10,20 | 1,12 | 0,49 | 9,71 | 30,71 |
| 23 | 1,51 | 8,94 | 1,29 | 1,10 | 7,84 | 28,84 |
| 24 | 1,55 | 9,51 | 1,66 | 2,20 | 7,31 | 28,31 |
| 25 | 1,29 | 5,52 | 1,19 | 0,75 | 4,77 | 25,77 |
| 26 | 1,42 | 7,61 | 1,31 | 1,17 | 6,44 | 27,44 |
| 27 | 1,50 | 8,80 | 0,86 | - 0,06 | 8,86 | 29,86 |
| | | | | | T | 437,68 |
| | | | | | u | 29,18 |

# BIBLIOGRAPHIE

## OUVRAGES DE CARACTERE GENERAL

Aubert - 1970 - "L'agriculture biologique" - Le courrier du livre - 251 p.

Charreau - 1970 - Thèse - "L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques." IRAT - 339 p.

Demolon - 1966 -"Dynamique du sol" - Dunod - 520 p.

Gaucher - 1968 - "Traité de pédologie agricole. Le sol et ses caractéristiques agronomique" - Dunod - 587 p.

Hénin, Gras, Monnier - 1969 - "Le profil cultural" - Masson et Cie - 337 p.

Rush - 1971 - "La fécondité du sol" - Le courrier du livre - 311 p.

Soltner - 1974 - "Le sol" - Sciences et techniques agricoles - 440 p.

## RAPPORTS SOL = PLANTE

Dalleine, Coppenet, Trocmé, Charles, Redlich - Les cahiers du maïs - Les engrais de France - 116 p.

Demolon - "Croissance des végétaux cultivés" - Dunod - 576 p.

Maertens - 1964 - "La résistance mécanique des sols à la pénétration - Ses facteurs et son influence sur l'enracinement" - Annales Agronomiques 15 (5) pp. 539-554.

Schurmann & Goedwaagen - "Methods for the examination of roots systems and roots" - P.U.D.O.C. - 186 p.

## SOLS ET TRAVAUX CULTURAUX

Aubineau - 1973 - "Travail du sol : associer ou supprimer les outils ?" Tribune du monde rural n° 268, 6p.

Burkalov, Koloskova, Bakhtin - 1973 - "Indirect determination of the specific resistance of soils to plowing" - Soviet Soil Science n° 4 vol. V pp. 473-478.

Dalleine & Hénin - "Le labour" - Brochure technique - 44 p.

Dalleine - 1965 - "Savez-vous tirer le meilleur parti de votre charrue ?"- Bulletin des CETA n° 121 pp. 21-31, n° 122 pp. 23-28.

Haans et Westerveld - 1970 - "The applications of soil survey in Netherlands"- Geoderma n° 3 vol. IV pp. 274-309.

Heddadj - 1974 - "Contribution à l'étude de l'influence du travail du sol sur l'évaporation du sol nu." - Thèse - Université de Rennes.

Servat, Chamayou, Damagnez, Monnier, de Chabert, Manière, Hénin - 1973 - "Le travail du sol et ses conséquences en pays méditerranéen" - BTI n° 278, 299 p.

Werner & Scheidegger - 1974 - "Savoir travailler le sol" - Nature et Progrès n° 3 pp. 6-9.

MATIERE ORGANIQUE

Delas, Juste, Goulas - 1973 - Matière organique et fertilisation des sols. Contribution à l'étude des effets de la matière organique sur les rendements et la qualité des récoltes ainsi que sur l'évolution du milieu - BTI n° 285 pp. 841-853.

FAUNE ET SOL

Bachelier - 1963 - "La vie animale dans les sols" - Document technique ORSTOM - 280 p.

Bachelier & Moureaux - 1973 - Notes prises au séminaire "Biologie des sols" 13 p. manuscrites.

Dommergues - 1968 - "La biologie des sols " - Que sais-je ? - 125 p.

Peysson - 1971 - "La vie dans les sols" (ouvrage collectif) - Géobiologie, écologie, aménagement - Gauthier Villars - 471 p.

MICROMORPHOLOGIE

Bal - 1973 - "Micromorphological analysis of soils" - Netherlands Soil Survey Institute - 186 p.

Brewer - 1964 - "Fabric and mineral anelysis of soils" - Wiley & Sons- 470 p.

