

SÉRIE : C  
N° d'ORDRE : 155  
N° de SÉRIE : 51

# THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES

POUR OBTENIR

**LE GRADE DE DOCTEUR DE 3<sup>ème</sup> CYCLE**

*Spécialité : AGRONOMIE*

PAR

**Bernard TOUTAIN**

---

**Contribution à l'étude de la stabilité structurale des sols limoneux  
de Bretagne orientale.**

---

Soutenue le 28 septembre 1970 devant la commission d'examen

**M. G. CLAUSTRES**

*Président*

**M<sup>me</sup> C. LEMOINE  
MM. J. ESTEOULE  
G. CHARLES  
S. HENIN**

}

*Examineurs*

UNIVERSITE DE RENNES

-----

FACULTE DES SCIENCES

-----

Président

M. PELTIER D.

Vice-Président

M. METIVIER M.

Doyens Honoraires

M. MILON Y.

M. TREHIN R.

M. SCHMITT M.

M. LE MOAL H.

M. MARTIN Y.

Professeurs Honoraires

M. ANTOINE L.

M. FREYMANN R.

M. HAGENE P.

M. POISSON R.

M. ROHMER R.

M. TREHIN R.

M. SALMON-LEGAGNEUR F.

M. des ABBAYES H.

M. MILON Y.

Maîtres de Conférences Honoraires

M. GRILLET L.

M. LECRECO A.

Mathématiques

Professeurs

Melle CHARPENTIER M.

M. GUERINDON J.

M. BOCLE J.

Melle DELAVAUULT H.

M. METIVIER M.

M. GIORGIUTTI I.

M. BRUNEL A.

M. CEA J.

Maîtres de Conférences & Chargés de Cours

M. LEGOUPIL J.

M. HOUEBINE J.

M. COATMELEC C.

M. TOUGERON J.C.

M. EUVRARD D.

M. GOULAOUIC C.

M. LIEUTAUD M.

M. NEDELEC J.C.

**Botanique**

M. VILLERET S.  
M. CLAUSTRES G.  
Mlle GOAS M.  
M. MAGNE F.  
Mlle GOAS G.

Mme LEMOINE C.

**Géologie**

M. COGNE J.  
Mlle DURAND S.  
M. PHILIPPOT A.

M. BOILLOT G.  
M. HAMEURT J.

**Le Conseiller Administratif des Services Universitaires**

M. R. BOURDIGUEL



C'est au laboratoire de Pédologie du Centre de Recherches Agronomiques de l'Ouest (Institut National de la Recherche Agronomique) à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de RENNES que les travaux de recherche ont été exécutés. Je tiens à remercier l'Institut National de la Recherche Agronomique de son hospitalité et des moyens dont il m'a permis de disposer avec l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique.

Je remercie très vivement les personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail, et je tiens à leur exprimer toute ma reconnaissance.

Monsieur le Professeur CLAUSTRES, de la Faculté des Sciences de RENNES, portant toujours le plus vif intérêt pour les sciences du sol, a accepté de présider le Jury de thèse. Qu'il accepte mes remerciements les plus sincères pour ses nombreux conseils et les moyens matériels qu'il a mis à ma disposition.

Monsieur CHARLES, Directeur du laboratoire de Pédologie, m'a fait découvrir les problèmes de physique du sol et m'a fait partager son enthousiasme pour cette science. Il m'a guidé tout au long de cette étude. Je lui exprime toute ma gratitude pour les enseignements qu'il m'a prodigués et les nombreuses facilités matérielles qu'il a mises à ma disposition.

Madame LEMOINE, Professeur à la Faculté des Sciences de RENNES; a bien voulu faire partie du Jury de thèse. Je la remercie pour ses très aimables et très utiles conseils.

Monsieur HENIN, Chef du département Agronomie à l'Institut National de la Recherche Agronomique, m'a fait l'honneur d'être membre du Jury de thèse. Cette étude est très largement inspirée par les remarquables travaux qu'il a mené concernant l'état physique des sols cultivés.

Monsieur ESTEOULE, Maître de Conférence à l'Institut National des Sciences Appliquées de RENNES, m'a fait bénéficier de ses grandes connaissances des minéraux argileux et de ses conseils. Il m'a permis de préciser la nature des argiles et m'a toujours accueilli avec beaucoup de bienveillance.

Monsieur MONNIER, Maître de Recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique, m'a fourni de très précieux conseils pour la conduite de mon travail.

Monsieur COLCOMBET, Conseiller technique, m'a fait bénéficier de sa grande connaissance des problèmes agricoles régionaux. Il s'intéresse fortement aux problèmes de structure des sols et m'a mis en contact avec un grand nombre d'agriculteurs.

Monsieur RAOUL, Ingénieur à la Société des Fertilisants de l'Ouest, a bien voulu que j'étudie les terrains d'expérimentation qu'il dirige. Nous avons eu ensemble de fructueux échanges de vue sur le terrain.

Monsieur CHALUMEAU, Ingénieur agronome, a mis très aimablement à ma disposition le champ expérimental de Vignoc.

Monsieur LAURENCEAU, Conseiller agricole à la Chambre d'Agriculture d'Ille-et-Vilaine, m'a fait connaître avec son amabilité coutumière des exploitations intéressantes dans la région de Redon.

Messieurs AUBIN, BARBOU, BLAIR, COTTO, GAUTIER, GROSSET, HUET, LORAND, PERROUULT, ROUAULT, THOMAS, agriculteurs, m'ont toujours très bien reçu, et ont fait leur possible pour me faciliter la tâche.

Monsieur MATAGRIN, Directeur, et Monsieur PATAY, Sous-Directeur à l'École Nationale Supérieure Agronomique de RENNES, ont bien voulu permettre la reproduction de mes graphiques et tableaux.

Madame REGEARD, Messieurs ZAMMIT et MARCHIOLLO ont fourni une aide précieuse au laboratoire.

Madame CLOSIER pour la frappe, Madame FEINKBENER pour la reproduction des graphiques, Monsieur ROUSSET pour les clichés, ont avec beaucoup de gentillesse et de dévouement assuré la réalisation de la thèse.

Monsieur GUERIN fut toujours un précieux auxiliaire et ami dans les moments difficiles.

## S O M M A I R E

=====

pages

### INTRODUCTION

I - INTERET DE L'ETUDE .....	2
II - REGION ETUDIEE .....	4
A.- Situation géographique .....	4
B.- Climat .....	4
C.- Sols .....	9
D;- Cultures .....	14

### CHAPITRE PREMIER

#### METHODES D'ETUDE

I - CHOIX DES STATIONS ..	18
A.- Raisons du choix .....	18
B.- Stations étudiées .....	20
II - ETUDES SUR LE TERRAIN .....	28
III - ETUDES AU LABORATOIRE .....	29
1- Examen des agrégats .....	29
2- Analyse granulométrique .....	29
3- Identification des minéraux argileux ..	30
4- Tests de stabilité structurale .....	31
5- Mesures d'humidité .....	32
6- Mesure du pH .....	33
7- Analyse des matières organiques .....	33

CHAPITRE II

INFLUENCE DE LA TEXTURE ET DE L'HUMIDITE DU SOL

I - INFLUENCE DE LA TEXTURE .....	35
A.- Composition texturale .....	35
B.- Influence de la texture sur la stabilité structurale .....	43
II - INFLUENCE DE L'EAU .....	50
A.- Variation saisonnière de la stabilité .....	50
B.- L'hydromorphie temporaire .....	55

CHAPITRE III

INFLUENCE DES MATIERES ORGANIQUES  
DES ENGRAIS ET DES AMENDEMENTS

I - INFLUENCE DES MATIERES ORGANIQUES .....	61
II - INFLUENCE DES ENGRAIS .....	65
III - INFLUENCE DES AMENDEMENTS .....	71

CHAPITRE IV

INFLUENCE DES TRAVAUX CULTURAUX,  
DU CONTROLE DE L'EAU, ET DES CULTURES

I - INFLUENCE DES TRAVAUX CULTURAUX .....	78
A.- Le labour .....	78
B.- Culture sans labour .....	81
C.- Tassement du sol .....	85
II - INFLUENCE DU CONTROLE DE L'EAU .....	86
A.- L'irrigation .....	86
B.- Assainissement par planches bombées .....	88
III - INFLUENCE DES CULTURES .....	91

CHAPITRE V

LA BATTANCE .....	96
-------------------	----

<u>DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION</u> .....	102
--	-----

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

INTRODUCTION

=====

I - INTERET DE L'ETUDE.

La recherche de l'augmentation des rendements agricoles a révélé l'importance de l'état physique du sol sur la fertilité.

L'intensification de la production par l'emploi des engrais , l'utilisation de nouvelles machines agricoles et l'introduction de nouvelles cultures exigent des propriétés physiques très favorables pour être efficaces et rentables.

Ces conditions nouvelles posent à l'agriculture de la Bretagne orientale de délicats problèmes.

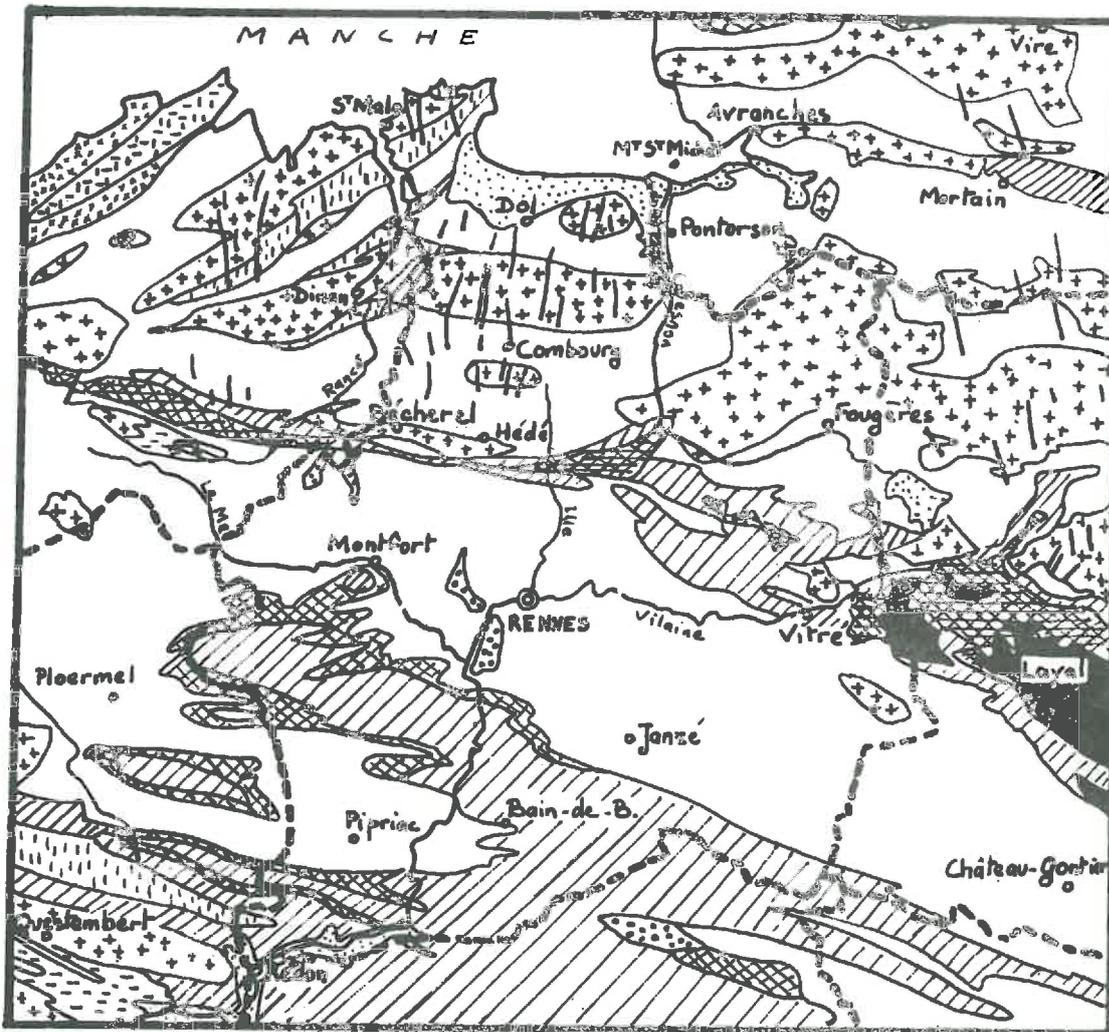
En effet, les sols de cette région présentent une grande homogénéité de caractères, liée à leur texture presque toujours limoneuse malgré la diversité des roches-mères, et leur principal défaut réside dans la fragilité de leur structure.

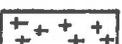
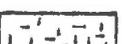
L'objectif de cette étude est de déterminer les principaux facteurs de la stabilité structurale des sols limoneux de cette région et leur degré d'influence, pour dégager les moyens d'action permettant de maintenir ou d'améliorer le bon état structural du sol.

# GEOLOGIE

## DE LA BRETAGNE ORIENTALE

*d'après la carte géologique de la France.  
Feuille à l'échelle du millionième. 5<sup>e</sup> édition.*



	a <sup>1</sup> Quaternaire récent		§ Micaschistes
	p Pliocène		§ Gneiss
	h <sup>1</sup> .h <sup>2</sup> Dinantien-Stéphanien		§ Amphibolite
	d <sup>1</sup> Dévonien inférieur		γ Granites
	s <sup>1</sup> .s <sup>2</sup> Ordovicien. Silurien		η Diorites
	b Cambrien		θ Gabbros
	v Précambrien		Diabases, Dolérites

- Fig. 1 -

## II - REGION ETUDIEE.

### A.- Situation géographique.

La région de Bretagne Orientale sur laquelle l'étude a été faite correspond au département d'Ille-et-Vilaine et aux régions limitrophes situées dans les départements de la Mayenne et du Morbihan.

Elle est occupée au centre par le bassin de Rennes qui est limité au Nord par les terrains siluro-dévonien du Synclinorium médian et le granite de Bécherel. Au delà s'étendent les massifs granitiques de Fougères et de Dinan, les formations métamorphiques de la région de St Malo et les dépôts récents du marais de Dol.

Vers le Sud, les terrains paléozoïques forment une succession de synclinaux dits "synclinaux du Sud de Rennes". Au Sud-Ouest, dans la région de Questembert, affleurent des bandes granitiques.

Le réseau hydrographique a creusé des vallées en surimposition. La Vilaine et ses affluents, coulant vers le Sud, le Couesnon et la Rance vers le Nord y ont déposé des alluvions.

### B.- Climat.

Les caractères climatiques de la région sont, pense-t-on, à l'origine de la similitude texturale de l'horizon superficiel des sols malgré la diversité des roches-mères dont ils sont issus, et interviennent dans leurs propriétés physiques.

1.- Régime des pluies.

Les précipitations sont représentées sur la figure 2. La hauteur moyenne totale des pluies tombant annuellement à Rennes est de 634 mm. Elles sont réparties toute l'année avec un minimum en mai - juillet, et un maximum en novembre.

La comparaison des données météorologiques des diverses stations du département montre que Rennes reçoit la plus faible hauteur de pluie (fig. 2). Le déficit hydrique d'été y est le plus accentué.

Le tableau 1 donne la répartition des pluies, donnée importante à considérer dans cette région où les sols sont battants.

TABLEAU 1

Nombre total, durant la période 1951-1969, de jours de précipitation supérieures ou égales à :

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
10 mm	21	25	24	20	23	27	22	44	31	43	53	38	371
20 mm	3	3	2	1	4	9	5	11	3	9	9	4	68

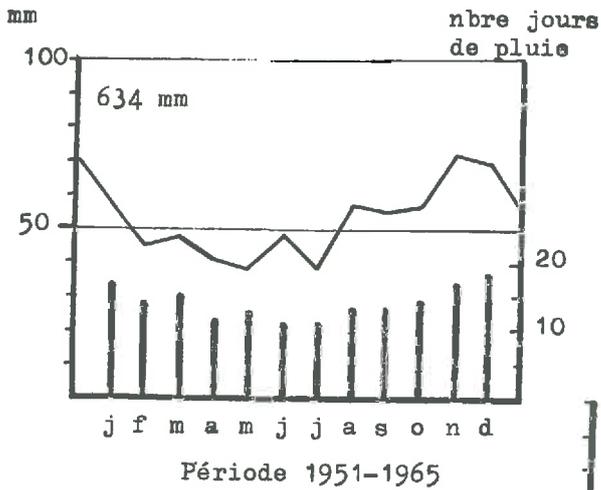
Il tombe davantage de fortes pluies en août-septembre et c'est en avril qu'elles sont le moins à craindre.

La figure 3 indique la probabilité sur une année de voir tomber en une journée une quantité donnée d'eau. Les averses violentes supérieures à 5 mm/h sont exceptionnelles.

2.- Température.

Les températures moyennes sont représentées sur la figure 4. Elles varient entre 4,5° C (minimum 1,7° C et maximum 7,7° C) en janvier et 17,9° C (minimum 12,6° C et maximum 23,2° C) en juillet.

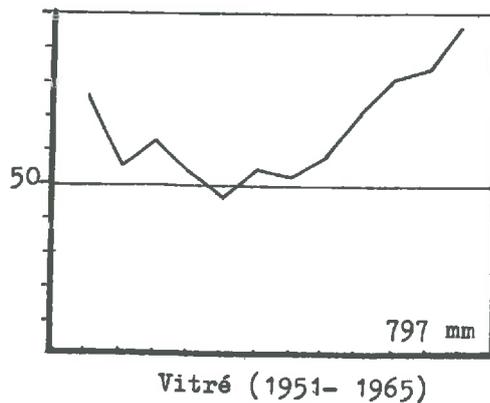
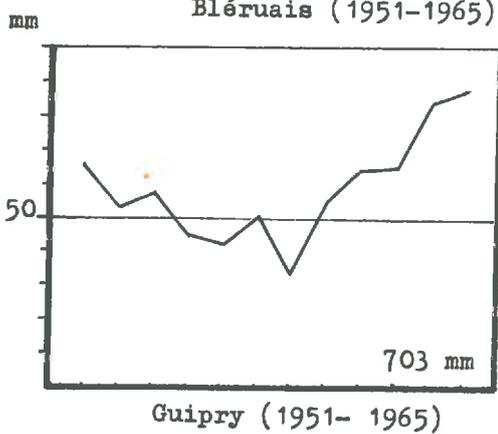
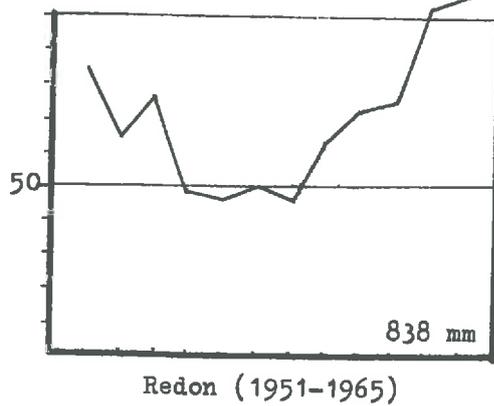
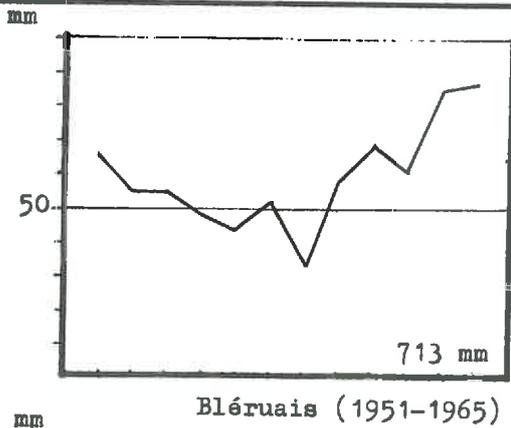
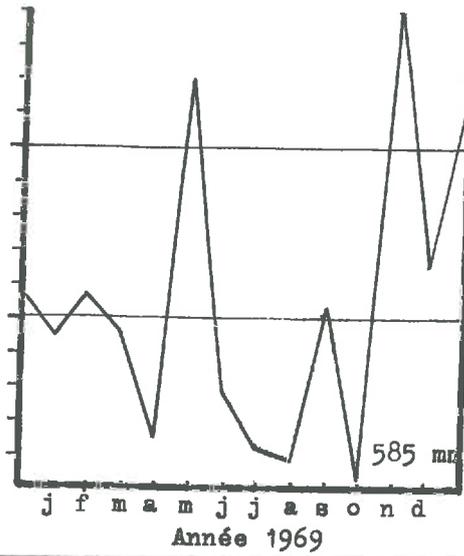
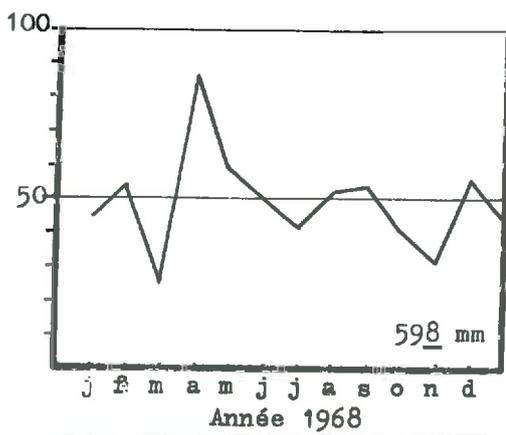
La moyenne de l'année est de 11,2° C.



# MOYENNES DES PRECIPITATIONS

- Fig. 2 -

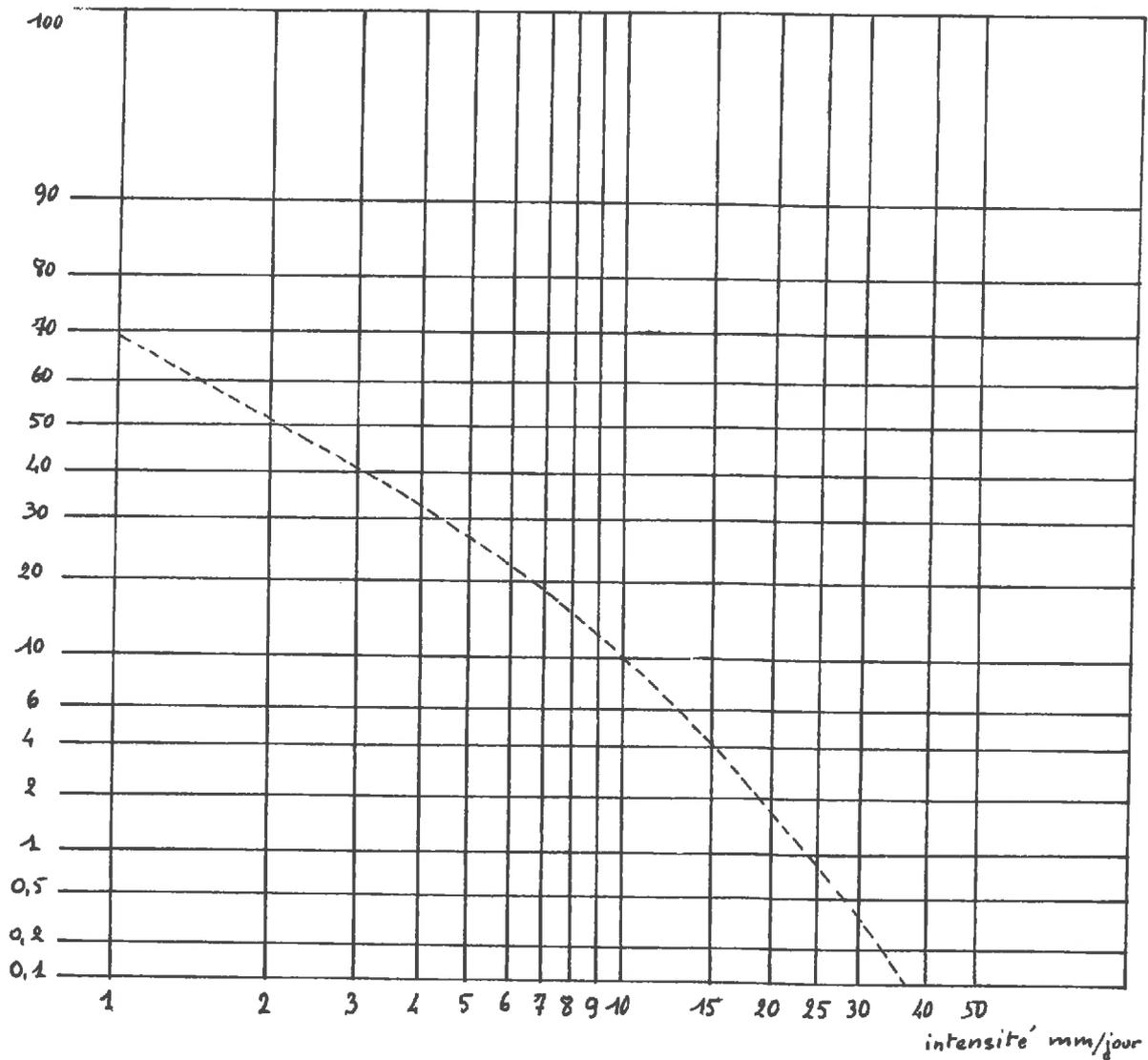
Rennes- St Jacques



# PRECIPITATIONS JOURNALIERES

Rennes - S<sup>t</sup> Jacques

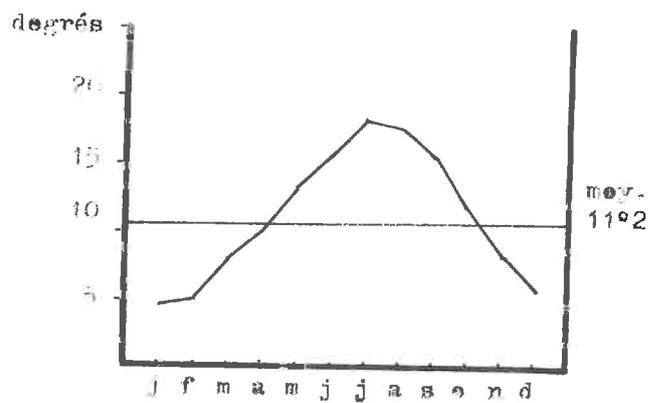
nombre de jours/an



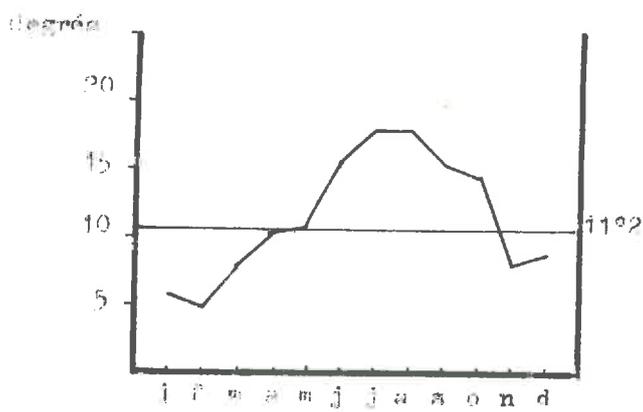
- Fig. 3 -

# MOYENNES MENSUELLES DES TEMPERATURES

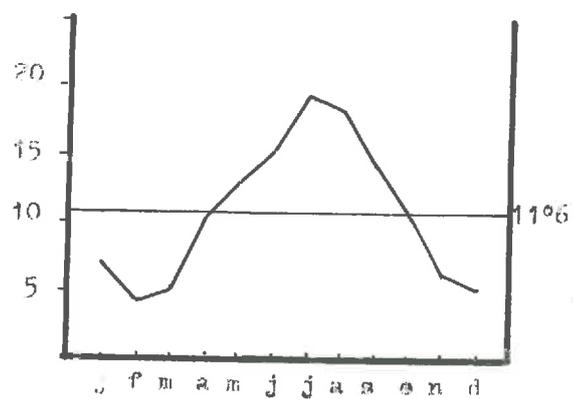
Rennes - S<sup>t</sup> Jacques



Période 1951-1965



année 1958



année 1969

- Fig. 4 -

### 3.- Caractères météorologiques des années 1968 et 1969.

Les années 1968 et 1969 durant lesquelles se sont poursuivies les études sur le terrain se caractérisent par leur sécheresse (fig. 2 et 4). Le printemps 1968 a vu une période fort pluvieuse succéder à un mois de mars exceptionnellement sec. L'automne fut peu arrosé. Si le mois de mai 1969 a vu tomber de fortes pluies, la sécheresse estivale s'est prolongée jusqu'en novembre. Puis l'hiver s'est montré particulièrement humide. De telles irrégularités ont perturbé les travaux culturaux.

