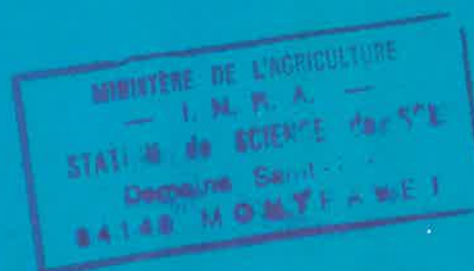


CENTRE TECHNIQUE DU GENIE RURAL
DES EAUX ET FORETS
BORDEAUX

ECOLE SUPERIEURE D'INGENIEURS
ET TECHNICIENS POUR L'AGRICULTURE
LE VAUDREUIL

EFFET DE L'IMPACT DES FORTES PLUVIOMETRIES
DUES A CERTAINES MACHINES D'ARROSAGE SUR
LES SOLS A STRUCTURE FRAGILE



*Mémoire présenté par Hervé MONTIGNY
en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur de l'E.S.I.T.P.A.*

TH-
G040a

- JUIN 1977 -

~~BA4~~
GD 100

ETUDE : Effet de l'impact des fortes pluviométries
dues à certaines machines d'arrosage sur
les sols à structure fragile.

Cette étude a été réalisée au C.T.G.R.E.F. de BORDEAUX.

Je tiens à remercier sincèrement les personnes qui par leurs conseils et leur aide ont facilité son élaboration :

- Mr FENOUILLET , Maire de la commune de MEILHAN SUR GARONNE.
- MM. BENTEGEAC, DELAGE, DUTHURON, LABEAU, LAGARDERE et LAVILLE exploitants agricoles qui ont accepté que l'étude se déroule sur leurs propriétés.
- Les stations de la science du sol de l' I.N.R.A. à MONFAVET et à BORDEAUX.
- Le C.T.G.R.E.F. Groupement d'AIX en PROVENCE.

Au sein du C.T.G.R.E.F. Groupement de BORDEAUX :

- Mr ROLLAND , I.C. G.R.E.F. , Chef de la Section Génie Rural
- Mr DUPRAT , I.C. Agronomie, mon patron de stage
- Mr CHOSSAT , Ingénieur Agronome
- Mr CAUPENNE , Ingénieur Informaticien
- Le Laboratoire de Mécanique des Sols
- Le Bureau de Dessin
- Melle LE RU, pour la dactylographie
- L'Atelier de Reproduction

*
*
*

RESUME

L'auteur s'est proposé d'étudier les effets de l'impact des fortes pluviométries dues aux machines d'arrosage sur des sols à structure fragile (limons de terrasse fluviatile).

Il décrit successivement le milieu sur lequel a porté son étude, les appareils d'arrosage utilisés et les moyens d'investigation.

Ensuite, le comportement de parcelles arrosées par canons, par sprinklers ou laissées en sec est étudié dans le temps pendant une campagne d'irrigation. Puis les différents systèmes sont comparés entre eux.

Dans tous les cas d'arrosage, des dégradations de la structure ont pu être mis en évidence. Cependant, contrairement à ce qui était attendu, il semble que ce soient les sprinklers qui aient provoqué le plus de dégâts. Ceci s'explique par le fait que des pluviométries excessives ont été appliquées au moyen de ce système.

En dehors des témoins secs, ce sont les parcelles qui ont été arrosées par des canons mobiles de petite taille qui ont été le moins affectées par la pluie appliquée.

Ayant rencontré des difficultés opératoires, l'auteur émet enfin quelques suggestions concernant certains aspects du protocole utilisé.

1 - ORIGINE ET BUT DE L'ETUDE

- 1.1. - Origine
- 1.2. - But

2 - ETUDE DU MILIEU

- 2.1. - Le milieu social
 - 2.1.1. - La commune de MEILHAN
 - 2.1.2. - Fiches de présentation des agriculteurs et des exploitations
 - 2.1.3. - Réactions des agriculteurs vis-à-vis de l'étude envisagée
- 2.2. - Présentation du département
 - 2.2.1. - Situation géographique
 - 2.2.2. - Géologie
 - 2.2.3. - Pédologie
 - 2.2.4. - Données climatiques
- 2.3. - Milieu physique de la commune de MEILHAN S/ GARONNE
 - 2.3.1. - Situation géographique
 - 2.3.2. - Géologie
 - 2.3.3. - Pédologie
 - 2.3.3.1. - Définition des boubènes
 - 2.3.3.2. - Les caractères texturaux dominants
 - 2.3.3.3. - Les caractères liants
 - 2.3.3.3.1. - Les colloïdes argileux
 - 2.3.3.3.2. - Les colloïdes organiques
 - 2.3.3.4. - Le comportement des boubènes
 - 2.3.3.4.1. - La structure
 - 2.3.3.4.2. - Le comportement hydrique
 - 2.3.3.4.3. - Le comportement mécanique
 - 2.3.3.5. - Conséquences agronomiques
 - 2.3.3.6. - Le travail des boubènes
 - 2.3.3.7. - Hypothèses émises sur l'origine des boubènes
 - 2.3.4. - Données climatiques

3 - LES APPAREILS D'ARROSAGE

- 3.1. - Description
- 3.2. - Vues des utilisateurs
 - 3.2.1. - Le Redoutable Ø 80
 - 3.2.2. - Canon automoteur tiré par le tuyau
 - 3.2.2.1. - Irrifrance Minienrouleur 63
 - 3.2.2.2. - Perrot Minimat 63
 - 3.2.3. - Ligne mobile avec 2 arroseurs

3.3. - Les arrosages

3.3.1. - Opinions des utilisateurs concernant la qualité de l'arrosage

4 - LES MOYENS D'ETUDES

4.1. - Description

4.1.1. - L'aspérimètre à aiguilles

4.1.2. - Observations d'emplacements

4.1.3. - Essai de détermination de la taille des gouttes

4.2. - Difficultés rencontrées

4.2.1. - L'aspérimètre à aiguilles

4.2.2. - Observation des emplacements

4.2.3. - Essai de détermination de la taille des gouttes

4.3. - Exploitation des données collectées

4.3.1. - L'aspérimètre à aiguilles

4.3.1.1. - Description du matériel utilisé

4.3.1.2. - Les quatre méthodes testées

4.3.1.3. - Critiques des méthodes

4.3.2. - Observations d'emplacements

4.3.3. - Essai de détermination de la taille des gouttes

4.3.4. - Perméabilité

4.3.5. - Densité apparente sur mottes et croûtes

4.3.6. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux (croûtes)

4.3.7. - Sonde Troxler

4.3.8. - Granulométrie

4.3.9. - Essais Proctor

4.3.10.- Limites d'Atterberg

4.3.11.- Capacité de rétention

4.3.12.- Stabilité structurale

4.3.13.- Bases échangeables

4.3.14.- Capacité d'échange

4.3.15.- Carbone organique - azote

4.4. - Description des parcelles

4.4.1. - Préparation du sol et antécédents cultureaux

4.4.2. - Les profils pédologiques

4.4.3. - Les analyses physiques

4.4.4. - Les analyses chimiques

5 - LES RESULTATS

5.1. - Parcelles arrosées par les canons automoteurs mobiles sans distinction

- 5.1.1. - Rappel des parcelles
- 5.1.2. - Les perméabilités
- 5.1.3. - Les densités
- 5.1.4. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux
- 5.1.5. - Essai de détermination de la taille des gouttes
- 5.1.6. - Comparaison des résultats d'essais sur banc du Rain Gun 105 C
avec la pluviométrie enregistrée sur parcelle
- 5.1.7. - Discussions des observations photographiques
- 5.1.8. - Les indices d'aspérimétrie

5.2. - Parcelles arrosées avec une ligne mobile

- 5.2.1. - Rappel des parcelles
- 5.2.2. - Les perméabilités
- 5.2.3. - Les densités
- 5.2.4. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux
- 5.2.5. - Essai de détermination de la taille des gouttes
- 5.2.6. - Comparaison des essai sur banc aux pluviométries sur parcelles
- 5.2.7. - Discussions des observations photographiques
- 5.2.8. - Les indices d'aspérimétrie

5.3. - Parcelles non arrosées

- 5.3.1. - Rappel des parcelles
- 5.3.2. - Les perméabilités
- 5.3.3. - Les densités
- 5.3.4. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux
- 5.3.5. - Sans objet
- 5.3.6. - Sans objet
- 5.3.7. - Discussions des observations photographiques
- 5.3.8. - Les indices d'aspérimétrie

6 - SYNTHESE DES RESULTATS

6.1. - Comparaison des résultats suivant le mode d'irrigation

- 6.1.1. - Comparaison des perméabilités
- 6.1.2. - Comparaison des densités
- 6.1.3. - Comparaison des observations d'emplacements
- 6.1.4. - Comparaison des indices d'aspérimétrie
- 6.1.5. - Comparaison des rendements

6.2. - Appréciation du risque de compactage et essai de conclusion

6.3. - Détermination des analyses significatives

7 - PROPOSITION D'UN PROTOCOLE POUR LES ETUDES ULTERIEURES

7.1. - Les différentes analyses et précautions à prendre

7.2. - Conclusion

- ooOoo -

1 - ORIGINE ET CONSISTANCE DE L'ETUDE

1.1. - Origine de l'étude

Les machines d'arrosage connaissent actuellement un essor important. Les plus utilisées sont des appareils mobiles tels que les arroseurs géants et surtout les canons automoteurs ou autotractés avec des enrouleurs ou dérouleurs de tuyaux. L'importante pluviométrie des canons et la grosse granulométrie des gouttes inquiètent les agriculteurs : ceux-ci n'oublient pas les concepts classiques d'irrigation qui limitent l'intensité pluviométrique à 5 mm/h et conseillent une pluie fine.

Rapidement cette inquiétude fut tempérée par l'avantage que présente au niveau des rendements l'utilisation intensive de ces machines. L'emploi de ces matériels à gros débit se faisant sur tous les terrains, très vite on s'inquiéta du sort des sols à structure fragile tels que les boubènes.

Sur l'initiative du C.T.G.R.E.F. de BORDEAUX, une étude portant sur l'impact des fortes pluviométries fut donc envisagée.

Un protocole a été défini lors de réunions groupant des agents du C.T.G.R.E.F. (de BORDEAUX et d'AIX EN PROVENCE) et des chercheurs de l'I.N.R.A. (de BORDEAUX et d'AVIGNON). Il a été décidé de limiter l'étude lors d'une première approche, au problème des sols de limon à topographie plane, étude qui porterait alors essentiellement sur les modifications structurales, et de réserver pour une autre phase les problèmes d'érosion sur des sols plus ou moins accidentés, ainsi que le comportement des sols fissurés.

Le choix du sol s'est porté sur des bouldiers de plateaux et c'est sur une suggestion de la Direction Départementale de l'Agriculture du Lot et Garonne que la commune de MEILHAN a été choisie. Sur cette commune existe en effet un syndicat d'irrigation qui s'est équipé d'une station de pompage et d'un réseau de bornes d'irrigation.

1.2. - Consistance de l'étude

La limitation de l'étude à l'observation de l'impact des fortes pluviométries sur terrain plat et limoneux a pour conséquence que seuls des phénomènes de battance, glaçage et compactage du sol ont été étudiés. Accessoirement les difficultés d'application du protocole proposé sont apparues, ce qui nous a conduit à préciser certains points de ce dernier en vue de son application aux phases ultérieures de l'étude globale, et ceci fera l'objet de conclusions à la fin de ce rapport.

2 - ETUDE DU MILIEU

2.1. - Le milieu social

2.1.1. - La commune de MEILHAN S/ GARONNE

Perchée sur une terrasse ancienne de la Garonne, la commune de MEILHAN domine le fleuve de 70 mètres.

L'ordre de grandeur le plus fréquent de la S.A.U. par exploitation est de 15 ha.

L'agriculture est basée sur le tabac et les tomates puis, en seconde position qui prend une certaine ampleur, sur le blé et le maïs.

La moyenne d'âge des agriculteurs est de 45 ans.

Le Syndicat d'irrigation cité en 1.1. a groupé depuis 1966 deux communes, puis s'est étendu à six au total.

L'agriculteur signe un contrat de cinq ans avec le Syndicat ; il souscrit un débit auquel correspond une redevance à laquelle s'ajoute une taxe au prorata des volumes d'eau réellement consommés.

Dans la commune de MEILHAN, 95 % des agriculteurs sont affiliés au Syndicat.

2.1.2. - Fiches de présentation des agriculteurs et des exploitations
(cf. annexe 1)

Remarque : Nous avons neuf parcelles numérotées de 1 à 10. La parcelle n° 5 n'a pas été conservée car l'agriculteur la négligeait. Néanmoins, les notations ont été gardées, des prélèvements ayant déjà été faits.

2.1.3. - Réactions des agriculteurs vis-à-vis de l'étude envisagée

L'étude s'est déroulée sur sept exploitations voisines, et cela afin de pouvoir observer sur des sols pratiquement identiques les répercussions de pluviométries provenant d'appareils différents. Les sept agriculteurs appartiennent à la classe de 30 à 40 ha de S.A.U., classe qui correspond à 10 % du nombre total des exploitations.

Deux parmi eux ont manifesté quelques réticences. Ils pensaient que le but poursuivi était seulement d'incriminer les gros canons.

Les autres étaient favorables à l'étude car ils étaient persuadés que l'on ne pourrait pas déterminer des répercussions fâcheuses dues au canon. Pour eux, il ne peut y avoir de problème si on connaît et utilise bien le matériel. De toutes façons, disent-ils, un compactage n'est pas grave car avec un bon travail du sol on le fait totalement disparaître.

2.2. - Le milieu physique

2.2.1. - Situation géographique

Le Lot et Garonne est un département d'étendue moyenne qui se trouve au coeur du Sud-Ouest. C'est une suite de régions naturelles dont le relief s'ordonne autour des plaines alluviales de la Garonne et du Lot entre lesquelles se trouve le pays de Serres.

On distingue :

- au Nord, des coteaux qui s'étagent de 150 à 250 m,
- au Nord-Est, le fumelois sidérolithique, zone la plus élevée du département (altitude 200 m),
- au Sud, le prolongement des collines sous-gersoises,
- à l'Ouest, l'extension du plateau Landais, séparé de la plaine alluviale par plusieurs terrasses,
- enfin à l'Est, une brève inclusion des Causses du Haut Quercy.

2.2.2. - Géologie

Les affleurements datent de trois ères géologiques : secondaire, tertiaire et quaternaire.

- Les terrains secondaires forment au Nord-Est un petit massif s'étendant de part et d'autre du Lot. Au Sud, le Causse du Quercy appartient au jurassique et au Nord, dans le Fumelois, le crétacé laisse apparaître des calcaires quartzeux. La pauvreté des terrains en fait une zone favorable au reboisement.

- Les terrains tertiaires

. L'éocène supérieur est représenté au Nord-Est dans la haute vallée du Dropt et jusque vers MONFLANQUIN

. L'oligocène est présent au Sud du Dropt avec un faciès molassique ou calcaire. Les molasses de l'Agenais forment la plus grande partie des coteaux situés au Nord du Lot

. Le miocène constitue le substrat des collines du Sud du Lot et de la Garonne

. Le pliocène formé de graviers siliceux et de sables argileux est plaqué sur les hautes terrasses en bordure de la Garonne

- Les terrains quaternaires : il s'agit des sables des Landes et des alluvions des principaux cours d'eau étagés selon deux terrasses. Les alluvions anciennes forment les terrasses supérieures.

2.2.3. - Pédologie

Trois grands types de terrain se rencontrent dans le département :

- les Terreforts : sols lourds et compacts difficiles à travailler ;
on distingue :
 - . les terreforts marneux qui sont peu évolués, situés en général sur les pentes,

- . les terreforts macro-molassiques qui se trouvent sur molasses marneuses
- les Boulbènes : cf. paragraphe 2.3.3.
- les Alluvions récentes qui constituent des terres assez profondes de bonne structure

Nous trouvons également des sols sableux dans le prolongement du massif sableux Landais, ainsi que dans le Nord-Est du département, et des formations calcaires se trouvant dans la région de TOURNON.

2.2.4. - Les données climatiques

Le Lot et Garonne est dans une zone de climat océanique dit "Aquitain" avec une continentalisation marquée d'Est en Ouest.

L'hiver est en général tiède et humide. Le printemps précoce accuse une rapide ascension de la température. L'été est chaud, sec ou humide suivant que l'influence atlantique est plus ou moins marquée.

Compte-tenu des températures élevées, l'évaporation est importante et épuise fréquemment en été les réserves d'eau. L'automne tardif est souvent lumineux (cf. annexes 2.1 et 2.2).

2.3. - Milieu physique de la commune de MEILHAN S/ GARONNE

2.3.1. - Situation géographique

La commune se trouve dans la région Ouest du département sur une des terrasses sur la rive Sud de la vallée de la Garonne.

2.3.2. - Géologie

Nous sommes en présence de terrains quaternaires. Il s'agit d'alluvions anciennes qui forment dans la vallée de la Garonne deux terrasses. MEILHAN se trouve sur la plus ancienne et aussi la plus étendue de ces terrasses supérieures.

2.3.3. - Pédologie

Cette terrasse est constituée de terres limoneuses, dites terres de boubènes. Le diagnostic que l'on peut établir sur leur comportement doit prendre en compte la composition du matériau, ses propriétés mécaniques et physiques ainsi que ses relations avec l'eau.

2.3.3.1. - Définition des boubènes

Le terme vernaculaire de boubène s'applique à l'horizon de surface limoneux, non calcaire, des sols formés sur alluvions anciennes et par extension à ses sols tout entiers. Leur aspect est celui de sols lessivés.

La boubène repose sur des horizons profonds de nature diverse : limon, argile, cailloux et graviers, ceux-ci étant plus ou moins cimentés par des concrétions ferro-manganiques. L'argile se trouve plus en profondeur qu'en surface.