Jeanson - 1967 - "Essai de pédozoologie expérimentale : morphologie d'un sol artificiel structuré par les lombricides" - Bulletin de l'ENSA Nancy tome IX fasc. 1 pp. 50-52.

Stoops - 1970 - Notes provisoires de micromorphologie du sol. Matière organique et formes d'humus. Geologisch Instituut Ryksuniversität Gent - 5 p.

PHYSIQUE DU SOL

Audry, Combeau, Humbel, Roose, Vigier - 1972 & 1973 - Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols - Bulletin technique ORSTOM - n° 1 & 2 - 127 p + annexes.

Faure - 1971 - "Contribution à l'étude du mécanisme du compactage des sols" Ann. Agron. 22 (5).

Faure & Fies - 1972 -"Etude expérimentale de la sensibilité au compactage de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique" - Ann. Agron. 23 (3).

Faure - 1974 - "Des caractéristiques mécaniques de la fraction argileuse dans le mécanisme de tassement des sols" - C.R. Acad. Sciences Paris t. 278.

Faure & Fies - "Mécanisme de tassement des sols et sensibilité au compactage" - Publication de la station d'agronomie INRA, Montfavet.

Fies - 1971 - "Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols" - Ann. Agron. 22 (6).

Henin - 1966 - "Réflexions sur les problèmes de travail du sol" - Bull. techn. d'Inform. des Ingénieurs des Services agricoles - 206 -

Monnier - 1968 - "Etat physique du sol et nutrition minérale" - B.T.I. 231.

Monnier & Bui Huu Tri - 1971 - "Méthode d'évaluation de la taille des éléments structuraux du sol" - AFES n°2.

# ILLUSTRATIONS


| | | pp |
|---|---|---|
| Fig 1 | - Différents sites d'observation | 11 |
| Fig 2 | - Formations pédologiques | 14 |
| Photo 1 | - Racines de maïs sur motte compacte | 22 |
| Photo 2 | - Appareil racinaire de maïs | 22 |
| Fig 3 | - Comportement des racines face aux mottes compactes | 25 |
| Photo 3 | - Racine de maïs sur semelle de pseudo-labour | 28 |
| Photo 4 | - Racine dans une zone moins compacte | 28 |
| Fig 4 | - Appareil racinaire de maïs en sol tassé | 31 |
| Fig 5 | - Racines de maïs "en arête de poisson" dans un horizon tassé | 31 |
| Fig 6 | - Comportement de racines face aux horizons compacts | 34 |
| Photo 5 | - Semelle de labour | 34 |
| Fig 7<br>8 | - Morphologie de racines de vides | 37 |
| Photo 6 | - Bouchons de matière organique | 40 |
| Fig 9 | - Morphologie d'une racine de blé | 43 |
| Fig 10 | - Schéma d'un système racinaire de maïs en profil cultural défavorable | 45 |
| Fig 11 | - Schéma d'un système racinaire de maïs en profil cultural idéal | 47 |
| Fig 12 | - Cover crop | 58 |
| Fig 13 | - Travail axial | 58 |
| Fig 14<br>Photo 7 | - Travail du cover-crop | 61 |
| Fig 15<br>Fig 16 | - Cultivateur lourd | 65 |
| Fig 17<br>Photo 8 | - Travail du cultivateur lourd | 67 |
| Fig 18 | - Fraise | 71 |
| Fig 19 | - Trajectoire d'une dent | 71 |
| Fig 20<br>Photo 9 | - Travail à grande vitesse de rotation | 73 |
| Fig 21<br>Photo 10 | - Travail à faible vitesse de rotation | 75 |
| Fig 22<br>Photo 11 | - Traces du corn sheeler | 79 |
| Fig 23 | - Les tassements produits | 81 |
| Fig 24 | - Au niveau d'une empreinte de pneu | 81 |
| Fig 25<br>Photo 12 | - Après déchaumage du blé | 84 |
| Fig 26 | - Labour après maïs (déc. 74) | 88 |
| Photo 13 | - Labour révélateur de tassements | 88 |