### C.-Sols.

#### 1.- Caractères des sols en rapport avec la structure.

La plupart des sols cultivés sont des sols bruns acides faiblement lessivés.

Ils sont constitués par une forte proportion de limons, en particulier des limons grossiers (20 à 50 microns) qui confère au sol des caractères physiques particuliers.

La structure est polyédrique, souvent subangulaire, peu développée et peu stable si les matières organiques ne sont pas présentes en quantité notable.

Les pores sont en majorité très fins, constituant ainsi de bonnes réserves pour l'eau. Mais le ressuyage des sols est lent, ce qui favorise l'engorgement par l'eau et le ruissellement en surface.

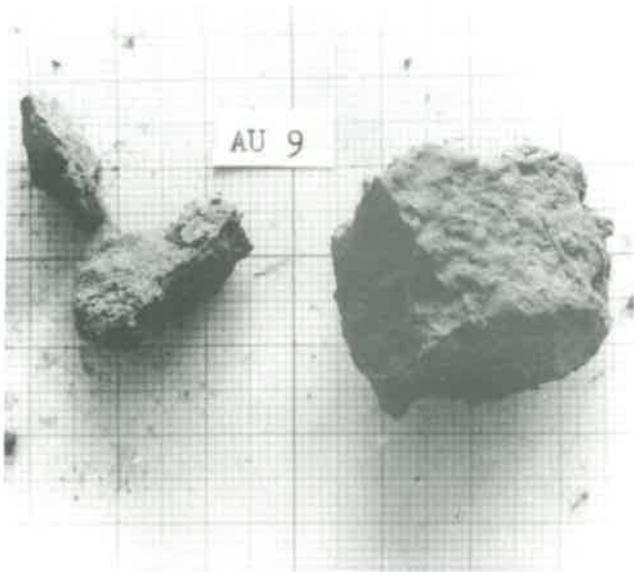
Malgré la relativement faible proportion d'argile, la cohésion de la terre sèche est élevée, à cause des très grandes surfaces des particules.

En revanche, à l'état humide elle devient très faible, rendant la terre sensible aux agents de dégradation.

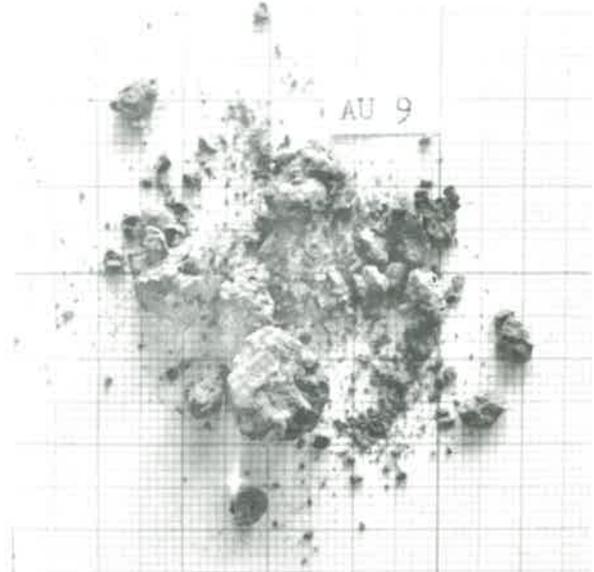
Le lessivage général des sols a pour conséquence la désaturation des colloïdes, ce qui facilite la peptisation et l'entraînement de l'argile ainsi dispersée ; la résistance au tassement s'en trouve diminuée.

## A S P E C T   D E S   A G R E G A T S

=====



Cliché 1 - Agrégats fermes. Le cœur est compact, souvent d'aspect sec, et plus pauvre en matière organique. Station A.



Cliché 2 - Agrégat grumelleux. Il s'émiette facilement sous la pression du doigt.



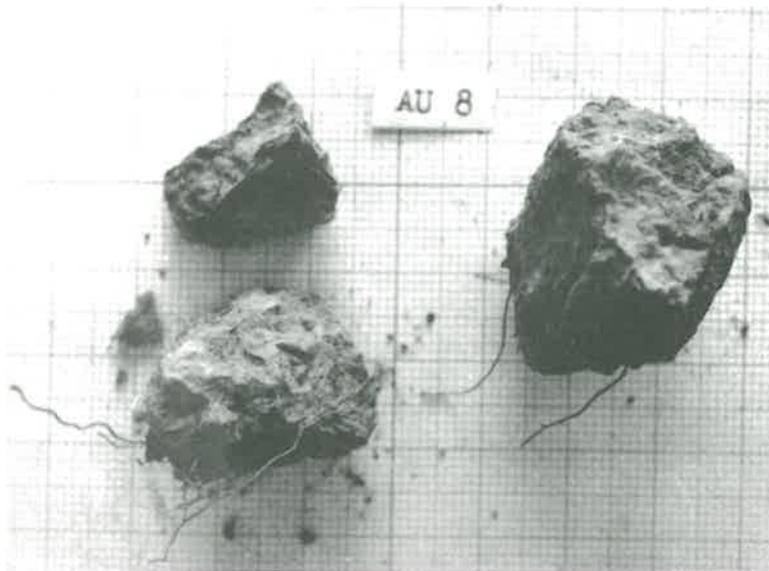
Cliché 3 - Agrégats bien individualisés. Les arêtes sont nettes et les surfaces presque planes. Station H. 1,8 X.



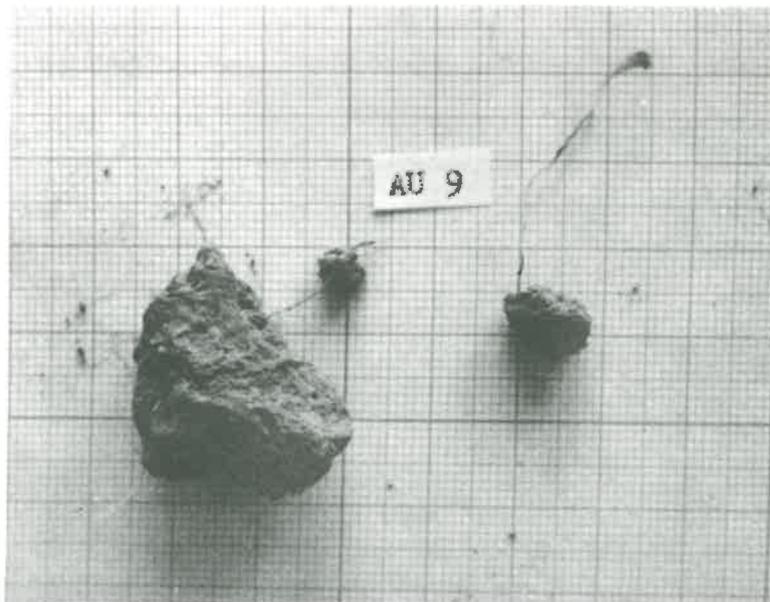
Cliché 4 - Microagrégats. Leur aspect granuleux et fissuré laisse supposer une faible stabilité. Station H. 15 X.

CROISSANCE DES RACINES  
=====

EN RAPPORT AVEC LA STRUCTURE  
=====



Cliché 5 - Racines développées à la surface  
des agrégats compacts.



Cliché 6 - Racines traversant les agrégats  
compacts, sans empreinte de  
fissures de moindre résistance.

En dehors des zones de stagnation de l'eau, la finesse des pores, encore augmentée par le tassement, explique la tendance importante de ces sols à l'hydromorphie, que l'on peut alors rencontrer sur les pentes.

La faible stabilité du sol rend vulnérable l'horizon superficiel aux pluies battantes. La diminution de la porosité qui s'ensuit augmente le ruissellement et l'érosion.

## 2.- Humidité du sol.

Moyennant la connaissance de l'humidité équivalente et du point de flétrissement, le calcul des réserves utiles du sol (R. U.) représente l'approche théorique la plus commode de l'humidité moyenne de la couche de sol explorée. Le tableau 2 regroupe les valeurs mensuelles moyennes des précipitations (P mm), de l'évapotranspiration potentielle en mm d'eau (E. T. P.) et de l'évapotranspiration réelle en mm (E. T. R.), calculées selon la formule de Thornthwaite, ainsi que les réserves utilisables (R. U.) et facilement utilisables par les plantes (R.F.U.).

TABLEAU 2

Tableau des réserves utiles moyennes  
calculées par mois  
Rennes - St Jacques

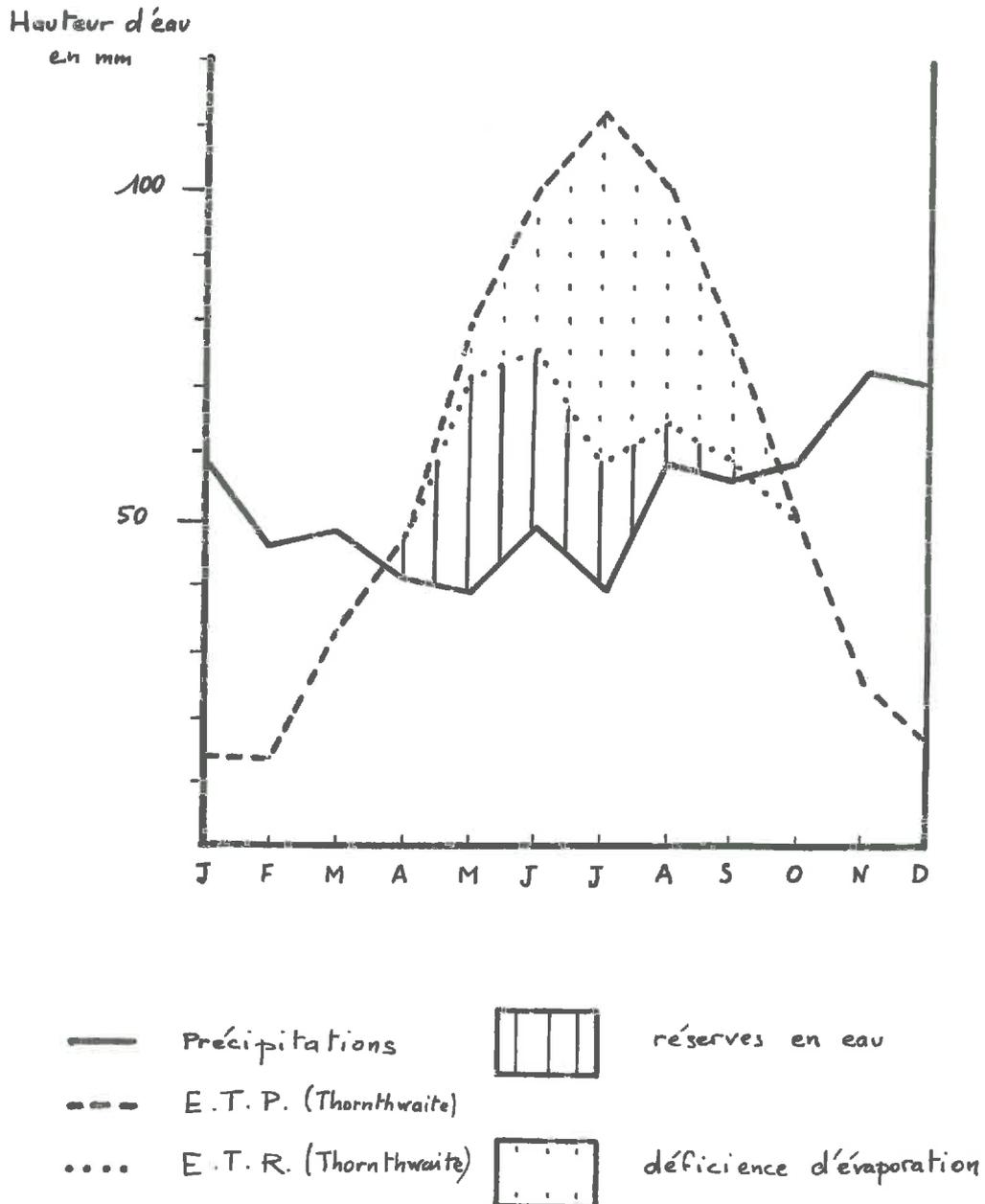
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P mm .....	58	46	48	41	39	49	39	58	56	58	72	70
E. T. P. mm..	14	14	33	48	79	100	112	100	76	50	25	17
R. U. mm.....			100	93	62	36	17	11	9			
R. F. U. mm..				7	31	26	19	6	2			
ETR = P + RFU				48	71	75	58	64	58			

Ces valeurs sont représentées graphiquement sur la figure 5.

# LES BESOINS EN EAU DU SOL

Rennes - St Jacques

Etablis d'après les formules de Thornthwaite  
(Période 1951 - 1965)



- Fig. 5 -

En réalité, il existe un gradient d'humidité variant avec la profondeur et chaque horizon se trouve à un point d'humidité différant quelque peu de la valeur théorique. En hiver la capacité au champ est souvent dépassée car l'écoulement des eaux d'infiltration est lent, et en été l'humidité augmente avec la profondeur.

Ainsi l'horizon superficiel atteint-il fréquemment le point de flétrissement alors même que les plantes continuent à être alimentées en eau par les horizons sous-jacents.

D.- Cultures.

La plus grande partie des terres est cultivée. Les zones les plus accidentées sont traitées en bocages. Le tableau 3 donne une idée globale des spéculations entreprises dans l'Ille-et-Vilaine, et de leur évolution.

TABLEAU 3

Répartition des surfaces cultivées en Ille-et-Vilaine  
(en hectares)

	1963	1968
Terres labourables .....	421 000	366 000
Surface toujours en herbe .....	113 000	186 000
Surface totale du département .	700 000	700 000
Céréales .....	181 000	161 000
Plantes sarclées .....	83 000	57 000
Cultures fourragères .....	152 000	145 000

Les surfaces toujours en herbe sont en augmentation au détriment des plantes cultivées. Le blé, les fourrages annuels et les prairies temporaires couvrent une superficie constante depuis plusieurs années. Les autres cultures perdent de l'importance.

L'extension des surfaces cultivées en maïs est spectaculaire comme le montre le tableau 4.

TABLERAU 4

Evolution des surfaces cultivées en maïs en Ille-et-Vilaine

	1968	1970
Maïs grain .....	3 000 ha	
Maïs fourrage .....	5 000 ha	
Maïs dérobé .....	2 000 ha	
Total .....	10 000 ha	
Prévisions .....		21 000 ha

Les assolements pratiqués ont une action déterminante sur la structure. Ils sont variés, mais se rapprochent habituellement du type suivant :

- en tête d'assolement, on cultive une plante sarclée: maïs, betterave, pomme de terre, colza...
- vient ensuite une céréale d'hiver, généralement le blé. On le fait suivre d'une culture dérobée: chou, navette, ray-grass italien, qui sera pâturée pendant l'hiver.
- on sème ensuite une céréale de printemps, l'orge le plus généralement.
- on termine éventuellement l'assolement par une culture annuelle de ray-grass italien, ou du mélange ray-grass - trèfle violet. Après une coupe à foin, elle est pâturée jusqu'au printemps suivant.

De tels assolements ménagent très peu de temps entre la récolte et la préparation du sol pour les semailles suivantes. Les agriculteurs, au détriment du sol, utilisent du matériel lourd.

Des conditions climatiques difficiles retardant la maturité et les récoltes, ou au moment de la préparation du sol, obligent :

- soit à un report de culture : un maïs, par exemple, remplacera une orge qui n'a pu être semée à temps ;
- soit à des travaux culturaux dans des conditions d'humidité très défavorables à la structure du sol.

Les pâturages d'hiver des cultures dérobées ou des cultures de fourrages annuels provoquent un piétinement intensif au moment où le sol est très fragile et conduisent à la dégradation de la structure.

L'introduction récente du maïs en Bretagne pose de nouveaux problèmes de physique du sol à cause de la longueur de son cycle végétatif et des méthodes culturales qui lui sont propres.

CHAPITRE PREMIER

-----

METHODES D'ETUDE

=====

CHAPITRE PREMIER  
=====

METHODES D'ETUDE  
=====

I - CHOIX DES STATIONS.

A.- Raisons du choix.

Le choix des stations a été guidé par les considérations suivantes :

- limitation de l'étude aux terres de grande culture, les cultures arbustives étant exclues ;
- choix des sols établis sur des substrats géologiques différents et des conditions variées de relief et de cultures ;
- recherche d'exploitations agricoles où l'organisation des travaux permet d'établir une expérimentation ;
- utilisation des champs d'essais déjà existants, mis en place dans d'autres buts et qui présentent un intérêt pour l'étude.

De nombreux facteurs de la stabilité peuvent demander plusieurs années avant de manifester un effet concluant. Il n'a pas semblé utile de mettre en place des champs d'essais.

# ILLE-ET-VILAINE

REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS



- Fig. 6 -

## B.- Stations étudiées.

Pour les principales stations sur lesquelles l'étude a plus particulièrement porté sont mentionnées la localisation et les caractéristiques topographiques, pédologiques et agricoles. Leur situation est précisée sur la carte de la figure 6.

### 1.- Station A

Elle correspond à la ferme "La Rosaie", exploitée par M. Aubin, à Vézin-le-Coquet, près de Rennes.

#### a) Sous-station Ad :

La parcelle appelée "Le Haut-du-Domaine" est située sur schiste briovérien. Le terrain est en pente et le sol est peu épais et riche en débris de schiste et en cailloux de quartz. Exploitée en prairie depuis 1964, le surpâturage et le piétinement avaient dégradé la flore et fortement tassé la couche superficielle. Elle est remise en culture depuis mars 1969.

#### b) Sous-station Af :

Cette parcelle nommée "Le Fougerou" se trouve sur limon. Le sol est profond, sans pierres. La structure y est polyédrique, mal développée et instable. Jadis fort humide, cette parcelle a été assainie par un drainage. Elle est actuellement exploitée en culture.

### 2.- Station B

Ce champ d'essai, mis en place en 1967 chez M. Tortellier, agriculteur à "La Maudayaie" près de Boistrudan, est situé au bord de la route D 99 de Boistrudan à Moulins. Il a pour but de tester six fertilisations en plus d'un témoin et se trouve divisé en sept blocs correspondant chacun à une sole de la rotation suivante (fig. 7) :

betteraves danoises - blé - orge de printemps -  
ray-grass italien et trèfle - maïs-grain - maïs-four-  
rage - blé.

## BOISTRUDAN

Schéma du dispositif

Témoins	NPK	NPK+N	NPK+P	NPK+K	NPK renf.	Autre fertil.
NPK	NPK+N	NPK+P	NPK+K	NPK renf.	Autre fertil.	Témoins
NPK+N	NPK+P	NPK+K	NPK renf.	Autre fertil.	Témoins	NPK
NPK+P	NPK+K	NPK renf.	Autre fertil.	Témoins	NPK	NPK+N
NPK+K	NPK renf.	Autre fertil.	Témoins	NPK	NPK+N	NPK+P
NPK renforcé	Autre fertil.	Témoins	NPK	NPK+N	NPK+P	NPK+K
Autre fertil.	Témoins	NPK	NPK+N	NPK+P	NPK+K	NPK renf.

Cultures  
campagne 68

R.G. 2<sup>e</sup> ann. Maïs grain Maïs fourr. Blé Bett. Blé R.G. 1<sup>re</sup> ann.

MOULINS ←

→ BOISTRUDAN

- Fig. 7 -

## QUESTEMBERT

Schéma du dispositif

Ferme ↑	NPK+K	autre fertil.	NPK	NPK+P	Témoins	NPK renforcé
	NPK+P	Témoins	NPK renforcé	NPK+N	NPK+K	Autre fertil.
	NPK+N	NPK+K	Autre fertil.	NPK	NPK+P	Témoins
	NPK	NPK+P	Témoins	NPK renforcé	NPK+N	NPK+K
	NPK renforcé	NPK+N	NPK+K	Autre fertil.	NPK	NPK+P
	autre fertil.	NPK	NPK+P	Témoins	NPK renforcé	NPK+N
	Témoins	NPK renforcé	NPK+N	NPK+K	Autre fertil.	NPK

Cultures  
campagne 68

P.de t. Blé Orge R.G.I Orge R.G.I

ROCHERFORT-  
EN-TERRA ←

→ QUESTEMBERT

- Fig. 8 -

Le sol, légèrement acide, est sur du schiste briovérien. Il est très limoneux, avec une structure polyédrique.

### 3.- Station C

Elle se trouve sur la propriété de M. Cotto, à Treffendel, à gauche de la route N 24, lorsqu'on va de Rennes à Plélan-le-Grand. Le sol, sur des schistes verts, est très limoneux et très fragile. Une partie a été assainie en 1964 par le dressage de planches bombées de grande largeur et une prairie y fut installée. La porosité est importante et les racines bien développées. Le sol hydromorphe de la partie non assainie est riche en matières organiques, très noir, humide et compact, avec des taches de rouille autour des racines.

### 4.- Station E

La parcelle appelée "le Bas-Chemin" du domaine de l'E. N. S. A. à Rennes est située sur des alluvions anciennes de la Vilaine. Elle est utilisée depuis plusieurs années comme champ d'expérimentation, dans le but de déterminer l'efficacité des éléments N, P, et K, combinés à des doses différentes dans un dispositif de type "confounding" (fig. 9). Le sol est riche en cailloux et très cohérent à l'état sec. L'horizon labouré (25 à 28 cm) possède une structure polyédrique à cubique.

### 5.- Station F

La parcelle appelée "La Jannaie", est située à Rennes sur le domaine de l'E. N. S. A. Elle est exploitée en prairie pâturée depuis plusieurs années. Le sol est formé sur sables et graviers du Pliocène. Sa texture est sablo-limoneuse et il est riche en matière organique. La couche superficielle arable (échantillons F 2), d'épaisseur 20 cm, est compacte, de structure polyédrique à nuciforme et présente des tendances à la stratification probablement par suite de tassements par le piétinement des animaux. L'horizon sous-jacent (échantillons F 3), est moins compact, et un peu plus humide. Des taches de rouille se sont déposées dans les pores sur tout le profil.

# LE BAS - CHEMIN

station E

schéma du dispositif

RENNES → VOIE DE CHEMIN DE FER → BREST	410	311	221	423	121	411	422	413
	1	2	3	4	17	18	19	20
	113	322	212	313	213	220	123	321
	5	6	7	8	21	22	23	24
	412	320	223	120	211	222	312	110
9	10	11	12	25	26	27	28	
210	421	111	122	420	323	112	310	
13	14	15	16	29	30	31	32	

423 : N dose 4 , P dose 2 , K dose 3

- Fig. 9 -

# VIGNOC

schéma du dispositif

PKM <sub>1</sub>	TM <sub>1</sub>	NPKM <sub>2</sub>	PKM <sub>2</sub>	NPK	T	NPKM <sub>1</sub>	PK	TM <sub>2</sub>
19	20	21	22	23	24	25	26	27
NPKM <sub>1</sub>	TM <sub>1</sub>	NPKM <sub>2</sub>	TM <sub>2</sub>	T	PKM <sub>1</sub>	PK	NPK	PKM <sub>2</sub>
10	11	12	13	14	15	16	17	18
PK	T	NPK	PKM <sub>1</sub>	NPKM <sub>1</sub>	TM <sub>2</sub>	NPKM <sub>2</sub>	TM <sub>1</sub>	PKM <sub>2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9

M<sub>1</sub> : dose 1 de maërl  
 M<sub>2</sub> : dose 2 de maërl

→ chemin pour GUIPEL

- Fig. 10 -

#### 6.- Station G

Elle se trouve sur l'exploitation de M. Grosset, à St Brieu-des-Iffs, près de Hédé, au lieu-dit "La Talmachère". Le sol, formé sur des schistes briovériens, est très limoneux et sensible à la battance. Les parcelles étudiées ont porté plusieurs cultures avec des précédents identiques.

#### 7.- Station H

Située sur la commune de Daon en Mayenne, au lieu-dit "Les Vallées", elle fait partie de l'exploitation de M. Huet et se trouve de chaque côté de la route N 159 bis de Château-Gontier à Daon. Les sols formés sur du schiste étaient hydromorphes sur les parcelles au sommet du plateau. L'assainissement par planches bombées, le travail du sol et l'introduction de prairies temporaires durant plusieurs années dans la rotation a beaucoup amélioré la structure. Celle-ci est polyédrique, peu développée, et le sol est compact et très cohérent à l'état sec. Un essai de culture de blé sans labour a été installé après une prairie de cinq ans.

#### 8.- Station I

Elle est située à St Brieu-des-Iffs, au lieu-dit "La Landière", sur l'exploitation de M. Blair. La terre est très limoneuse et très sensible à la battance, et favorable à la formation de semelles de labour.

#### 9.- Station J

Située à Pléchatel, au lieu-dit "La Val Dréo" sur l'exploitation de M. Gautier, elle borde la route de Bain-de-Bretagne à Pléchatel (D 52). Elle est en grande partie incluse dans les landes de Bagaron. Le sol, formé à partir des grès armoricains, est peu épais et possède une structure compacte et peu développée. La partie supérieure de la parcelle était exploitée en prairie naturelle, la partie basse avait été cultivée il y a quelques années avant d'être exploitée en prairie. Un maïs a été cultivé sur la parcelle entière en 1969.

#### 10.- Station L

Elle est située à Bléruais, au lieu-dit "Le Val Botrel" sur l'exploitation de M. Lorand (D 59, de Plélan-le-Grand à St Méen).

##### a) Sous-station Lb :

La partie basse de l'exploitation est située sur les alluvions du Meu, qui forme l'une des limites de ces parcelles. La pente est très faible et n'assure pas un écoulement de l'eau satisfaisant. Le sol, de texture fine, est très riche en cailloux de quartz pouvant atteindre la taille du poing. Un assainissement par planches bombées a permis d'y entreprendre une culture intensive de graminées prairiales. Dans une parcelle témoin, le sol exploité par les racines est très peu épais (10 à 15 cm) et repose sur le gley.

##### b) Sous-station Lh :

Elle correspond à des parcelles en pente. Le creusement de fossés d'évacuation d'eau a suffi pour assurer l'assainissement. Le sol présente les mêmes caractéristiques texturales, mais contient moins de cailloux que dans la partie basse. Les graminées fourragères y sont également cultivées de façon intensive, pour l'ensilage et le pâturage.

#### 11.- Station M

Elle est située à Pontorson, au lieu-dit "l'Isle", sur l'exploitation de M. Beloir, et se trouve sur des dépôts marins récents à texture très fine riches en débris coquillers. L'hydromorphie en rapport avec la finesse de la texture et la faible pente a nécessité le modelage de planches bombées. Cette station constitue le seul sol calcaire étudié et de pH élevé (8,3).

#### 12.- Station O

Elle est située sur les riches limons de Pacé, au lieu-dit "La Bourdonnais", sur l'exploitation de M. Rouault. Le sol, très limoneux, permet d'obtenir de très bons rendements.

La structure est grumeleuse à tendance cubique. La cohésion est faible. La bonne porosité du sol assure un drainage satisfaisant et une très bonne aération favorable à la minéralisation de la matière organique. Les travaux culturaux sont réduits au minimum. L'assolement comporte:

maïs - prairie temporaire - céréale suivie  
d'une culture dérobée.

### 13.- Station P

Elle se trouve au lieu-dit "La Grande Ménardais", près de Vieux-Vy-sur-Couesnon, sur l'exploitation de M. Perrouault. Les sols sont issus de schistes et grès dévoniens. La texture est limono-argileuse. L'hydromorphie est importante pendant la saison des pluies malgré la pente. Un assainissement par planches bombées a été réalisé, mais demeure insuffisant pour que le sol puisse supporter la première fauche de la prairie ou les pâturages d'automne, et la dégradation de la structure y est rapide.

### 14.- Station Q

Le champ d'essai de Questembert dans le Morbihan, est situé au bord de la route N 777 de Questembert à Rochefort-en-Terre. Le sol, situé sur **granite à deux micas**, a une structure grumeleuse et poreuse. Il est très riche en matière organique. Ce champ d'essai fut mis en place chez M. Louer en 1963 pour tester six fertilisations en plus d'un témoin et se trouve divisé en six blocs correspondant chacun à une sole de la rotation (fig. 8). La succession des cultures est la suivante :

pommes de terre - blé - orge de printemps -  
ray-grass et trèfle violet - orge de printemps -  
ray-grass et trèfle violet.