2.3.3.2. - Les caractères texturaux dominants

taux de limon : 69 %

taux d'argile : 13 %

(limons totaux : 2 - 50 μ)

2.3.3.3. - Les caractères liants

2.3.3.3.1. - Les colloïdes argileux

La fraction granulométrique constituée de particules de diamètre inférieur à $2\ \mu$ se caractérise par la présence d'une proportion importante de minéraux argileux peu actifs (chlorite, kaolinite, quartz) et peu de minéraux gonflants.

Il s'agit donc, pour une part, de limons ayant la dimension granulométrique des argiles. La capacité d'échange est assez faible, souvent inférieure à 6.

2.3.3.3.2. - Les colloïdes organiques

La teneur en colloïdes organiques est faible, de l'ordre de 1,1 %. Le rapport carbone organique (Anne) sur Azote (kjeldahl) est de l'ordre de 7,8 ce qui correspond à des sols minéralisés.

2.3.3.3.3. - Conséquences

Il ressort de ces données que la fraction dite "argileuse" ne peut jouer un rôle de liant efficace vis-à-vis de la grande proportion de limons et de sables très fins, pas plus que la matière organique en trop faible quantité. Ceci est vérifié par l'indice global de stabilité structurale qui est de l'ordre de 1,22 ce qui correspond à un sol très peu stable.

2.3.3.4. - Le comportement des boubènes

2.3.3.4.1. - Le comportement hydrique

On constate fréquemment que des sols de boubènes après une pluie, sont gorgés d'eau dans les premiers centimètres du sol, alors que les horizons sous-jacents restent à un niveau d'humidité beaucoup plus faible. Par ailleurs, une discontinuité de filtration existe au niveau du passage aux horizons B qui sont nettement moins perméables que les horizons A.

Des écoulements épidermiques ou sub-épidermiques peuvent se produire dès qu'existe une pente. De là découle le système d'assainissement traditionnel par ados.

2.3.3.4.2. - Le comportement mécanique

A la capacité au champ on peut se trouver sur la courbe Proctor un peu à droite du point d'humidité optimale. On est par exemple à 95 % de la saturation. Une pression ne peut faire augmenter la densité apparente qu'en passant de la courbe Proctor à la courbe de saturation, et le sol cesse d'être portant. Le tracteur s'enfonce et produit un malaxage (corroyage). Quelques kg/cm/cm³ peuvent suffire.

2.3.3.4.3. - La structure

Le défaut de cohésion et les propriétés hydriques et mécaniques que nous venons de signaler ont pour conséquence une grave instabilité structurale.

En ce qui concerne la structure de surface, la tendance à l'amortissement des formes structurales artificielles est très marquée au cours d'une campagne sous l'influence des pluies et des irrigations. Cette destruction des mottes s'accompagne de la formation de croûte de battance dans les parties concaves du micro-relief.

Les pressions dues aux passages d'engins ou au piétinement se transmettent verticalement (en l'absence de pierres qui les diffuseraient obliquement) et sont responsables plus profondément de tassement avec augmentation de la densité apparente, pouvant se traduire par des formations de soles ou semelles d'irrigation. De telles semelles aggravent les difficultés de pénétration de l'eau en profondeur signalées plus haut.

2.3.3.5. - Conséquences agronomiques

Les contraintes agronomiques rencontrées en boubènes découlent de leurs propriétés et des conditions climatiques du Sud-Ouest : excès d'eau en hiver et au printemps. Il en résulte des difficultés au niveau de l'évacuation des excès d'eau hivernaux ainsi qu'au niveau du travail du sol au moment opportun. Le problème se pose de techniques de travail adaptées à la fragilité et aux inconvénients de ces sols.

2.3.3.6. - Le travail des boubènes

Dans de telles conditions de sol et de climat, les opérations culturales devront être effectuées dans les limites étroites de maniabilité de ces sols.

L'évacuation d'excès d'eau peut se faire par ruissellement, la battance créant une vraie croûte et l'on utilisera de façon efficace le modelé des sols : planche, billons etc ... (le billon devant avoir une pente et une longueur compatibles avec les risques d'érosion).

Il a été expérimenté avec succès sur de tels sols dans le Sud-Ouest, le drainage vertical qui, en créant une dépression vers le bas, décompresse l'air et désengorge le sol. Il est donc possible, avec ces nouvelles techniques d'assainissement, d'augmenter le temps possible d'intervention sur ces sols.

2.3.3.7. - Hypothèses émises sur l'origine des boubènes

N'ayant pas encore vraiment clarifié ce problème, les quaternistes se tiennent actuellement à trois hypothèses qui, bien que distinctes, leur paraissent liées :

. la première hypothèse émise est le glissement de la terrasse Villafranchienne qui se trouvait bien dans cette région. C'est confirmé par l'observation sur le terrain des horizons superficiels qui ne correspondent pas franchement.

. la deuxième hypothèse, plus classique, est le lessivage des alluvions anciennes. On peut la certifier en remarquant une analogie de squelette entre les boubènes sur molasses et les boubènes sur terrasses.

. la troisième hypothèse est l'apport éolien de limon de plateaux. Elle est vérifiée par l'observation d'éléments ronds au niveau des particules de limon.

Les diverses caractéristiques de ces trois hypothèses ayant été observées, nous pouvons donc penser qu'il n'y a pas eu une seule origine mais bien trois qui se sont succédées et reprises mutuellement.

2.3.4. - Données climatiques

Les relevés météorologiques concernant l'étude proviennent de la station "Ferret" du C.F.T.A. Marmandais à THIVRAS. Cette station se trouve à dix kilomètres au Sud de MEILHAN et à une altitude de 32 m.

La comparaison des climogrammes (cf. annexes 2.1 et 2.3) montre que le climat de la région de MARMANDE correspond à celui de l'ensemble du département.

L'année 1976 fut, comme le montre le climogramme présenté en annexe 2.4 ainsi que les courbes cumulées des E.T.P. piche et des pluviométries (cf. annexes 2.5 et 2.6), une année de sécheresse.

3 - LES APPAREILS D'ARROSAGE

La prise de conscience des avantages de l'irrigation de complément a favorisé l'évolution des techniques, ce qui fit que, rapidement, apparurent différentes formes de mécanisation :

- pivots-systèmes
- arroseurs géants
- canons automoteurs (y compris les Robots)

L'irrigation classique nécessitait une pression minimale de 4 bars à la borne. Les canons automoteurs fonctionnent sous une pression supérieure, entre 7 et 9 bars. Mais ces appareils sont très sensibles en ce qui concerne la régularité de la pluviométrie à toute variation de pression.

3.1. - Description

Les machines utilisées sur le périmètre étudié sont des canons montés sur un support mobile et alimenté par tuyau souple. Ils arrosent pendant le déplacement du support sous l'action d'un moteur hydraulique, une série de bandes de terre d'un côté ou de l'autre de la bouche d'irrigation ou d'une canalisation secondaire.

Sur les sept exploitations que nous avons suivies, il y avait quatre systèmes d'arrosage :

- Redoutable \varnothing 80 automoteur enjambeur et dérouleur
- Minimat 63 modèle Perrot tiré par son tuyau (enrouleur)

- Micro-enrouleur \emptyset 50 Irrifrance tiré par son tuyau (enrouleur)
- Ligne mobile avec 8 arroseurs Rain Bird 40 B T.N.T.

(cf. fiches de matériel annexe 3)

3.2. - Point de vue des utilisateurs

3.2.1. - Le Redoutable \emptyset 80 (cf. fiche description n° 1)

La mise en service demande un certain nombre d'interventions telles que l'obligation de tracer un sillon pour le sabot guide et l'installation de barres de protection pour éviter que des panouilles se prennent soit dans le frein du tambour soit dans l'inverseur.

Il faut également assurer un passage artificiel quand il y a des ados car l'eau arrivant avant l'appareil à la dérayure entre ados, la machine patine et reste sur place. Une défaillance technique au niveau du cliquet d'avancement de la roue, l'axe ayant pris un certain jeu, a également été signalée sur cet appareil.

Malgré ces inconvénients, les utilisateurs du Redoutable \emptyset 80 trouvent cet appareil intéressant : il a de grandes possibilités mais il est nécessaire de bien le connaître et de le manier avec précaution. Ces agriculteurs feraient l'acquisition d'un deuxième Redoutable s'ils devaient envisager d'agrandir leur potentiel d'irrigation.

3.2.2. - Canon automoteur tiré par le tuyau

3.2.2.1. - IRRIFRANCE Mini-enrouleur ϕ 50 (cf. fiche description n° 2)

En culture haute telle que le maïs, tirer le canon pour le mettre en bout de parcelle avec le tracteur équivaut à la perte de un à deux rangs. Pour éviter cela, l'agriculteur utilise un motoculteur ce qui correspond à un supplément de main d'oeuvre. Il faut surveiller le déroulement afin de ne pas compromettre l'enroulement ultérieur.

L'utilisateur trouve néanmoins cet appareil fonctionnel et s'il devait s'équiper pour une irrigation plus importante, il prendrait un deuxième mini-enrouleur.

3.2.2.2. - PERROT Minimat 63 (cf. fiche description n° 3)

Comme pour le mini-enrouleur ϕ 50 d'IRRIFRANCE, il faut tirer le canon en bout de parcelle, l'agriculteur a résolu le problème en utilisant un treuil. Ici encore, cela augmente le temps de main d'oeuvre et le nombre de personnes nécessaires pour l'opération. La vanne de distribution montée sur l'appareil était défectueuse, ce qui a eu pour conséquence d'interdire l'utilisation à une vitesse inférieure à 10 m/h. On a constaté également un mauvais enroulement, ce qui a entraîné la section du flexible. Ceci semble être un inconvénient fréquent sur les mini-enrouleurs.

Malgré cela, l'agriculteur trouve que ce format d'appareil lui convient. Il pense que deux mini-enrouleurs sont plus rentables qu'un automoteur comme le Redoutable.

3.2.3. - Ligne mobile avec huit arroseurs (cf. fiche description n° 4)

Le système ne pose aucun problème technique, il est très fiable mais il demande beaucoup de main d'oeuvre. L'agriculteur n'envisage pas l'utilisation d'un canon mobile car c'est pour lui un appareil peu fiable et trop astreignant au niveau de la surveillance ; s'il devait changer de système, il choisirait plutôt une couverture totale avec un canon fonctionnant à une pression de 10 bars et ayant un débit de 80 m³/h.

En conclusion, chacun des agriculteurs paraît satisfait de son type de matériel. Toutefois, l'utilisateur de la ligne mobile serait disposé à recourir à un système à plus fort débit.

3.3. - Les arrosages

Afin de pouvoir déterminer précisément les doses apportées ainsi que le mode d'apport, pour chaque parcelle des fiches d'arrosage ont été remplies. Elles donnent pour chaque irrigation, le numéro de la bande, le numéro d'arrosage, la date, la durée ainsi que les incidents s'il y en a eu.

Nous voyons sur le tableau qui suit que dans la majorité des cas, les doses apportées ont été supérieures à la dose pratique d'arrosage calculée. Nous remarquerons également qu'il y a au niveau de chaque parcelle un déficit non négligeable (cf. fiches annexe 4) que nous pourrions décrire plus précisément lors de l'étude des effets sur les végétaux.

(*) - Les doses pratiques d'arrosage (dpa) ont été calculées à partir de la formule suivante :

$$0,3 \times He \% \times Da \times Ep \frac{mm}{dn} = dpa$$

Parcelle	Doses apportées	Dose en mm (*)	Irrigation par mois (I)				Pluviométrie	E.T.P. - (P-I) par mois			
			pratique d'arrosage calculée/dn	juin	juillet	août		juin	juillet	août	
1	19	10,8	19	38	38	101,90	103	- 1,8	11,1		
2	26,2	10,6	26,2	26,2	26,2	-	95,7	10	22,9		
3	34	11,5	0	41	19,2	-	121,9	- 4,8	29,9		
4	21,7	9,3	0	43,4	40,2	-	121,9	- 7,2	8,9		
6	30,8	11,1	30,8	69,4	0	-	91,1	- 33,2	49,1		
8	53	10,8	53	0	53	-	68,9	36,2	- 3,9		
9	53	11,2	53	0	88	-	68,9	36,2	- 38,9		

3.3.1. - Opinion des utilisateurs concernant la qualité de l'arrosage

Les agriculteurs ont reconnu l'existence d'un lessivage du sol, leur argument étant une variation de la couleur. Cela les a amenés à conclure que pour l'arrosage on doit surtout veiller à la quantité d'eau apportée. Pour eux, la pluviométrie du canon est moins néfaste que la pluie naturelle, mais on peut la rendre moins battante si les pressions au canon sont de l'ordre de 8 à 10 bars, ce qui donne une pluviométrie beaucoup plus fine.

Il faut éviter des passages lents tant que la végétation ne recouvre que très peu le sol. Ils estiment donc que si l'on est attentif, il ne peut y avoir vraiment d'incidents au niveau du sol.

4 - LES MOYENS D'ETUDES

4.1. - Description

Nous avons vu que l'étude portait sur l'analyse de la dégradation de la structure et sur les phénomènes de compactage et de battance.

4.1.1. - Aspérimètre à aiguilles

Afin de pouvoir suivre dans le temps la dégradation de structure de la surface du sol, nous avons fait des mesures de rugosité à l'aide d'un aspérimètre à aiguilles (cf. croquis annexe 5).

L'appareil permet d'obtenir la côte de chaque point de la surface du sol par rapport à une horizontale fixe. Les points faisant l'objet de déterminations sont distants de 1,4 cm.

L'aspérimètre est constitué par une poutre métallique de 3 m percée de 160 trous, dans lesquels s'enfilent des tiges en aluminium dites "aiguilles" de diamètre 0,4 cm. Sur chaque emplacement faisant l'objet de mesures, on a enfoncé les piquets n° 7 (cf. croquis détail III et IV) qui sont restés en place durant toute la saison d'irrigation. Ces piquets servent d'embase à l'appareil.

Avant chaque prise de mesures, on place les tubes 6 sur les piquets 7 puis on installe la poutre en enfilant les tubes 6 dans les passages 5 ; on bloque la poutre à l'aide des vis 5'.

Puis, à l'aide d'un niveau à bulle, en déplaçant la poutre verticalement, on règle l'horizontale. Ensuite, il ne reste plus qu'à enfiler une à une les aiguilles. Pour cette dernière opération, il est important de toujours tenir l'aiguille jusqu'à ce qu'elle touche la surface du sol, afin de ne pas modifier la rugosité par un choc. L'appareil installé, on photographie la courbe décrite par le sommet des aiguilles.



Prise de mesures avant la première irrigation

C'est à partir de ce document que l'on détermine un indice d'aspérimétrie destiné à traduire la rugosité du sol. Nous verrons en 4.3. que plusieurs méthodes peuvent être envisagées pour cette détermination.

4.1.2. - Observations d'emplacements

Pour compléter les résultats des mesures d'aspérimétrie, on a délimité par de petits piquets un certain nombre d'emplacements sur la trajectoire des canons d'irrigation. Ce sont de petites aires d'observation, de largeur 0,50 m et de longueur 1 m, entre deux rangs de maïs. Elles sont situées en plusieurs endroits répartis sur toute la longueur de la trajectoire du canon. On peut repérer les emplacements depuis la limite du champ grâce à un axe passant par de grands piquets en bordure de parcelle.

L'observation de ces emplacements permet de faire une description des modifications de l'apparence de la surface du sol. Afin de conserver des documents de base, chaque description est accompagnée d'une prise photographique.

4.1.3. - Essai de détermination de la dimension des gouttes d'aspersion

L'étude a pour objet de déterminer la répercussion sur le sol de l'impact des gouttes d'aspersion. Déjà avec les observations décrites au paragraphe précédent, on a voulu classer les unes par rapport aux autres, les zones battues. On cherche donc à se faire une idée de l'énergie d'agression des gouttes à différentes distances de l'asperseur. Cette énergie étant proportionnelle à la masse des gouttes, l'on a voulu mesurer leur taille. Pour cela, on utilise une plaque de contreplaqué, installée sur un support, sur laquelle on pose une feuille de buvard qui est saupoudrée de café soluble juste avant l'exposition au jet. (cf. annexe 6).

La taille des tâches obtenues doit permettre un premier classement. Il est évident que ce résultat n'est que qualitatif et que, de plus, manque la connaissance de la vitesse des gouttes aux points d'impact.

4.2. - Difficultés rencontrées

La mise en oeuvre du protocole fait apparaître des difficultés pratiques d'application, aussi l'étude entreprise doit-elle permettre accessoirement de préciser divers points de la méthodologie de l'étude. C'est la raison pour laquelle les moyens utilisés ont été testés afin de connaître leur fiabilité aussi bien sur le plan de la mise en pratique que sur le plan de l'interprétation. Diverses propositions seront faites à la fin de ce rapport, dans l'optique de faciliter des études ultérieures.