| | | |
|---|---|---|
| Photo 14 | - En zone non tassée | 91 |
| Photo 15 | - En zone tassée | 91 |
| Fig 27 | - Couche reprise par la herse | 95 |
| Fig 28 | - Labour avant reprise (avril 75) | 95 |
| Fig 29, 30, 31 | - Tassements par le tracteur | 99 |
| Fig 32 | - Profil CHA 1 | 102 |
| Fig 33 | - Profil CHA 2 | 105 |
| Fig 34 | - Profil CHA 3 | 107 |
| Fig 35 | - Détail du profil CHA 3 | 109 |
| Photo 16 | - Galerie de taupe au-dessus d'une semelle | 119 |
| Photo 17 | - Galerie au-dessus des cailloux | 119 |
| Fig 36 | - Carte des hauteurs du maïs | 127 |
| Fig 37 | - Carte de l'aspect chlorotique du maïs | 129 |
| Fig 38 | - Carte des rendements en matière sèche : maïs grain | 133 |
| Fig 39 | - Carte synthétique du maïs | 135 |
| Fig 40 | - Carte topographique | 137 |
| Fig 41 | - Différents types de profils | 141 |
| Fig 42 | - Carte de répartition des différents types de profils | 143 |
| Fig 43 | - Carte de l'épaisseur de la formation limoneuse | 145 |
| Fig 44 | - Profil type | 149 |
| Photo 18 | - Accumulations de limons dans l'empreinte d'une roue de tracteur | 151 |
| Photo 19, 20 | - Semelle de labour | 155 |
| Fig 45 | - Structuration d'une motte | 159 |
| Fig 46 | - Poches grumeleuses | 159 |
| Photo 21 | - Tassement sous une roue de tracteur | 165 |
| Photo 22, 23 | - Incidence du tassement en début de végétation | 167 |
| Photo 24, 25 | - Incidence du tassement après tallage | 169 |
| Fig 47 | - Différents niveaux de porosité | 179 |
| Fig 48 | - Aspérimétrie | 183 |

# TABLE DES MATIERES


pp

Sommaire 3

Chapitre 1 : LA DEMANDE - MISE EN PLACE DE L'ETUDE - PRESENTATION DU TRAVAIL 7

1. - La demande. Mise en place de l'étude 7

2. - Présentation générale du travail 7
2.1 - L'évolution des horizons cultivés. Définition d'une démarche pour leur étude 7
2.11 - Schéma général 7
2.12 - Premier volet 8
2.13 - Deuxième volet 9
2.2 - Les méthodes 9
2.3 - Le cadre de l'étude 10
2.31 - Observations analytiques et étude synthétique 10
2.32 - Géographie et données générales 10
2.33 - Formations pédologiques 15

Chapitre 2 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES PLANTES 19

1. - Inventaire des différentes situations 20
1.1 - Comportement des racines face aux cailloux 20
1.2 - Comportement des racines face aux mottes compactes 23
1.3 - Comportement des racines face aux horizons compacts 23
1.31 - Horizon compact dans l'Ap 23
1.32 - Horizon compact de profondeur 29
1.33 - Semelle de labour 35
1.4 - Comportement des racines face à différents lissages 35
1.5 - Comportement des racines face aux vides 35
1.6 - Comportement des racines face à la matière organique 41
1.7 - Comportement des racines au niveau de zones de réduction 41

2. - Etablissement de cartes de végétation 42

3. - Etude du profil cultural, dans trois cas extrêmes de développement du maïs 49

Chapitre 3 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES MODES CULTURAUX. 55

1. - Observation de différents outils de pseudo-labour 55
1.1 - Les différents outils employés 59
1.2 - Cover-crop 59
1.3 - Cultivateur lourd 63
1.4 - Fraise 69
1.5 - Conclusion d'ensemble 77

2. - Incidence d'une récolte en conditions humides 78

3. - La mise en place des cultures 85
3.1 - La mise en place du blé 85
3.11 - Labour d'automne après un blé (blé/blé) 85
3.12 - Labour d'automne après un maïs (blé/maïs) 89
3.13 - Les façons superficielles et le semis 93
3.2 - La mise en place du maïs 94
3.21 - Labour de printemps après un maïs (maïs/maïs) 94
3.22 - Les façons superficielles et le semis 97

4. - Incidence du passage des tracteurs après préparation du sol 97

5. - Labour et non-labour 98
5.1 - Profil CHA 1 103
5.11 - Le labour 103
5.12 - Les façons superficielles 103
5.2 - Profils CHA 2 et CHA 3 104
5.3 - Conclusions 104