### 15.- Station R

Elle correspond à la parcelle 125 de la ferme de l'E. N. S. A. située au Rheu. Le sol de cette prairie repose sur des sables et graviers pliocènes. Les échantillons R 1 (0 - 15 cm de profondeur) et R 2 (15 -25 cm) ont été

recueillis dans la partie haute de la parcelle, et les échantillons R 3 (0 - 15 cm de profondeur) et R 4 (15 - 25 cm) dans la partie basse, recouverte d'eau pendant l'hiver. La texture est limoneuse. La structure, subpolyédrique à grumeleuse, est peu développée. De nombreuses taches de rouille autour des racines mortes et dans les pores, ainsi que la présence de touffes de jonc, attestent d'une hydromorphie temporaire sur toute l'étendue de la parcelle et particulièrement en bas de la pente.

#### 16.- Station T

Située au lieu-dit "Les Roudins" à Poligné, elle fait partie de l'exploitation de M. Thomas, et se trouve au bord de la route N 137 de Rennes à Mantes (à droite dans la descente). Les sols reposent en haut de la parcelle sur le grès de Poligné, et en bas de la parcelle sur les schistes de Riadan. Ils sont profonds, peu argileux, mais très limoneux. Ils sont peu filtrants, surtout dans la partie haute, mais la battance n'apparaît pas nettement. Un essai d'irrigation par aspersion a été réalisé en 1969 sur le maïs.

#### 17.- Station V

La prairie expérimentale de Vignoc se situe au lieu-dit "La Grelais" sur la propriété de M. Bardou, non loin de la route, entre Tortre-en-Vignoc et Guipel. Le sol repose sur les grès de Gahard. Il est riche en matière organique, mais très acide et compact. L'expérimentation fut établie pour mettre en évidence les actions combinées du maërl et des engrais minéraux, selon le dispositif blocs de Fisher, en trois blocs de neuf traitements. La prairie fut exclusivement fauchée.

## II - ETUDES SUR LE TERRAIN

Les études concernant la structure du sol relèvent pour une large part de l'observation directe de son état actuel sur le terrain.

Cet aspect de l'étude demeure très subjectif malgré les tentatives de classement des divers caractères selon des échelles préétablies et la qualité de l'interprétation dépend directement de l'expérience du praticien.

### A.- Observations préliminaires.

En arrivant sur une station, on relève tous les caractères qui peuvent aider à l'interprétation, en particulier tout ce qui permet de retracer l'histoire du sol.

On note plus particulièrement les caractères suivants :

- la situation topographique de la station ;
- la nature géologique du sous-sol ;
- la couverture et son état.

Il convient alors de discerner ce qui relève de l'état structural du sol, et ce qui résulte de l'alimentation chimique ou des pratiques culturales.

Une entrevue avec l'agriculteur permet de connaître, en outre :

- les précédents culturaux et les travaux effectués ;
- les qualités et les défauts physiques du sol aux différentes périodes de l'année.

### B.- Examen du profil cultural.

L'examen et la description du profil cultural est effectué en suivant les directives détaillées par S. HENIN (1969, p. 11 et suiv.).

Certains examens particuliers s'accrochent bien de l'emploi d'autres méthodes. Ainsi l'école anglaise de

Rothamsted porte beaucoup d'attention à l'enracinement et distingue avec précision ses différentes caractéristiques.

BRYSSINE (1958) étudie de façon approfondie les différents caractères de la structure par des méthodes visuelles et des mesures suivies sur le terrain.

### III - ETUDES AU LABORATOIRE.

#### 1.- Examen des agrégats.

Au retour des observations et des prélèvements sur le terrain, un examen plus approfondi des agrégats frais, ou séchés peu de temps à l'air, est fait au laboratoire à l'aide de la loupe binoculaire.

On note plus particulièrement aux faibles grossissements :

- la forme des agrégats, en particulier celle des éclats dégagés des petites mottes ;
- la netteté des arêtes des agrégats et leur tracé ;
- la forme des surfaces fraîches, et dans la mesure du possible les plages d'adhérence d'un agrégat sur l'autre : ces surfaces apparaissent plus mates et rugueuses que les plans des fissures qui furent lissés par l'écoulement de l'eau, et où fréquemment des colloïdes se sont déposés d'une manière orientée, conférant à ces surfaces un aspect brillant caractéristique ;
- les racines, en particulier leur forme et leurs rapports avec les agrégats.

#### 2.- Analyse granulométrique.

La détermination du pourcentage des cinq fractions granulométriques inférieures à 2 mm est pratiquée en se référant à la méthode internationale.

Les fractions sont les suivantes:

- argile granulométrique (A) : particules inférieures à 2 microns ;
- limons fins (Lf) : particules dont le diamètre est compris entre 2 et 20 microns ;
- limons grossiers (Lg) : particules de 20 à 50  $\mu$  ;
- sables fins (Sf) : particules de 50 à 200  $\mu$  ;
- sables grossiers (Sg) : particules de 200  $\mu$  à 2 mm.

Le dispersant employé pour les terres acides est le pyrophosphate de sodium. Les terres calcaires sont d'abord lavées avec une solution de chlorure de potassium avant d'être dispersées par l'hexamétaphosphate de sodium.

Les fractions inférieures à 20 microns, et à 2 microns sont déterminées avec la pipette de Robinson.

Les limons grossiers et les sables sont lavés par décantations successives, et fractionnés par tamisage à sec.

Ces trois fractions, dans le cas des terres calcaires, sont attaquées par l'acide chlorhydrique, puis lavées pour déterminer les proportions relatives de carbonates.

### 3.- Identification des minéraux argileux.

Les minéraux argileux ont été identifiés sur des agrégats orientés par diffraction des rayons X.

#### a) Préparation des agrégats.

Après dispersion au citrate de sodium, les argiles sont saturées de calcium à l'aide d'une quantité appropriée d'une solution de chlorure de calcium. Elles sont ensuite lavées à l'eau distillée jusqu'à la dispersion.

Cette suspension est ensuite déposée sur une lame de verre de façon à ce que les feuillets des minéraux argileux se déposent à plat, parallèlement à la surface de la plaque de verre.

L'examen au diffractomètre de l'agrégat orienté ainsi réalisé permet d'obtenir la série de réflexions basales (00 $\ell$ )

qui est utilisable pour la détermination des minéraux argileux.

b) Traitements.

L'échantillon ainsi obtenu est utilisé à l'état naturel, et après les traitements suivants :

- chauffage de l'échantillon à 350° C pendant 20 heures pour observer la contraction à 10 Å des minéraux argileux dont l'équidistance apparente est de 14 Å (vermiculite et montmorillonite).;
- chauffage à 550° C pendant une heure, pour détruire la kaolinite et mettre en évidence la chlorite dont la réflexion à 001 se stabilise à 13,8 Å.
- gonflement à l'éthylène-glycol sous pression de vapeur saturante à 70° C pendant deux heures, pour mettre en évidence les argiles gonflantes : montmorillonite et, éventuellement, les chlorites gonflantes (G. BRUNTON, 1955).

c) Identification.

La figure 10bis montre comment, à partir des quatre diagrammes obtenus après les traitements précédents, on peut identifier raisonnablement les minéraux phylliteux d'un sol :

- La kaolinite est caractérisée par le pic à 7,1 Å qui reste stable après gonflement à l'éthylène-glycol et chauffage à 350° C, mais s'évanouit après chauffage à 550° C.

- L'illite correspond au pic à 10,0 Å qui reste stable à tous les traitements.

- Le pic à 14,2 Å qui reste stable après le traitement à l'éthylène-glycol et dont une partie se contracte à 10 Å après chauffage à 350° C et dont l'autre reste stable, même après chauffage à 550° C, indique la présence de vermiculite et de chlorite.

4.- Tests de stabilité structurale.

La stabilité structurale est évaluée à partir des tests de tamisage sous l'eau et de percolation mis au point



par S. HENIN et ses collaborateurs (S. HENIN et al., 1969, p 126-132).

Le séchage à l'air des échantillons a été fixé à une semaine. Après séchage, afin de préserver au maximum les agrégats, les mottes sont brisées et réduites presque jusqu'à la taille des agrégats en utilisant le procédé suivant : les plus grosses mottes sont brisées en maintenant sur chacune une calle de bois sur laquelle on applique un coup sec avec un objet lourd. Les mottes plus petites sont aussi réduites par des chocs. La séparation des agrégats est achevée en forçant à la main les petits morceaux ainsi obtenus à travers le tamis à mailles carrées de 2 mm.

Le test d'instabilité comprend, en plus du traitement à l'eau, les prétraitements à l'alcool et au benzène. Le tamisage sous l'eau est réalisé à l'aide de l'appareil à tamiser (A. FEODOROFF, 1960).

#### 5.- Mesures d'humidité.

L'humidité au champ est mesurée au laboratoire, le plus tôt possible après le prélèvement de l'échantillon.

Les autres mesures d'humidité sont faites sur des échantillons de sol séchés à l'air et tamisés à 2 mm.

Toutes les valeurs d'humidité sont exprimées sous forme de pourcentage du poids de l'eau perdue lors du séchage à 105° C par rapport au poids de terre sèche.

##### a) L'humidité au champ.

Il s'agit de l'humidité de l'échantillon au moment du prélèvement. La mesure rapide est obtenue par la méthode de S. HENIN (1945). La précision de cette méthode est suffisante pour la mesure de l'humidité du sol en place, compte-tenu de la mauvaise répartition de l'eau dans les mottes.

Pour les mesures plus précises, le dessèchement est obtenu à l'étuve à 105° C.

##### b) Capacité de rétention.

La mesure de l'humidité équivalente au laboratoire

donne une approche satisfaisante de la capacité de rétention dans le cas des sols étudiés (VEINMEYER, 1931 et 1949).

L'humidité équivalente est obtenue par drainage de l'échantillon de sol préalablement saturé d'eau avec une énergie donnée. Celle-ci est fournie par une différence de pression.

Les échantillons sont disposés sur une plaque de porcelaine poreuse, dans des anneaux (3 cm de diamètre, 1 cm d'épaisseur). Après saturation par l'eau pendant 12 heures, l'ensemble est placé dans une "marmite à pression". La partie inférieure de la plaque poreuse se trouve en rapport avec l'atmosphère. La marmite est mise sous la pression voulue pendant 24 heures. Après quoi on mesure l'humidité des échantillons.

Le  $pF$  correspondant à la capacité de rétention a été déterminé après mesure de l'humidité à  $pF$  3 (1 000 cm d'eau), à l'aide de l'abaque établi par R. GRAS (1962). Pour tous les sols étudiés, le  $pF$  de ressuyage est voisin de 2,5 (320 cm d'eau), valeur qui concorde avec les résultats de M. BONNEAU (1961), et qui fut choisie pour les mesures.

#### c) Point de flétrissement permanent.

L'humidité du sol au  $pF$  4,2 est mesurée après avoir soumis l'échantillon de sol préalablement saturé d'eau à une différence de pression de 16 bars dans la presse à membrane de RICHARDS (L.A. RICHARDS, 1947 ; L.A. RICHARDS et M. FIREMAN, 1948).

#### 6.- Mesure du pH.

Le pH est mesuré par la méthode électrométrique. La solution utilisée pour le pH KCl est normale. Le rapport  $\frac{\text{terre}}{\text{eau}}$  ou  $\frac{\text{terre}}{\text{solution KCl}}$  est égal à 1,25.

#### 7.- Analyse des matières organiques totales.

Le carbone organique total est dosé par attaque sulfuro-chromique et titration par un sel ferreux (P. ANNE, 1945). La proportion de matière organique totale du sol est déduite de cette analyse en multipliant le taux de carbone par le coefficient 1,72.

CHAPITRE II

INFLUENCE DE LA TEXTURE  
=====

ET DE L'HUMIDITE DU SOL  
=====

CHAPITRE II

=====

INFLUENCE DE LA TEXTURE

=====

ET DE L'HUMIDITE DU SOL

=====

Les sols de la région étudiée présentent de nombreux caractères communs propres aux sols limoneux. La forme de la structure en particulier, qui résulte pour une large part de la nature du sol et du milieu physique, présente de nombreux points communs sur les différentes stations.

Ce chapitre a pour but de déterminer l'importance sur la stabilité structurale :

- de la composition texturale du sol, et peut-être de la nature de la roche-mère ;

- des conditions de milieu, essentiellement le climat et le relief, dont la résultante principale au niveau du sol est son humidité.

I.- INFLUENCE DE LA TEXTURE.

A.- Composition texturale.

1.- Résultats des analyses granulométriques.

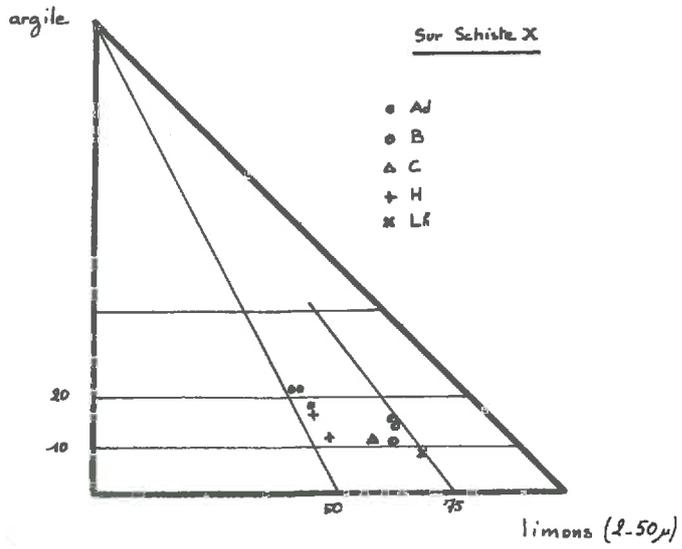
La composition granulométrique des sols étudiés est donnée dans le tableau 5.

Les sols ont été groupés en fonction de la nature du substratum géologique sur lesquels ils reposent. Chaque valeur représente la moyenne de tous les échantillons comparables recueillis sur une même station.

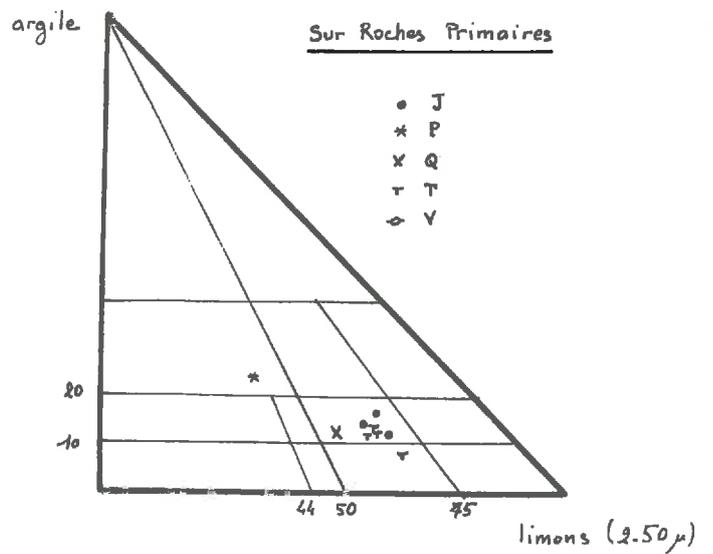
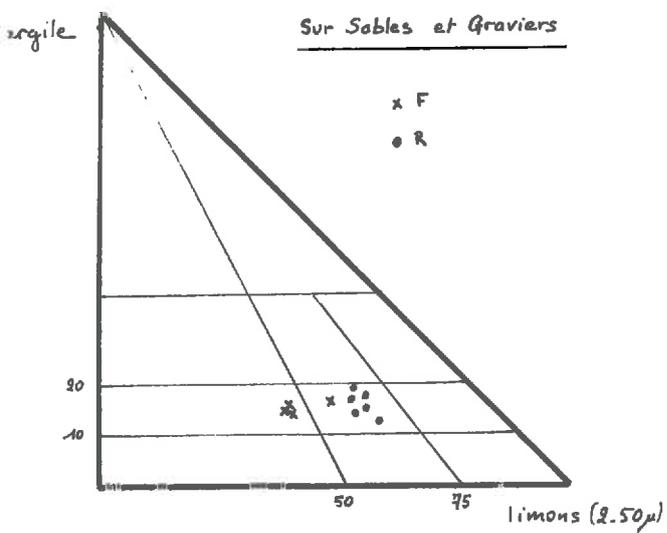
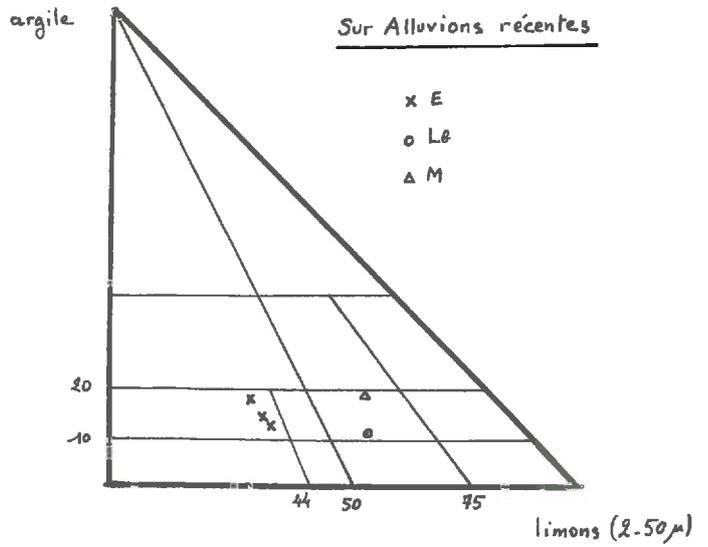
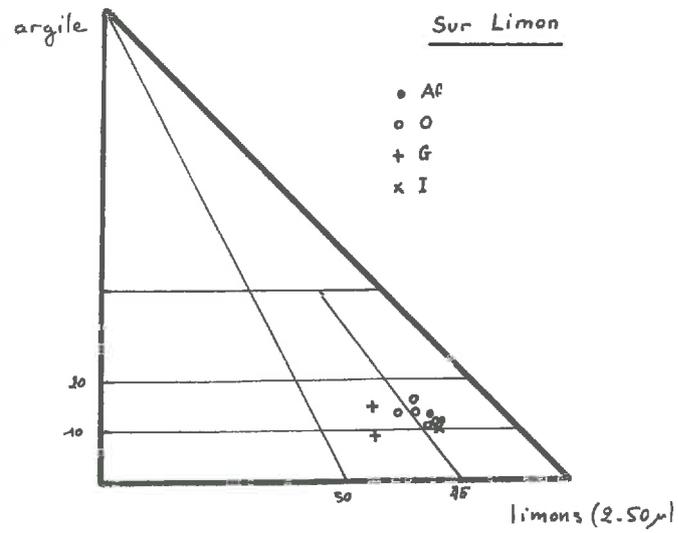
TABLEAU 5

Composition granulométrique des sols  
groupés en fonction de la nature  
de la roche-mère  
(valeurs exprimées en %)

Station	Roche-mère	A	lf	Lg	Sf	Sg
Ad	Schiste Briovérien	20	30	23	9	14,5
B		14	39,5	41	9	5
C		12	30	35	9	12
H		15	42	12	7	19
Lh		9	29	57		5
Af	Limons	12	26	54	5	2
G		9	22	43	9	12
I		12	22	43	9	1,5
O		12,5	25,5	50	5	3,5
F	Sables et graviers	15	23	24	16	17
Rh		16	24	39	7	8
M	Alluvions marines dont CO <sub>3</sub> Ca	19	8	56	12	4
				20	5	1,5
J	Grès armoricain	15,5	26,5	39	8,5	5,5
P	Schistes et Grès	25	23	19	14	15
Q	Granite	13	22	35	9,5	20
T	Grès de Poligné	12	24	35	13	13
V	Grès de Gahard	12,5	21,5	55	4,5	3



Triangles de Texture  
des Sols  
regroupés d'après le substrat géologique



- Fig. 11 -

La composition granulométrique des sols de chaque station est représentée sur les triangles de texture de la figure 11.

La variabilité texturale de détail des sols limoneux étudiés apparaît sur tous les triangles.

Le groupement des sols en fonction du substratum (voir tableau 5) ne permet pas de faire de classement granulométrique. Les sols reposant sur limons (limons a<sup>1b</sup> de la carte géologique de la France au 1/80 000) se composent effectivement d'une grande majorité de limons granulométriques, mais d'autres substratums ont donné naissance à des sols comparables.

## 2.- Nature des argiles.

La fraction argileuse est constituée d'illite et de kaolinite dominantes auxquelles s'associe un mélange de minéraux à 14 Å ; il se compose de vermiculite à laquelle est subordonnée l'association chlorite - interstratifié chlorite-vermiculite. Les proportions relatives des divers constituants sont sensiblement constantes pour les divers échantillons, comme le montre le tableau 6.

Cette constance remarquable de la composition minéralogique, qui est à rapprocher de l'homogénéité des textures rencontrées, ne permet pas de mettre en évidence une influence éventuelle de la nature minéralogique de la fraction argileuse des sols sur leur stabilité texturale.

TABLEAU 6

Composition minéralogique des argiles

STATIONS	Kaolin	Illites	Montmor.	Vermic.	Chlorite	Interstr. Verm.-Chl.
B	+++	+++	-	++	+	+
E forte fumure	+++	+++	-	++	+	+
E faible fumure	+++	+++	-	++	+	+
G	+++	+++	-	++	+	+
I	+++	+++	-	++	+	+
J 1	+++	+++	-	++	+	+
J 2	+++	+++	-	++	+	+
O	+++	+++	-	++	+	+
R 1	+++	+++	-	++	+	-
R 2	+++	+++	-	++	+	tr
R 3	+++	+++	-	++	+	tr
R 4	+++	+++	-	++	+	-
T	+++	+++	-	++	+	tr

Présence :

- en majorité : +++
- en petites quantités : ++
- en très petites quantités : +

Traces : tr

Absence : -

- (1) Davantage de vermiculite dans l'échantillon J 1.
- (2) Davantage de chlorite dans la zone humide R 3 que dans la zone saine R 1.
- (3) Davantage de vermiculite et de chlorite dans le pseudogley R 4 que dans l'horizon supérieure mieux aéré R 3.

### 3.- Classement des stations d'après la texture.

La composition granulométrique de chaque sol est représentée sur le triangle de texture récapitulatif de la figure 12.

Les sols qui figurent le plus près du centre du triangle ont une texture équilibrée. Le déséquilibre intervient dans un seul sens et correspond à un enrichissement en limons (2 à 50 microns), dont la proportion varie ainsi de 37 à plus de 75 %.

Les limites des classes granulométriques qui sont tracées correspondent à celles de R. BETREMIEUX (1963) ou à celles de H. MALTERRE (1963). Avec les limites supplémentaires, elles permettent un groupement des sols par classes de texture, facilitant les interprétations.

Six classes de sols sont ainsi définies :

- 1- Classe des sols limoneux fins ;
- 2- Classe des sols limone-sableux ;
- 3- Classe des sols limoneux ;
- 4- Classe des sols limoneux argilo-sableux ;
- 5- Classe des sols sablo-limoneux ;
- 6- Classe des sols limono-argileux.

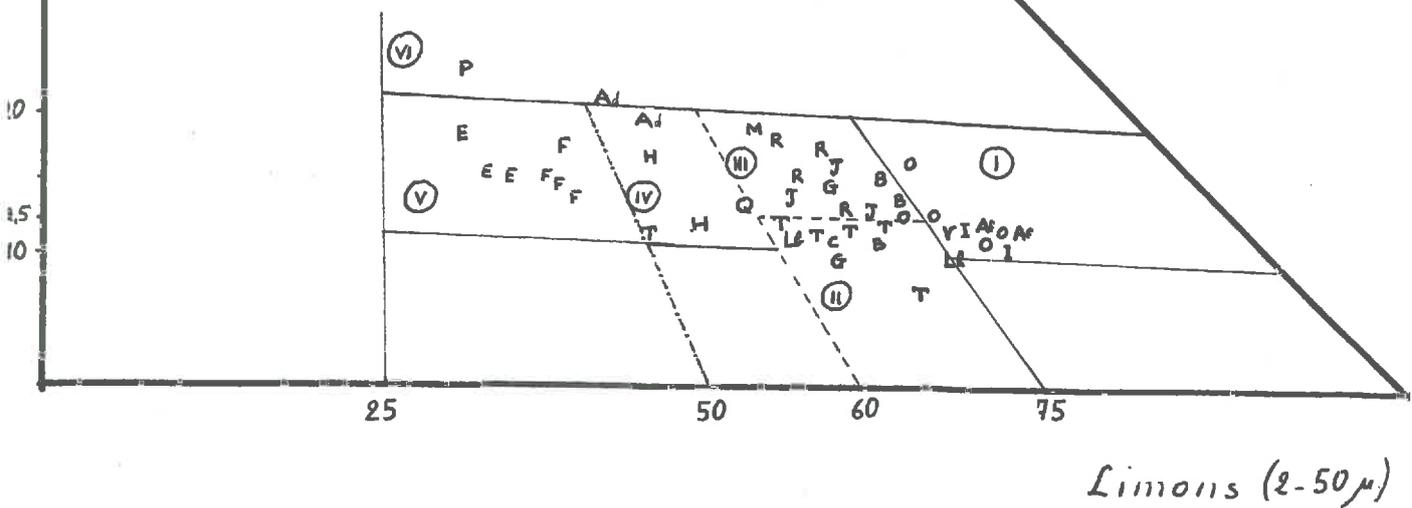
Chaque graphique de la figure 13 représente la composition granulométrique d'un sol de la classe correspondante. Chacun des cinq axes de coordonnées correspond à une fraction granulométrique.

Argile ( $0-2\mu$ )

# Triangle de Texture



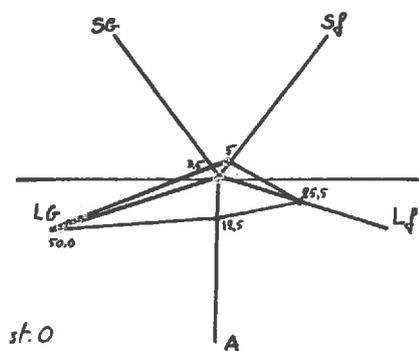
- d'après la grille de Betremieux
- - - d'après la grille de Malterre
- - - limites supplémentaires



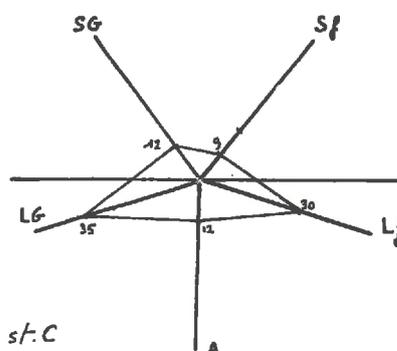
- Fig. 12 -

# REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

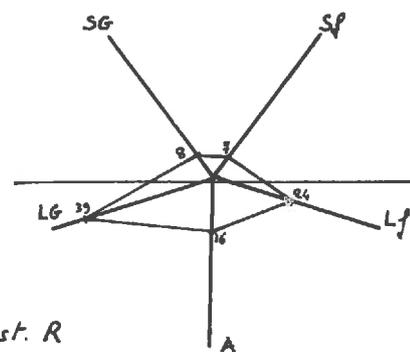
- Fig. 13 -



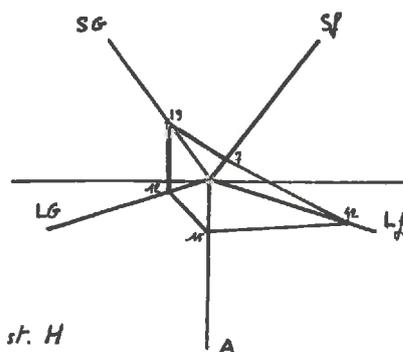
Sols limoneux fins



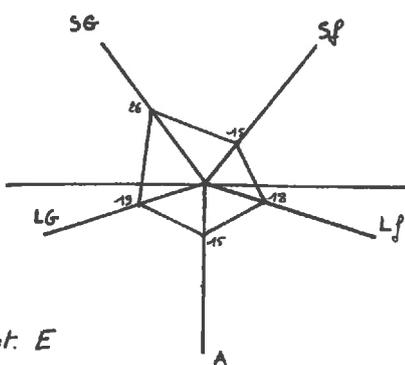
Sols limono-sableux



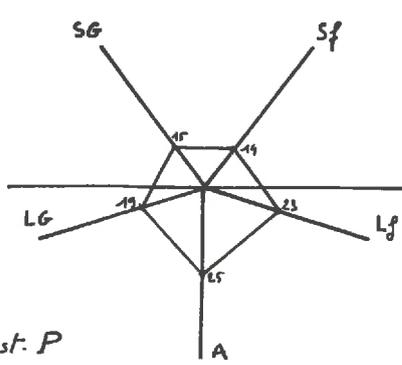
Sols limoneux



Sols limoneux argilo-sableux



Sols sablo-argileux



Sols limono-argileux

B.- Influence de la texture sur la stabilité structurale.