4.2.1. - L'aspérimètre à aiguilles

- Difficultés dues à la croissance de la végétation

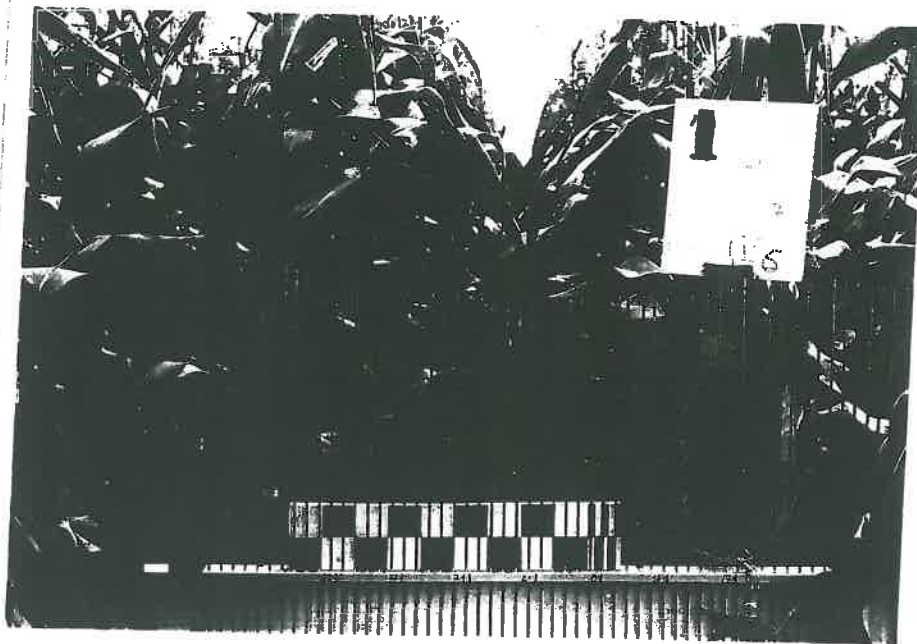
Lors des premières observations, pour la prise photographique, on plaçait l'appareil sur pied à 3 m de la poutre, sur la médiatrice de celle-ci. Rapidement les plants de maïs ayant grandi, ont empêché la poursuite de ce mode opératoire ; il fallait les attacher pour les écarter du champ de prise de vue et l'on risquait de les casser (ce qui est à éviter car il est important de ne pas modifier le milieu de l'essai).

En conséquence, à partir d'une certaine date, on a été contraint de photographier l'aspérimètre en trois parties après avoir fait des repères sur la poutre.



Photographie d'aspérimètre
Dernière vue d'ensemble

La photo ci-dessus montre les difficultés rencontrées en raison de l'engorgement de la végétation. L'opération reste possible (quoique longue et fastidieuse) tant que le maïs demeure souple.



Une des photographies de l'aspérimètre prise en trois parties

On a tracé des repères sur la poutre afin de pouvoir, au moment de l'interprétation, rassembler les trois photographies et disposer ainsi de la courbe de rugosité dans son ensemble.

- Problèmes de parallaxe

Afin de minimiser les problèmes de parallaxe, il faut utiliser pour photographier, un objectif de grande focale (100 ou 135 mm), ainsi que pour l'agrandissement des positifs.

- Difficultés dues aux aiguilles d'aspérimètre

Les relevés des côtes entre deux dates successives ne correspondent pas exactement aux mêmes points en raison d'une certaine flexibilité des aiguilles de l'aspérimètre ; cela crée des variations parasites de l'indice d'aspérité, mais il paraît peu probable que cela modifie gravement la tendance de la courbe de rugosité.

4.2.2. - Observations d'emplacements

Sur ces emplacements, on décrit de façon très précise l'évolution de la surface, c'est-à-dire les effets des gouttes sur chaque micro-accident du relief. Aussi, est-il très important que l'aire ne soit pas piétinée afin de ne pas fausser les descriptions. Les piquets délimitant la surface sont reliés avec de la ficelle, dans la majorité des cas cette précaution a été suffisante pour protéger l'emplacement. Néanmoins dans quelques cas, des modifications accidentelles se sont produites. Il faut donc bien discerner les évolutions provenant de la pluie de celles provenant du piétinement d'animaux ou autres...

4.2.3. - Essai de détermination de la dimension des gouttes d'aspersion

L'exposition de la feuille de buvard au jet du canon a été faite à la main en enlevant et en remettant au-dessus de l'appareil un parapluie lors du passage du jet. Malgré les précautions prises pour conserver le même temps d'exposition pour les différentes opérations, il est certain que cela ne peut être réalisé parfaitement, donc la durée d'exposition reste une inconnue.

4.3. - Exploitation des données collectées

4.3.1. - L'aspérimètre à aiguilles

4.3.1.1. - Description du matériel utilisé

Pour l'analyse des données d'aspérimétrie, on a eu recours au matériel informatique du C.T.G.R.E.F. de BORDEAUX. Le secteur informatique est équipé d'appareils HEWLETT PACKARD.

Un calculateur série 9800 modèle 10, dont la configuration de base comporte une mémoire de 500 instructions du programme et une mémoire de 51 registres numériques. Il est programmé au clavier ou à l'aide de cartes magnétiques. Il y a également des blocs de fonctions interchangeables : mathématiques, statistiques et "vos fonctions" qui est un bloc à définir suivant le besoin. Le modèle est également muni d'une imprimante alpha-numérique.

Outre le clavier et le lecteur de cartes magnétiques en périphérie, se trouve un traceur de courbes (9862 A modèle 62) qui trace les points définis par les nombres dans les registres X et Y lorsque l'on déclenche l'instruction FMT. En périphérie également, se trouve la mémoire de la cassette : cassette magnétique 9865 A modèle 65 qui permet un stockage commode et fiable des données par blocs. Sur une cassette de 100 m on peut stocker 6.000 registres ou 48.000 instructions. Toujours en périphérie du calculateur, se trouve un lecteur de coordonnées (digitizer) qui permet de stocker des données sur cassette ou bien de les faire tracer par le traceur.

C'est donc à partir de toutes ces possibilités offertes par le matériel qu'on a entrepris l'interprétation des photographies d'aspérimètre.

En un premier temps, on a procédé à la lecture des photographies à l'aide du lecteur des coordonnées ; chaque sommet d'aiguille a été identifié et ses coordonnées, par rapport au plan de la poutre, ont été enregistrées sur cassettes. Nous avons ensuite fait un programme qui, à partir des données enregistrées, a permis à l'aide du traceur, d'obtenir les courbes correspondant à la succession des sommets des 136 aiguilles de l'aspérimètre.

Pour chaque parcelle les courbes des différentes observations ont été tracées sur la même feuille. Les courbes sont en ordre chronologique de bas en haut. A ce niveau, plusieurs méthodes d'exploitation sont possibles.

4.3.1.2. - Les quatre méthodes essayées

La première méthode envisagée fut un calcul de surface. Le programme établi, détermine sur la courbe d'aspérimètre la moyenne puis la trace. Ensuite, sont calculées les surfaces au-dessus et au-dessous de la moyenne, et la somme de toutes ces surfaces positives et négatives, nous donne un index dont la variation doit donner l'évolution de la surface du sol, ainsi que sa direction.

Un second programme a permis de calculer des moyennes mobiles et ensuite déterminer les écarts entre la valeur centrée et la moyenne des valeurs l'entourant. Pour chaque courbe a été calculée la norme des écarts c'est-à-dire la somme des carrés des écarts.

Une des variable introduite dans le programme a été le pas de la moyenne mobile ; on a pu donc tester les différents pas : 5, 7, 9, 11. Puis, toujours avec la moyenne inscrite, on a fait tracer les histogrammes correspondants. L'écrasement de l'histogramme indique une baisse de rugosité.

La troisième méthode utilise également la moyenne mobile, mais cette fois-ci, le pas est fixe et égal à 5, les différents pas ayant été testés lors de la deuxième méthode. Le pas de 5 s'est avéré en effet le plus utilisable, comme nous le signalons en §.3.1.3.

De même que précédemment, on calcule les écarts mais ensuite ils sont rangés dans 5 classes différentes :

	variations réelles
- classe 1 : les écarts varient de 0 à 0,2 cm	0,4 cm
- classe 2 : les écarts varient de 0,2 à 0,4 cm	0,8 cm
- classe 3 : les écarts varient de 0,4 à 0,6 cm	1,2 cm
- classe 4 : les écarts varient de 0,6 à 0,8 cm	1,6 cm
- classe 5 : les écarts varient de 0,8 à 1 cm	2 cm

Le programme utilisé donne également l'écart type qui nous indique la dispersion des données. Pour cela, les calculs des écarts ont été stockés sur cassette et nous avons utilisé le programme des probabilités de dépassement et de non dépassement.

L'évolution du nombre d'individus dans les différentes classes indique une variation de la rugosité ; une augmentation du nombre d'individus dans la classe 1 traduit un aplanissement de la surface.

La dernière méthode plus simple que les autres, consiste à mesurer les longueurs de chaque courbe et à les comparer. Dans ce but, on utilise le lecteur de coordonnées et on suit la courbe. Le programme introduit fait imprimer la valeur.

4.3.1.3. - Critiques des méthodes

La première méthode utilise les coordonnées les unes après les autres ; les résultats obtenus sont très dispersés et non significatifs. Cela provient du fait que les amplitudes de l'ondulation générale de la surface du sol ont étouffé les variations de la micro-rugosité en raison de leur importance relative très grande par rapport aux petites mottes.

La deuxième méthode donne la norme des écarts, c'est-à-dire le carré de la somme des écarts. Il s'est avéré que la variation de cette norme la plus significative fut réalisée en calculant la moyenne mobile avec un pas de 5. La dissociation des grandes et petites amplitudes dépend en effet de la valeur retenue pour ce pas.

La troisième méthode tient compte des résultats obtenus au moyen de la deuxième méthode utilisant pour les calculs de moyenne mobile, un pas de 5. Les écarts sont calculés et rangés par dimensions dans différentes classes. Cette méthode sépare les petites variations des grandes. Ainsi, on peut suivre de façon plus précise les modifications de rugosité.

La quatrième méthode se résume au tracé des courbes d'aspérimétries, c'est-à-dire de la succession des coordonnées de chaque sommet d'aiguille. Le programme imprime la longueur de chaque courbe. La variation de cette grandeur indique une déformation de la rugosité.

L'information donne une idée d'ensemble de l'évolution mais elle reste incomplète car elle ne détermine pas la grandeur des déformations ; on ne sait pas ce qui varie : les grandes ou les petites amplitudes ; à quel niveau de la surface du sol y-a-t-il variation de rugosité.

4.3.2. - Observations d'emplacements

On fait une description visuelle assez détaillée de l'emplacement, avant et après chaque évènement susceptible d'avoir pu modifier l'aspect de la surface. Dans la mesure du possible, sur l'ensemble des observations, on a essayé de décrire les modifications en déterminant les différentes phases qui les ont fait s'enchaîner. Pour conserver des repères visuels de la description, chaque observation est accompagnée d'une photographie.

4.3.3. - Essais de détermination de la taille des gouttes d'aspersion

On place l'appareil décrit dans le paragraphe 4.1.3. sous un parapluie sur le trajet du jet du canon.

Première méthode : on couvre la feuille de buvard d'une fine couche de café soluble. Lors du passage de la pluie on expose la feuille de buvard en enlevant durant un court instant le parapluie. Il est recommandé de laisser la feuille à l'horizontale afin d'éviter toutes coulées.

Ensuite, on enlève la poudre non humectée et les taches d'impact des gouttes demeurent seules sur la feuille. Seulement, leur pourtour est quelque peu déformé par des projections de poudre lors des impacts.

Deuxième méthode : afin de pallier aux inconvénients cités ci-dessus la feuille de buvard est exposée à la pluviométrie sans saupoudrage préalable. Tout de suite après l'exposition, on couvre la feuille de buvard d'une fine couche de café soluble ; on laisse l'humectation se faire puis on élimine la poudre en trop. Il reste donc des taches d'impact mieux définies.

4.3.4. - Mesure de la perméabilité sur des échantillons de sol non remaniés, prélevés en cylindre

La détermination de la perméabilité exige un échantillon de terre dont la structure ne doit pas être perturbée. Les méthodes consistent à enfoncer un cylindre métallique dans le sol. Le procédé d'échantillonnage "SOIL MOISTURE" a le défaut d'utiliser une masse pour enfoncer le cylindre dans le sol. La pénétration se fait par coups successifs appliqués sur l'axe de l'appareil. La direction n'est pas toujours rectiligne et en plus, les à-coups provoquent sur les parois de l'échantillon des vides qui modifient les résultats des déterminations ultérieures.

Pour éviter cet inconvénient, il fallait appliquer sur la bague d'échantillonnage une poussée rectiligne et continue. Un cric ou un vérin pourrait être utilisé mais il semble que les pistolets de scellement du type "à piston" provoquant une poussée brutale et brève donnent de meilleurs résultats.

Pour réaliser une telle opération, il est nécessaire de monter un adaptateur sur un pistolet du commerce. C'est ce qui a été réalisé par les Groupements du C.T.G.R.E.F. d'ANTONY et de BORDEAUX. L'échantillonneur que nous avons employé a été mis au point à BORDEAUX et utilise un pistolet de scellement SPIT référence 1252 A2 950 (photographie ci-après).



Photographie du pistolet de prélèvement
pour les mesures de perméabilités

La charge placée dans la chambre d'explosion est toujours la même ; pour faire varier la poussée, il suffit de modifier le volume de la chambre et cela par une simple rotation de la partie avant (cf. figure annexe 7.1).

Sur la photographie, nous voyons les six éléments constituant l'appareil de prélèvement. De la gauche vers la droite :

- 1 cylindre de prélèvement, 2 contre-bague, 3 bagues de poussée
- 4 socles d'appui en bronze, 5 tiges de percussion, 6 pistolets SPIT

Pour l'opération, on place sur le sol aplani le socle d'appui dans lequel on a placé dans l'ordre les éléments 1, 2 et 3, la tige 5 en dernier. Ensuite, après avoir mis la charge, on engage le bout du pistolet dans le socle et en maintenant toujours une poussée vers le bas, on percute. Les bagues sont préalablement enduites d'huile de vaseline pour rendre les bords étanches. Tous les cylindres sont ensuite enlevés à la pelle, arasés, et leurs extrémités sont obturées par des couvercles en polyéthylène.

En laboratoire, on place le cylindre débouché dans le socle perméamètre. On sature l'échantillon par la base pour chasser l'air puis on met en place la partie supérieure du perméamètre et on remplit d'eau jusqu'au point 0 (cf. figure annexe 7.2). On détermine la perméabilité en mesurant les temps nécessaires pour abaisser la colonne d'eau de hauteurs déterminées. Dans la pratique, on déclenche un chronomètre quand le ménisque inférieur arrive à 36 cm. Cette valeur est notée ainsi que celles des temps trouvés pour 32, 16, 8 et 4 cm.

La perméabilité est mesurée par une méthode pour laquelle la charge est variable dans le temps :

$$K = \Delta \log_e \frac{h_0}{h_1} \cdot \frac{1}{t_1}$$

Δ = constante dépendant des caractéristiques de l'appareil

h_0 = hauteur initiale en cm

h_1 = hauteur au temps t_1 en cm

t_1 = temps en seconde

K = perméabilité en cm/s

4.3.5. - Densité apparente sur mottes et éléments de croûte

On détermine le poids spécifique apparent (auquel on assimilera numériquement la densité apparente) des mottes et croûtes de sol.

$$d_a = \frac{P}{V_a}$$

P = poids de l'élément structural sec

V_a = volume apparent

La méthode utilisée est dite méthode à la paraffine (cf. fiche technique annexe 8) :

- figure 1 balance

- figure 2 détermination du volume de la nacelle

poussée d'Archimède : $P - P_1 = V_1$ volume de la nacelle

- figure 3 pesée de l'élément structural sec.

Jusqu'à l'enrobement, le manipulateur doit veiller à ne pas provoquer d'effritement.

Pour l'enrobage à la paraffine il est essentiel que l'élément structural froid soit plongé dans la paraffine amenée juste au-dessus de son point de fusion, sinon la paraffine trop liquide, risquerait de pénétrer dans les pores.

Puis on laisse refroidir jusqu'à température ambiante.

- figure 4 pesée de la motte enrobée
- figure 5 détermination du volume de la motte enrobée

Poussée d'Archimède sur motte enrobée + nacelle = $P_3 - P_4 = (\text{volume croûte (ou motte) enrobée} + \text{volume nacelle immergée})$

Calculs :

On cherche $d_a = \frac{P_2}{V_a}$

P_2 = poids de la motte ou de la croûte

V_a = volume apparent de la motte

$$V_a = (P_3 - P_4) - \left(\frac{P_3 - P_2}{dp} + P - P_1 \right) \text{ avec } dp = \text{poids spécifique de la paraffine}$$

$P_3 - P_4$ volume motte enrobée + volume nacelle

$\left(\frac{P_3 - P_2}{dp} + P - P_1 \right)$ volume paraffine + volume nacelle

4.3.6. - Observation d'éléments structuraux à la binoculaire et photographie

Les échantillons utilisés pour les calculs de densités ont été repris pour être observés et photographiés au microscope.

Description du matériel : loupe binoculaire stéréoscopique WILD HEERBRUGG. La loupe est munie d'un dispositif d'adaptation pour la photographie ; une cellule pour la détermination du temps de pose étant couplée avec l'appareil.

Le film photographique choisi est un film à haute définition KODACK 25 ASA.

Les échantillons sont d'abord photographiés sans modification, puis on pratique des grattages superficiels.

Les opérations ont été réalisées à divers grossissements :

X 30 - X 60 - X 125 et X 250

4.3.7. - Sonde TROXLER

C'est un appareil de mesure de densités et d'humidités des sols. La mesure de densité se fait par transmissions de rayons gamma. La mesure d'humidité se fait par transmissions de neutrons.