Chapitre 4 : ETUDE DES RELATIONS ENTRE LES ORGANISATIONS DU SOL ET LES ORGANISMES TELLURIQUES 115

1. - Relations faune-sol dans un profil type 116
1.1 - Horizon 0-10 cm 116
1.2 - Horizon 10-27 cm 116
1.21 - Les mottes compactes 116
1.22 - Les poches de matière organique 118
1.23 - Importance des galeries de taupe 118
1.231 - Influence de la semelle sur le comportement de ces animaux 118
1.232 - Role des galeries dans la circulation de l'eau 118
1.3 - Horizon 27-35 cm 118
1.4 - Horizon sous-jacent 118

2. - Quelques observations sur les populations de Pucerons 121

3. - Quelques observations sur la répartition des attaques de piétin échaudage 121

Chapitre 5 : ETUDE SYNTHETIQUE 125

1. - Etude de l'homogénéité du sol de la parcelle 125
1.1 - Cartes de végétation et cartes de rendements 126
1.11 - Carte de la hauteur du maïs 126
1.12 - Carte de l'aspect chlorotique et du dessèchement du maïs 126
1.13 - Comparaison de ces cartes avec les cartes de rendements 131

1.2 - Carte de maïs et cartes pédologiques 131
1.21 - Carte topographique 131
1.22 - Place de la parcelle de maïs par rapport aux principales unités pédologiques 139
1.23 - Relations entre les types de formations pédologiques et l'état du maïs 140
1.231 - Rôle des substrats 140
1.232 - Rôle de l'épaisseur des couches limoneuses 140

2. - Le profil cultural de la parcelle 147
2.1 - Description d'un profil cultural type 148
2.11 - La battance 148
2.12 - Horizon Ap 1 153
2.13 - Horizon Ap 2 153
2.14 - Semelle de labour 154
2.15 - Horizon sous-jacent 154
2.2 - Variations selon la culture 157
2.21 - Date de travail du sol - Conséquences sur l'état structural 157
2.22 - Systèmes racinaires différents - Conséquences sur l'état structural 158
2.3 - Variations en fonction du précédent cultural. Rôle des résidus de récolte 158
2.4 - Variations selon les époques d'observation 161

3. - Les contraintes inhérentes aux rotations céréalières intensives 162
3.1 - Les contraintes inhérentes aux systèmes de rotations 162
3.2 - Les contraintes inhérentes à la plante 162
3.3 - Les conséquences : destruction de la structure du sol. Effet dépressif sur la culture suivante 163
3.31 - Tassement par un passage de tracteur 163
3.32 - Tassement par un passage de corn-sheeler 171

Chapitre 6 : CRITIQUE DE LA METHODE EMPLOYEE - PERSPECTIVES 175

1. - Critique de la méthode employée 175

2. - Autres méthodes 176
2.1 - Micromorphologie 176
2.2 - Mesures de porosité 176
2.21 - L'assemblage élémentaire : porosité texturale 177
2.22 - Les organisations: porosité structurale 178
2.23 - Les différentes classes de porosité 181
2.3 - Caractérisation des tassements 182

Conclusion 185

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ANNEXES | II 1 | Description profil ATP 6 | | 189 |
| | II 2 | Description profil ATP 7 | | 190 |
| | II 3 | Description profil ATP 8 | | 191 |
| | III 1 | Schema profil PAC 0 | | |
| | III 2 | Description profil PAC 0 | | 195 |
| | III 3 | Morphologie des pseudo labours | Landroller | 199 |
| | III 4 | " " | Bêche rotative | 199 |
| | III 5 | " " | Vibroculteur | 199 |
| | III 6 | " " | Lely terra | 201 |
| | III 7 | " " | Multicultor | 201 |
| | III 8 | Description profil ATP 5 | | 203 |
| | III 9 | Description profil CHA 1 | | 204 |
| | III 10 | Description profil CHA 3 | | 205 |
| | III 11 | Description CHA 2 | | 207 |
| | V 1 | Choix des données pédologiques | | 209 |
| | V 2 | Etude de la susceptibilité à la battance | | 211 |
| | V 3 | Stabilité structurale | | 213 |
| | V 4 | Etude de la cohésion | | 215 |

Bibliographie 221

Table des illustrations 225

Table des matières 227