1.- Résultats des tests.

La comparaison entre les résultats des deux tests de stabilité se rapportant aux sols de chaque classe de texture permet de déceler l'influence de la composition granulométrique sur la stabilité.

Les valeurs de  $\log 10 S$  et de  $\log 10 K$  sont reportées sur les graphiques des figures 14 à 18, correspondant chacun à une classe. Rappelons que la stabilité varie dans le même sens que  $\log 10 K$  et dans le sens inverse de  $\log 10 S$ .

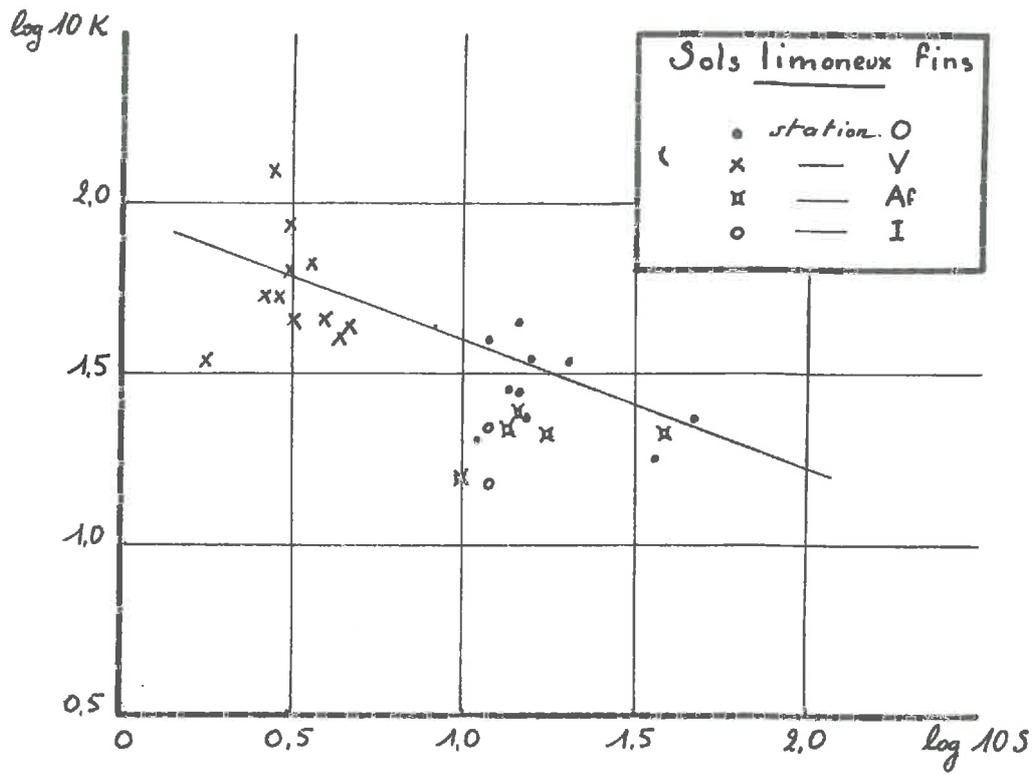
2.- Corrélation entre les tests.

La corrélation négative entre  $\log 10 S$  et  $\log 10 K$  signalée par S. HENIN (S. HENIN et al., 1969, p 133) apparaît nettement sur chaque graphique.

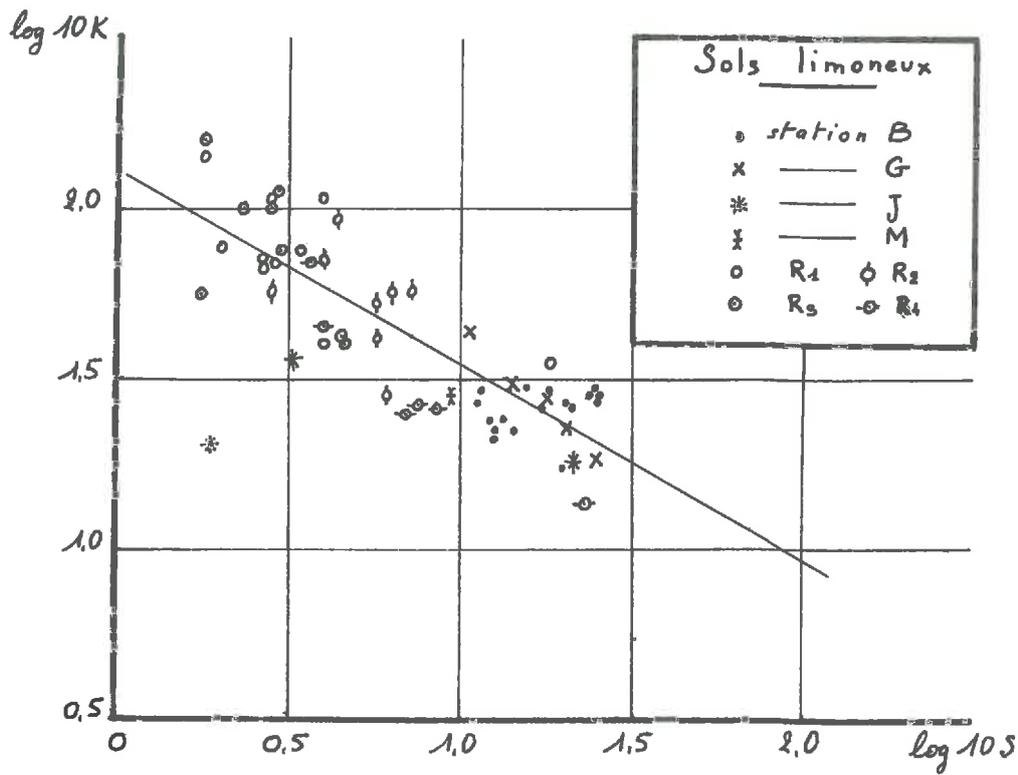
Les équations des droites de régression sont regroupées dans le tableau 7. Elles sont à rapprocher de l'équation de la droite trouvée par S. MERIAUX (1958). Ces droites sont représentées sur le graphique de la figure 19.

Il apparaît que la pente des droites de corrélation est plus faible en valeur absolue lorsque les sols correspondants sont plus riches en limons. Le test de perméabilité représente l'estimation la plus large de la stabilité pour les sols à texture équilibrée. Pour les sols très limoneux, le test de tamisage sous l'eau s'avère le plus sensible, montrant l'importance de la cohésion intrinsèque ou de la mouillabilité des agrégats sur leur stabilité.

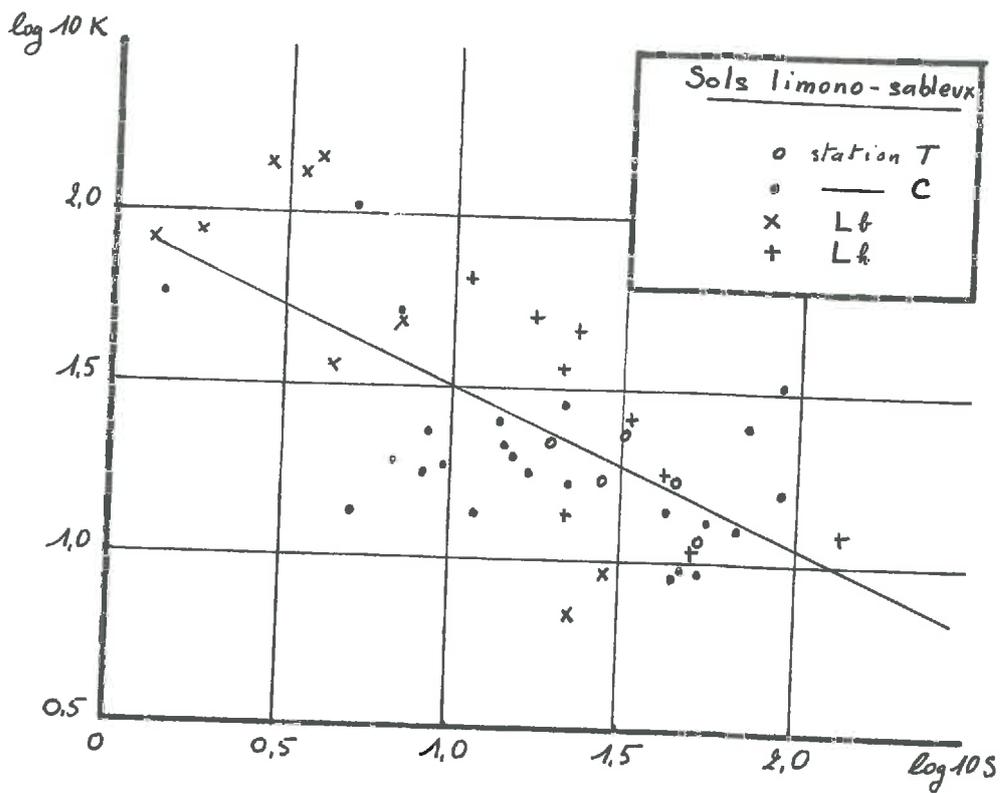
Les sols peu stables se regroupent sensiblement autour de la droite de régression signalée par S. HENIN, et établie à partir de sols très divers. Les sols les plus stables s'en écartent notablement, se plaçant en-dessous, ce qui confirme les remarques de S. HENIN (1969, p 135) au sujet des sols de limon enrichis en matière organique.



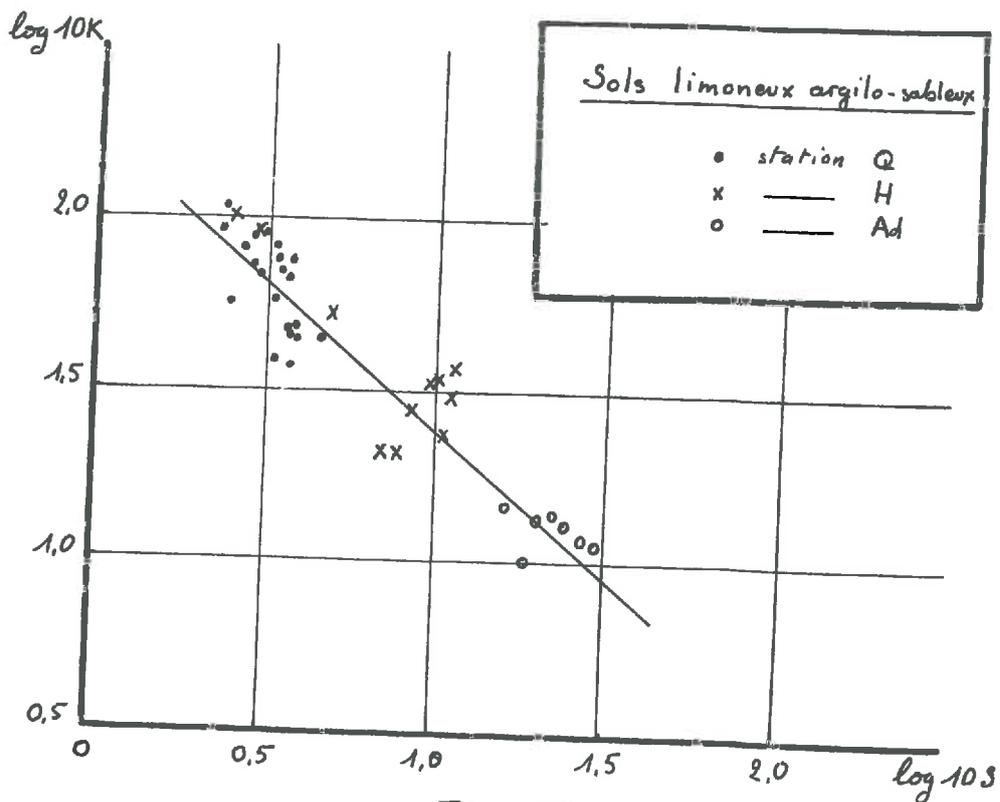
- Fig. 14 -



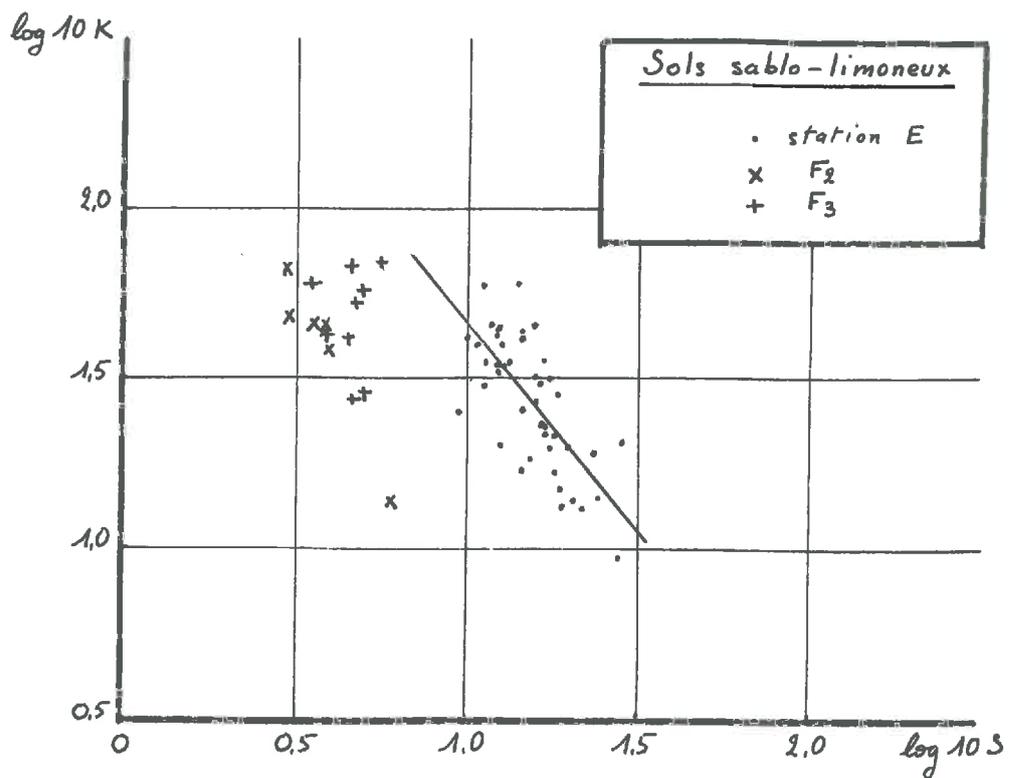
- Fig. 15 -



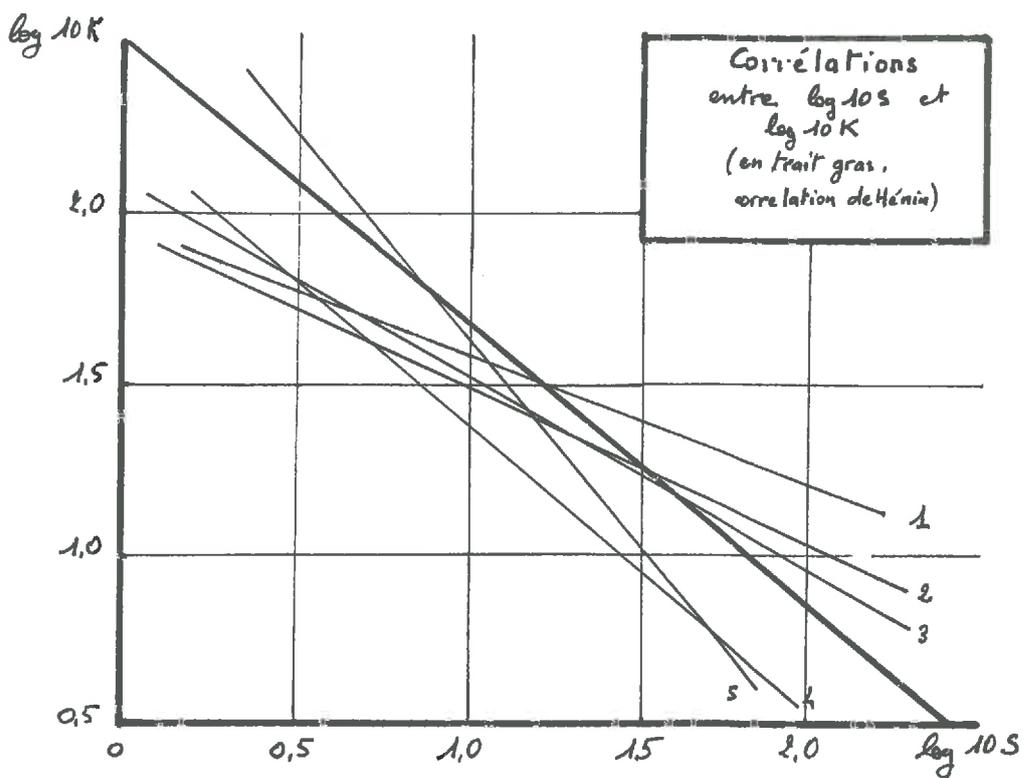
- Fig. 16 -



- Fig. 17 -



- Fig. 18 -



- Fig. 19 -

TABLEAU 7

Corrélations entre log 10 S et log 10 K

N°	Groupe textural	Equation de la droite de régression:	r	n	limite de sécurité	signif.
1	limoneux fin	$\log 10 K = -0,36 \cdot \log 10 S + 1,86$	-0,65	28	0,49	99 % HS
2	limono-sableux	$\log 10 K = -0,48 \cdot \log 10 S + 1,99$	-0,69	48	0,37	99 % THS
3	limoneux	$\log 10 K = -0,55 \cdot \log 10 S + 2,08$	-0,79	57	0,33	99 % THS
4	limoneux argilo-sableux	$\log 10 K = -0,86 \cdot \log 10 S + 2,25$	-0,95	42	0,39	99 % THS
5	sablo-limoneux st.F	$\log 10 K = -1,20 \cdot \log 10 S + 2,86$	-0,71	42	0,39	99 % HS
	st.F	$\log 10 K = -0,84 \cdot \log 10 S + 2,16$	-0,48	15	0,51	95 % NS
corrélation générale		$\log 10 K = -0,48 \cdot \log 10 S + 1,99$	-0,72	233	0,25	99 % THS
S. MERIAUX (1958)		$\log 10 K = -0,43 \cdot \log 10 S + 2,32$				
S. HEWIN (1969)		$3 \cdot \log 10 K + 2,5 \cdot \log 10 S - 7,5 = 0$				

### 3.- Influence de la texture.

La répartition des points entre les valeurs correspondant aux sols les plus stables et les moins stables est comparable d'une classe à l'autre et les écarts entre les extrêmes sont équivalents.

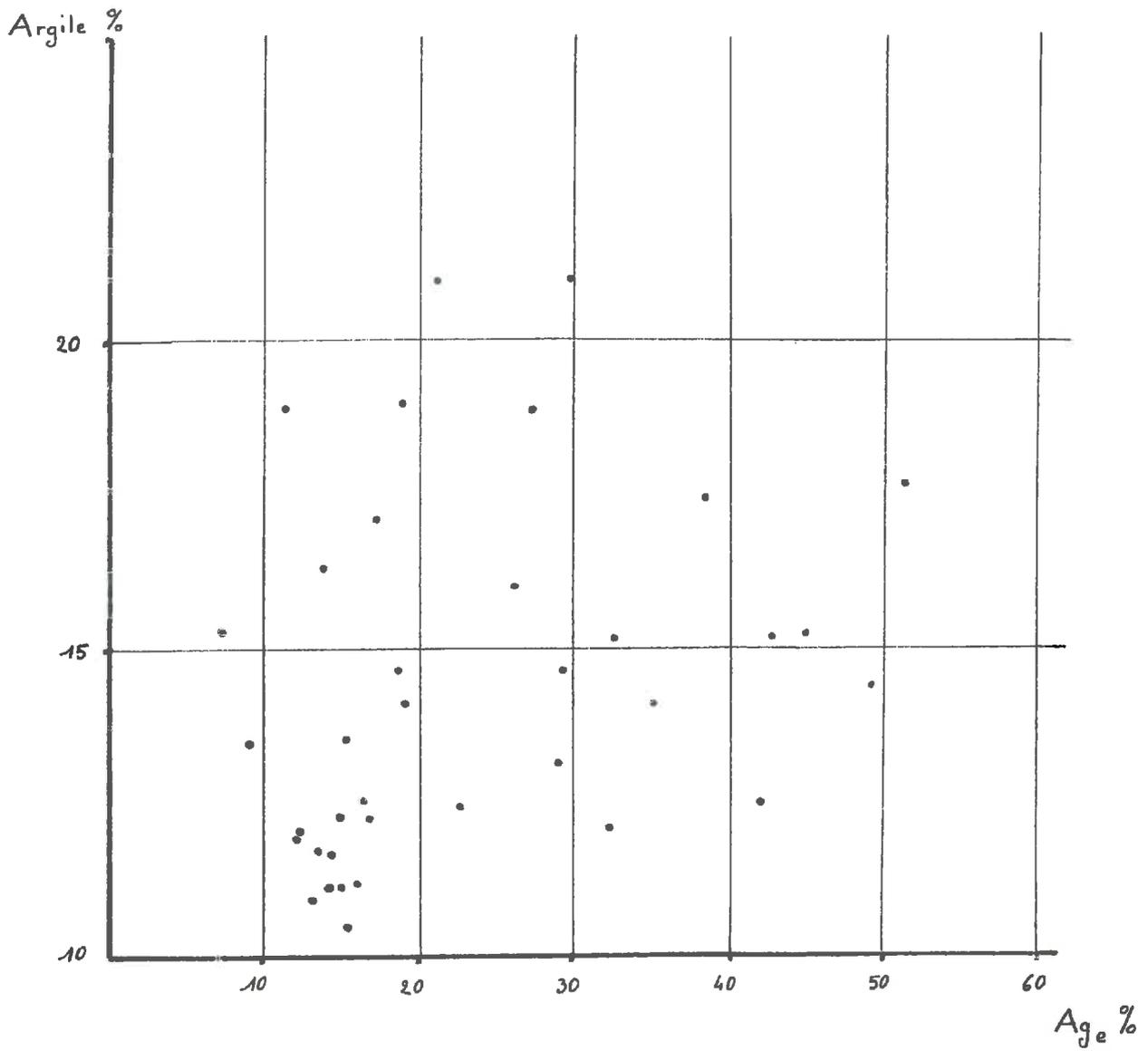
De ce fait, aucune influence de la composition granulométrique sur la texture ne peut être mise en évidence. La dispersion des points le long de la droite de régression résulte de l'action d'autres facteurs prépondérants sur les composantes de la stabilité.

### 4.- Influence de la proportion d'éléments fins.

Une corrélation hautement significative a été mise en évidence par S. MERIAUX (1958) entre l'indice de perméabilité  $\log 10 K$  et le rapport limon (2 à 20 microns) sur argile :  $Lf/A$ . Cette corrélation n'apparaît pas sur les sols étudiés.

De même aucune corrélation ne peut être mise en évidence entre la proportion d'argile et le taux d'agrégats stables à l'eau sans prétraitement :  $Ag_e\%$  (fig. 20).

Notons cependant que la tendance à la battance d'un sol se trouve en liaison avec sa richesse en limon. Ce sujet sera abordé plus loin.



Influence du taux d'argile  
sur le taux d'Agrégats stables à l'eau

## II - INFLUENCE DE L'EAU.

La cohésion des éléments du sol et la résistance aux diverses forces de fragmentation est le fait essentiel des colloïdes flocculés, qui, formant des ciments (L.D. BAVER, 1948 ; G. GAUCHER, 1968 ; M. DE BOODT, 1964) réunissent les particules de limon et de sable en assemblages élémentaires ou agrégats.

La teneur en eau des colloïdes modifie en fonction de leur nature leurs propriétés de cimentation.

L'absorption d'eau s'accompagne de gonflement sans changement de structure (G. GAUCHER, 1968, p 150), mais l'imbibition par l'eau des colloïdes hydrophiles tels que les argiles et les gels humiques diminue leur viscosité (A. DEMOLON, 1960, p 138), et par suite la cohésion des particules.

A l'inverse la dessiccation est à l'origine de la formation des agrégats dans la mesure où les particules sont suffisamment rapprochées les unes des autres (M. DE BOODT, 1964), et de l'augmentation des forces de cohésion (M. A. KATCHINSKY, 1964).

Le rôle de l'eau dans la cohésion, et par conséquent dans la stabilité structurale, est donc important.

### A.- Variation saisonnière de la stabilité.

Les propriétés du sol vis-à-vis de l'eau changent selon qu'il est en phase de réhumectation ou de dessiccation (L.D. BAVER, 1948, p 118 ; A. DEMOLON, 1960, p 229).

On peut penser que la stabilité structurale manifeste une variation annuelle en rapport avec le rythme saisonnier de l'humectation et de la dessiccation du sol.

## 1.- Méthode d'étude.

Les agriculteurs savent qu'au cours de l'hiver suivant un été sec, la terre résiste mieux aux pluies battantes. S. HENIN et L. TURC (1949) ont remarqué depuis longtemps une variation au cours de l'année de la stabilité. A. COMBEAU ; P. QUANTIN ; J. VERDIER (1963) ont approfondi ce problème dans le cas des sols tropicaux, remarquant qu'une amélioration brutale de la stabilité structurale apparaît au début de la saison sèche et se maintient ainsi jusqu'à la saison des pluies. M. SEBILLOTTE (1968) signale l'existence d'une liaison entre le taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement au benzène ( $Ag_p\%$ ) et les pluies du mois précédent.

Plusieurs stations ont été choisies pour étudier l'évolution saisonnière de la stabilité :

- une prairie naturelle saine : station F,
- une prairie naturelle humide l'hiver : station R,
- un champ labouré : station E.

Des prises d'échantillons mensuelles ont été faites pendant un peu plus d'une année pour tester la stabilité.

## 2.- Résultats.

### a) Sols de prairie.

Les résultats obtenus sur les parcelles toujours en herbe présentent des variations très importantes, sans relation avec la pluviométrie ou l'humidité : l'hétérogénéité du sol, en partie naturelle, en partie intensifiée par l'action locale des racines de Graminées et de plantes vivaces ainsi que par les tassements très irréguliers des animaux au pâturage, masque totalement les variations saisonnières.

Il y aurait donc lieu, pour suivre cette variation dans les prairies :

- de choisir des parcelles ensemencées après une bonne préparation du sol, et uniquement fauchées.
- d'interpréter statistiquement les résultats obtenus à partir d'un grand nombre de prélèvements.

b) Sols de culture.

Les labours répétés contribuent à homogénéiser le sol. La station E, dont le sol possède une texture sablo-limoneuse, a été étudiée depuis le moment précédant la récolte de betteraves fourragères jusqu'à l'enfouissement des pailles du blé qui a suivi.

Les résultats des tests sont représentés sur les graphiques de la figure 214 et comparés à la pluviométrie, au déficit pluviométrique, et à l'humidité du sol.

b1. Relation entre la stabilité structurale et l'humidité du sol.