Sonde TROXLER
sur parcelle

Les sources et récepteurs sont :

	Sources	Récepteurs
Pour la mesure de densité humide	Césium 137 de période 30 ans	Tubes Geiser Muller
Pour la mesure d'humidité par horizon	Américium béryllium	Tubes cristal

Avec le nombre d'impulsions en une minute on détermine à partir d'un abaque la densité humide et la teneur en eau volumique :

γ_h = densité humide

h_v = teneur en eau volumique

On peut donc obtenir la densité sèche : γ_s

$$\gamma_s = \gamma_h - h_v \quad \text{car} \quad \gamma_h = \frac{\text{masse de l'eau} + \text{masse de la terre}}{\text{volume}}$$

$$h_v = \frac{\text{volume de l'eau}}{\text{volume}} = \frac{\text{masse de la terre}}{\text{volume}}$$

ainsi que l'humidité pondérale h_p :

$$h_p \% = \frac{h_v}{\gamma_s} \times 100 \quad \text{car} \quad h_p = \frac{\text{masse de l'eau}}{\text{masse de la terre}} = \frac{\text{volume de l'eau}}{\text{masse de la terre}}$$

$$= \frac{\text{volume de l'eau}}{v \gamma_s} = \frac{h_v}{\gamma_s}$$

L'appareil permet de réaliser des mesures à 5, 10, 20 et 30 cm de profondeur.

Pour cela, on aplanit la surface de sol sur laquelle reposera l'appareil à l'aide d'une plaque, puis on fore un trou de 30 cm de profondeur pour permettre le passage de la tige contenant la source.



Préparation de l'emplacement (aplanissement et forage)
pour les mesures avec la sonde TROXLER

L'appareil une fois en place, on fait les mesures aux différentes profondeurs en notant, pour chaque mesure, le nombre d'impulsions indiqué par le tableau électronique de comptage (cf. photographie de la sonde).

Cet appareil est d'une grande précision ainsi que d'une facilité d'emploi sans comparaison avec celle du densitomètre à membrane.

4.3.8. - Gramulométrie

La gramulométrie d'un sol est la distribution de ses particules suivant leurs dimensions. Les déterminations ont été réalisées par le laboratoire de l'I.N.R.A. à ARRAS.

4.3.9. - Essai Proctor

Les caractéristiques mécaniques et hydrodynamiques d'un sol sont étroitement liées à sa compacité, rapport entre le volume réel des particules solides de ce sol et son volume apparent. Il en résulte que plus un sol est compact, moins il comporte de vides, moins il peut se tasser et plus faible est sa perméabilité.

Les essais de laboratoire mis au point par l'Ingénieur Américain PROCTOR étudient les relations entre trois facteurs : l'intensité de l'énergie appliquée, la teneur en eau du sol au moment du compactage et la densité apparente obtenue.

Pour l'essai, on a prélevé en surface un échantillon de 12 kg de sol. Cette terre est passée au tamis de 5 mm et on opère une dessiccation à l'air de la partie de l'échantillon passée dans le mortier ; on détermine alors la teneur en eau.

L'échantillon est ensuite fractionné en 5 parties égales qui seront successivement compactées dans le moule Proctor. C'est un cylindre de \varnothing 101,6 mm et de hauteur 116,8 mm.

Le compactage est effectué en trois couches d'environ 4 cm d'épaisseur avec une énergie de 6 kg/cm/cm³ qui est appliquée à l'aide d'une dame de 2,491 kg et d'une hauteur de chute de 305 mm. Chaque couche reçoit 25 coups de dame puis on pèse le moule et son contenu au gramme près (P_2).

La teneur en eau (α) du sol compacté est mesurée sur 160 g de sol prélevé par moitié à la partie supérieure et à la partie inférieure de l'échantillon. Les poids sont exprimés en grammes, la teneur en eau en pourcentage et le volume du moule en cm³ ; la densité sèche d_s est donc :

$$d_s = \frac{100 (P_2 - P_1)}{(100 + \alpha) v}$$

La teneur en eau et la densité sèche sont respectivement l'abscisse et l'ordonnée d'un point sur un graphique. On trace ensuite la courbe passant par les points expérimentaux ainsi que la courbe de saturation.

4.3.10. - Limites d'Atterberg

Lorsque la quantité d'eau contenue dans un sol est telle que celui-ci tend couler et à se niveler suivant une surface horizontale, le sol est dit à l'état liquide.

Si sa teneur en eau diminue, le sol passe successivement par trois états : "l'état plastique", l'état "solide avec retrait" et l'état "solide sans retrait".

Les limites d'Atterberg sont les teneurs en eau qui correspondent aux passages entre ces différents états. Ce sont :

- la limite de liquidité entre l'état liquide et l'état plastique,
- la limite de plasticité entre l'état plastique et l'état solide avec retrait
- la limite de retrait entre les états solides avec et sans retrait

Les limites le plus couramment déterminées sont les limites de liquidité (LL) et de plasticité (LP) dont la différence est appelée "indice de plasticité ($IP = LL - LP$)".

L'échantillon (300 à 400 grammes) appelé "mortier" est la fraction des matériaux passant au tamis de 0,5 mm.

Limite de liquidité : une épaisseur de mortier de 1 cm est placée à l'intérieur d'une coupelle. On la sépare en deux parties par une rainure pratiquée à l'aide d'un outil spécial. Un certain nombre de chocs sont imprimés à la coupelle par la chute de celle-ci à une hauteur d'un centimètre et à une cadence moyenne de 2 chutes à la seconde jusqu'à ce que les deux lèvres de la coupure se rejoignent sur une longueur d'au moins 1 cm. On note le nombre de chocs et la teneur en eau du mortier ; ce sont les coordonnées d'un point représenté sur une grille semi-logarithmique. Plusieurs points sont ainsi déterminés pour des teneurs en eau décroissantes et l'on trace la courbe (généralement une droite sur la grille semi-logarithmique). La teneur en eau correspondant à 25 chocs est appelée limite de liquidité.

Limite de plasticité : on roule le mortier avec la paume de la main sur une surface plane non absorbante pour constituer un fil cylindrique continu de 3 mm de diamètre. Le cylindre obtenu, on remet la pâte en boulette et on renouvelle l'opération jusqu'à ce qu'il ne soit plus possible de former des cylindres d'une longueur supérieure à un centimètre. La teneur en eau des tronçons alors obtenus définit la limite de plasticité recherchée.

4.3.11. - Capacité de rétention au point de ressuyage

Il s'agit d'un sol ressuyé dans des conditions naturelles de bon drainage. En réalité, on ne peut trouver une valeur réellement définie car la dessiccation se poursuit.

En fait, ce point devrait correspondre au moment où seule la microporosité est occupée par l'eau. La capacité de rétention au point de ressuyage dans la gamme des humidités constitue la limite inférieure de la macroporosité et la limite supérieure de l'eau utilisable par les plantes, et ce point n'est pas atteint simultanément sur tout l'ensemble du profil.

Au niveau d'un échantillon de sol on remplace cette donnée par celle d'humidité équivalente qui peut être mesurée en laboratoire. D'une manière approximative, on considère que l'humidité équivalente (H_e) est atteinte pour une valeur du pF égale à 3.

En fait, pour correspondre à la capacité au champ, il convient de faire des mesures à des pF parfois assez différents. Les mesures ont été réalisées au laboratoire du C.T.G.R.E.F. de BORDEAUX en régime de dessèchement sur membrane de dialyse.

Les pF retenus ont été :

2,48 (0,3 bar)

3 (1 bar)

3,48 (3 bars)

4.3.12. - Stabilité structurale

La stabilité des agrégats est liée à la résistance à la destruction par éclatement d'une part, par gonflement et dispersion d'autre part. L'éclatement se produit à l'humectation par l'eau qui comprime l'air dans les pores capillaires. L'humectation est favorisée par la mouillabilité des argiles, à laquelle s'oppose l'hydrophobie de la matière organique. Par ailleurs, la cohésion augmente avec le taux d'argile, sauf quand celle-ci est nettement sodique.

Le gonflement est lié à l'hydratation du complexe organo-argileux. Quand l'argile est sodique, il est tel qu'il y a alors dispersion des colloïdes minéraux. Les ponts argileux entre les minéraux se brisent par différence de gonflement lors des alternances d'humectation et de dessiccations. Le test de stabilité détermine l'influence de la cohésion propre du matériau, celle de l'éclatement à l'eau, et celle de la matière organique. Les mesures de la stabilité structurale ont été faites par le laboratoire de l'I.N.R.A. à ARRAS selon la méthode de HENIN - FEODOROFF qui fait intervenir un indice de stabilité I_s :

$$I_s = \frac{(A + L) \%}{\frac{A_{ga} + A_{ge} + A_{gb}}{3} - 0,9 S_g \%}$$

A = fraction granulométrique 0 - 2

L = fraction granulométrique 2 - 20

Sg = fraction granulométrique 200 - 2000

Aga = agrégats restés stables dans l'alcool

Age = agrégats restés stables dans l'eau

Agb = agrégats restés stables dans le benzène

et un indice de conductivité hydrique K, exprimé en cm/h. Ces indices pouvant prendre de très grandes valeurs, on utilise la valeur du logarithme à base 10 de 10 Is et 10 K. C'est ainsi qu'on trace un diagramme sur lequel on porte en abscisses log 10 Is et en ordonnées log 10 K et la droite de régression d'équation $3 \log 10 K + 2,5 \log 10 Is - 7,5 = 0$. Cela détermine un indice de stabilité global (Σ) dont la valeur calculée est :

$$\Sigma = 0,5 \log 10 K - 0,417 \log 10 Is + 1,25$$

4.3.13. - Bases échangeables

On appelle ions échangeables les ions qui sont échangés par le complexe organique et inorganique du sol. La détermination des ions échangeables a été faite par le laboratoire de l'I.N.R.A. à ARRAS en utilisant une solution d'acétate d'ammonium N et à pH 7.

4.3.14. - Capacité d'échange

Le complexe absorbant étant très rarement saturé, on détermine aussi la capacité d'échange (T) qui représente le maximum d'ions pouvant être fixés par 100 g de sol et est exprimée en milli-équivalents (meq). Le laboratoire d'ARRAS a utilisé pour cette analyse, la méthode de METSON.

4.3.15 - Carbone organique - azote

Ces deux analyses ont également été faites par le Laboratoire de l'I.N.R.A. à ARRAS, avec les méthodes suivantes :

- pour le carbone organique : méthode ANNE
- pour l'azote : méthode KJELDAHL

4.4. - Description des parcelles

L'étude s'est déroulée sur sept exploitations différentes. Nous devons donc, avant d'utiliser les résultats d'analyses, déterminer l'état des parcelles et les comparer afin de pouvoir moduler les interprétations.

4.4.1. - Préparation des sols et antécédents culturaux

Compte tenu du type de sol et du climat, les façons culturales ne peuvent être réalisées que dans des conditions physiques déterminées. Elles conditionnent la réalisation des opérations ultérieures.

En raison de l'état d'insalubrité des sols, les agriculteurs ont eu recours au drainage par ados.

Le tableau qui suit indique pour chaque opération culturale sur chaque exploitation, le matériel de traction ainsi que les outils culturaux utilisés. A la suite, se trouve un calendrier des opérations culturales.

	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelles 4 et 10	Parcelle 6	Parcelle 7	Parcelles 8 et 9
Tracteurs	(1) Renault 100 CV (2) Someca 50 CV	(1) Someca 100 CV (2) Someca 55 CV	(1) M. Ferguson son 60 CV (2) M. Ferguson 42 CV	(1) Someca 70 CV (2) Someca 40 CV	(1) Renault 50 CV	(1) Mc Cormick 60 CV (2) Mc Cormick 40 CV	(1) Renault 70 CV (2) Renault 40 CV
Labour	(1) + Trisoc 16 pouces	(1) + Bisoc 16 pouces	(1) + Bisoc 12 pouces	(1) + Trisoc 16 pouces	(1) + Bisoc 14 pouces	(1) + Bisoc 14 pouces	(1) + Bisoc 16 pouces
Hersage	(1) + Herse de 3 m	(1) + Herse vibrante de 3 m	(2) + Herse vibrante de 3 m	(2) + Herse vibrante de 3 m	(1) + Herse vibrante de 3 m	(1) + Herse vibrante de 3 m	(2) + Herse vibrante de 3 m
Semis	(2) + Semoir pneumatique 4 rangs	(2) + Semoir pneumatique 4 rangs	(2) + Semoir 4 rangs	(2) + Semoir pneumatique 4 rangs	(1) + Semoir 4 rangs	(2) + Semoir 4 rangs	(2) + Semoir 2 rangs
Binage	(2) + Bineuse 4 rangs	(2) + Bineuse 4 rangs	(2) + Bineuse 4 rangs	(2) + Bineuse 4 rangs	(1) + Bineuse 4 rangs	(1) + Bineuse 4 rangs	(2) + Bineuse 2 rangs
Localisation d'engrais	Azote gazeux (1) + Enfouissement à 30 cm	Azote gazeux (2) + Enfouissement à 30 cm	Azote gazeux Société extérieure	Azote gazeux (2) + Enfouissement à 30 cm	Sulfate (1) + Tonne de 300 l	Azote gazeux Société extérieure	

N° de la parcelle	1	2	3	4	6	7	8	9	10
Labour	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.	Nov.
Hersage	5 Mai	20 Avril	17 Avril	23 Avril	28 Avril	19 Avril	27 Avril	28 Avril	23 Avril
Semis	15 Mai	22 Avril	20 Avril	25 Avril	1er Mai	20 Avril	1er Mai	2 Mai	25 Avril
Localisation engrais	15 Juin	5 Juin	1er Juin	8 Juin	3 Juin	2 Juin	2 Juin	5 Juin	7 Juin
Binage	30 Juin	20 Juin	17 Juin	23 Juin	20 Juin	19 Juin	20 Juin	20 Juin	22 Juin

Les différences de dates d'intervention ne sont pas dues à des états de ressuyage différents mais au fait que les calendriers des agriculteurs étaient différents du fait de leurs interventions sur d'autres parcelles.

Nous pouvons ainsi dire que l'état initial de la surface du sol des parcelles est comparable. On entend par état initial le niveau de compactage sous-jacent et de porosité interne ainsi que l'état de la surface, lequel pouvait être vérifié visuellement.

L'assolement intervient pour une bonne part dans le niveau de matière organique du sol, dans l'état de la structure et vraisemblablement dans la stabilité de cette structure. Le tableau qui suit indique pour les neuf parcelles, les antécédents culturaux sur cinq ans.

TABLEAU DES ANTECEDENTS CULTURAUX

	Parcelles									
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	
1977	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais
1976	mais	tabac	blé	mais	mais	tabac	mais	mais	mais	mais
1975	mais	mais	mais	blé	mais	mais	mais	mais	vigne	
1974	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais	mais	vigne	
1973	mais	tabac	vigne	blé	mais	tabac	mais	mais	vigne	

Il ressort de ce tableau que les parcelles n'ont pas le même passé cultural. Pour l'étude, nous retiendrons que les assolements ont assuré à peu près la même profondeur de sol occupée par les racines. La profondeur doit être légèrement inférieure lors de l'introduction du tabac dans l'assolement.

4.4.2. - Les profils pédologiques

Le sol est défini comme un milieu biologique qui, lorsqu'il est climatique, est en équilibre avec les conditions de climat et de végétation ; les caractères du profil et la succession des horizons traduisent cet état d'équilibre ; ils reflètent donc les conditions de l'évolution pédologique.

Les facteurs écologiques actifs provoquent une évolution qui se traduit par une différenciation en horizons.

L'étude des profils que nous avons réalisée comporte une description morphologique effectuée sur des tranchées fraîchement préparées. Dans le cas qui nous occupe, elles répondent aux caractéristiques suivantes : profondeur 1,50 m, largeur 1 m, longueur 1 m. Cette description sera complétée par des déterminations analytiques.

Sur les neuf parcelles, nous avons décrit sept profils qui, en première approximation, se regroupent en trois catégories légèrement différentes (cf. photographies ci-après).



Photographie du profil pédologique de la parcelle
n° 4



Photographie du profil pédologique
n° 7



Photographie du profil pédologique
n° 9

La détermination des couleurs a été faite à l'aide du Code Expolaire de A. CAILLEUX et G. TAYLOR. Pour la description horizon par horizon, nous avons utilisé le glossaire de pédologie de l'Association Informatique et Biosphère édité par l'O.R.S.T.O.M. (dessin des différents profils annexe 13).

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 1

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,1 cm, croûte de battance soufflée. Porosité fermée, couleur brun foncé.

- Horizon de 0,1 à 40 cm (de 20 à 23 cm semelle de labour) se trouve à la capacité de rétention. Brun gris foncé, apparemment non organique.