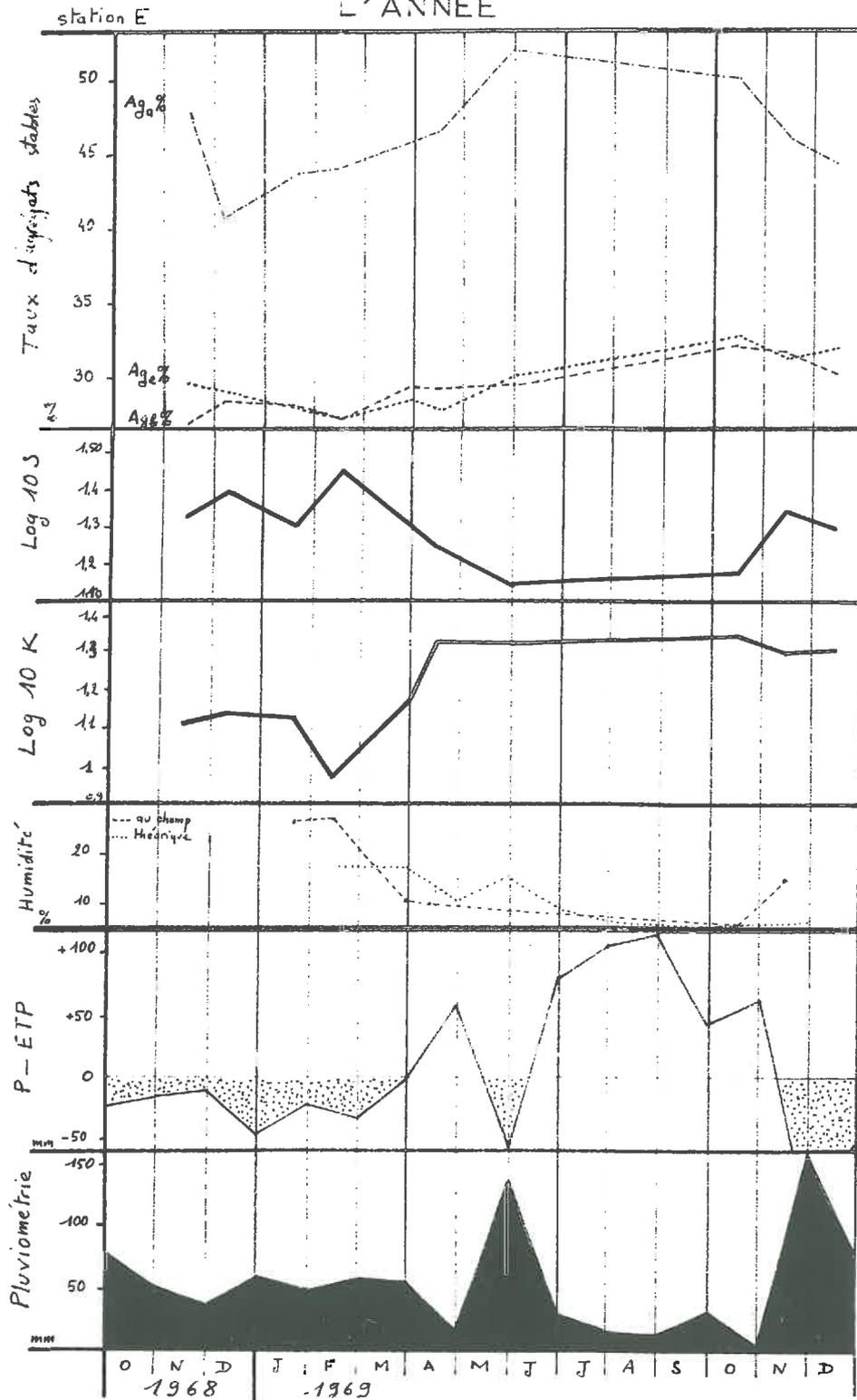
L'humidité du sol en surface, du fait qu'il se trouve en contact immédiat avec l'atmosphère, varie assez brusquement en fonction de l'évaporation du printemps et de la pluviométrie d'automne. Elle a diminué de 29 % à 10 % dans le courant du mois de mars 1969, et est passée de 5 à 15 % pendant les deux premières semaines de novembre.

Au cours du dessèchement, l'humidité théorique suit de près l'humidité au champ.

La stabilité structurale varie en fonction inverse de l'humidité et se trouve être la plus faible au printemps lorsque la teneur en eau du sol dépasse largement la capacité au champ (17,7 %). Elle est maximale au cours de l'été lorsque le point de flétrissement permanent (4,6 %) est presque atteint.

L'amélioration de la stabilité structurale au printemps est rapide et correspond au dessèchement du sol. L'effet de réhumectation du sol est moins spectaculaire ; l'incidence néfaste d'une période de grande humidité semble se manifester avec un retard de plus d'un mois : la diminution de stabilité en février 1969 pourrait résulter des fortes pluies de décembre 1968.

# VARIATION DE LA STABILITE STRUCTURALE AU COURS DE L'ANNÉE



- Fig. 21 -

b2 La variation de la cohésion.

Les variations de la proportion d'agrégats stables à l'eau après les différents prétraitements fournissent de précieuses indications sur l'origine de la stabilité.

Les taux  $Ag_b\%$  et  $Ag_s\%$ , obtenus après prétraitement au benzène et en absence de prétraitement, restent voisins de 30 % en manifestant seulement une tendance à l'augmentation .

Le taux  $Ag_a\%$  obtenu après prétraitement à l'alcool donne des renseignements sur la variation de la cohésion. Il manifeste une forte diminution en automne 1968. Puis la cohésion revient lentement aux conditions initiales, et atteint une valeur supérieure à la valeur d'octobre 1968. Au cours de l'automne 1969, une nouvelle diminution apparaît en même temps que l'excédent pluviométrique.

La constance du taux  $Ag_b\%$  semble prouver que l'évolution des matières organiques ne constitue pas un facteur notable de variation saisonnière.

La cohésion des agrégats est influencée notablement par les travaux du sol au cours de l'automne 1969 : récolte des betteraves, labour, et préparation du lit de semence pour le blé. Puis l'augmentation du taux  $Ag_a\%$  manifeste une réorganisation des forces de cohésion, favorisée par la sécheresse.

Les faibles variations manifestées par les taux d'agrégats stables montrent que les résultats des tests de stabilité suivent surtout la variation de la dispersion ((A + L)max %) au cours de l'année, et c'est probablement à ce niveau que les facteurs climatiques interviennent sur la stabilité structurale.

B.- L'hydromorphie temporaire.

1.- Origine de l'hydromorphie.

L'engorgement par l'eau résulte de la combinaison de plusieurs facteurs, favorisant l'apport et l'accumulation de l'eau ou limitant son drainage.

- L'eau provenant des pentes voisines s'accumule dans les cuvettes si l'écoulement naturel n'est pas suffisant. Ainsi la prairie de la station P, située au bord du fond marécageux du vallon, est alimentée en eau pendant une longue période de l'année par les pentes. L'étendue alluvionnaire du Meu correspondant à la station Lb est trop plate pour évacuer les eaux en charge des prés en pente.

- La configuration du terrain détermine parfois des cuvettes hydromorphes ; le bas de la prairie de la station R forme un méplat à mi-pente qui entrave le drainage normal. Dans les limons profonds de la station Af, une surface de quelques mètres carrés se transforme périodiquement en "mouillère" : cet endroit étant légèrement déprimé, la nappe y affleure lorsqu'elle se trouve à son niveau le plus haut.

- La nature limoneuse du sol détermine une porosité insuffisante pour assurer un drainage naturel normal. L'hydromorphie temporaire peut apparaître alors en sommet de pente ; c'est le cas de la partie haute de la station R, et des prairies de la station C.

- Les accidants cultureux sont fréquents à cause de la fragilité du sol. Un tassement du sol humide forme des zones difficilement perméables : semelles de labour, tassement superficiel. L'hydromorphie peut alors se développer localement. Ainsi est-il parfois difficile de discerner si l'état de dégradation de certaines prairies provient d'une hydromorphie originelle ou d'une mauvaise culture du sol.

2.- Influence sur la stabilité.

La comparaison des résultats des tests de stabilité correspondant à des zones saines ou peu hydromorphes et à des zones réduites déterminées lors de l'examen du profil cultural permet de mettre en évidence l'influence de l'hydromorphie sur la stabilité structurale.

Le tableau 8 permet de comparer sur quelques profils les stabilités du sol en surface, sain ou presque sain, et des horizons sous-jacents présentant des traces plus ou moins prononcées d'hydromorphie temporaire.

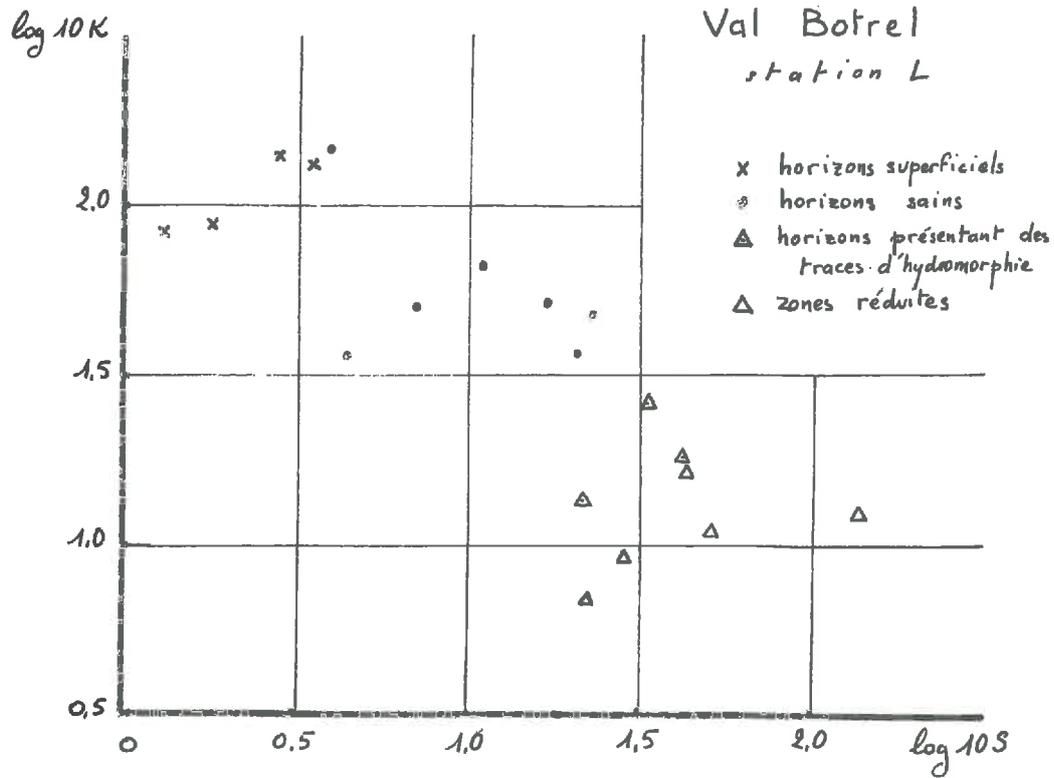
TABLEAU 8

Stabilité structurale des sols  
à hydromorphie temporaire.

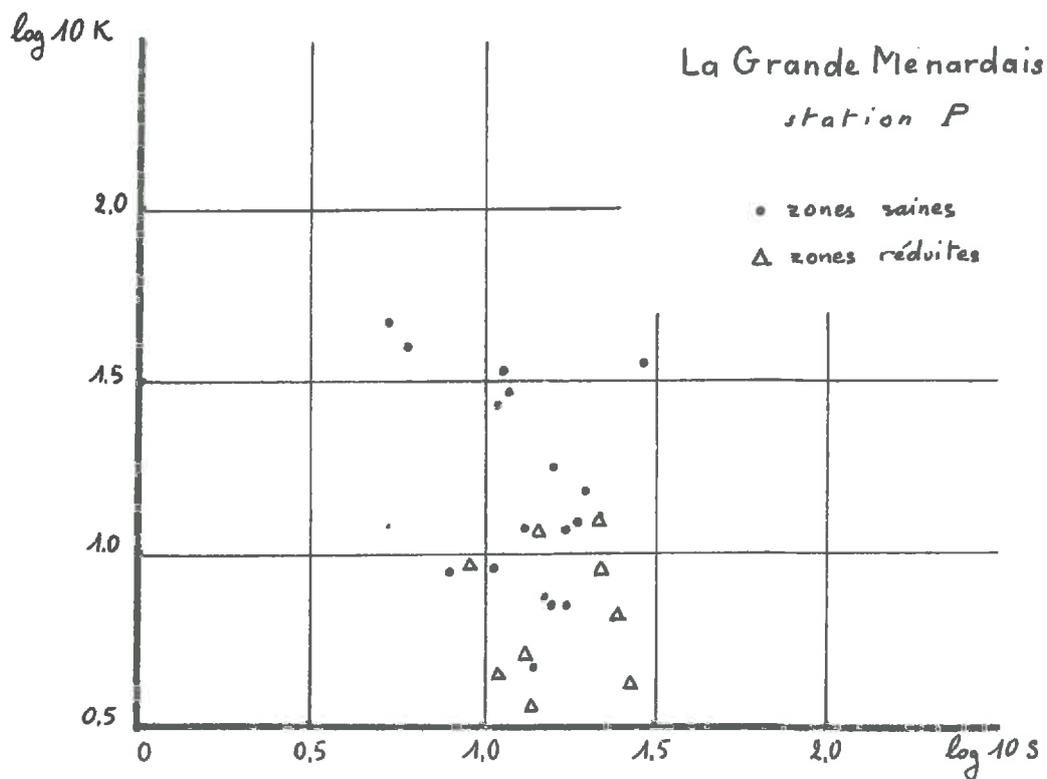
	$Ag_a\%$	$Ag_b\%$	$Ag_c\%$	log 10 S	log 10 K	M.O.%
Station R						
0-15 cm	53,3	43,9	47,7	0,42	1,81	3,6
15-25 cm	41,7	22,5	34,5	0,77	1,61	1,6
0-15 cm	51,6	50,4	45,0	0,48	1,89	4,8
5-25 cm	36,4	19,6	22,2	1,36	1,14	0,9
Station L						
0-20 cm	45,8	12,4	10,2	1,24	1,71	1,7
20-40 cm	24,2	5,7	6,9	1,52	1,29	1,1
40-50 cm	20,1	4,6	5,9	1,72	1,04	0,7
Station P						
0-20 cm	64,2	48,1	54,3	0,72	1,69	5,7
20-40 cm	62,4	26,6	32,9	1,29	1,09	3,8

Les graphiques des figures 22, 23, 24 et 25 représentent la corrélation entre log 10 S et log 10 K de quatre stations localement hydromorphes. Les valeurs correspondant aux zones réduites sont notées par un triangle.

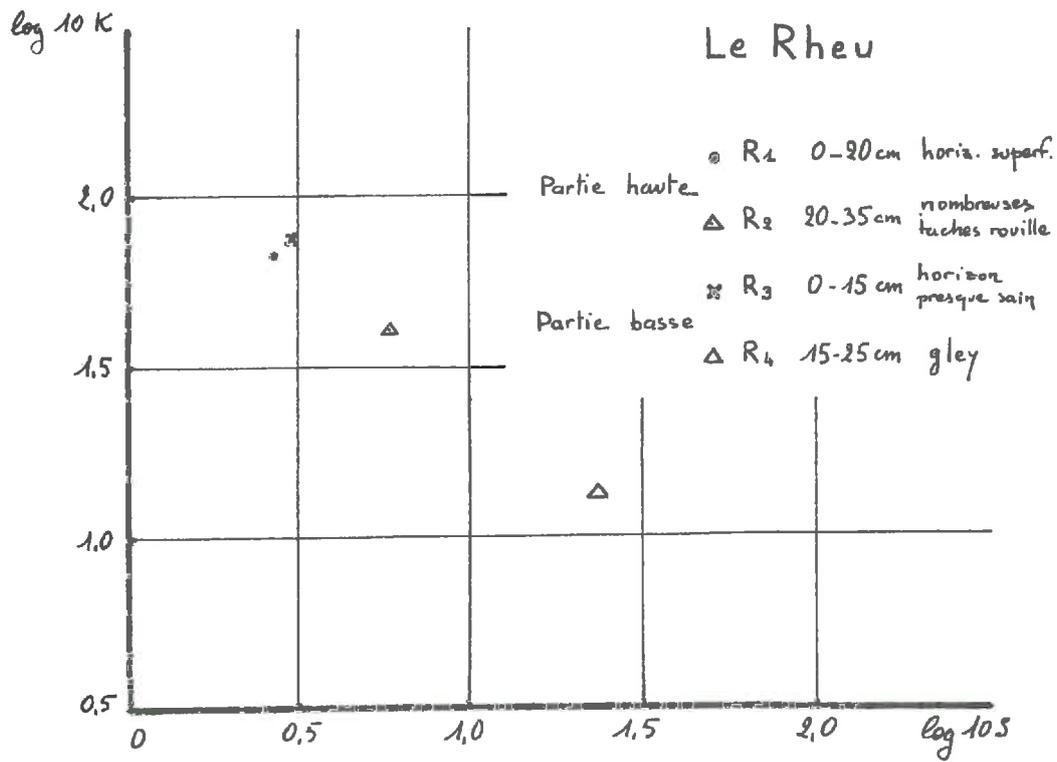
Les horizons qui présentent des traces d'hydromorphie temporaire, telles que des dépôts d'oxydes de fer dans les



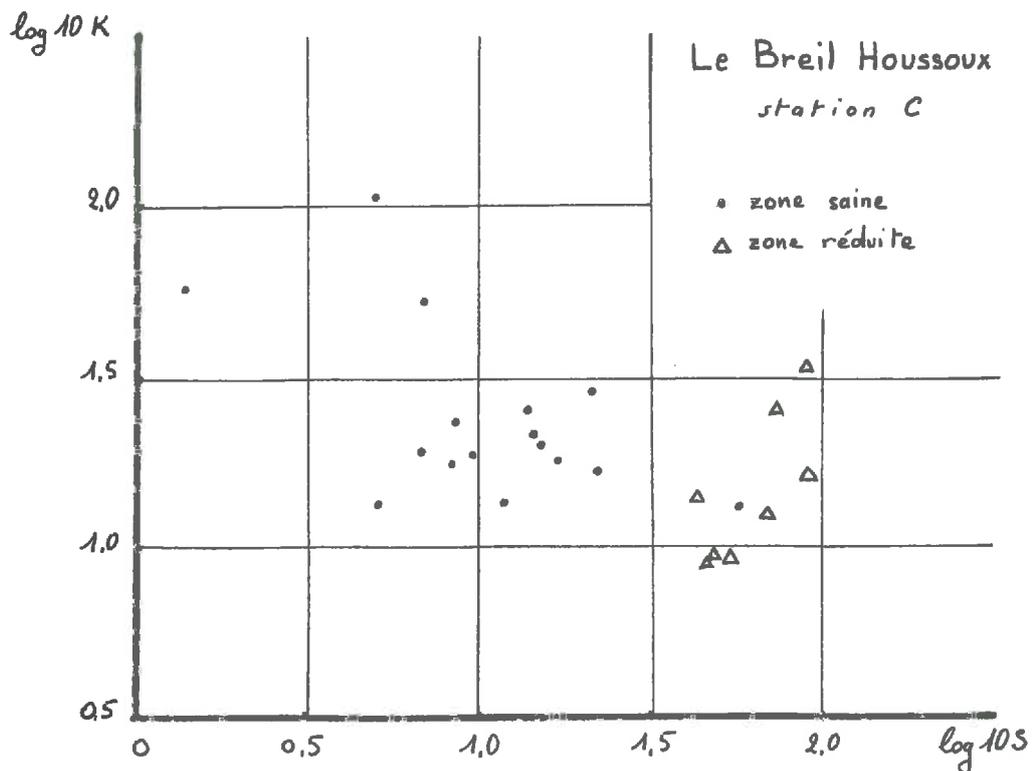
- Fig 22 -



- Fig. 23 -



- Fig. 24 -



- Fig. 25 -

pores ou autour des racines mortes, des nodules décolorés et d'aspect sec à l'intérieur des mottes et parfois un début de concrétionnement ferrugineux, accusent une diminution de stabilité par rapport aux témoins sains.

Les zones où se manifestent des phénomènes de réduction se caractérisent par leur couleur grise et une structure tassée. Leur stabilité est très faible.

L'engorgement plus ou moins prolongé par l'eau des sols est donc à l'origine d'une diminution de la stabilité structurale en rapport avec l'importance des phénomènes de réduction qui l'accompagnent. L'une des causes, sinon l'un des effets, est sans doute la faible teneur en matière organique de ces zones. Elle n'est probablement pas la seule.

C H A P I T R E    I I I

---

INFLUENCE DES MATIERES ORGANIQUES,  
=====

DES ENGRAIS ET DES AMENDEMENTS  
=====

CHAPITRE III

=====

INFLUENCE DES MATIERES ORGANIQUES,

=====

DES ENGRATS ET DES AMENDMENTS

=====

I - INFLUENCE DES MATIERES ORGANIQUES.

Les matières organiques sont reconnues depuis longtemps pour apporter au sol un accroissement très sensible de la fertilité.

Leur action particulière sur les propriétés physiques était déjà soulignée par les essais mis en place à la station agronomique de Versailles (H. BURGEVIN, S. HEMIN, 1939) qui montraient la forte amélioration de la structure par l'emploi du fumier.

Leur influence primordiale sur la stabilité structurale est maintenant prouvée. R. MOREL et P. MASSON (1958) signalent une corrélation entre le taux d'agrégats stables à l'eau, plus particulièrement après traitement au benzène ( $Ag_p\%$ ), et les teneurs en azote et carbone du sol. G. MONNIER (1958) envisage les diverses formes d'intervention des matières organiques sur la stabilité structurale. Après lui, S. MERIAUX (1955) établit les corrélations sur les divers taux d'agrégats, et précise l'étroitesse de la relation  $Ag_p\%$  - mat. organique.

B. DABIN (1964) pense qu'en sols limoneux une amélioration de la structure n'est possible que pour un taux de matière organique supérieur à 3 %.

La mise en évidence de leur relation avec la stabilité structurale en ce qui concerne les sols étudiés a pour but

de souligner l'étroitesse de leur rapport et l'importance que revêt ce facteur pour les sols limoneux.

### 1.- Résultats.

Les résultats du test de tamisage sous l'eau ( $\log 10 S$ ) et des analyses de la matière organique sont reportés sur les graphiques des figures 26 à 32. Le regroupement des stations d'après la composition texturale a été effectuée pour faciliter l'interprétation.

Une corrélation négative apparaît sur tous les graphiques, confirmant le rôle bénéfique des matières organiques sur la stabilité.

Cependant les corrélations ne se correspondent pas exactement d'un graphique à l'autre ; la corrélation générale est large. Le rôle des matières organiques sur la stabilité varie selon les stations, et indépendamment de la composition granulométrique.

La sensibilité de la stabilité aux variations de la teneur en matière organique est généralement très grande.

Les influences d'autres facteurs de la stabilité se remarquent aussi, en particulier sur la station C (fig. 30), où l'influence de l'hydromorphie apparaît, et sur la station E (fig. 32), où le taux de matière organique est presque constant.

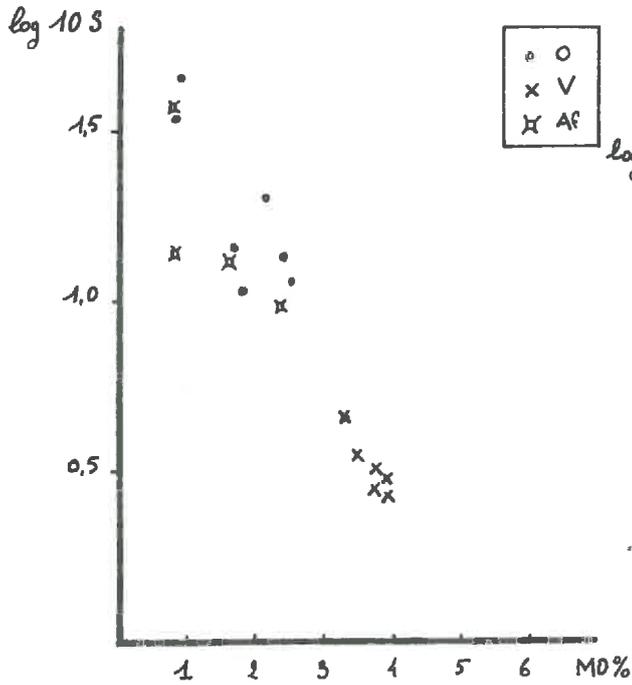
### 2.- Conclusions.

L'amplitude des variations de la stabilité résultant d'une faible différence du taux de matière organique montre l'importance des facteurs qui lui sont liés sur la stabilité structurale.

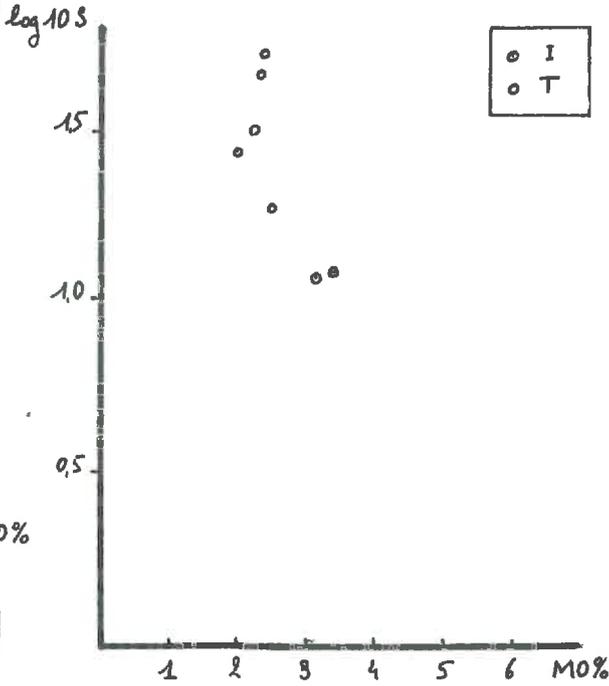
Les influences très diverses des produits de décomposition des matières végétales sur la stabilité structurale pourraient être à l'origine de la variabilité des comportements des sols, où l'humification ne suit pas toujours des processus identiques.

Quoiqu'il en soit, les matières organiques du sol apportent une contribution primordiale à la stabilisation de la structure, sans toutefois apparaître comme le seul facteur de la stabilité.

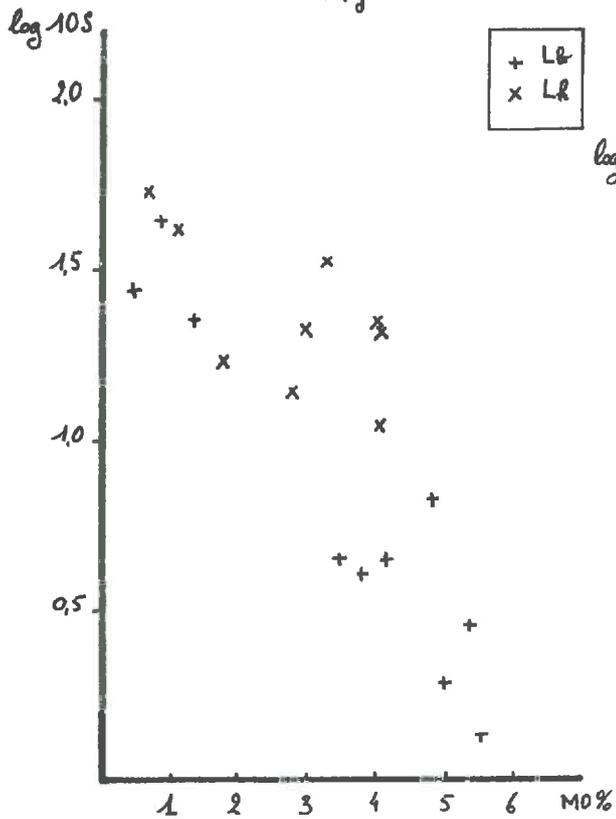
Relation  
entre STABILITÉ STRUCTURALE  
et MATIERE ORGANIQUE  
(page 1)



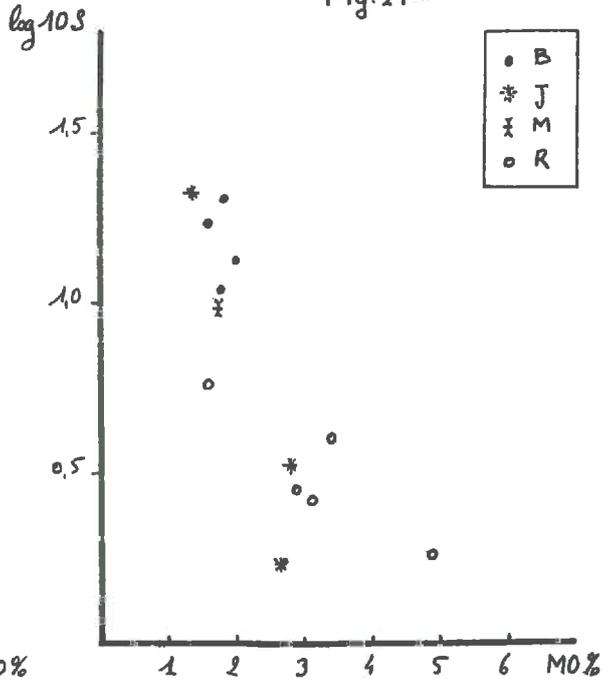
- Fig. 26 -



- Fig. 27 -

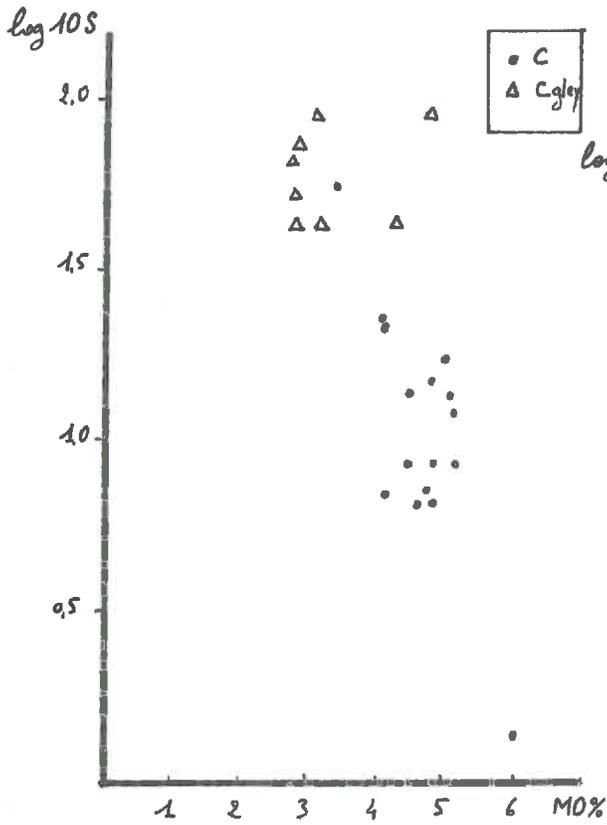


- Fig. 28 -

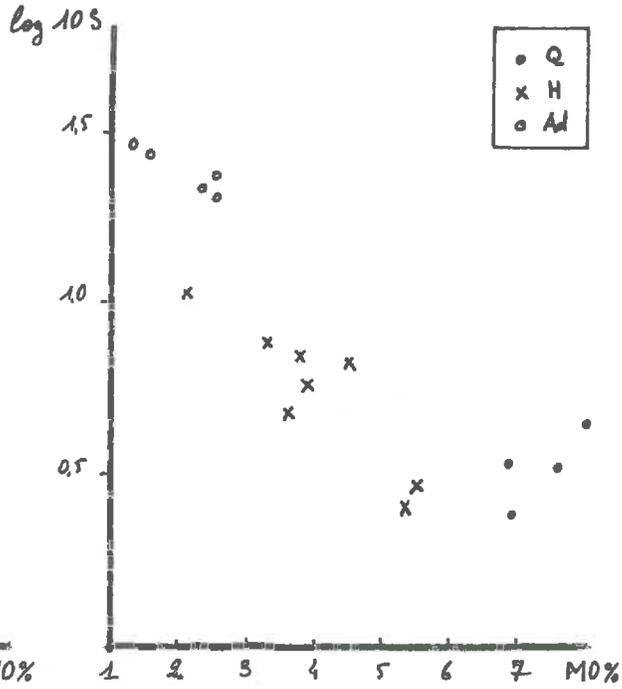


- Fig. 29 -

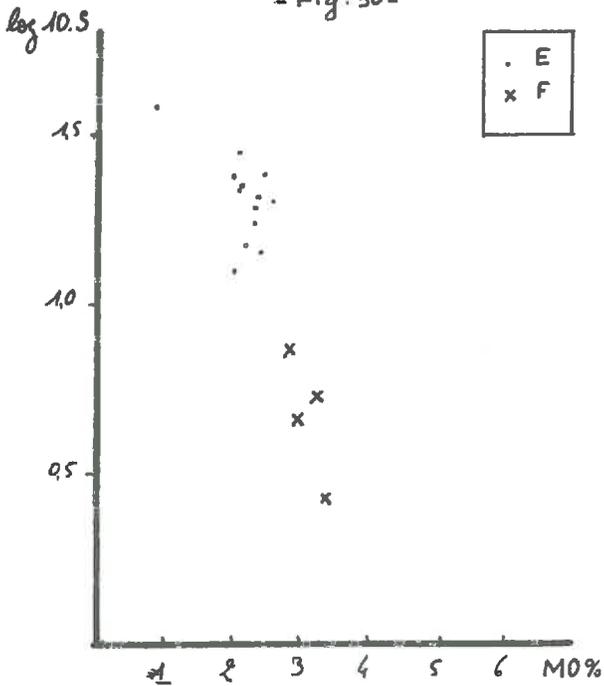
Relation  
entre STABILITÉ STRUCTURALE  
et MATIÈRE ORGANIQUE  
(page 2)



- Fig. 30 -



- Fig. 31 -



- Fig. 32 -

## II - INFLUENCE DES ENGRAIS.

Les cations, en participant aux phénomènes de floculation des colloïdes du sol, interviennent sur la stabilité structurale.

Les essais mis en place à la station agronomique de Versailles, où chaque parcelle, maintenue hors culture, reçoit un engrais différent, montrent :

- l'action dégradante sur la structure des engrais contenant l'ion sodium, et de certains engrais potassiques ;
- l'amélioration apportée par les engrais calciques et les amendements calcaires (H. BURGEVIN, S. HÉLIN, 1939).

Une corrélation positive est mise en évidence par S. MÉRIAUX (1958) entre l'indice K du test de Hélin et le rapport  $\frac{Ca}{Mg + K + Na}$  des ions du sol déplacés par l'acétate d'ammonium, confirmant ainsi l'effet nuisible des cations dits défloculants (Na, K, Mg), et le rôle primordial du calcium sur la perméabilité.

Cependant, si les essais de Versailles se révèlent positifs du fait de l'épandage répété du même engrais depuis maintenant quarante ans, sans aucune exportation par les plantes, l'effet des engrais en grande culture dans les conditions courantes d'emploi ne retient guère l'attention. Ainsi L. CAVAZZA et al. (1968) ne signalent aucun effet significatif important des fertilisations minérales.

Il apparaît donc utile de connaître l'influence éventuelle des engrais sur les sols limoneux lorsqu'ils sont utilisés dans les conditions habituelles, ou proches de celles-ci.

### 1.- Méthode d'étude.

Compte tenu des faibles quantités d'engrais apportées, on peut s'attendre à ce que les écarts observés sur les résultats des tests se rapprochent de l'erreur aléatoire. Une étude statistique peut seule être entreprise. C'est pourquoi les échantillons étudiés dans ce but ont tous été recueillis dans des terrains d'expérimentation.

Quatre stations ont été retenues :

- 1) Le champ d'essai de Questembert (station Q).
- 2) Le champ d'essai de Boistrudan (station B).

Ils séparent tous deux six fertilisations. Seules deux fertilisations ont été étudiées en plus des témoins:

- sur les deux stations une fumure complète N P K,
- à Questembert la fumure N P K + N, enrichie en azote,
- à Boistrudan la fumure N P K renforcée, conservant les mêmes proportions des trois éléments.

3) Le champ d'expérience de Vignoc (station V) dont nous étudions ici l'influence des fumures P K et N P K comparées au témoin.

4) Le terrain d'expérimentation du "Bas-Chemin" (station E) à l'E.N.S.A.R., convenant à l'étude des effets particuliers et combinés des éléments N, P, et K.

### 2.- Les résultats.

#### a) Questembert.

Les moyennes des tests d'instabilité et de percolation sont regroupées dans le tableau 9.

Il n'apparaît aucune différence significative.

Signalons que le taux de matière organique oscille entre 6,8 et 8,0 %.

TABLEAU 9

Questembert. Influence de la fertilisation sur la stabilité.

	Témoin	N P K	N P K + N	ppds 5%
log 10 S	0,50	0,48	0,57	0,13
log 10 K	1,82	1,83	1,79	0,17

b) Boistrudan.

Les moyennes correspondant à ce champ sont reportées dans le tableau 10.

TABLEAU 10

Boistrudan. Influence de la fertilisation sur la stabilité.

	Témoin	N P K	N P K renf.	ppds 5%
log 10 S	1,20	1,27	1,15	0,17
log 10 K	1,36	1,43	1,44	0,08

Une différence peu significative apparaît entre le témoin et la plus forte fumure sur le test de percolation.

Le taux de matière organique varie de 1,6 à 2,0 %.

c) Vignoc.

Le tableau 11 ne révèle aucune différence significative. Le taux de matière organique varie entre 3,2 et 4,0 %.

TABLEAU 11

Vignoc. Influence de la fertilisation sur la stabilité.

	Témoin	P K	N P K	ppds 5%
log 10 S	0,47	0,45	0,59	0,28
log 10 K	1,67	1,60	1,68	0,17

TABLEAU 12

"Le Bas-Chemin".  
Influence de la fertilisation sur la stabilité.

Eléments	log 10 K			log 10 S		
	moyenne	$\Delta$	signif.	moyenne	$\Delta$	signif.
N 1	1,53	0,04	NS	1,14	0,03	PS
N 2	1,57	0,04	NS	1,11	0,05	S
N 3	1,53	0,16	S	1,16	0,04	S
N 4	1,37			1,20		
ppds 5 %		0,11			0,026	
P 1	1,52	0,04	NS	1,14	0,02	PS
P 2	1,48			1,16		
ppds 5 %		0,01			0,02	
K 0	1,55	0,07	NS	1,12	0,05	S
K 1	1,48	0,04	NS	1,17	0,01	NS
K 2	1,44	0,08	NS	1,18	0,05	S
K 3	1,52			1,13		
ppds 5 %		0,11			0,03	

d) "Le Bas-Chemin".

Les trente-deux parcelles du champ d'essai ont reçu une fertilisation différente en réalisant la combinaison des doses d'engrais suivantes :

- Azote, apportée sous forme d'ammonitrate :

- N 1 : dose simple
- N 2 : dose simple + dose complémentaire
- N 3 : dose N 2 + même dose complémentaire
- N 4 : dose N 3 + même dose complémentaire

- Acide phosphorique, apporté sous forme de superphosphate triple:

- P 1 : dose simple
- P 2 : dose double

- Potasse, apportée sous forme de chlorure de potassium:

- K 0 : témoin sans potasse
- K 1 : dose simple
- K 2 : dose double
- K 3 : dose triple

Le pourcentage de matière organique du sol est compris entre 2,0 et 2,5 %.

Les moyennes des résultats des tests de stabilité se rapportant à chaque élément, et les interprétations statistiques correspondantes sont rassemblées dans le tableau 12.

3.- Interprétation.

Elle concerne les résultats de la station E.

a) Effet de l'ammonitrate.

Les plus faibles apports d'engrais apportent une légère amélioration de la stabilité, puis l'augmentation des doses s'avère néfaste.

Cet engrais modifie l'état ionique du sol. Malgré sa teneur en carbonate de calcium, son apport s'accompagne d'une légère acidification, comme le révèle le tableau 13.

TABLEAU 13

"Le Bas-Chemin".  
Effet de l'ammonitrate sur le pH.

	N 1	N 2	N 3	N 4
moyenne pH eau	5,68	5,66	5,55	5,50
$\Delta$ ppds 5 % : 0,15	0,02	0,11	0,05	

b) Effet du superphosphate triple.

L'apport de cet engrais s'accompagne d'une très faible diminution de la stabilité.

c) Effet du chlorure de potassium.

Deux effets antagonistes apparaissent : les plus faibles apports se révèlent nuisibles à la stabilité, mais la diminution constatée se trouve corrigée par des apports plus importants.

d) Effets combinés.

L'analyse statistique concernant les effets combinés n'apporte aucun renseignement complémentaire.

4.- Conclusions.

Les faibles écarts mis en évidence dans certains champs d'essais restent du même ordre de grandeur que l'hétérogénéité propre du sol. Les épandages des fertilisants minéraux les plus usuels n'interviennent pas de façon appréciable sur la stabilité dans les conditions habituelles. Notons que  $\log 10 S$  est plus affecté que  $\log 10 K$ .

La richesse en matière organique et la bonne stabilité du sol atténuent les réactions des engrais, qui interviendraient donc plus particulièrement sur les colloïdes minéraux : le complexe argilo-humique, plus stable, ne serait pas notablement influencé.

Lorsque la stabilité est peu élevée, les légères variations qui se manifestent sont contradictoires, montrant

que l'apport d'engrais agit de façon complexe sur le sol.  
Deux transformations principales pourraient intervenir :

- l'apport d'ions modifie la répartition des charges des colloïdes et leur niveau de floculation, donc la cohésion;

- les engrais, en tant qu'éléments nutritifs, intensifient les processus biologiques dans le sol. Ils modifient la nature des composés azotés minéraux ou organiques du sol, en particulier des colloïdes organiques. Ils activent la croissance et l'activité racinaires dont certaines influences sur la structure sont connues.

En fait la finesse des effets constatés exclue l'emploi des fertilisants minéraux pour améliorer la stabilité structurale des sols de la région.

### III - INFLUENCE DES AMENDEMENTS.

Le calcium est reconnu depuis longtemps comme l'élément régulateur de la structure et des qualités physiques du sol. L'épandage d'amendements calcaires apporte une amélioration sensible aux propriétés physiques, ainsi que l'attestent les constatations expérimentales faites à la station agronomique de Versailles (H. BURGEVIN, S. HENIN, 1939). La stabilité structurale est notamment augmentée : S. MERIAUX (1961) signale que le calcaire broyé et à moindre titre la chaux, influencent favorablement le coefficient de perméabilité (test K). Le taux d'agrégats  $Ag_p\%$  est peu modifié.

L'ion calcium intervient de deux façons :

- en élevant le pH du sol ;
- en agissant directement sur la floculation des colloïdes.

La relation entre le pH et la stabilité est controversée. G. CHARLES (1968) signale que l'acidification conduit à la dégradation de la structure. Pour H. BURGEVIN et

S. HENIN (1939), la zone de pH comprise entre 6 et 7 constitue une zone critique en ce qui concerne les propriétés structurales. Il résulte qu'il n'est pas indispensable de recourir à des chaulages massifs pour améliorer un sol acide. Pour P. BOEKEL (1966) le pH doit être d'autant plus élevé que le sol est moins riche en matière organique, et surtout que la teneur en éléments limoneux est plus forte.

Le rôle du calcium sur les argiles et les autres colloïdes est encore mal connu (R. BLANCHET et al., 1966). Les sels de calcium existant dans les solutions du sol faciliteraient la floculation peu réversible, donc stable, des éléments colloïdaux (P. DUCHAUFOR, 1965, p 32). S. MERIAUX (1961) montre que les effets des amendements sur la floculation sont d'autant plus importants que le calcium se trouve en excès par rapport à la capacité de saturation. P. BOEKEL (1959) constatant que l'influence du chaulage varie avec chaque sol observe qu'il n'y a pas de différence dans les propriétés physiques d'une argile saturée en ions Ca et d'une argile saturée par les ions H ; l'amélioration proviendrait surtout de l'augmentation en ions Ca de la solution du sol.

L. DE LEMMEEER (1954) observe que ce sont les réserves en carbonate qui influencent le plus la structure et sa stabilité si le sol est peu riche en matière organique.

#### A.- Relations entre le pH et la stabilité.

Une corrélation a été recherchée entre le pH des différents échantillons de sol recueillis et la stabilité structurale.

Aucune relation n'a été mise en évidence

- sur l'ensemble des sols étudiés,
- sur les sols regroupés dans chaque classe granulométrique,
- entre les différents échantillons recueillis sur une même station.

B.- Influence des amendements.

L'étude est conduite à partir des résultats concernant le champ expérimental de Vignoc. Le maërl est apporté sur la base de :

- 2 t/ha : dose simple M 1, soit 1 000 kg/ha de CaO,
- 4 t/ha : dose double M 2, soit 2 000 kg/ha de CaO.

1.- Effet de l'amendement sur la structure.

L'examen du profil cultural révèle une action notable du maërl, surtout lorsqu'il est combiné à une fertilisation complète (clichés 7 à 10). La structure des parcelles traitées est alors moins tassée, plus grumelleuse, que celle des témoins, et les racines, fines et sinueuses, se trouvent en abondance. Les taches de rouille, témoins d'hydromorphie temporaire, y sont plus rares.

2.- Effet de l'amendement sur le pH.

Le tableau 14 montre l'effet du maërl sur le pH du sol.

TABLEAU 14

Vignoc. Influence du Maërl sur le pH.

Traitement	pH eau	Δ
0	4,93	
M 1	6,20	1,27
M 2	6,45	0,25
ppds 5 %		0,57

La dose simple M 1 apporte une augmentation notable du pH. La dose double M 2 ne conduit pas à une élévation supplémentaire notable. Dans les parcelles amendées, le calcimètre révèle la présence de carbonates. On peut donc penser que la dose M 1 suffit largement à saturer le complexe et que la dose M 2 laisse des carbonates en excès.

ACTION DU MAERL  
=====

SUR LA STRUCTURE D'UN SOL LIMONEUX.  
=====

Prairie naturelle. Station V.

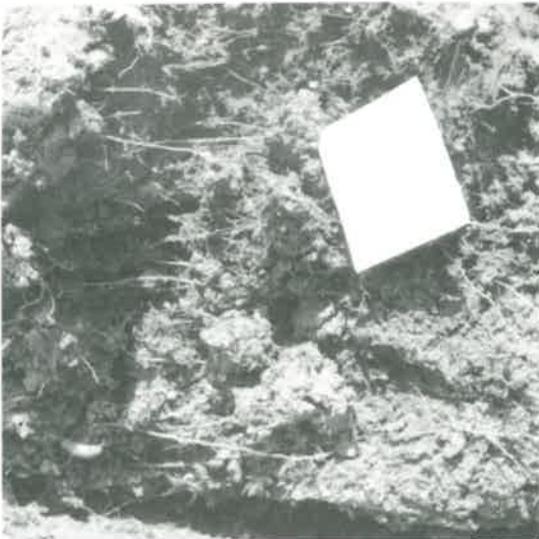


Cliché 7 - Témoin.



Cliché 8 - Parcelle traitée.

ASPECT DES MOTTES



Cliché 9 - Témoin.



Cliché 10 - Parcelle traitée.

FORME DE LA STRUCTURE

### 3.- Influence sur la stabilité structurale.

Les moyennes des résultats des tests de stabilité sont rassemblés dans le tableau 15.

TABLEAU 15

Vignoc.  
Influence du Maërl sur la stabilité structurale

doses Maërl	log 10 S		log 10 K	
	moy.	$\Delta$	moy.	$\Delta$
0	0,59		1,67	
M 1	0,43	0,16	1,75	0,08
M 2	0,49	0,06	1,69	0,06
ppds 5 %		0,28		0,17

Le test S ne révèle aucune influence notable. Le test K, répondant habituellement bien à l'influence des cations, n'indique non plus aucun effet.

L'absence de signification des écarts a deux origines :

- l'hétérogénéité naturelle de ce sol de vieille prairie ;
- la richesse en matière organique, qui confère à ce sol une bonne stabilité et masque les faibles variations.

### C.- Conclusion.

Les résultats confirment que les amendements interviennent sur la stabilité structurale sans qu'il existe de rapport direct entre cette propriété et le pH du sol.

L'amélioration apportée n'est pas sensible en sol limoneux si les propriétés structurales sont portées à un niveau suffisant par les matières organiques. Cependant les conclusions concernant l'influence des engrais laissent à penser qu'en sol peu stable l'utilisation des amendements apporte quelque amélioration.

C H A P I T R E    I V

-----

INFLUENCE DES TRAVAUX CULTURAUX,  
=====

DU CONTROLE DE L'EAU, ET DES CULTURES.  
=====

CHAPITRE IV

=====

INFLUENCE DES TRAVAUX CULTURAUX,  
=====  
DU CONTROLE DE L'EAU, ET DES CULTURES.  
=====

I - INFLUENCE DES TRAVAUX CULTURAUX.

Les machines utilisées pour préparer la terre agissent de deux façons opposées :

- elles divisent le sol en mottes et en terre fine. L'augmentation de volume résulte de la formation de vides entre les mottes, et améliore l'aération et l'écoulement de l'eau.

- par des compressions locales, lorsque le sol est humide, elles peuvent former des zones de compaction. A la limite il y a risque de gâchage du sol (S. HENIN et al., 1969, p 170-177).

Elles combinent ces deux actions dans des proportions différentes en fonction de l'état d'humidité du sol.

A.- Le labour.

Le labour représente l'opération principale d'ameublissement du sol. Il provoque la formation de mottes et de terre fine. L'aspect et la taille des mottes, et leur proportion par rapport à la terre fine dépend du sol et des conditions de labour, en particulier de l'humidité du sol, de la forme du versoir de la charrue, et de la vitesse de travail (S. HENIN et al., 1969 p 178 et suiv.).

L'étude a pour but de déterminer dans quelle mesure

certaines de ces conditions préservent la stabilité structurale des sols limoneux considérés.

1.- Choix des observations.

Trois groupes d'observations ont été réalisées:

- L'action du labour d'une terre exploitée en culture. Les échantillons ont été recueillis peu de temps avant, et peu de temps après le travail du sol. La station E fut choisie à cet effet.

- L'action du retournement d'une prairie. La station Af a été retenue pour cette étude. Il s'agit d'une prairie de quatre ans. L'amélioration de la stabilité par les plantes prairiales a eu ainsi le temps de se manifester. (G. MONNIER, 1958).

- L'action du labour d'une terre de culture, effectué à deux vitesses différentes de travail. L'expérience fut réalisée sur une parcelle de la station Af.

2.- Résultats.

a) Action du labour d'une terre de culture.

Les premières observations ont été faites sur la station E le 28 octobre 1968 avant la récolte des betteraves fourragères (5 et 6 novembre), et furent séparées des suivantes, qui eurent lieu le 11 décembre, par le labour (3 décembre), le passage du cross-kill (6 décembre), et le semis de blé (7 décembre). Le tableau 16 rassemble les résultats des tests de stabilité.

TABLER 16

Influence du labour sur la stabilité.

	$Ag_e\%$	$Ag_b\%$	$Ag_e\%$	$\log 10 S$	$\log 10 K$
Avant travail du sol	48,2	26,9	29,8	1,33	1,11
Après travail du sol	41,5	28,4	28,9	1,39	1,15

Le travail du sol a entraîné la diminution de  $Ag_a$ , sans affecter les autres pourcentages d'agrégats, traduisant une légère diminution de la stabilité. Le test de perméabilité paraît au contraire amélioré.

b) Action du retournement de la prairie.

La prairie de la station Af était fort dégradée par le piétinement des animaux. Le labour fut réalisé en avril 1969 pour permettre un semis de maïs. Le tableau 17 montre les résultats des tests de stabilité.

TABLÉAU 17

Influence du retournement de la prairie sur la stabilité.

	log 10 S	log 10 K
Avant retournement	1,30	1,12
Après retournement	1,23	1,31

On constate une légère amélioration de la stabilité, et une augmentation nette du test de perméabilité.

c) Action du labour effectuée à deux vitesses différentes.

Le labour de novembre 1969, réalisé sur la station Af après la récolte de maïs, fut effectué :

- en partie à faible vitesse d'avancement du tracteur ;
- en partie à une vitesse supérieure.

Quatre mois plus tard la différence de structure entre les deux parties était nette. Sous les pas, la parcelle labourée rapidement était moins souple. La surface du sol se révélait plus sensible à la battance, car elle était moins motteuse et moins fissurée (clichés 11 et 12). L'examen du profil cultural révélait dans cette partie des mottes de taille plus régulière, et davantage de terre fine.

Les tests de stabilité ont fourni les valeurs inscrites dans le tableau 18.

TABLEAU 18

Influence de la vitesse de labour sur la stabilité.

	$Ag_a\%$	$Ag_b\%$	$Ag_c\%$	log 10 S	log 10 K
Labour lent	29,1	14,3	16,3	1,20	1,18
Labour rapide	24,2	13,2	13,6	1,27	1,00

La stabilité est affectée par un travail trop rapide. Les taux d'agrégats stables sont plus faibles dans le cas du labour rapide, et le taux  $Ag_c\%$  révèle une incidence particulière sur la cohésion. La perméabilité est particulièrement diminuée.

### 3.- Conclusion.

Selon les conditions de travail, le labour peut améliorer ou diminuer la stabilité structurale.

La perturbation mécanique du sol affecte la cohésion propre des agrégats. Un bon labour doit donc se faire en évitant que les pièces travaillantes ne soumettent les agrégats à des forces trop importantes et trop brusques.

La division du sol et l'augmentation de porosité s'avèrent bénéfiques sur le test de perméabilité, à condition que la cohésion des agrégats ne soit pas trop affectée. L'amélioration est surtout sensible lorsque le labour est prétexte à un enfouissement de matière organique.

### B.- Culture sans labour.

Lorsque les sols limoneux de la région sont très humides, leur cohésion est particulièrement faible, et la structure devient fragile. Une période pluvieuse survenant au moment du labour augmente les risques de compaction du sol. Cette

INCIDENCE  
=====

DE LA VITESSE DU LABOUR  
=====

SUR LA STRUCTURE  
=====



Cliché 11 - Labour effectué à  
vitesse réduite.



Cliché 12 - Labour effectué à  
vitesse plus rapide.

dernière se manifeste par la formation d'une semelle de labour et de mottes dures lorsque le sol s'assèche, difficilement pénétrables par les racines, et par le tassement du sol en surface très favorable à la battance.

La culture sans labour, en réduisant au maximum l'emploi de machines sur le sol fragile, apparaît alors comme une solution de remplacement, au cas où le labour n'a pu être réalisé sur un sol suffisamment ressuyé.

#### 1.- Essai.

Un essai de culture sans labour, mis en place pour déterminer l'opportunité et les modalités de cette technique dans les sols limoneux de la région, a été réalisé en 1969 sur la station H. Un blé d'hiver fut semé après une prairie de fétuque de cinq ans exploitée en zéro-pâturage intégral.

Trois modes de préparation du sol avant le semis furent mis en comparaison :

- parcelle 1 : désherbage chimique au mois d'août. Ameublissement superficiel par le rotavator et nouvel épandage de désherbant. Semis de blé avec un semoir classique.
- parcelle 2 : désherbage chimique d'été, et semis avec un semoir lourd.
- parcelle 3 : labour.

Le feutrage trop important sur la parcelle 2 empêche la levée normale du blé. Un labour fut alors effectué au printemps pour préparer un semis de maïs.

#### 2.- Résultats.

Les résultats des tests de stabilité sont reproduits dans le tableau 19.

Le travail du sol au rotavator, en broyant et mélangeant le feutrage superficiel de la prairie sur une faible épaisseur de sol (5 cm), préserve la bonne stabilité du sol en surface.

TABLEAU 19

Effet de la culture sans labour sur la stabilité.

	Matière Organique en %	log 10 S			log 10 K		
		sup. 4,5	env. 3,8	inf. 2,5	sup. 4,5	env. 3,8	inf. 2,5
au semis	Parcelle 1	0,48	0,68	1,02	1,96	1,72	1,39
	Parcelle 2	0,40	0,75		2,00	1,47	
	Parcelle 3	0,89				1,45	
après récolte	Parcelle 1		0,98			1,51	
	Parcelle 2		1,00			1,54	
	Parcelle 3		1,03			1,49	

La zone la plus profonde de la couche arable conserve une structure tassée. Mais la diminution de la stabilité occasionnée par le labour malgré l'incorporation de la matière organique ne s'exerce pas.

Après la récolte, l'examen du profil cultural n'a pas révélé de différence importante de cohésion entre les parcelles sans labour et la parcelle labourée. Seule la parcelle 2, reprise par un labour de printemps et semée en maïs, a montré une structure plus tassée. Les tests révèlent que la stabilité est identique dans toutes les parcelles, y compris la parcelle 2.

La baisse de stabilité mise en évidence par le test d'instabilité après cette année de culture pourrait être attribuée à une diminution de la quantité de matière organique par humification.

### 3.- Conclusion.

La culture sans labour préserve la stabilité structurale du sol en surface, dans la mesure où celle-ci est très bonne. Cette pratique apparaît notamment comme un moyen d'éviter la battance.

Cependant il est à prévoir que l'utilisation du rotavator sur un sol peu stable et peu riche superficiellement en débris végétaux, à cause de sa vitesse de travail, ne soit néfaste à la structure et à sa stabilité.

A la fin de l'année agricole, la culture sans labour n'apporte aucune amélioration de stabilité par rapport au labour classique.

### C.- Tassement du sol.

Dans des conditions de forte humidité, la cohésion des sols limoneux est insuffisante pour offrir une bonne résistance aux pressions même peu importantes. Elles provoquent la déformation de la structure et le tassement.