Sans éléments grossiers

Texture limono-sableuse

A sable fin quartzeux

Structure fragmentaire nette polyédrique fine

Fine associée à une structure polyédrique sub-anguleuse

Très faible porosité de l'horizon

Volume des vides très faible entre agrégats

Agrégats sans pores visibles

Matériau à consistance semi-rigide. Peu plastique

Peu collant, friable -très friable, très fragile

Quelques racines fines qui pénètrent entre les agrégats

Pas de chevelu

Activité nulle

Transition graduelle

- Horizon de 40 à 100 cm : se trouve à la capacité de rétention

Olive pâle

Concrétions ferro-manganésifères

Taches ferrugineuses

Sans autres éléments

Texture limono-sableuse argileuse

A sable fin quartzeux

Structure fragmentaire, nette polyédrique grossière

Grossière associée à une structure polyédrique sub-anguleuse

Moyenne porosité de l'horizon

Volume des vides faible entre agrégats

Agrégats à pores peu nombreux

Matériau à consistance malléable. Plastique

Collant, friable, fragile

Quelques racines entre agrégats

Activité nulle

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 2

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,1 cm : croûte de battance soufflée. Porosité fermée
Couleur brun gris foncé

- Horizon de 0,1 à 40 cm : se trouve à la capacité de rétention
Brun gris foncé. Apparemment non organique
Taches ferrugineuses
Très peu de graviers
Texture limoneuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire nette polyédrique fine
Porosité moyenne
Volume des vides faible entre agrégats
Matériau à consistance semi-rigide. Peu plastique
Peu collant, friable, très fragile
Racines qui pénètrent entre agrégats
Activité moyenne
Transition nette

- Horizon de 40 à 60 cm : se trouve à la capacité de rétention
Brun gris
Graviers
Texture limoneuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire très nette polyédrique fine
Porosité moyenne
Racines qui pénètrent entre agrégats
Activité moyenne
Transition nette

-- Horizon de 60 à 100 cm : se trouve à la capacité de rétention

Gris brun clair

Concrétions ferro-manganésifères

Taches ferrugineuses

Sans autres éléments

Texture limono-sableuse-argileuse

Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse

Peu poreux

Matériau à consistance malléable

Activité nulle

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 3

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,4 cm : croûte de battance compacte
 - Sans porosité
 - Couleur brun foncé
- Horizon de 0,4 à 30 cm : se trouve à la capacité de rétention
 - Brun gris, apparemment non organique
 - Taches ferrugineuses
 - Concrétions ferro-manganésifères
 - Très peu de graviers
 - Texture limoneuse à sable fin quartzeux
 - Structure fragmentaire grumeleuse fine
 - Porosité faible
 - Matériau à consistance semi-rigide. Peu plastique
 - Peu collant, friable, très fragile
 - Racines qui pénètrent entre agrégats
 - Activité faible
 - Transition très nette
- Horizon de 30 à 80 cm : se trouve sous la capacité de rétention
 - Grin brun clair
 - Taches ferrugineuses
 - Concrétions ferro-manganésifères nombreuses
 - Texture limono-sableuse argileuse
 - Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse grossière
 - Peu poreux
 - Matériau à consistance malléable
 - Transition nette

- Horizon de 80 à 100 cm : se trouve sous la capacité de rétention

Olive pâle

Concrétions ferro-manganésifères très nombreuses

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 4

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,2 cm : croûte de battance soufflée
Porosité fermée
Brun foncé

- Horizon de 0,2 à 40 cm : se trouve à la capacité de rétention
Brun gris foncé. Apparemment non organique
Taches ferrugineuses peu nombreuses
Peu de graviers
Texture limoneuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse fine associée à une structure fragmentaire grumeleuse
Porosité moyenne
Matériau à consistance semi-rigide
Peu plastique, peu collant, friable, très fragile
Racines qui pénètrent entre agrégats
Activité moyenne
Transition très nette

- Horizon de 40 à 100 cm : se trouve à la capacité de rétention
Gris brun clair
Taches ferrugineuses nombreuses
Concrétions ferro-manganésifères peu nombreuses
Peu de graviers
Texture limono-sableuse-argileuse
Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse grossière
Peu poreux
Matériau à consistance malléable

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 6

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,2 cm : croûte de battance compacte
Brun gris foncé
- Horizon de 0,2 à 20 cm
Humide
Brun gris foncé, apparemment non organique
Peu de graviers
Texture limoneuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse fine
Porosité faible
Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique
Peu collant, friable, très fragile
Racines qui pénètrent entre agrégats
Activité moyenne
Transition nette
- Horizon de 20 à 30 cm (zone de lessivage) : se trouve à la capacité de rétention
Gris brun clair
Taches ferrugineuses nombreuses
Transition nette
- Horizon de 30 à 60 cm : se trouve à la capacité de rétention
Brun foncé apparemment non organique
Texture limoneuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse fine
Porosité moyenne

Porosité moyenne

Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique

Peu collant, friable, très fragile

Bonne activité

Transition nette

- Horizon de 60 à 100 cm : se trouve à la capacité de rétention

Brun foncé

Peu de graviers

Texture limono-sableuse-argileuse

Structure fragmentaire polyédrique grossière

Bonne porosité

Matériau à consistance malléable plastique

Collant, non friable, peu fragile

Bonne activité

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 7

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,2 cm : croûte de battance soufflée

Brun gris foncé

- Horizon de 0,2 à 40 cm

Légèrement humide

Brun gris foncé, apparemment non organique

Peu de graviers

Texture limoneuse à sable fin quartzeux

Structure fragmentaire grumeleuse fine

Peu poreux

Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique

Peu collant, friable, très fragile

Racines qui pénètrent entre agrégats

Activité faible

Transition graduelle

- Horizon de 40 à 80 cm

Légèrement humide

Brun gris foncé

Taches ferrugineuses

Texture limoneuse à sable fin quartzeux

Structure fragmentaire polyédrique fine

Poreux

Matériau à consistance semi-rigide, peu plastique

Peu collant, friable, très fragile

Activité moyenne

Transition graduelle

- Horizon de 80 à 100 cm

Brun gris foncé

Taches ferrugineuses

Concrétions ferro-manganésifères

Texture limono-sableuse-argileuse

Structure fragmentaire polyédrique grossière

Peu poreux

Matériau à consistance malléable

Collant, non friable, peu fragile

Activité moyenne

PROFIL PEDOLOGIQUE PARCELLE 9

Description des horizons

- Horizon de 0 à 0,4 cm : croûte de battance compacte
Brun foncé

- Horizon de 0,4 à 40 cm
Très humide
Brun foncé à débris organiques
Graviers
Texture limono-argileuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire polyédrique sub-anguleuse fine
Peu poreux
Matériau à consistance malléable, plastique
Collant, non friable, peu fragile
Racines qui pénètrent entre agrégats
Chevelu dense
Activité moyenne
Transition très nette

- Horizon de 40 à 80 cm
Très humide
Brun jaune
Texture limono-argileuse à sable fin quartzeux
Structure fragmentaire polyédrique fine
Poreux
Matériau à consistance malléable, plastique, collant, non friable, peu fragile
Activité nulle
Transition nette

- Horizon de 80 à 100 cm

Humide

Brun jaune

Taches ferrugineuses

Concrétions ferro-manganésifères

Texture limono-argileuse à sable fin quartzeux

Structure fragmentaire polyédrique grossière

Très peu poreux

Matériau à consistance malléable, plastique, collant, non friable, peu fragile

Activité nulle

Un certain nombre d'analyses physiques et chimiques ont été effectuées au Laboratoire de l'I.N.R.A. à ARRAS (cf. feuilles en annexe 9). D'autres opérations (proctor, limites d'Atterberg, capacité de rétention) ont été réalisées par nous-mêmes ainsi que les densités et perméabilités dont il sera question dans un autre paragraphe. Avant de développer les résultats obtenus par notre étude sur les différentes parcelles, nous devons décrire de façon précise l'état physique et chimique de chaque sol.

4.4.3. - Les analyses physiques

Nous allons passer en revue successivement la granulométrie, la stabilité structurale, les essais proctor, les limites d'Atterberg et la capacité de rétention.

- La granulométrie

Sur le diagramme de texture GEPPA (1966) (voir croquis en annexe 10), nous voyons que les sols sont groupés sur une plage ayant pour limites :

- teneur en limons : 63 % à 77 %
- teneur en argile : 8,6 % à 23,2 %

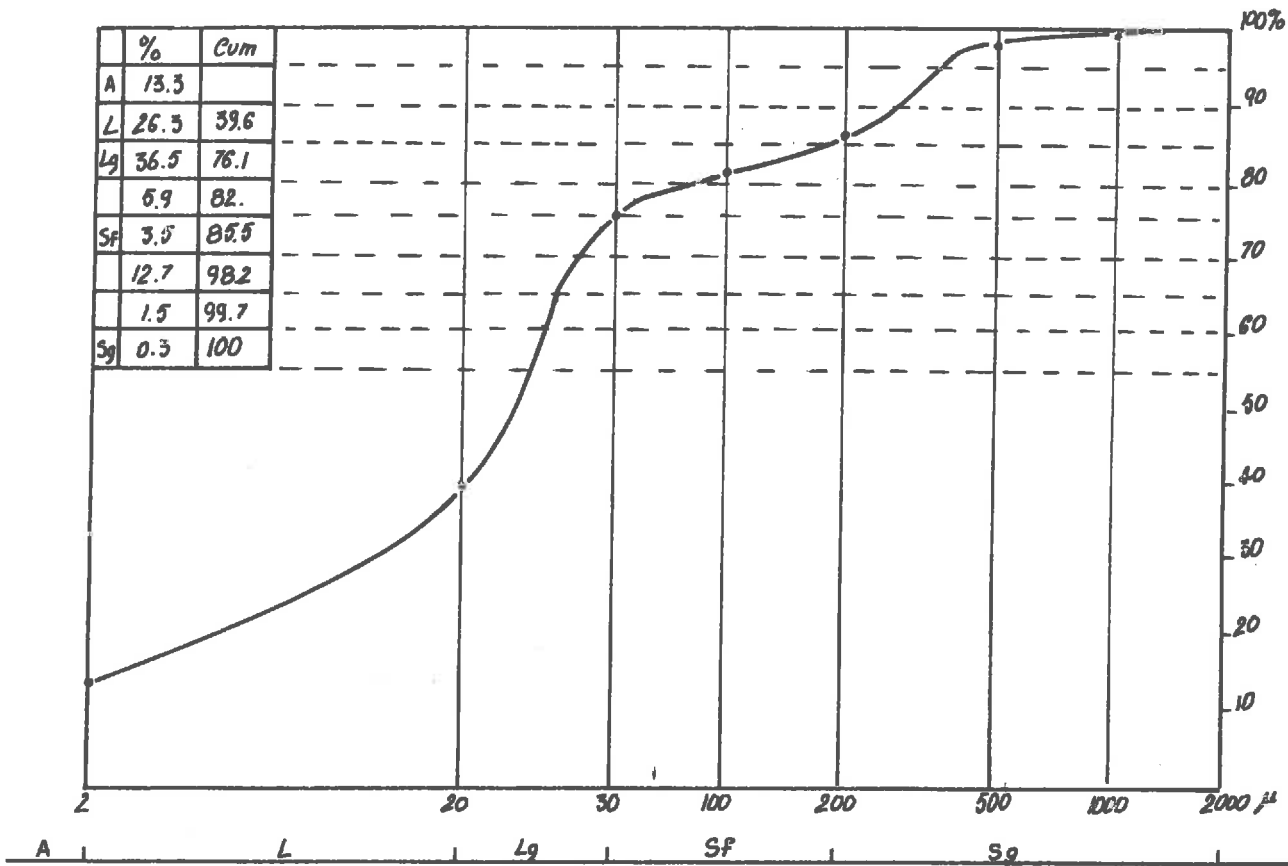
Elle correspond à des textures moyennes limoneuses :

- en ce qui concerne les parcelles n^os 2, 4, 8, 7, 3 classe L (texture "limoneuse")
- en ce qui concerne les parcelles n^os 10, 6, 1 classes I_{sa} (texture "de limon sablo-argileux") classe LL (texture "de limon"), I_s (texture "de limon sableux").

Les textures comprises dans les trois dernières classes tendent vers la classe L (texture "limoneuse").

La plage définie plus haut déborde sur la texture lourde en ce qui concerne la parcelle n° 9 classée La (texture "de limon argileux").

Nous avons tracé les courbes cumulatives correspondant à chaque granulométrie (cf. annexe 11). Le graphique ci-dessous exprime bien le classement existant.



Granulométrie - Courbes cumulatives
Moyenne des résultats

Les valeurs ayant servi à dresser ce graphique sont les moyennes calculées sur l'ensemble des neuf parcelles. On remarque une rupture de pente indiquant une forte teneur en limons grossiers et une teneur relativement faible en sables fins.

- La stabilité structurale

La structure d'un sol est plus ou moins instable, c'est-à-dire plus ou moins sensible à l'action des facteurs externes. Il importe donc, dans la perspective de notre étude, de déterminer cette sensibilité (cf. paragraphe 4.3.1.2.) Il apparait sur le graphe d'après HENIN (cf. annexe 12) que les indices de stabilité des différentes parcelles sont assez bien groupés.

Le niveau de l'indice global de stabilité est très bas :

- . parcelle n° 1 - $\xi = 1,25$
- . parcelle n° 2 - $\xi = 1,23$
- . parcelle n° 3 - $\xi = 1,18$
- . parcelle n° 4 - $\xi = 1,12$
- . parcelle n° 6 - $\xi = 1,20$
- . parcelle n° 7 - $\xi = 1,38$
- . parcelle n° 8 - $\xi = 1,18$
- . parcelle n° 9 - $\xi = 1,20$
- . parcelle n° 10 - $\xi = 1,17$

- Les essais proctor

L'essai de compactage réalisé en laboratoire est l'ensemble des opérations mécaniques qui aboutissent à l'augmentation de la densité d'un sol, ce qui augmente la compacité, resserre les éléments de la texture du matériau, réduit les risques de déformation du terrain et augmente sa capacité portante.

Lors des essais, on agit avec une énergie connue, la teneur en eau du sol étant variable.

On détermine la densité sèche γ_s pour chaque humidité de sol ayant subi ce compactage. On porte sur un graphe les densités sèches γ_s en fonction des humidités W et l'on appelle optimum Proctor le point correspondant au maximum de densité sèche.

Sur le versant gauche de la courbe ("versant sec") le volume des lacunes est occupé par de l'eau et de l'air. Pour les états définis par le versant droit (dit "mouillé"), l'eau occupe presque l'ensemble de la porosité, ce qui facilite les déformations par cisaillement.

Sur le même graphique, on trace la courbe de saturation qui relie la densité sèche à la teneur en eau nécessaire pour saturer le matériau. On constate que les diverses courbes de compactage sont sensiblement asymptotiques à cette courbe de saturation dans la branche des humidités élevées (cf. annexe 13).

Sur le tableau qui suit figurent les densités sèches maximales par ordre croissant. Plus la densité sèche maximale de l'optimum proctor est faible, plus le sol est sensible au compactage lors d'une augmentation de la teneur en eau.

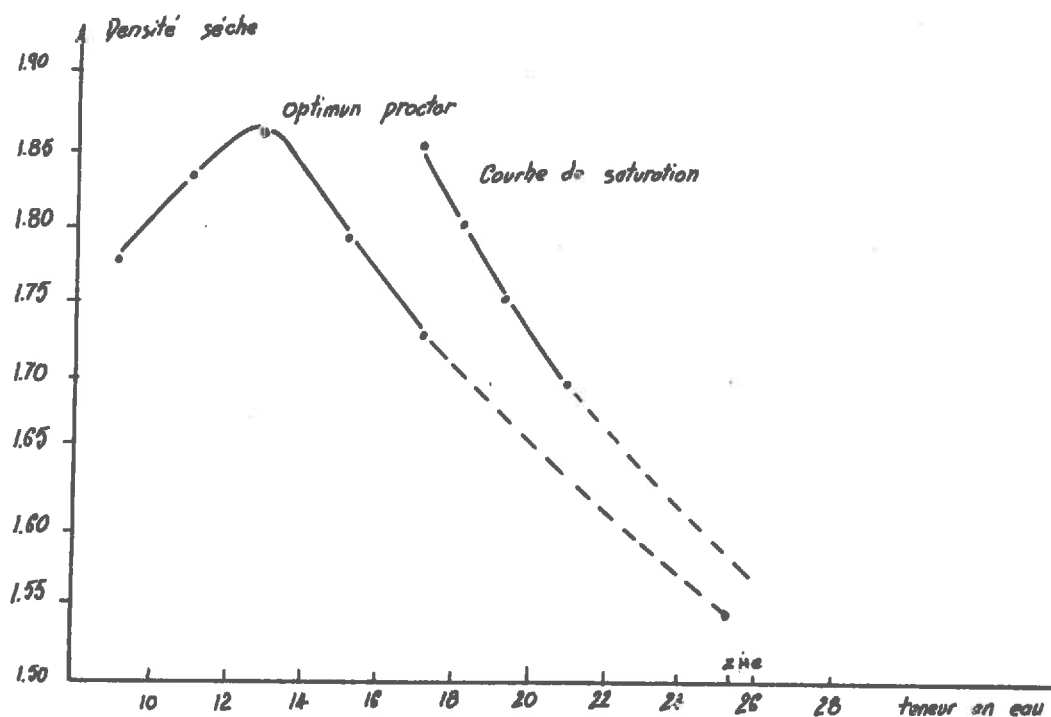
N° de la parcelle	7	3	6	1	10	8	4	9	2
Densité sèche maximale	1,73	1,76	1,78	1,80	1,80	1,80	1,84	1,85	1,87
Teneur en eau optimale	14	14	12,8	12,5	12,1	14	12,5	13	12,6

Les variations de la teneur en eau optimale sur différents sols étant de 10 à 30 % on peut dire que nos valeurs sont groupées. De même pour les densités sèches dont l'échelle s'étire de 1,3 à 2.

Le tableau ci-après met en parallèle la teneur en eau de l'optimum Proctor et l'humidité équivalente.

N° de la parcelle	1	2	3	4	6	7	8	9	10
Humidité équivalente	24	26,17	28,4	23,85	27,41	26,86	24,83	24,09	25,41
Teneur en eau de l'optimum Proctor	12,5	12,5	14	14	12,5	14	13	13	11,5

On remarque que pour chaque cas, la valeur de l'humidité équivalente est à droite de l'optimum Proctor. Cela signifie que pour de faibles pressions, un tel sol à la capacité au champ risque d'entrer en liquidité. Le schéma ci-après montre que pour une densité inférieure à 1,7 nous arrivons à une teneur en eau égale à l'humidité équivalente, valeur se rapprochant de la courbe de saturation.



Le schéma ci-dessus et la lecture des courbes font apparaître que les réponses au compactage au champ sont voisines pour les différentes parcelles.

- Les limites d'Atterberg

En déterminant les limites de plasticité et de liquidité d'un sol, on peut connaître son indice de plasticité. Cela nous indique les intervalles d'humidité à l'intérieur desquels le sol doit se trouver pour que l'on puisse aisément le travailler.

La détermination de l'indice se fait à l'aide d'un graphique (cf. fiches des limites annexe 14) sur lequel les limites de liquidité et de plasticité sont calculées. Le tableau ci-après nous donne les indices que nous avons mesurés et classés par ordre croissant.