Pour connaître l'influence des pressions sur la stabilité structurale des échantillons de sol non tassé et tassé

par la pression de roues sur le sol humide ont été recueillis. Les résultats des tests de stabilité sont rassemblés dans le tableau 20.

TABLEAU 20

Influence du tassement du sol  
sur la stabilité

	log 10 S	log 10 K
Sol non tassé	0,50	1,95
Sol tassé	0,24	1,75

La nette diminution de l'indice S montre que la pression augmente la cohésion des agrégats. Le test de perméabilité se trouve peu affecté par le tassement.

## II - INFLUENCE DU CONTROLE DE L'EAU.

Les interventions qui ont pour résultat de régulariser l'humidité du sol, à savoir l'irrigation et l'assainissement, modifient l'influence de l'eau telle qu'elle est étudiée dans le chapitre II.

### A.- L'irrigation.

Le maintien d'une certaine humidité du sol pendant l'été élimine l'effet bénéfique de sa dessiccation sur la stabilité.

#### 1.- Essai.

Un essai d'irrigation fut mis en place sur la station T. Le sol, de texture limono-sableuse, est battant et peu stable. L'irrigation, destinée à une culture de maïs, fut réalisée par aspersion, avec le débit de 5 mm/h, en trois

apports de 40 mm.

Le tableau 21 montre les résultats des tests de stabilité.

TABLEAU 21

Influence de l'irrigation par aspersion  
sur la stabilité

	Partie haute			Partie basse		
	$Ag_a\%$	$\log 10 S$	$\log 10 K$	$Ag_a\%$	$\log 10 S$	$\log 10 K$
Parcelle témoin	22,4	1,67	1,21	34,9	1,28	1,34
Parcelle arrosée	18,6	1,71	1,07	25,2	1,43	1,22

La stabilité des parcelles irriguées est nettement plus faible que celle des témoins. L'écart concernant les taux  $Ag_a\%$  montre que le maintien de l'humidité du sol affecte en particulier la cohésion.

## 2.- Conclusion.

Le fait que l'irrigation maintienne la stabilité à un faible niveau est très préjudiciable à l'emploi de l'aspersion. La sensibilité du sol à la battance n'est pas diminuée, et un débit très important des arrosages peut provoquer la formation d'une croûte imperméable.

Après l'enlèvement des récoltes, le sol nu se trouve en conditions défavorables pour résister à l'action dégradante des fortes pluies d'automne.

L'irrigation poursuivie pendant plusieurs années consécutives empêche la réorganisation des forces de cohésion qui se produit au cours de la dessiccation. Il est possible qu'une aggravation de la mauvaise stabilité apparaisse après quelques années de cette pratique.

## B.- Assainissement par planches bombées.

Le rôle néfaste de l'hydromorphie sur la stabilité structurale a été souligné dans le chapitre II.

L'élimination de l'eau excédentaire du sol, permet :

- l'élimination ou l'atténuation de l'hydromorphie ,
- les interventions et les méthodes de culture favorables à la structure et à sa stabilité.

Une étude concernant exclusivement l'assainissement à l'aide de planches bombées de grande largeur a été réalisée pour déterminer les conditions d'amélioration de la stabilité structurale par ce mode d'assainissement.

### 1.- Méthode d'étude.

L'étude a été conduite sur les stations C, L, et P. Les parcelles temporairement hydromorphes étaient exploitées comme des prairies permanentes. L'assainissement a permis l'installation de prairies à haute production fourragère.

Pour chaque parcelle, les observations ont été réalisées au sommet de la planche et auprès de la dérayure, et quelquefois entre les deux. Un échantillon de sol fut prélevé dans chaque horizon de chaque profil cultural.

### 2.- Influence sur la structure.

Le profil cultural des témoins se rapproche du type suivant :

- sur dix centimètres, la terre est très noire, et le feutrage racinaire est dense, mais superficiel. La structure est grumelleuse, peu développée, et compacte à la suite du piétinement des animaux.

- en dessous, le pseudogley ou le gley forme une couche très compacte, peu perméable, et sans activité biologique.

Sur les planches, la structure est différente, selon que l'on considère la zone proche des dérayures ou près du sommet.

- le bord des planches conserve les caractères de l'horizon hydromorphe, avec cependant l'installation d'un feutrage racinaire sur une faible épaisseur.
- au sommet des planches, le profil varie en fonction du mode d'établissement :
  - en surface un feutrage racinaire profond et sain préserve la structure engendrée par le labour, à moins que le pâturage à la mauvaise saison n'ait provoqué la formation d'une couche compacte favorable à l'accumulation superficielle de l'eau;
  - la porosité de l'horizon inférieur est d'autant moins importante que la planche est plus ancienne. Malgré la faible teneur en matière organique de cette terre provenant du pseudogley ou du gley apporté des dérayures vers le sommet, l'activité biologique y est développée ;
  - en dessous s'étend souvent une couche riche en matière organique. Elle correspond au feutrage de l'ancienne prairie. Des phénomènes de réduction apparaissent parfois à ce niveau dans les planches récentes empêchant la minéralisation correcte des débris végétaux ;
  - la planche repose sous le gley sous-jacent non travaillé.

La teneur en matière organique n'est pas suffisante pour assurer au sol une structure développée et stable.

Mais les labours profonds et répétés ont donné au sol une porosité satisfaisante. L'épaisseur de terre arable est très augmentée, et l'activité biologique est importante.

### 3.- Influence sur la stabilité structurale.

Le tableau 22 rassemble quelques résultats caractéristiques des tests de stabilité.

TABLERU 22

Influence du profilage du sol  
sur la stabilité

	$\Delta g_e \%$	$\Delta g_p \%$	$\Delta g_e \%$	log 10 S	log 10 K	M.O %	
Station C							
témoin	0-15cm	63,6	60,3	51,4	0,15	1,77	6,0
	15-30 cm	29,0	23,8	29,2	0,92	1,38	4,5
	30-40 cm	12,4	1,4	1,9	1,82	1,10	2,8
Sommet	0-22 cm	39,3	25,8	22,4	0,70	1,13	4,9
	inf. 22 cm	14,0	2,6	4,4	1,67	0,96	2,8
Dérayure	0-10cm	16,4	4,9	7,5	1,75	1,11	3,5
	10-18cm	14,5	8,3	7,7	1,64	0,96	4,3
Station L							
témoin		52,7	64,0	44,8	0,11	1,91	5,5
Sommet	0-15 cm	60,8	38,9	32,4	0,65	2,12	4,0
	15-35 cm	58,2	56,3	49,0	0,60	2,19	3,8
	inf. 35 cm	32,3	5,0	9,6	1,66	1,24	0,8
Dérayure	0-20cm	40,2	20,9	19,0	0,66	1,53	3,5
	inf. 20cm	20,7	6,7	13,0	1,49	0,99	0,6

La stabilité du sol superficiel des témoins est très élevée, bénéficiant de l'important feutrage racinaire.

Au sommet des planches, elle atteint un niveau moyen, parfois plus important en profondeur, ce qui correspond aux observations de profil cultural.

Dans les dérayures la couche de terre arable est peu épaisse et n'est pas toujours présente.

4.- Conclusion.

Moyennant un certain nombre de précautions indispensables pour conserver la structure du sol assaini, le dressage de planches bombées permet, au cours des multiples labours, l'oxydation et l'incorporation de matière organique. Il s'ensuit une rapide amélioration de la stabilité du sol primitivement soumis à des périodes de réduction plus ou moins prolongées.

### III - INFLUENCE DES CULTURES.

L'influence des plantes cultivées sur la stabilité structurale dans le cadre des successions des cultures et des rotations a déjà fait l'objet d'expérimentations et d'études. Ainsi L. CAVAZZA et ses collaborateurs (1968), à partir d'essais sur des sols de la région méditerranéenne, montrent qu'une rotation de quatre ans comprenant une culture sarclée confère au sol une stabilité moins bonne qu'une rotation de trois ans où deux cultures de blé succèdent à une culture de céréale fourragère annuelle. Mais l'influence relative de ces deux cultures varie selon les stations.

M. SEBILLOTTE (1968) explique l'intervention des cultures sur la stabilité structurale en invoquant deux influences :

- la culture provoque des variations de quantité et de qualité de matière organique ;
- elle agit sur le bilan hydrique du sol au cours des mois qui précèdent la mise en place de la future culture, par sa présence même, ou par les techniques culturales utilisées.

Diverses autres modifications apportées notamment par les plantes fourragères au sol (P. JACQUARD, L. CROISIER, G. MONNIER, 1969) peuvent agir indirectement sur la stabilité.

L'étude, à partir de l'examen de diverses successions, permet de déterminer dans le cadre général, l'influence de quelques cultures sur la stabilité.

#### A.- Méthodes d'étude.

Deux méthodes d'études ont été utilisées en fonction des stations :

- Les résultats concernant les champs d'essai de Questembert (station Q) et de Boistrudan (station B) se prêtent à une interprétation statistique. Ces champs testent deux

rotations respectivement sur six et sept ans, et adaptées à la région.

- La station G se prête à diverses observations. Selon les parcelles, des cultures ont été faites sur un précédent identique, ou bien les mêmes cultures viennent après des précédents différents. Les résultats se rapportant à chacune des parcelles désignées dans le tableau 23 sont mis en comparaison.

TABLERAU 23

Cultures et précédents culturaux  
des différentes parcelles de la station G

	Culture	Précédent
Parcelle 2	Blé	Orge-Avoine
3	Pommes de terre	Orge-Avoine
4	Betteraves	Orge-Avoine
Parcelle 1	Blé-Orge	Ray-grass italien
5	Blé-Orge	{ Colza dérobé après RGI

B.- Résultats.

1.- Station Q.

Les résultats des tests de stabilité sont rassemblés dans le tableau 24. Ils correspondent à la moyenne de trois mesures. Les cultures sont placées dans l'ordre de la succession.

Le test K de perméabilité donne seul des écarts significatifs. Le sol après culture de pommes de terre manifeste une baisse de stabilité. Les céréales et le mélange ray-grass - trèfle violet confèrent au sol une bonne stabilité.

TABLEAU 24

Questembert  
Influence des cultures sur la stabilité

Culture	log 10 S	log 10 K
Pommes de terre	0,51	1,64
Blé	0,52	1,78
Orge 1	0,53	1,87
Ray-Grass - Trèfle 1	0,47	1,89
Orge 2	0,46	1,89
Ray-Grass - Trèfle 2	0,43	1,75
ppds 5 %	0,18	0,24

2.- Station B.

Les résultats des tests sont rassemblés dans le tableau 25. Ils correspondent à la moyenne de trois mesures.

TABLEAU 25

Boistrudan  
Influence des cultures sur la stabilité

Culture	log 10 S	log 10 K
Ray-Grass - Trèfle	1,13	1,43
Maïs grain	1,24 <sup>‡</sup>	1,47 <sup>‡</sup>
Maïs fourrage	1,36 <sup>‡</sup>	1,46 <sup>‡</sup>
Blé 1	1,29	1,43
Betteraves danoises	1,40 <sup>‡</sup>	1,45 <sup>‡</sup>
Blé 2	1,23	1,34
Orge	1,07	1,38
ppds 5 %	0,21	0,08

<sup>‡</sup> résultat d'une seule mesure.

Le test d'instabilité se révèle le plus sensible. Il montre l'influence néfaste des betteraves et du maïs, et l'effet bénéfique du blé et surtout de l'orge. Le maïs paraît favoriser le test de percolation.

3.- Station G.

Les résultats des tests sont rassemblés dans le tableau 26.

TABLÉAU 26

Station G  
Influence des cultures et des précédents  
sur la stabilité

		log 10 S	log 10 K
	Culture		
Parcelle 2	Blé	1,02	1,69
Parcelle 3	Pommes de terre	1,24	1,45
Parcelle 4	Betteraves	1,13	1,59
	Précédent		
Parcelle 1	Ray-Grass	1,30	1,33
Parcelle 5	Colza déroché	1,39	1,27

La culture des plantes sarclées, en particulier des pommes de terre, laisse le sol moins stable que la culture de blé.

La culture dérochée de colza diminue la stabilité du sol.

C.- Interprétation et conclusion.

Les résultats des tests révèlent que la culture des plantes sarclées, telles que les pommes de terre, les betteraves et le maïs, diminue légèrement la stabilité. On peut penser que leur rôle défavorable provient en partie des travaux du sol nécessaires à leur culture, malgré l'enfouissement de matière organique qui précède généralement leur semis.

Les céréales et les plantes fourragères au contraire préservent la stabilité ou l'améliorent. L'orge en particulier semble très bénéfique. Le ray-grass, habituellement introduit dans la rotation pour améliorer la structure, n'apporte à la stabilité aucune influence favorable spectaculaire. Sa culture pendant une seule année ne permet pas à son action amélioratrice de se manifester.

Les cultures dérobées, à cause de leur installation et de leur pâturage ou de leur récolte en période humide, sont reconnues pour abîmer la structure. Elles diminuent également la stabilité.

Deux cultures successives de céréales ou d'autres plantes favorables au sol suffisent à corriger les conséquences nuisibles de la culture sarclée. L'assolement triennal traditionnel paraît donc maintenir la stabilité structurale à un niveau constant. Mais une amélioration des propriétés structurales n'est possible qu'après plusieurs années de prairie. Quant à l'influence peu favorable du maïs dans les conditions régionales, elle conduit à considérer avec prudence le choix de cette culture pendant plusieurs années consécutives.

CHAPITRE V

-----

LA BATTANCE

=====

CHAPITRE V

LA BATTANCE

Le défaut le plus caractéristique des sols limoneux de la région est la battance. Il dépend des caractères propres au sol et résulte de l'action des fortes pluies sur le terrain nu. On invoque généralement la richesse en particules limoneuses, capables de colmater les pores grossiers et insuffisamment agglutinantes à l'égard des particules plus grosses (P. DUCHAUFOR, 1965). La vitesse maximale d'infiltration de l'eau est diminuée et il se forme à la surface du sol un film d'eau lors des fortes pluies (S. HENIN et al. 1969, p 110), constituant le phénomène initial de la battance. A partir de ce moment les gouttes qui possèdent une énergie considérable attaquent le sol et disloquent les agrégats. L'eau et les particules terreuses séparées forment une boue entraînée par le ruissellement ou s'accumulant sous forme de dépôts lités (W.D. ELLISON, 1954).

A.- Méthodes d'études.

L'importance de la battance et sa nature a été estimée à partir d'observations faites sur le terrain et au laboratoire.

Divers phénomènes intervenant dans la battance ont fait l'objet d'une appréciation systématique :

- le burinage des mottes en surface;
- le colmatage en surface;
- les croûtes de battance;
- la séparation des éléments texturaux.

Les observations sont comparées aux résultats des analyses et tests afin de déterminer les rapports entre les divers caractères propres au sol et la battance.

En fait il est difficile de caractériser la battance et de faire des comparaisons sur plusieurs parcelles, à cause de la nature complexe de ce phénomène et des difficultés d'observation et d'appréciation.

#### B.- Résultats.

L'appréciation des divers phénomènes intervenant dans la battance est traduite dans la tableau 27. Elle est mise en parallèle avec divers caractères des sols.

##### a) Le burinage :

Son importance apparaît dépendre principalement de la stabilité. Il est surtout sensible lorsque le taux  $A_g\%$  est inférieure à 20.

##### b) Le colmatage:

Il résulte de l'importance du burinage, mais paraît lié en outre à la texture, les terres les plus limoneuses étant les plus sensibles. Il dépend beaucoup de l'état de la surface du sol résultant du travail mécanique.

##### c) Les croûtes de battance:

Leur apparition dépend de l'importance du burinage et du colmatage superficiel.

##### d) L'examen des croûtes de battance:

La section verticale de la partie superficielle du sol révèle une séparation des éléments limoneux plus grossiers des éléments plus fins en lits successifs correspondant à chaque dépôt. Les particules les plus fines et les éléments colloïdaux forment la couche inférieure de chaque lit, et les particules plus grossières lavées de tout colloïde, se déposent au-dessus,

TABLEAU 27

Rapports entre la battance et quelques propriétés physiques du sol.

Station	durée de maturation	colmatage	croûte	séparation des éléments	Ag <sub>e</sub> %	Texture	Argille %	(Lf + Ig) %	Lf/A	pF 2,5	limite de liqui- dité
Ad	+	+	+	-	20	LAS	20	53	1,3	24 %	46 %
Af	+	+	+	+	14	LF	11	80	2,2	22	42
B	+	+	+	+	14-19	L	13	80	2,2	23	39
E	+	+	+	+	28-33	SL	15	37	1,2	18	34
G	+	+	+	+	8-14	L	9	65	2,4	20	41
H	+	-	+	-	38-43	LAS	12	54	2,8	29	40
I	+	+	+	+	12	LF	12	78	1,5	20	42
M <sup>≠</sup>	+	+	+	?	11	L	19	64	0,4	20	48
O	+	+	+	+	12	LF	12	75	2,0	23	45
T	+	+	+	?	15	LS	11	59	2,0	21	36

≠ terre calcaire

donnant à la surface de la croûte un aspect moiré (cliché 13 et fig. 33). Le tableau 27 révèle que la finesse de la texture favorise nettement cette séparation des éléments fins.

e) La battance :

Appréciée de façon globale, c'est-à-dire en considérant l'ensemble des différents phénomènes, elle dépend de la proportion de limons ( $L_f + L_g$ ). Par contre il n'apparaît pas de relation avec le rapport  $L_f/A$ . La limite de liquidité ne paraît pas intervenir directement. Mais l'importance des croûtes de battance semble correspondre aux sols ayant une faible humidité équivalente ( $pF 2,5$ ).

C.- Essai d'interprétation.

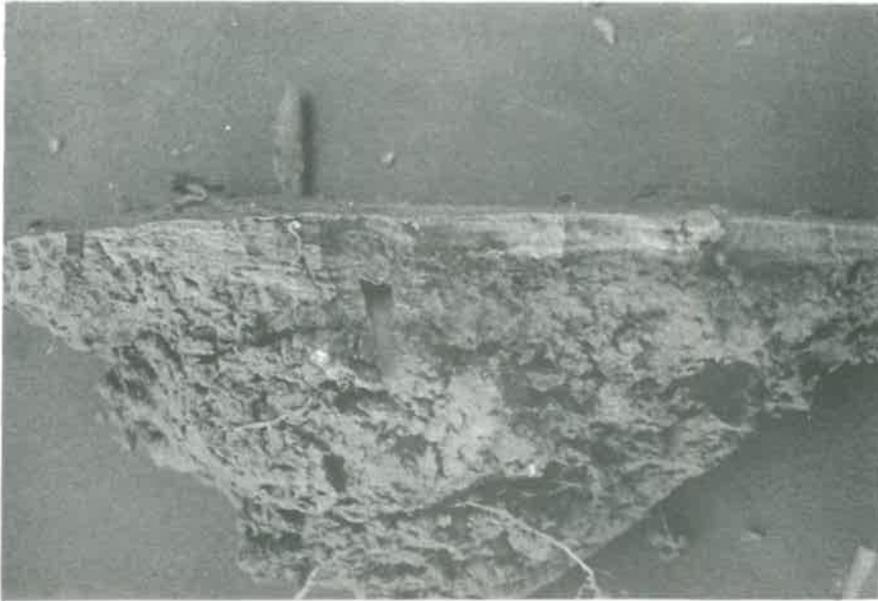
Lors d'une forte pluie, l'humidification brutale des agrégats provoque l'éclatement des agrégats à la surface du sol et des mottes. La perte de cohésion entre les agrégats résistants à la suite de la forte humidité locale est suffisante pour permettre à l'énergie des gouttes d'entraîner des fragments de terre. Les mottes sont burinées.

Les particules fines de terre sont aisément entraînées par l'eau dans les pores du sol et s'y déposant peuvent les obturer, ce qui limite le drainage naturel.

La boue, accumulée dans les microdépressions, perd lentement son eau par filtration et évaporation. La terre y ayant dépassé la limite de liquidité, l'énergie des gouttes d'eau sépare les particules plus grossières. Les colloïdes non détachés les particules les plus fines conservent une certaine cohésion et déposent les premiers. La partie superficielle est plus riche en eau et contient des grains de limons parfaitement séparés. Toujours remis en suspension par les mouvements transmis par les gouttes de pluie, ils se déposent en dernier.

# CROÛTE DE BATTANCE

=====



Cliché 13 - Croûte de battance recueillie dans une microdépression. 1,5 X.

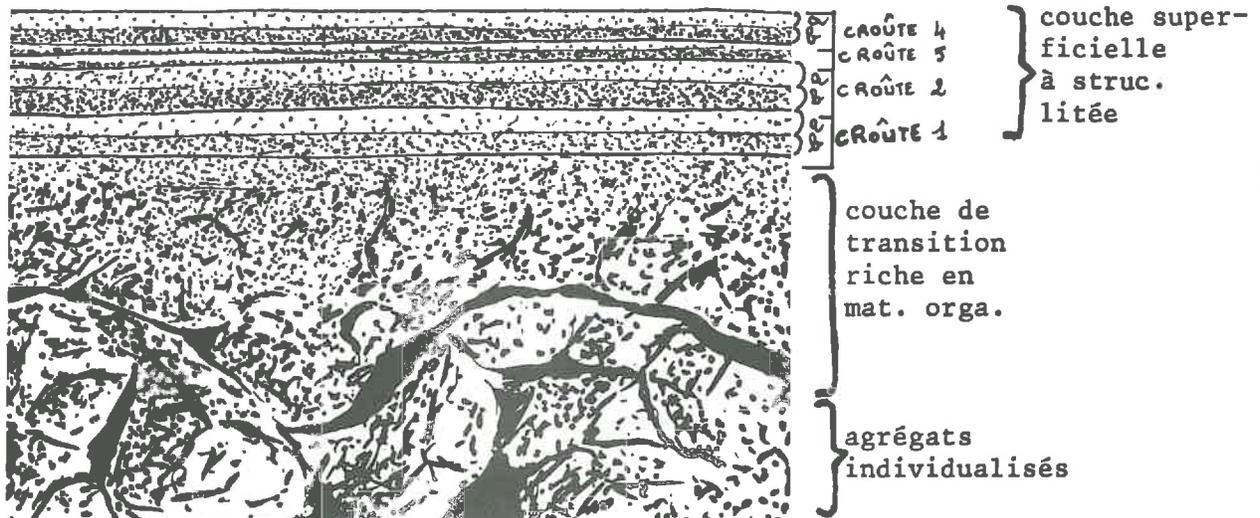


Fig. 33 - Représentation schématique.

Composition des couches : a) limon  
b) limon fin et colloïdes

DISCUSSION GENERALE

=====

ET CONCLUSION

=====

DISCUSSION GENERALE

=====

ET CONCLUSION

=====

La stabilité structurale des sols limoneux de la Bretagne Orientale est bonne, voire très bonne, dans les sols enrichis en matière organique par plusieurs années d'exploitation de prairie, et non dégradés. Mais les terres labourées ou piétinées atteignent des niveaux de stabilité médiocres.

Elle n'apparaît pas dépendre de la composition granulométrique. Parmi les facteurs qui l'induisent, le principal est la teneur du sol en matières organiques. Lorsque cette teneur est peu élevée, le niveau de floculation des colloïdes montre toute son importance, et par conséquent le niveau de saturation du complexe, la nature des ions absorbés et le degré d'aération du sol s'avèrent nécessaires pour maintenir la stabilité de la structure à un bon niveau.

Les actions mécaniques des outils paraissent modifier à court terme la stabilité par leur intervention directe sur la structure. Parmi les rapports complexes entre les plantes et le sol il existe en fonction de leur physiologie des influences sur les caractères de la structure, et tout particulièrement la stabilité. Mais elles sont minimes et l'importance de leur action dépend de la durée de leur végétation.

Il s'ensuit que la stabilité d'une parcelle résulte du mode d'exploitation dont elle a été l'objet depuis longtemps. C'est de lui en effet que dépendent le niveau organique du sol, sa réaction et sa richesse en cations, son aération.

Contraint à tirer parti au mieux des terres qu'il

exploite, l'agriculteur dispose de divers moyens pour prévenir les accidents culturaux et maîtriser la structure de son sol.

La fragilité de la stabilité des sols de la Bretagne Orientale oblige à éviter que les facteurs de la dégradation de la structure ne s'exercent : tassement, hydromorphie, battance.

L'amélioration de la stabilité peut être faite assez facilement dans cette région, jusqu'à atteindre le niveau de celui d'une bonne terre.

- L'augmentation du taux de matière organique est lent, mais efficace, soit par enfouissement de fumier, de pailles et de déchets végétaux, soit par l'installation et le maintien de prairies temporaires pendant une durée suffisante pour que l'amélioration puisse se manifester.

- Les modifications ioniques du sol par apport d'engrais ou d'amendements interviennent notamment sur l'état des colloïdes minéraux et par conséquent sur la stabilité structurale dans la mesure où le sol est peu pourvu en colloïdes organiques.

- L'assainissement apporte une amélioration des propriétés colloïdales. De plus, en facilitant les conditions de travail du sol, il permet l'installation de cultures améliorantes intensives.

- Le travail du sol a des effets opposés. On comprend l'importance du choix des machines, de la façon de les utiliser et de l'état du sol au moment du travail, l'humidité en particulier. En augmentant le foisonnement, il diminue les risques d'hydromorphie.

- Le choix de la rotation doit assurer au sol la protection de la stabilité. Il intervient surtout par l'importance des restitutions organiques et par son incidence sur l'évolution de l'humidité du sol.

Les sols limoneux de la Bretagne Orientale sont caractérisés par leur fragilité. Tirer parti de leurs potentialités agricoles nécessite la maîtrise des problèmes de physique du sol. Ils exigent beaucoup de précautions et de minutie au moment du travail, et un choix judicieux des méthodes culturales qui tiennent compte des conséquences bénéfiques sur la stabilité structurale.

Moyennant quoi leurs multiples qualités agronomiques permettent d'obtenir des rendements à la mesure des efforts fournis.

BIBLIOGRAPHIE  
=====

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

=====

- ANNE (P.) -1945- Sur le dosage rapide du carbone organique des sols. Ann. Agron., 1945, 2, 161-172.
- BAVER (L.D.) - 1948- Soil physics, John Wiley & Sons, New-York, 1 vol..
- BLANCHET (R.), MAERTENS (C.), MARTY (J.R.), GELFI (N.) -1966- Influence des constituants minéraux de quelques types de sols sur leurs propriétés physiques et leurs possibilités culturales. Bull. A.F.E.S., 1966, 257-261.
- BOEKEL (P.) -1958 - The amelioration of the structure of clay soils by liming. Proc. Int. Symp. Soil Structure, Gand, 1958, 28-31.
- 1966 a - Meer aandacht voor de structuur van de grond. Handbode, 20, 37, 978 et suiv..
- 1966 b - De structuur van klei- en zavel gronden in verband met de kalktoestand. Handbode, 20, 38, 1001 et suiv..
- BONNEAU (M.) -1961- Evaluation au laboratoire de la capacité au champ en fonction de la texture. Bull. A.F.E.S., numéro spécial, 16-26.
- BUI HUU TRI -1968- Dynamique de la granulation du sol sous prairie. Ann. Agron., 16, 4, 415-439.
- DE BOODT (M.) -1964- Introduction à la physique du sol. Dactyl.
- BRUNTON (G.) -1955- Vapour pressure glycolation of oriented clay minerals. Amer. Min., 40, 124-126.
- BRYSSINE (G.) -1958- Etude de la structure du sol. Proc. Int. Symp. Soil Structure, Gand, 1958.
- 1958 b - Apprétiation de la structure du sol en place. Proc. Int. Soil Structure, Gand, 1958.