N° de la parcelle	1	6	10	7	3	8	2	4	9
Indice de plasticité	3	3,81	4,46	4,95	5,12	5,28	5,41	5,51	7,42
Limite de liquidité	19,50	20,50	20,70	21,90	21,75	22,50	21,60	21,50	25,20
Limite de plasticité	16,69	16,69	16,24	16,95	16,63	17,22	16,29	15,99	17,78

Pour différents sols, l'indice de plasticité peut varier dans les intervalles :

- 0 - 5 sol non plastique
- 5 - 15 sol modérément plastique
- 15 - 40 sol plastique
- > 40 sol très plastique

Nous avons donc des indices de plasticité bien groupés, les différents sols de l'étude ont pratiquement le même intervalle d'humidité à l'intérieur duquel le sol se travaille facilement.

- Capacité de rétention

La méthode de mesure a été définie au paragraphe 4.3.11. L'humidité à la capacité de rétention (Hcr) correspond sensiblement à la quantité maximale d'eau capillaire retenue par le sol. En réalité, nos mesures ont été faites en laboratoire, et l'on a déterminé l'humidité équivalente (He). Ces deux valeurs He et Hcr sont voisines, aussi nous admettons qu'elles expriment toutes les deux la quantité maximale d'eau capillaire retenue par le sol.

L'humidité à la capacité de rétention ou l'humidité équivalente sont exprimées en pourcentage du poids de terre sèche. Ces valeurs nous ont servi pour calculer les doses pratiques d'arrosage par horizon (cf. paragraphe 3.3.).

L'humidité équivalente est une caractéristique du sol dépendant de la granulométrie et de la teneur en matières organiques. Comme il s'agit approximativement de la quantité maximale d'eau capillaire retenue par le sol, on peut déterminer la porosité capillaire des sols et la porosité non capillaire. Pour cela, il faut connaître la porosité totale.

Porosité totale :

$$\text{Pot} = \frac{V_e}{V} = \frac{dr - da}{dr}$$

Pot = porosité totale

V_e = volume des lacunes

dr = densité réelle

V = volume total

da = densité apparente

$$\text{Pot \%} = 100 \times \frac{dr - da}{dr}$$

Humidité à la capacité totale pour l'eau :

$$H_{CT} = 100 \frac{dr - da}{dr \times da}$$

donc

$$Pot = H_{CT} \times da$$

Humidité capillaire = humidité à la capacité de rétention (He)

donc

$$Poc = He \times da$$

Poc = porosité capillaire

Pour ces calculs, nous avons pris pour la densité apparente (da) les valeurs trouvées lors des mesures à la sonde TROXLER dans l'horizon 0 - 5 cm et pour dr la valeur calculée lors des essais Proctor soit $\approx 2,66$.

Ainsi, nous avons pu établir un tableau (cf. ci-après), qui indique pour chaque parcelle, l'humidité équivalente et les porosités : totale, non capillaire et capillaire.

N° de la parcelle	1	2	3	4	6	7	8	9	10
da	1,5	1,35	1,35	1,30	1,35	1,29	1,45	1,55	1,25
He (%)	24	26,17	28,4	23,85	27,41	26,86	24,83	24,09	25,41
Porosité totale	42	48	48	50	48	50	44	40	51
Porosité capillaire	36	35,33	38,34	31,01	37	34,65	36	37,34	31,76
Porosité non capillaire	6	12,67	9,66	18,99	11	15,35	8	2,66	19,24

La porosité capillaire correspond à la micro-porosité, c'est-à-dire au volume des pores capillaires de $\phi < 8 \mu$ (cf. Duchaufour II III 2). La porosité non capillaire correspond à la macro-porosité, c'est-à-dire au volume des pores grossiers de $\phi > 8 \mu$. Nous voyons ici que la porosité totale varie très peu et est assez basse. Elle est représentée presque uniquement par la micro-porosité.

Les caractéristiques que nous venons de décrire, expliquent les phénomènes d'engorgement de certains horizons qui ont été signalés dans la description pédologique.

4.4.4. - Les analyses chimiques

Les résultats analytiques sont rassemblés en annexe 9. A partir de ces résultats on peut établir le tableau synoptique suivant.

N° de la parcelle	1	2	3	4	6	7	8	9	10
C/N	7,89	7,21	7,73	7,45	8,52	8,69	7,28	7,15	8,54
Tne/100	4,6	7,8	5,3	5,8	5,1	5,4	6,4	9,3	5,4
Sme/100	3,39	7,88	4,33	4,37	4,83	2,92	6,23	9,65	4,25
V %	74	101	79	75	95	54	97	104	79
Insaturation %	26	saturé	21	25	5	46	3	saturé	21
T/A	0,53	0,46	0,45	0,37	0,52	0,49	0,48	0,40	0,58
Ice=K	2,72	7,41	4,67	1,90	3,79	3,87	2,61	6,04	3,24
Ice=Mg	3,74	4,42	5,72	3,88	6,02	3,38	5,82	9,94	2,66
Mg/K	2,75	1,19	2,45	4,08	3,17	1,75	4,47	3,29	1,65
Ca/Mg	6,14	10,81	4,65	7,55	5,21	5,24	6,84	5,63	11,21

C/N le rapport carbone sur azote, indique le niveau de décomposition de la matière organique

T capacité totale d'échange ; c'est la quantité maximale de cations pouvant être fixés par le sol ; elle est exprimée en milli-équivalents pour 100 g de terre fine sèche

S quantité totale de cations métalliques effectivement retenus en milli-équivalents pour 100 g de terre fine sèche

$$V = \frac{S \times 100}{T} = \text{taux de saturation}$$

Insaturation = 100 - V si insaturation < 0 le complexe absorbant est saturé

$\frac{T}{A}$ rapport de la capacité totale d'échange sur la teneur en argile

Ice = K indice de niveau de potassium

Ice = Mg indice de niveau de magnésium

Remarque : Pour l'interprétation des teneurs en cations échangeables notamment K et Mg, il convient d'avoir une base de référence prenant en compte la capacité d'échange

Nous avons appliqué les indices suivants (selon J. DUPRAT - Ingénieur en Chef d'Agronomie - C.T.G.R.E.F. BORDEAUX) :

- pour le potassium

$$\text{Ice K} = \frac{100 K^{\text{ne}} \times 2,8}{\text{Ce} + 12}$$

- pour le magnésium

$$\text{Ice Mg} = \frac{100 \text{Mg}^{\text{ne}} \times 1,4}{\text{Ce} + 12}$$

Les valeurs correspondent :

- pour le potassium à $\frac{K_2 O}{A+20}$

(argile supposée à 60 me pour 100 g)

- pour le magnésium l'indice donne les mêmes valeurs que le potassium lorsque la teneur exprimée en me est double de celle de ce dernier

Ces indices varient de 4 à 8,5 :

au-dessous de 4	très pauvre
de 4 à 6	pauvre
de 6 à 8,5	moyen
> 8,5	satisfaisant

ce qui correspond aux normes proposées par la S.C.P.A. (cf. La Potasse n° 337),
cf. également J. SEGUY - Note générale sur la fertilisation C.A.C.G. - 1967 et
M. CRAHET - L'interprétation des analyses de sols - E.N.S.A. GRIGNON 1968

Le rapport $\frac{Mg}{K} = 2$ étant considéré comme souhaitable (les teneurs optimales
varient selon les auteurs entre 1,6 et 2,5)

Le rapport $\frac{Ca}{Mg}$ pour être satisfaisant doit appartenir à l'intervalle 6 - 8
(cf. J. SEGUY et CRAHET). L'interprétation, qui peut, lorsque le rapport est fai-
ble, traduire un excès de Mg, varie selon les livres et les auteurs.

Le rapport C/N varie suivant l'état d'évolution de la matière organique :

C/N = 15 à 25	matière organique mal décomposée
10 à 15	bon niveau
< 10	sols minéralisés à faible teneur en matière organique

Dans tous les cas qui nous occupent, C/N < 10, pour des teneurs en matière
organique toujours faibles.

La capacité totale d'échange peut varier de 0 à 30 d'après la littérature, avec les appréciations suivantes :

T = 0 à 6	très faible
6 à 10	faible
10 à 20	moyenne
20 à 30	élevée
> 30	très élevée

Les sols des parcelles n° 1, 3, 4, 6, 7, 10 sont dans la catégorie très faible, ceux des parcelles n° 2, 8, 9 sont dans la catégorie faible. La classification au niveau de la quantité totale de cations retenus (S) est la même.

Pour le taux de saturation $V = \frac{S \times 100}{T}$ on adopte en général l'échelle suivante :

V = 0 à 20	très faible
20 à 40	faible
40 à 60	moyenne
60 à 80	élevée
80 à 100	très élevée

La parcelle n° 7 est dans la catégorie moyenne, les parcelles n° 1, 3, 4, 10 sont dans la catégorie élevée et les parcelles n° 2, 6, 8, 9 sont dans la catégorie très élevée.

Le rapport T/A est pour tous les sols $< 0,6$, ce qui les place dans la classe très faible.

A partir des résultats de toutes ces données ayant rapport au complexe absorbant, on peut apprécier la fraction argileuse des sols. En effet, les faibles résultats que nous venons d'indiquer laissent supposer que la classe granulométrique de $\phi < 2 \mu$ contient des minéraux peu actifs. Ceci est confirmé par des études faites à l'extérieur (C.A.C.G. - I.N.R.A. BORDEAUX) qui font ressortir pour des sols de boubènes, la présence dans cette fraction d'une part relativement importante constituée par de la kaolinite, de la chlorite et même du quartz.

La fraction argileuse a relativement peu de propriétés colloïdales, la montmorillonite et les minéraux gonflants se manifestent dans la fraction $< 0,2 \mu$ mais leur proportion est probablement très faible et ne peut assurer efficacement la fonction de liant vis-à-vis de 50 à 70 % de limons totaux.

Le niveau de potassium : Ice K :

- les parcelles n° 1, 4, 6, 7, 8, 10 sont dans la catégorie très pauvre
- la parcelle n° 3 est dans la catégorie pauvre
- les parcelles n° 2, 9 sont dans la catégorie moyen

Le niveau de magnésium : Ice Mg

- les parcelles n° 1, 4, 7, 10 sont dans la catégorie très pauvre
- les parcelles n° 2, 3, 8 sont dans la catégorie pauvre
- la parcelle n° 6 est dans la catégorie moyen

Rapport $\frac{Mg}{K}$

L'équilibre est en général satisfaisant, compte tenu que les sols de France présentent de larges variations autour de l'optimum que nous avons signalé.

5 - LES RESULTATS

Les sept parcelles utilisées pour l'étude n'ont pas été traitées de la même façon pour l'irrigation. Aussi, afin de pouvoir faire des comparaisons, nous allons décrire les résultats par groupes de parcelles, selon le mode d'arrosage :

- groupe de parcelles arrosées par un canon mobile (enrouleur ou dérouleur)
- groupe de parcelles arrosées par une ligne mobile
- groupe de parcelles non arrosées dit groupe témoin sec

5.1. - Parcelles arrosées par des canons automoteurs mobiles sans distinction de type

Le matériel appartenant à ce groupe a été décrit aux paragraphes 3.2.1. et 3.2.2.

5.1.1. - Rappel des parcelles

Le numéro désignant les parcelles (1, 2, 3, 4, 6) cf. paragraphe 2.1.2., est suivi d'un chiffre 1 ou 2 pour désigner les emplacements de mesures d'aspérimétrie ou d'une lettre minuscule a, b, c, d, e, f, pour désigner des emplacements d'observations. Ces groupes seront éventuellement suivis d'un chiffre de 1 à 5 pour préciser le numéro de l'observation. Ex 1.2.3 : parcelle 1, aspérimétrie sur emplacement 2, observation n° 3.

5.1.2. - Les perméabilités

Les cylindres pour les mesures de perméabilités (cf. description paragraphe 4.3.4.) ont été prélevés lors de l'élaboration des profils pédologiques.

Les prélèvements (faute de cylindres disponibles) n'ont été faits que sur cinq parcelles. En ce qui concerne le groupe que nous étudions actuellement (cannons mobiles), nous n'avons des mesures que sur trois d'entre elles : les parcelles 3, 4 et 6. Nous donnons les résultats en centimètre par heure (cm/h). Les mesures ont été faites sur l'horizon supérieur et inférieur, verticalement et horizontalement, soit pour chaque profil :

à une profondeur de 10 cm (la perméabilité verticale supérieure (VS)
) la perméabilité horizontale supérieure (HS)

à une profondeur de 50 cm (la perméabilité verticale inférieure (VI)
) la perméabilité horizontale inférieure (HI)

Résultats des mesures - Perméabilités en cm/h

Parcelles	3		4		6	
Direction du flux	V	H	V	H	V	H
Horizon supérieur (10 cm)	0,14	0,32	0,20	0,90	0,05	0,07
Horizon inférieur (50 cm)	5,58	0,32	4,10	0,01	4,60	0,30

On peut apprécier les valeurs mesurées d'après le tableau suivant (Duchaufour cf. Bibliographie) :

- < 2 cm/h mauvaise
- 2 à 3 cm/h médiocre à assez bonne
- 3 à 4 cm/h assez bonne à bonne
- > 4 cm/h bonne à très bonne

On remarque que la perméabilité verticale supérieure (VS) est très mauvaise) tandis que VI est bonne voire très bonne.

Par contre, la perméabilité HS est plus grande (quoique très mauvaise aussi) que la perméabilité HI (à l'exception du n° 6).

Nous verrons lors du paragraphe 5.1.4. que les résultats obtenus pour les horizons supérieurs peuvent s'expliquer par la configuration horizontale de la structure superficielle. Les résultats obtenus pour les horizons inférieurs laissent par contre supposer une direction verticale de la structure.

5.1.3. - Les densités

Les mesures ont été faites avec la sonde TROXLER (cf. description paragraphe 4.3.7.) ainsi qu'avec la méthode de laboratoire à la paraffine et à l'eau en ce qui concerne la détermination des densités des mottes et des croûtes.

Les mesures faites à la sonde TROXLER ont été réalisées à des profondeurs de 5, 10, 20 et 30 cm. A partir de ces données, nous avons tracé les courbes de densité pour chaque emplacement (cf. courbes annexe 18).

Les densités de croûtes figurent également sur ces courbes et correspondent aux points placés sur l'axe horizontal supérieur (0 cm).

Des mesures ont également été faites sur les mottes de surface.

Le tableau ci-dessous en donne les résultats.

Densités apparentes de mottes

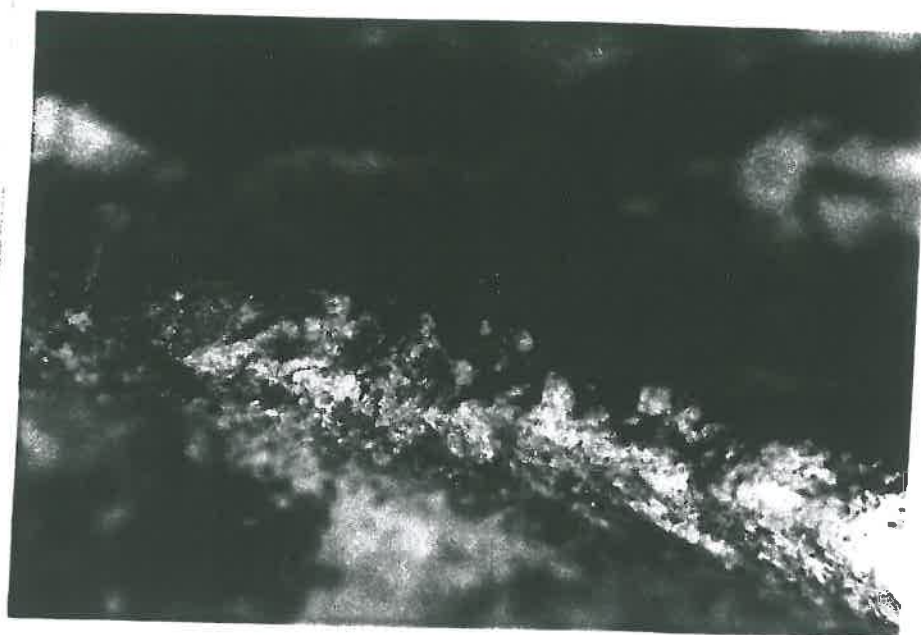
Parcelle	1	2	3	4	6
Densité	1,62	1,64	1,53	1,57	1,69

En ce qui concerne les densités de croûtes et celles qui sont prises à 5 cm de profondeur, on note des valeurs plus élevées pour les emplacements 1-a, 1-b et 1-2 que pour les autres. Ce n'est pas le cas dès les mesures prises à 10 cm. Pour la parcelle n° 3 (arrosée par un Minimat 63 Perrot) le phénomène est nettement inverse, ce qui paraît en liaison avec une différence d'intensité de la pluviométrie de l'ordre de 7 mm/h (pour le Perrot) et de 10 mm/h pour les Redoutables.

5.1.4. - Observation d'éléments structuraux à la binoculaire

A partir des échantillons d'éléments structuraux utilisés pour la détermination des densités (méthode à la paraffine) nous avons avec l'aide d'une binoculaire (cf. paragraphe 4.3.6.) observé la structure de ces éléments.

La photographie qui suit montre la coupe d'une croûte (grossissement x 60) prélevée sur la parcelle n° 1 à l'emplacement "a" qui se trouve sur le bord, donc en bout de portée du canon.

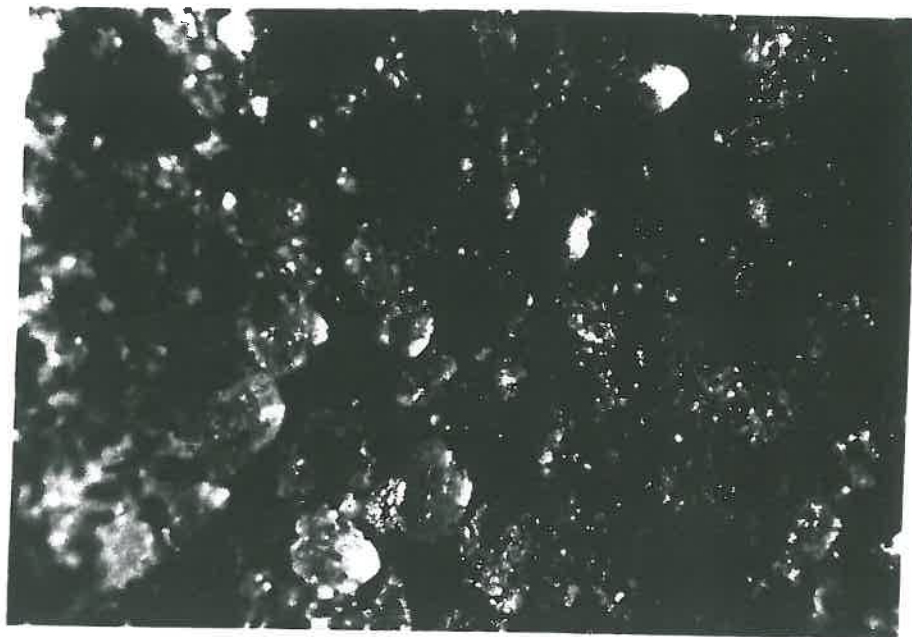


Photographie d'une coupe de croûte x 60

Nous observons une porosité moyenne (coupes de canalicules apparaissant comme des points noirs) et une structure feuilletée horizontale.

Ceci correspond à un classement des particules qui s'est réalisé alors que ces dernières se trouvaient en suspension dans une lame d'eau. Celle-ci s'est formée momentanément tandis que la pluviométrie dépassait les très faibles conductivités hydriques de l'horizon supérieur.

: Parcelles	: 3	: 4	: 6	:
: Pluviométries (mm/h)	: 7,20	: 8,92	: 6,66	:
: Perméabilités verticales S (mm/h)	: 1.4	: 2	: 0.5	:

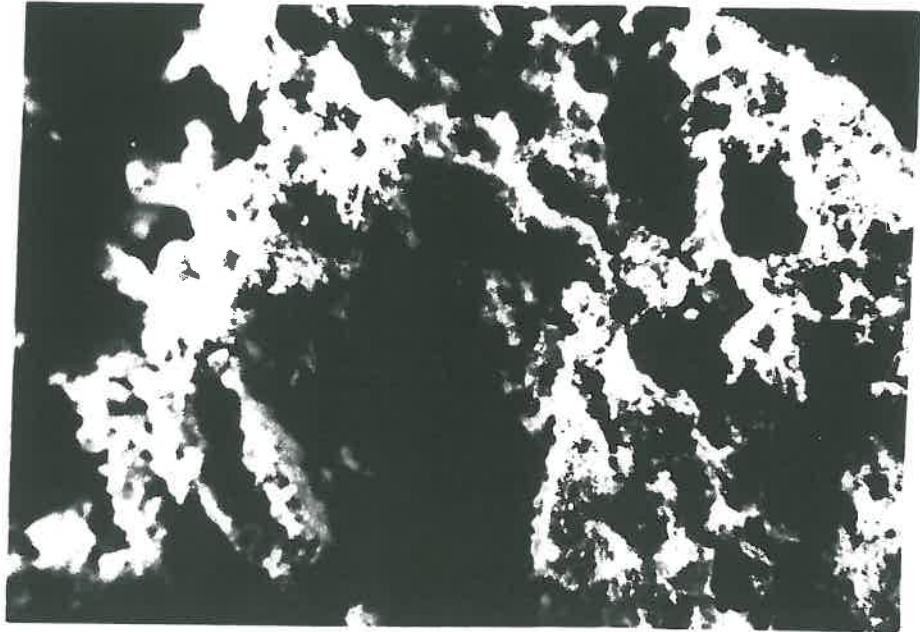


Photographie d'une surface de croûte x 250

La photographie ci-dessus montre la surface d'une croûte de battance (grossissement x 250) prélevée sur la parcelle n° 1 à l'emplacement "c", ce qui correspond au milieu de portée du jet du canon d'irrigation.

Nous voyons de gros grains ronds, quartzeux mais aussi de petits grains sub-anguleux ou parfois ronds.

Cet aspect des éléments semble bien confirmer l'hypothèse émise lors du paragraphe 2.5.3.7. qui suppose une origine éolienne aux boubènes.



Photographie de la coupe d'une croûte x 60

La photographie ci-dessus montre la coupe d'une croûte de battance (grossissement x 60) prélevée sur la parcelle n° 4 à l'emplacement "2" qui correspond à une zone de recouvrement de l'aspersion. Nous observons une porosité importante mais fermée. Elle ne débouche sur rien. La surface de cette croûte est imperméable et les horizons sous-jacents sont peu poreux. Leur porosité est essentiellement capillaire. De l'état de la porosité découle l'aération du sol, la circulation de l'eau et l'intensité du lessivage.

Sur les sols étudiés nous avons constaté quelques jours après l'arrosage une saturation totale par l'eau des pores du sol dans les horizons superficiels. Une faible pression de la main à la surface du sol suffit à faire sourdre de l'eau.

L'on observe parfois des signes de réduction dans ces mêmes horizons. D'une part la progression verticale de l'eau est lente, compte-tenu de la faible dimension de la porosité à laquelle correspondent les conductivités hydriques VS signalées en 5.1.2. ; d'autre part, malgré une conductivité satisfaisante au-dessous, il semble que de l'air emprisonné gêne la progression de l'eau. Une hypothèse émise sur l'efficacité du drainage enterré dans les boubènes concerne en effet la décompression de l'air (cf. 2.3.3.6.).

5.1.5. - Essai de détermination de la taille des gouttes

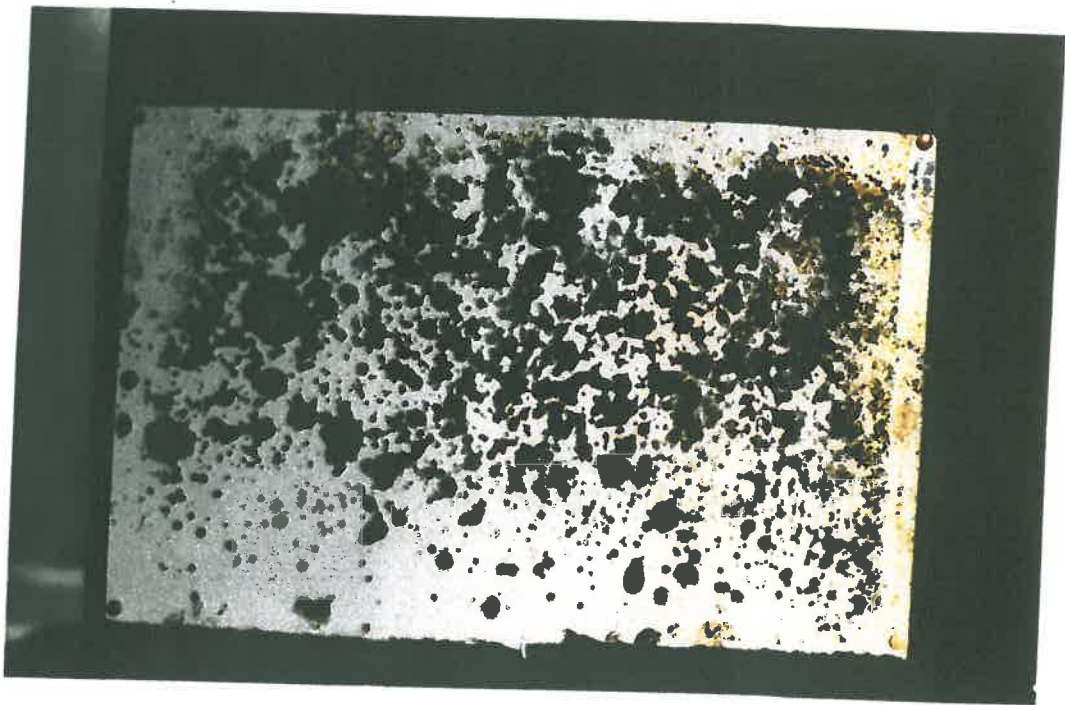
Avec le système décrit au paragraphe 4.3.3., nous avons essayé de connaître la taille des gouttes le long du jet du canon. Seuls le Minimat 63 Perrot et le microenrouleur \emptyset 50 ont été testés car ils étaient également utilisés sur des cultures basses, ce qui est indispensable pour l'essai. Il n'a pas été possible d'opérer sous les sprinklers ni sous les Redoutables arrosant uniquement du maïs.

Les feuilles de relevés d'impacts des gouttes ont été photographiées. Nous avons retenu comme photographies figurant dans ce rapport, celles obtenues lors de l'essai avec le Minimat 63 Perrot.

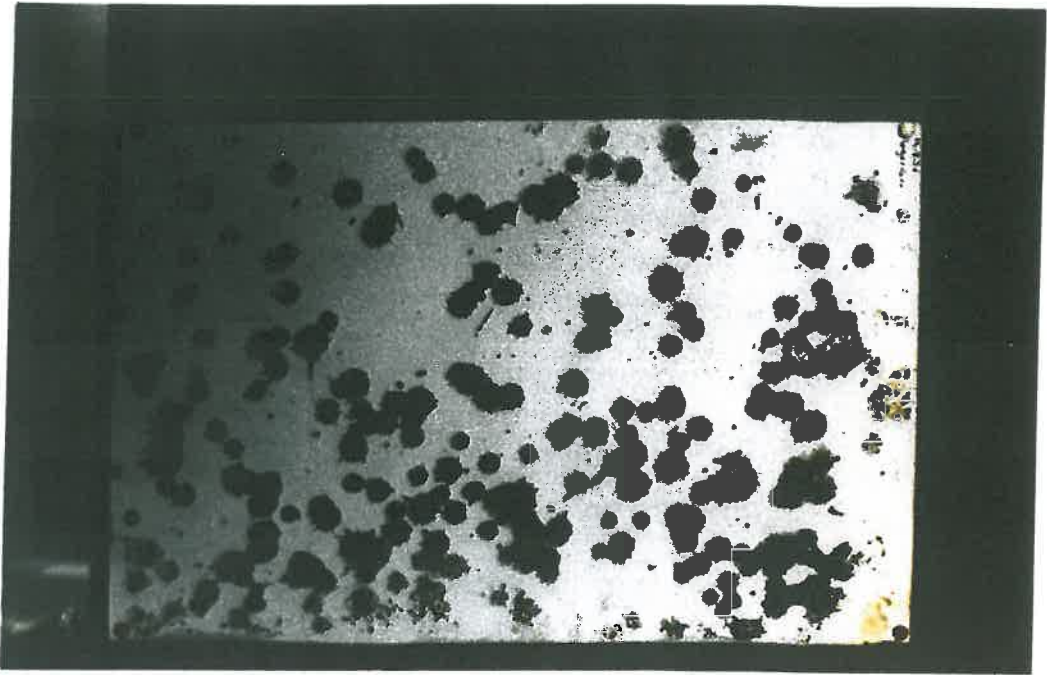
La méthodologie est celle décrite en 4.3.3. ; nous présentons quatre photographies représentant les impacts des gouttes sur la feuille de buvard à différentes distances du canon mais prises toujours perpendiculairement au sens de l'avancement.



Photographie 1
Feuille d'impact des gouttes à 8 m du canon
Pression au canon = 5,4 bars



Photographie 2
Feuille d'impact des gouttes à 12 m du canon
Pression au canon = 5,4 bars



Photographie 3
Feuille d'impact des gouttes à 20 m du canon
Pression au canon = 5,4 bars



Photographie 4
Feuille d'impact des gouttes à 20 m du canon
Pression au canon = 3,5 bars

Les résultats que nous obtenons ne donnent en réalité qu'une représentation du diamètre apparent des gouttes. Ce dernier est fonction du diamètre réel des gouttes, de leur vitesse, de l'angle d'impact et des caractéristiques du papier buvard. Par conséquent, il n'y a pas de relation simple qui relie la trace des gouttes et leur diamètre réel.

On observe sur le premier cliché que les taches sont petites, nombreuses et pratiquement de la même taille. Dans la zone de 0 à 8 m on peut dire que c'est plus l'effet du marteau sur le jet qui joue que le diamètre de la buse.

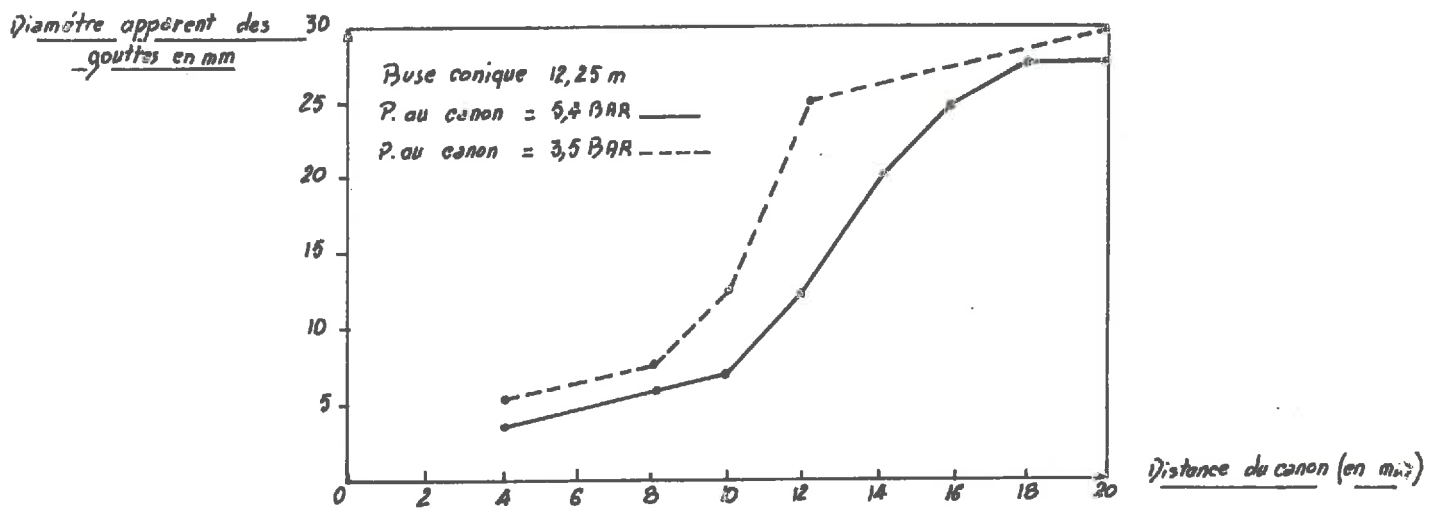
La deuxième photographie montre une mesure faite à 12 m du canon. Nous sommes dans la zone où le jet est continu et nous observons que le diamètre des gouttes est plus grand.

Le relevé d'impacts de la troisième photographie a été réalisé à 20 m du canon. Nous sommes toujours dans la zone où le jet est continu. Les gouttes sont moins nombreuses mais leur diamètre a fortement augmenté.

Lors de ces trois premiers relevés d'impacts, le canon fonctionnait avec un surpresseur ; pression au canon : 5,4 bars.

Pour la quatrième, toujours à la même distance du canon (20 m), le surpresseur a été arrêté et la pression au canon est tombée à 3,5 bars. Les gouttes sont un peu moins nombreuses du fait de la diminution de portée, mais elles ont un diamètre encore plus grand.

Sur les feuilles de buvard d'un certain nombre d'essais, nous avons mesuré les taches d'impact (diamètre apparent des gouttes) et nous les avons portées sur une courbe en même temps que les différentes distances au canon auxquelles ont été faits les essais (cf. courbe ci-après).



Au vu de ce graphique, nous pouvons dire que le diamètre des gouttes augmente avec la distance qui les sépare du canon, qu'il diminue en même temps que la pression augmente, donc également que le diamètre de la buse utilisée est plus petit.

5.1.6. - Comparaison des résultats d'essais sur banc du Rain Gun 105 C équipant les Redoutables avec la pluviométrie enregistrée sur parcelles

A l'aide de pluviométries, nous avons sur chaque parcelle, déterminé la quantité d'eau arrivant sur le sol à différents stades du maïs et nous avons tracé les courbes (cf. annexe 15). La pluviométrie du Rain Gun 105 C n'a pas vraiment varié.

Pour le Komet 163 équipant le Minimat 63 Perrot, nous remarquons des différences assez importantes ; elles sont dues à des apports d'eau moins importants résultant de l'augmentation de la vitesse d'avancement du canon, celui-ci ne fonctionnant plus à vitesse lente. Pour ce canon, ainsi que pour le Rain Bird 85 C équipant le Micro-enrouleur 50 Irrifrance, et dont les pluviométries sur parcelle figurent en annexe 15, nous ne disposons pas de résultats d'essais sur banc.

Pour le Rain Gun 105 C nous avons des courbes faites à partir d'observations sur les parcelles n^os 1, 2, 4. Les conditions d'utilisation étaient sensiblement les mêmes. Les variations de courbes proviennent du fait que certains arrosages se sont déroulés alors que soufflait un vent fort.