- BURGEVIN (H.), HENIN (S.) -1939- Dix années d'expérience sur l'action des engrais sur la composition et les propriétés d'un sol de limon. Ann. Agron., 1939, nov.-déc..
- CAILLERE (S.), HENIN (S.) -1963- Minéralogie des argiles. Masson et Cie, Paris 1963, 1 vol., 356 pages.
- CAVAZZA (L.), LINSALATA (D.), D'ONCHIA (G.), BARRACCHIA (C.) -1968- L'influence de la rotation, de la fumure et de l'enfouissement des pailles sur la structure du sol. C. R. IX<sup>e</sup> Congrès int. Science du Sol, Adelaïde, Australie, t.III, 367-376.
- CHARLES (G.) -1968- Le pH du sol, et les bases d'utilisation des amendements calciques. Bull. Techn. Inf., 231, 553-558.
- CHAZAL (P.) -1966- Exemple d'assainissement dans les Dombes par modelage du sol. Bull. Techn. Inf., 206, 141- 143.
- COLCOMBET (G.) -1969- Labour et non-labour. Agriculture, 318
- COMBEAU (A.), QUANTIN (P.), VERDIER (J.) -1963- Observations sur les variations dans le temps de la stabilité structurale des sols en région tropicale. Cahiers de Pédologie O.R.S.T.O.M., 3.
- DABIN (B.) -1964- Analyse physique et fertilité dans les sols des régions humides de Côte d'Ivoire. Cahiers de Pédologie O.R.S.T.O.M., II, 1, 33-38.
- DEMOLON (A.) -1960- Dynamique du sol. Dunod, Paris 1960, 1 vol., 520 pages.
- DUCHAUFOR (P.) -1965- Précis de Pédologie. Masson et Cie, Paris 1965, 1 vol., 482 pages.
- ELLISON (W.D.) -1954- Mechanics of Water erosion. C. R. V<sup>e</sup> Congrès int. Science du Sol, Léopoldville, p 380.
- FEODOROFF (A.) -1960- Evaluation de la stabilité structurale d'un sol (indice S). Nouvelles normes d'emploi pour l'appareil à tamiser. Ann. Agron., 11, 651-659.
- 1961 a - Capacité de rétention pour l'eau et structure du sol. C.R. Acad. Sciences, t.252, 591-593.
- 1961 b - Influence des propriétés structurales sur la pénétration de l'eau dans un sol sec. C. R. Acad. Agric., 164-168.
- GAUCHER (G.) -1968- Le sol. Dunod, Paris 1968, 1 vol., 578 pages.

- GRAS (R.) -1962- Quelques observations sur les relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance du Pêcher dans la vallée du Rhône, entre Vienne et Valence. Ann. Agron., 13, 2, 141-174.
- HENIN (S.), BANCAL (A.), GLAISSE (G.), RIQUIER (J.) -1945- Méthode simple pour la détermination de l'humidité du sol. C. R. Acad. Agric., 412-413.
- HENIN (S.), TURC (L.) -1949- Nouvelles observations sur la variation saisonnière de la stabilité structurale des sols. C. R. Acad. Agric., 35.
- HENIN (S.), MONNIER (G.), HUTTER (W.) -1963- Etude sur la mise en valeur des marais de l'Ouest. S.A.R.V., étude N°7, 30 pages.
- HENIN (S.), GRAS (R.), MONNIER (G.) -1969- Le profil cultural. Masson et Cie, Paris 1969, 1 vol., 332 pages.
- HUTTER (W.) -1966- Action de la compression sur la structure d'un sol. Ann. Agron., 17, 1, 37-52.
- JACQUARD (P.), CROISIER (I.), MONNIER (G.) -1969- Etude des effets des cultures fourragères sur les cultures arables. I- Effets résiduels de la luzerne sur le blé et le maïs. Ann. Agron., 20, 4, 371-433.
- 1970- II- Effets résiduels de différents précédents sur des séquences de cultures arables. Ann. Agron., 21, 1, 5-56.
- KATCHINSKY (N.A.) -1964- Das Wesen der Strukturbildung in Böden. C.R. VIII<sup>e</sup> Congrès Int. Science du Sol, Bucarest, t.II, I, 22.
- KHEYRABI (D.), MONNIER (G.) -1968- Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur leur stabilité structurale. Ann. Agron., 19, 2, 129-152.
- DE LEENHEER (L.) -1964- Preservation of soil structure on mechanised farms in Belgium. C. R. VIII<sup>e</sup> Congrès Int. Science du Sol, Bucarest, t.II, I + VI, 14.
- MALTERRE (H.), ALABERT (M.) -1963- Pratique de l'interprétation de l'analyse physique des sols. Bull. A.F.E.S., revr. 1963, 73-82.
- MARTIN (G.) -1963- Dégradation de la structure des sols sous culture mécanisée dans la vallée du Niari. Cahier de Pédologie O.R.S.T.O.M., 1963, 2.

- MERIAUX (S.) -1958- Stabilité structurale et composition des sols. C. R. Acad. Agric., 1958, 799-803.
- 1961- Action du chaulage sur les composantes de la structure et sur l'état de saturation du sol. C. R. Acad. Agric., 1961, 322-324.
- MONNIER (G.) -1957- Influence des prairies temporaires sur la structure d'un sol de limon. C. R. Acad. Agric., 1957, 227-230.
- 1958- Influence du mode d'exploitation des prairies sur la profondeur de leur enracinement. Incidences sur l'amélioration de la structure et de la stabilité structurale. C. R. Acad. Agric., 1958, 388-392.
- 1965- Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Doct. Ing. Paris, et Ann. Agron., 1965, 16, 4 et 5.
- MONNIER (G.), KONAN (L.) -1968- Influences des conditions de séchage des terres sur leur stabilité structurale. Ann. Agron., 19, 5, 541-551.
- MOREL (R.), MASSON (P.) -1958- Etude de la structure du champ d'expériences de la station agronomique de Grignon. C. R. Acad. Agric., 1958, 406-410.
- QUANTIN (P.) -1965- Effets de la culture sur les sols en République Centrafricaine. Les sols en République Centrafricaine, O. R.S.T.O.M., 1965.
- RECAMIER (A.) -1969- Le labour est-il en voie de disparition ? Agriculture, 324, 243-245.
- RICHARDS (L.A.), FIREMAN (M.) -1943- Pressure plate apparatus for measuring moisture sorption and transmission by soils. Soil Sc., 56, 395-404.
- RICHARDS (L.A.) -1947- Pressure membrane apparatus, construction and use. Agr. Engng., 28, 451-454 et 460.
- ROBINSON (G.W.) -1922- A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. Journal of Agric. Sc., XII, 306-321.
- SEBILLOTTE (M.) -1968- Stabilité structurale et bilan hydrique du sol. Influence du climat et de la culture. Ann. Agron., 19, 4, 403-414.
- VEIHMEYER (F.J.), HENDRICKSON (A.H.) -1931- The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Sc., 32, 181-194.

-1949- Methods of measuring  
field capacity and permanent wilting percen-  
tage of soils. Soil Sc., 68, 75-95.

Statistiques de base de l'agriculture de  
Bretagne. Service régional de statistiques  
de Bretagne. Période 1963-1968.



ANNEXES  
=====

## ANNEXES

=====

Les annexes regroupent les principaux résultats des tests, mesures et analyses.

La désignation des échantillons est établie comme suit:

-la première lettre indique la station;  
-la deuxième lettre, hormis les stations C et L, symbolise le mois de prélèvement selon la dénomination suivante:

A	juin 1968	L	mai 1969
B	juillet	M	juin
C	août	N	juillet
D	septembre	O	août
E	octobre	P	septembre
F	novembre	Q	octobre
G	décembre	R	novembre
H	janvier 1969	S	décembre
I	février	T	janvier 1970
J	mars	U	février
K	avril	V	mars

- le ou les chiffres correspondent au profil ou à l'horizon.

S T A T I O N    A

SOUS-STATION Ad

Echant.	Origine	Profondeur	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>c</sub> %	log 10 S	log 10 K	pF 2,5	pF 4,2	pH eau
A J1	prairie permanente	0-10 cm	46,1	20,7	19,4	1,30	1,12	24,1	7,9	5,2
A J2		10-25 cm	46,1	21,3	21,4	1,38	1,11	23,7	8,6	5,3
A J3		inf. 25 cm	50,2	28,2	29,9	1,44	1,07	24,1	9,1	5,1
A J4	prairie temporaire	0-20 cm	30,0	23,4	16,7	1,34	1,13	23,8	7,8	5,4
A J5		25-35 cm	44,4	20,0	21,8	1,43	1,08	22,5	7,5	4,8
A S1	labour	0-22 cm	44,9	21,2	18,7	1,23	1,31			
A U10	labour lent lab. rapide	0-22 cm	29,1	14,3	16,3	1,20	1,18			
A U11		id.		24,2	13,2	13,6	1,27	1,00		

SOUS-STATION Af

A J6	labour	0-22 cm	29,6	12,4	13,7	1,11	1,34	22,0	5,4	5,4
A J7		inf. 22 cm	30,9	6,3	16,4	1,16	1,38	21,0	4,7	5,6
A J8	prairie temporaire	0-20 cm	29,2	26,7	13,3	0,99	1,58	21,2	5,7	5,0
A J9		inf. 20 cm	13,9	5,1	7,7	1,58	1,33	22,8	5,1	4,4

S T A T I O N B

Echant. :	Culture	Traitement	AG <sub>10</sub> %	AG <sub>10</sub> %	AG <sub>10</sub> %	log 10 S	log 10 K
B G2	ray-grass -trèfle 2ans	engrais II	43,2	12,0	18,8	1,05	1,48
B G6		engrais I	38,4	11,8	17,0	1,11	1,39
B G7		témoin	32,2	9,0	14,4	1,23	1,41
B G8	maïs grain	témoin	33,2	10,0	13,0	1,30	1,43
B G10		engrais II	33,0	10,0	14,6	1,19	1,49
B G14		engrais I	29,6	7,8	11,8	1,24	1,48
B G15	maïs fourrage	engrais I	30,4	10,6	8,6	1,36	1,46
B G23	blé 1	engrais I	31,4	11,2	13,4	1,39	1,48
B G24		témoin	36,2	12,6	14,4	1,09	1,38
B G26		engrais II	29,4	7,8	12,8	1,40	1,42
B G31	betterave	engrais I	26,2	7,0	9,4	1,40	1,45
B G39	blé 2	engrais I	33,2	9,2	13,6	1,31	1,41
B G40		témoin	32,8	11,6	13,6	1,28	1,24
B G42		engrais II	33,8	10,6	15,8	1,11	1,36
B G43	orge	engrais II	44,0	14,0	16,6	1,02	1,43
B G47		engrais I	38,4	12,8	13,6	1,09	1,37
B G48		témoin	35,2	10,6	19,4	1,09	1,35

S T A T I O N C

Echant.	Origine	Profondeur	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>0</sub> %	Ag <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	HO %
C T11	} témoin prairie naturelle	0-15 cm	63,6	60,3	51,4	0,15	1,77	6,0
C T12		15-30 cm	29,0	23,8	29,2	0,92	1,38	4,4
C T13		30-40 cm	12,4	1,4	1,2	1,82	1,10	2,8
C A11	} dérayure	0-12 cm	45,4	36,2	13,9	0,85	1,73	4,7
C A12		12-20 cm	23,7	8,6	18,3	0,84	1,29	4,1
C A21	} interm.	0-22 cm	39,3	25,8	22,4	0,70	1,13	4,9
C A22		22-40 cm	14,0	2,6	4,4	1,67	0,96	2,8
C A31	} sommet	0-20cm	23,8	17,8	13,7	1,19	1,30	4,7
C A32		20-45 cm	13,5	2,4	3,9	1,96	1,21	4,8
C A33		inf.45 cm	10,5	1,9	2,6	1,88	1,40	2,9
C B11	} dérayure	0-12 cm	24,7	7,8	7,4	1,32	1,47	4,2
C B12		12-20 cm	30,7	22,4	20,7	1,13	1,40	5,1
C B13		inf.20 cm	20,7	1,2	2,1	1,63	1,16	3,2
C B21	} interm.	0-15 cm	22,9	19,6	35,2	0,91	1,25	5,2
C B22		15-30 cm	31,2	13,3	17,9	0,70	2,03	4,6
C B23		inf.30 cm	6,3	2,9	13,8	1,71	0,97	2,8
C B31	} sommet	0-15 cm	25,8	26,6	19,7	1,08	1,14	5,2
C B32		15-30 cm	23,8	13,8	25,2	0,91	1,22	4,7
C C11	} dérayure	0-10 cm	16,4	4,9	7,5	1,75	1,11	3,4
C C12		10-18 cm	14,5	8,3	7,7	1,64	0,96	4,3
C C21	} sommet	0-15 cm	20,1	11,5	9,5	1,35	1,21	4,1
C C22		15-35 cm	22,2	11,5	12,4	1,24	1,28	5,0

C A: planche N°1  
 C B: planche N°2  
 C C: planche N°3

prairie temporaire

S T A T I O N E

Echant.	Fertil.	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	pH eau
E1	4 1 0	37,4	27,4	28,0	1,27	1,47	5,35
E2	3 1 1	38,2	23,6	26,2	1,23	1,50	5,80
E3	2 2 1	41,6	25,6	25,4	1,23	1,29	5,85
E4	4 2 3	42,4	24,0	26,8	1,22	1,36	5,55
E5	1 1 3	44,6	21,4	26,0	1,15	1,79	5,70
E6	3 2 2	40,0	26,6	23,4	1,21	1,49	5,65
E7	2 1 2	40,0	27,6	28,4	1,09	1,65	5,70
E8	3 1 3	45,0	25,4	27,0	1,12	1,55	5,70
E9	4 1 2	40,0	24,2	25,2	1,20	1,44	5,35
E10	3 2 0	41,6	24,2	26,8	1,17	1,68	5,55
E11	2 2 3	46,2	26,4	28,4	1,05	1,48	5,75
E12	1 2 0	43,4	24,4	26,8	1,16	1,61	5,40
E13	2 1 0	45,2	23,6	26,6	1,04	1,79	5,80
E14	4 2 1	38,2	24,0	23,6	1,43	1,31	5,40
E15	1 1 1	39,4	21,6	25,4	1,22	1,54	5,90
E16	1 2 2	48,2	25,6	27,8	1,07	1,64	5,70
E17	1 2 1	48,0	27,4	29,8	1,02	1,60	5,80
E18	4 1 1	48,8	30,0	29,8	1,05	1,55	5,60
E19	4 2 2	47,8	29,6	29,6	1,26	1,11	5,65
E20	4 1 3	48,6	30,2	31,4	1,22	1,33	5,50
E21	2 1 3	50,6	31,2	32,2	1,00	1,61	5,40
E22	2 2 0	45,8	27,6	28,8	1,16	1,63	5,50
E23	1 2 3	49,6	30,0	32,8	1,17	1,40	5,60
E24	3 2 1	49,8	31,6	30,0	1,09	1,54	5,60
E25	2 1 1	46,6	27,6	30,0	1,10	1,64	5,65
E26	2 2 2	45,0	25,6	28,8	1,20	1,50	5,65
E27	3 1 2	41,2	28,2	28,0	1,23	1,32	5,35
E28	1 1 0	47,0	29,6	29,2	1,10	1,30	5,80
E29	4 2 0	40,4	25,2	26,6	0,97	1,40	5,55
E30	3 2 3	42,4	26,0	26,8	1,12	1,60	5,70
E31	1 1 2	38,4	24,6	26,0	1,22	1,37	5,55
E32	3 1 0	44,8	27,8	27,6	1,09	1,52	5,45

4 2 1 : Azote, dose 4; P2 O5, dose 2; K2 O, dose 1.

S T A T I O N E

Echant.	Origine	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
E E19	28 oct. 68	48,2	26,9	29,8	1,33	1,11
E G19	11 déc. 68	41,5	28,4	28,9	1,39	1,15
E H19	27 jan. 69	43,5	27,9	27,8	1,31	1,14
E I19	27 fév. 69	43,8	27,2	27,4	1,45	0,98
E J19	2 avr. 69	46,1	29,3	28,7	1,29	1,18
E K19	18 avr. 69	46,8	29,1	27,6	1,25	1,32
E L19	mai 69	52,1	29,4	31,0	1,16	1,32
E M19	14 oct. 69	50,5	32,4	33,0	1,18	1,37
E R19	12 nov. 69	46,6	32,0	31,3	1,36	1,29
E S19	7déc. 69	44,5	30,2	32,2	1,30	1,30
E E28a	0-15 cm	47,0	29,6	29,2	1,10	-
E E28b	15-28 cm	44,8	31,0	32,4	1,39	-
E E28c	inf. 28 cm	36,6	24,4	25,2	1,59	-

E E: betteraves  
 E G - E L: blé d'hiver  
 E Q - E S: terre nue

S T A T I O N F

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
F G2	59,6	50,4	49,2	0,43	1,69
F H2	54,8	42,9	42,9	0,60	1,59
F I2	52,5	46,3	44,4	0,53	1,76
F J2	58,9	49,4	46,0	0,47	1,81
F K2	51,2	40,8	37,4	0,78	1,14
F L2	54,3	43,3	40,6	0,59	1,66
F Q2	-	-	-	-	1,73
F R2	-	-	-	-	1,00
F S2	-	-	-	-	1,76

F 2 : 0-20 cm

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
F G3	53,8	43,8	45,0	0,74	1,85
F H3	49,8	38,8	43,0	0,69	1,72
F I3	54,8	41,4	42,8	0,67	1,74
F J3	50,0	41,2	43,2	0,68	1,76
F K3	53,6	41,2	43,0	0,68	1,46
F L3	50,2	40,4	42,4	0,70	1,46
F Q3	47,4	43,4	44,2	0,65	1,61
F R3	54,0	48,0	44,8	0,52	1,78
F S3	55,2	44,2	45,2	0,59	1,67

F 3 : inf. 20 cm

S T A T I O N G

Echant.	Culture	Précédent	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
G R1	blé-orge	RG it.	27,0	12,2	13,8	1,30	1,33
G R2	blé	orge-avoine	25,0	11,4	16,6	1,02	1,64
G R3	p.de t.	orge-avoine	19,6	10,6	10,0	1,24	1,45
G R4	betterave	orge-avoine	20,2	10,2	11,2	1,13	1,59
G R5	blé-orge	colza désrob.	20,4	8,4	7,8	1,39	1,27

S T A T I O N H

Echant.	Traitement	Profondeur	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	MO %
H G1	lab. chim. rotavator desherbant	0-5 cm	56,5	60,5	49,0	0,48	1,96	5,5
H G2		5-25 cm	63,0	54,0	49,0	0,68	1,72	3,6
H G3		inf. 25cm	53,6	31,1	40,1	1,02	1,39	2,2
H G4	lab. chim.	0-5 cm	65,7	67,0	59,8	0,40	2,00	5,4
H G5		5-23 cm	58,1	59,2	42,8	0,75	1,47	3,9
H G8	labour	0-22 cm	62,9	40,3	38,6	0,89	1,45	3,3
H S2	cf. H G2	5-25 cm	57,6	36,0	34,2	0,98	1,51	-
H S5	labour+maïs	5-23 cm	55,4	35,2	35,4	1,00	1,54	-
H S8	cf. H G8	0-22 cm	56,6	35,0	29,4	1,03	1,49	-

S T A T I O N I

Echant.	Origine	Profondeur	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	MO %
I J1	couche labourée semelle	0-20 cm	25,3	7,7	12,3	1,09	1,20	3,3
I J2		20-24 cm	25,0	8,0	15,9	1,08	1,34	3,1

S T A T I O N J

Echant.	Origine	Profondeur	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>p</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	MO %
J N1	} parcelle haute	0-25 cm	50,6	30,7	35,5	0,24	1,30	2,7
J N2		inf. 25 cm	29,0	9,5	17,4	1,32	1,25	1,4
J N3	parc. basse	0-20 cm	41,0	50,4	42,1	0,51	1,56	2,8

S T A T I O N M

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>p</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	LOG 10 K	pF	pF	MO %	pH eau
H3	18,6	10,8	11,5	0,96	1,46	20,3	6,9	2,1	8,3

S T A T I O N O

Echant.	Culture	Profondeur	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>p</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	MO %	pH eau
O Q21	} ray-grass	0-20 cm	28,0	14,2	15,0	1,03	1,30	1,8	7,3
O Q22		inf. 20 cm	16,2	5,0	10,0	1,53	1,26	0,9	7,7
O Q31	} blé	0-25 cm	22,6	16,8	13,6	1,07	1,60	2,5	6,9
O Q32		inf. 25 cm	23,4	12,8	12,2	1,16	1,45	1,7	7,4
O Q61	} maïs	0-22 cm	23,2	12,0	9,2	1,30	1,54	2,1	5,9
O Q62		0-22 cm	24,2	16,6	15,4	1,12	1,47	2,4	6,5
O Q63		inf. 22 cm	19,0	4,0	7,4	1,67	1,38	0,9	6,7

S T A T I O N L

Echant.	Origine	Profondeur	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>c</sub> %	log 10 S	log 10 K	MO %
L T1	témoïn	0-20 cm	52,7	54,0	44,8	0,11	1,91	5,5
L A11	dérayure	0-20 cm	42,6	51,0	43,1	-	1,65	4,1
L A12		20-30 cm	41,2	19,4	19,2	1,36	0,86	1,3
L A21	interm.	0-30 cm	69,8	66,6	46,2	0,46	2,16	5,4
L A31	sommet	0-20 cm	61,8	63,3	36,2	0,29	1,96	5,0
L A32		20-40 cm	42,8	51,0	31,6	0,83	1,70	4,8
L B11	dérayure	0-20 cm	40,2	20,9	19,0	0,66	1,53	3,5
L B12		inf. 20 cm	20,7	6,7	13,0	1,49	0,99	0,5
L B31	sommet	0-15 cm	60,8	38,9	32,4	0,65	2,12	4,1
L B32		15-35 cm	58,2	56,3	49,0	0,60	2,19	3,8
L B33		inf. 35 cm	32,3	5,0	9,6	1,66	1,24	0,8
L C11	dérayure	0-20 cm	45,8	12,4	10,2	1,24	1,71	1,7
L C12		20-40 cm	24,2	5,7	6,9	1,62	1,29	1,1
L C13		inf. 40 cm	20,1	4,6	5,9	1,72	1,04	0,7
L C21	interm.	0-15 cm	28,2	11,4	22,1	1,05	1,82	4,1
L C22		15-30 cm	27,9	8,8	13,0	1,34	1,14	3,0
L C23		30-40 cm	15,1	6,1	7,7	2,13	1,10	2,8
L C31	sommet	0-20 cm	28,7	9,0	10,6	1,31	1,56	4,1
L C32		20-40 cm	22,5	8,3	12,8	1,33	1,59	4,1
L C33		40-55 cm	21,1	5,8	8,5	1,52	1,43	3,3

L A: planche N°1  
L B: planche N°2  
L C: planche N°3

prairie temporaire

S T A T I O N Q

Echant.	Culture	Traitement	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>c</sub> %	log 10 S	log 10 K	pH eau
Q F1	ray-grass -trèfle No2	témoin	58,5	69,1	58,3	0,39	1,73	5,5
Q F4		N P K	58,8	68,1	55,8	0,36	1,97	5,5
Q F5		N P K + N	57,6	70,8	53,8	0,54	1,56	5,3
Q F9	p.de t.	N P K	48,5	61,4	49,7	0,51	1,59	4,7
Q F10		N P K + N	52,9	56,3	45,0	0,59	1,67	5,0
Q F13		témoin	52,3	57,0	41,7	0,54	1,65	5,1
Q F15	blé	N P K + N	54,7	61,0	48,1	0,55	1,68	5,4
Q F18		témoin	56,6	63,0	48,4	0,51	1,89	5,2
Q F21		N P K	57,5	63,5	47,6	0,49	1,97	5,6
Q F23	orge	témoin	56,6	63,9	48,4	0,52	1,91	5,4
Q F26		N P K	54,8	60,4	47,3	0,53	1,89	5,1
Q F27		N P K + N	54,2	58,3	42,3	0,54	1,81	-
Q F31	ray-grass -trèfle No1	N P K	54,1	60,7	52,5	0,51	1,77	-
Q F32		N P K + N	56,3	68,0	51,3	0,38	2,05	-
Q F35		témoin	59,0	62,1	51,3	0,52	1,86	-
Q F36	orge	N P K	57,5	61,7	49,2	0,48	1,82	-
Q F37		N P K + N	55,8	61,8	49,2	0,47	1,95	-
Q F40		témoin	59,4	66,0	53,8	0,42	1,90	-

S T A T I O N R

SOUS-STATION Rh

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
R G1	53,3	43,9	47,7	0,43	1,81
R H1	49,0	44,3	41,8	0,44	1,83
R I1	23,6	7,9	8,5	1,27	1,54
R J1	49,3	44,9	43,9	0,44	2,02
R K1	50,5	45,3	49,2	0,42	1,84
R L1	51,6	53,2	51,2	0,26	2,17
R Q1	51,3	50,4	48,6	0,30	1,89
R R1	52,0	45,4	48,2	0,60	2,02
R S1	52,0	46,2	45,2	0,53	1,88

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
R G2	41,7	22,5	34,5	0,77	1,61
R E2	39,0	28,3	37,9	0,75	1,72
R I2	39,7	30,3	30,1	0,78	1,47
R J2	38,1	25,4	33,0	0,80	1,76
R K2	48,2	39,0	41,4	0,54	1,85
R L2	49,2	36,9	38,8	0,60	1,85
R Q2	-	-	-	-	-
R R2	40,8	23,4	30,8	0,81	1,77
R S2	44,4	38,2	42,8	0,63	1,98

SOUS-STATION Rb

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
R G3	51,6	50,4	45,0	0,48	1,89
R H3	52,8	50,4	48,4	0,44	2,01
R J3	55,8	37,8	45,2	0,66	1,61
R K3	58,8	59,8	54,8	0,27	2,20
R L3	45,0	39,8	40,0	0,67	1,60
R R3	54,2	62,2	53,6	0,38	2,00
R S3	56,2	45,8	44,8	0,47	2,06

Echant.	AG <sub>a</sub> %	AG <sub>b</sub> %	AG <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K
R G4	36,4	19,6	22,2	1,36	1,14
R H4	44,0	34,0	36,2	0,86	1,42
R J4	48,4	27,2	34,4	0,91	1,41
R K4	56,6	46,6	47,0	0,60	1,65
R L4	43,6	28,6	34,0	0,84	1,40
R R4	54,8	46,4	48,2	0,58	1,85
-	-	-	-	-	-

Sous-station Rh: R 1 : 0-15 cm  
R 2 : 15-25 cm

Sous-station Rb: R 3 : 0-15 cm  
R 4 : 15-25 cm

S T A T I O N T

Echant.	Parcelle	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>c</sub> %	log 10 S	log 10 K	PF 2,5	pF 4,2	MO %
T S1	haut irrig.	18,6	15,2	14,1	1,71	1,07	21,7	5,5	2,3
T S2	mil. irrig.	25,2	14,4	16,6	1,43	1,22	22,5	6,1	2,5
T S3	bas irrig.	38,1	21,7	22,8	1,50	1,38	24,4	7,2	2,7
T S4	haut témoin	22,4	15,2	16,0	1,67	1,21	20,2	6,3	2,3
T S5	mil. témoin	34,9	17,5	15,2	1,28	1,34	21,1	6,3	2,5

S T A T I O N V

Echant.	Traitement	Ag <sub>a</sub> %	Ag <sub>b</sub> %	Ag <sub>e</sub> %	log 10 S	log 10 K	pH eau
V J1	P K	32,1	29,3	29,1	0,67	1,67	5,1
V J2	témoïn	37,6	36,0	33,7	0,49	1,80	4,8
V J3	N P K	34,4	32,8	29,6	0,60	1,56	4,9
V J4	P K M1	30,5	27,8	24,9	0,25	1,52	6,7
V J5	N P K M2	36,2	35,2	36,1	0,54	1,82	7,0
V J6	T M1	42,0	37,4	38,6	0,41	1,72	6,6
V J7	N P K M1	30,2	23,4	24,6	0,63	1,60	6,5
V J8	T M2	35,9	32,3	32,1	0,50	1,66	6,7
V J9	P K M2	43,9	37,6	40,4	0,44	1,37	6,8
V J10	N P K M1					1,86	6,5
V J11	T M1					1,79	5,9
V J12	N P K M2					1,70	7,4
V J13	T M2					1,66	6,7
V J14	témoïn					1,62	5,0
V J15	P K M2					1,85	6,0
V J16	P K					1,71	4,8
V J17	N P K					1,67	4,7
V J18	P K M1					1,64	6,4
V J19	P K M1					1,61	5,6
V J20	T M2					1,61	6,3
V J21	N P K M2					1,70	5,6
V J22	P K M2					1,53	6,0
V J23	N P K					1,56	4,8
V J24	témoïn					1,52	5,1
V J25	N P K M1					1,56	5,5
V J26	P K					1,47	5,0
V J27	T M1					1,67	5,5

V U :

V U :

Le Président de la Thèse

Le Directeur de Thèse

VU ET APPROUVE

RENNES, le

Le Président du Conseil Transitoire  
de Gestion,

D. PELTIER.