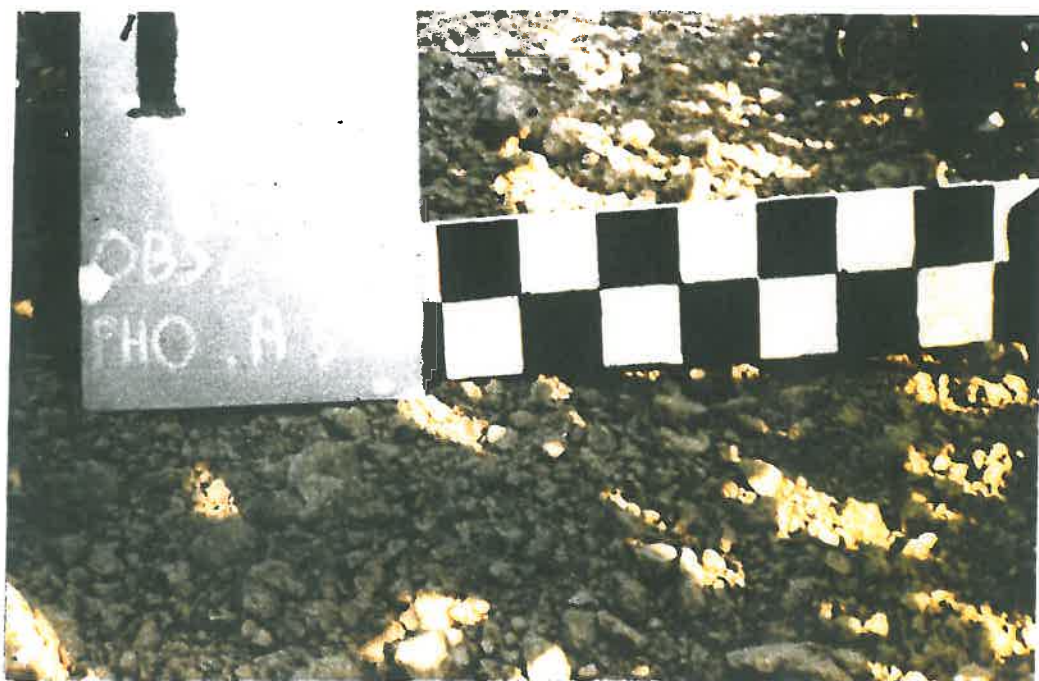
A l'ensemble de ces courbes est associée une courbe témoin qui correspond à la pluviométrie mesurée sur banc d'essai au C.T.G.R.E.F. du THOLONET. En comparant cette dernière aux autres, nous observons que la courbe témoin montre une plus grande pluviométrie de 0 à 37 m du canon. A partir de cette distance, les courbes sont similaires. Sur les courbes de pluviométries enregistrées sur parcelle, cette rupture que l'on voit sur la courbe témoin à la distance de 37 m n'apparaît pas.

Nous constatons, à partir de ces observations, une bonne répartition de la pluviométrie au sol sur toute la portée du canon.

5.1.7. - Discussions des observations photographiques

Sur un certain nombre d'emplacements, désignés par les lettres de "a" à "f", nous avons procédé à des observations visuelles de la dégradation de la structure de surface, accompagnées de prises photographiques. Elles ont été réalisées avant le début de la saison d'irrigation, puis après chaque irrigation, et en fin de saison pour conclure.

Les photographies qui suivent pour un emplacement donné, sont classées par ordre chronologique.



Parcelle 1 "Redoutable" (M. LABEAU)
Emplacement a (5 observations)
1 - a - 1
(avant la saison d'irrigation : 20.06.76)



1 - a - 2
(après le 1er arrosage : 28.06.76)



1 - a - 3
(après le 2ème arrosage : 7.07.76)



1 - a - 4
(après le 3ème arrosage : 29.07.76)



1 - a - 5
(après le 4ème arrosage : 8.09.76)



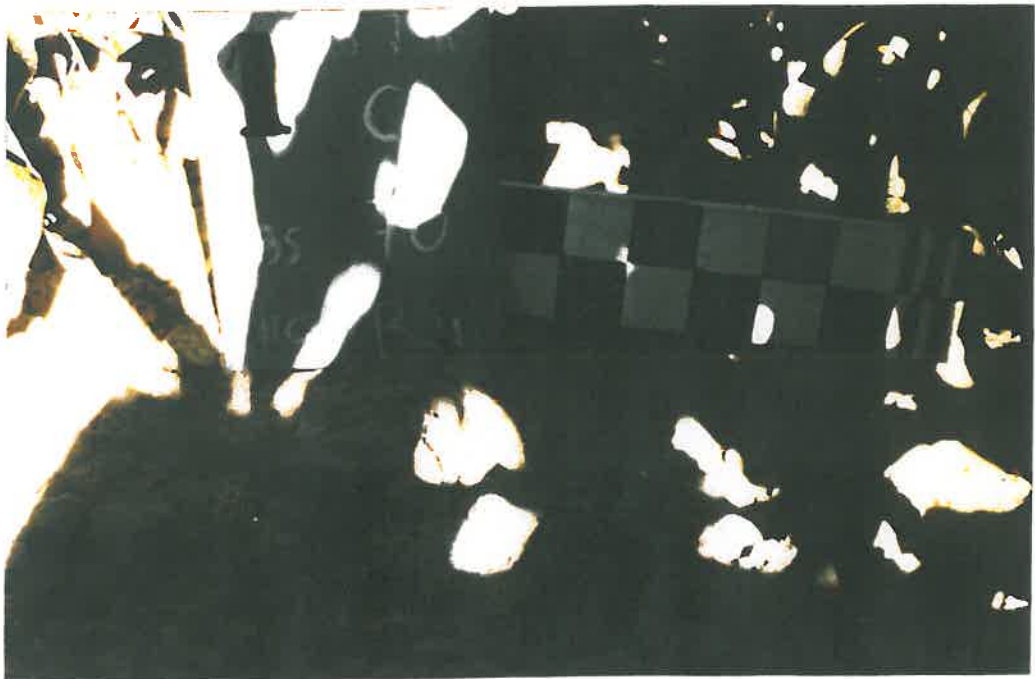
Parcelle 1 Emplacement "c"
(5 observations)
1 - c - 1
(avant la saison d'irrigation : 25.06.76)



1 - c - 2
(après le 1er arrosage : 28.06.76)



1 - c - 3
(après le 2ème arrosage : 7.07.76)



1 - c - 4
(après le 3ème arrosage : 29.07.76)



1 - c - 5
(après le 4ème arrosage : 8.09.76)



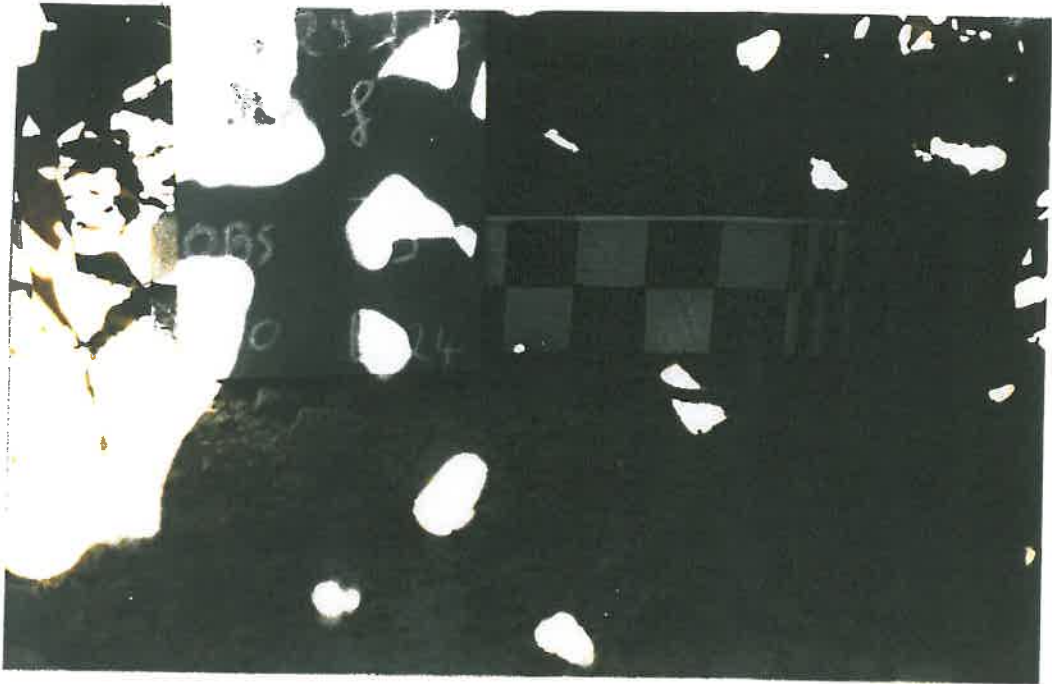
Parcelle 1 emplacement "f"
(5 observations)
1 - f - 1
(avant la saison d'irrigation : 25.06.76)



1 - f - 2
(après le 1er arrosage : 28.06.76)



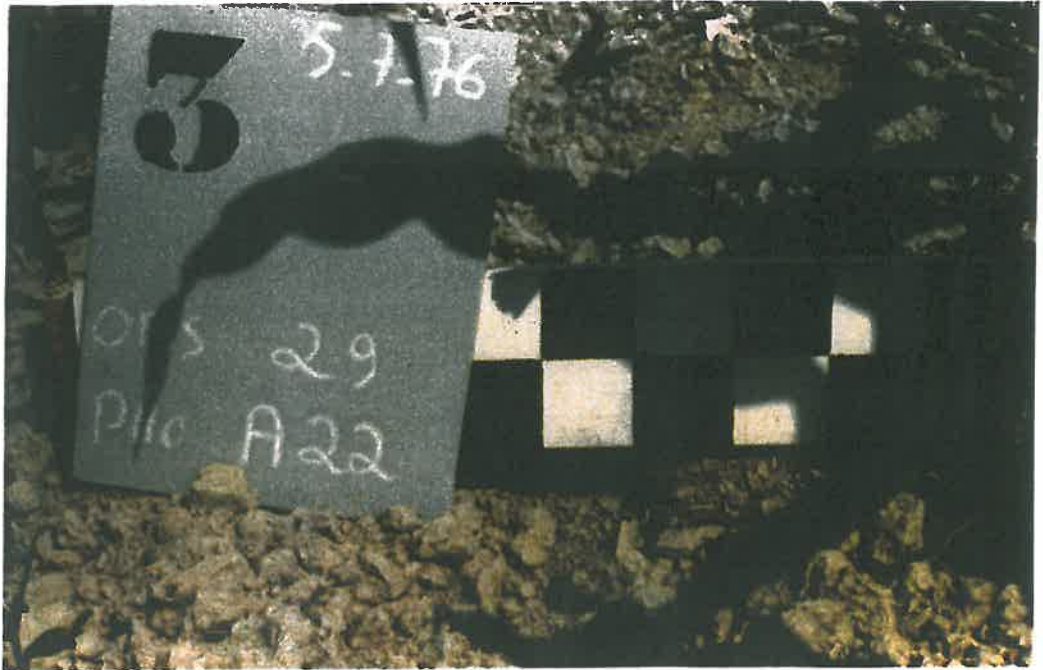
1 - f - 3
(après le 2ème arrosage : 27.07.76)



1 - f - 4
(après le 3ème arrosage : 29.07.76)



1 - f - 5
(après le 4ème arrosage : 8.09.76)



Parcelle 3 "Minimat 63" (M. LAGARDERE)
Emplacement c (4 observations)
3 - c - 1
(avant le début de la saison d'irrigation : 5.07.76)



3 - c - 4
(après la 3ème et dernière irrigation : 4.08.76)

L'observation des photographies précédentes permet de décrire la dégradation de la structure de la surface du sol en quatre phases successives :

- Phase I : le maïs est sorti, et la parcelle a subi un binage (photographie 1). A la première irrigation l'eau désagrège la terre fine et les petites mottes (inférieures à 1 cm). La base des mottes se soude légèrement au reste de la surface du sol (photographie 2).

- Phase II : les arêtes des mottes s'émoussent ; leurs raccords avec la surface du sol s'empâtent de plus en plus. Pour les petites mottes, le processus est plus rapide ; il y a une fusion du micro-relief. On observe aussi des dépôts dans les dépressions (photographie 3).

- Phase III : les mottes continuent à évoluer, à s'étaler ; les dépôts dans les dépressions augmentent et envoient plus ou moins complètement les mottes restantes (photographie 4, sauf pour la parcelle 3).

- Phase IV : l'évolution de la surface est moins visible ; il reste encore sur place une certaine rugosité qui ne tarderait pas à disparaître si la succession des arrosages continuait (photographie 5 et photographie 4 pour la parcelle n° 3).

Sur la parcelle 1, les photographies montrent trois emplacements :

- "a" : bout de portée du canon
- "c" : milieu de portée du canon
- "f" : près du canon

Les trois observations sont sensiblement comparables. Toutefois, celle concernant l'emplacement "f" diffère des autres ; la rugosité est plus atténuée, ce qui correspond sans doute à l'effet de la buse de vidange du piston qui fonctionne sous le canon.

L'observation visuelle sur l'emplacement "a" a montré de petites colonnettes de terre.

Remarque : Les éléments structuraux se trouvant directement au pied des plants de maïs ont été protégés et montrent une dégradation beaucoup moins poussée.

5.1.8. - Les indices d'aspérimétrie

Pour déterminer à partir des courbes d'aspérimétrie (cf. paragraphe 4.1.1.) un indice qui traduirait assez précisément l'évolution de la rugosité du sol, nous avons utilisé les méthodes 2, 3 et 4 décrites lors des paragraphes 4.3.1.2. et 4.3.1.3.

- Méthode 2 : nous avons tracé les histogrammes et les courbes comparatives des différents pas à partir des résultats informatiques (cf. annexe 16). Le pas de 5 a été retenu. Le tableau qui suit indique, pour les parcelles du groupe étudié, l'évolution de la norme des écarts définie en 4.3.1.2.

Les écarts sont exprimés en millimètres en plus ou moins de la moyenne mobile retenue. Un écart de 2 mm correspond donc à des dénivelées extrêmes de l'ordre de 4 mm. Le tableau qui suit donne pour chaque mesure les valeurs de la somme des carrés des écarts ainsi définis.

Dans les histogrammes présentés en annexe 16 chaque crochet correspond à une aiguille. Son amplitude mesure l'écart avec la moyenne mobile au pas de 5.

Evolution de la norme des écarts

Norme des écarts	N° d'observation				
	1	2	3	4	5
1.1	92	67	57	25	51
1.2	50	33	32	31	23
2.1	115,23	49,21	61,83	41,73	
3.1	45	34	49	36	
4.1	92	64	71	46	
4.2	59	54	42	31	
6.1	46	32			

En considérant la première et la dernière valeur, on constate que dans tous les cas la norme des écarts a diminué. Dans trois cas, nous observons une augmentation soudaine de cette norme ; cela correspond soit à une modification du sillon de passage de l'appareil (quand c'est le cas) soit au fait qu'une motte ou un gravier a pu rouler et donc modifier l'aspect de la rugosité. Néanmoins, nous pouvons dire qu'il y a un aplanissement.

Il convient de se reporter à l'annexe 16 dans laquelle des histogrammes visualisent ce processus.

- Méthode 3 : cette méthode complète la précédente en faisant apparaître les passages d'une classe dimensionnelle dans une autre, qui se produisent au fur et à mesure que les arrosages se poursuivent.

Les écarts avec la moyenne mobile de 5 que nous avons retenue sont répartis en classes dimensionnelles :

Classes	Écarts réels en cm au tour de la moyenne mobile	Écarts moyens réels extrêmes en cm
0 - 02	0,2	0,4
02 - 04	0,4	0,8
04 - 06	0,6	1,2

L'on a déterminé les pourcentages de non dépassement des limites supérieures de chacune de ces classes. L'augmentation du pourcentage des classes inférieures corrélative à la diminution de celui des classes supérieures traduit un amortissement des formes structurales. Seules les 3 ou 4 classes les plus faibles sont représentées.

L'on trouvera en annexe 16 quelques exemples d'histogrammes de non dépassement. Dans le tableau qui suit l'on a porté des pourcentages de dépassement, c'est-à-dire le complément à 100 des valeurs précédentes cumulées.

La diminution de ces valeurs dans le temps correspond à la disparition d'une partie des éléments structuraux de dimensions supérieures à :

0,4 cm pour la valeur 02
 0,8 cm pour la valeur 04
 1,2 cm pour la valeur 06

EVOLUTION DE LA POPULATION DES GRANDS ECARTS

Classes :	REDOUTABLE													
supérieures à :	111	112	113	114	115	121	122	123	124	125	211	212	213	214
0,2	25,78	23,44	21,87	24,22	18,75	24,22	21,09	18,75	26,56	14,84	39,06	32,03	28,14	25
0,4	8,59	7,81	5,46	1,56	5,47	4,69	4,68	6,25	7,81	5,46	17,18	9,37	10,15	7,03
0,6	3,12	3,12	2,33	1,56	2,34	1,56	2,34	3,12	2,34	1,55	5,46	2,34	5,46	3,12

Classes :	REDOUTABLE														MICROENROULEUR	
supérieures à :															50	
à :	321	322	323	324	411	412	413	414	421	422	423	424	611	612		
0,2	28,91	21,09	23,44	25,78	38,28	32,81	39,06	30,47	33,59	26,56	27,34	21,09	25	26,56		
0,4	8,60	7,03	7,03	8,59	16,40	12,50	12,50	7,03	10,93	13,28	12,50	4,68	7,03	4,68		
0,6	2,35	1,56	2,34	1,56	7,81	5,47	4,69	2,34	3,90	3,90	1,56	1,55	2,34	0,77		

111 - lire parcelle 1 emplacement 1 observation 1

112 - lire parcelle 1 emplacement 1 observation 2

Sur ce tableau, la diminution de la population des grands écarts est nette. L'évolution la moins forte s'observe sur les parcelles 3 et 6. Cela peut s'expliquer par la différence qui existe entre les débits des arrosages des parcelles 3 et 6 par rapport aux autres (cf. description des matériels d'arrosage en 3.1.).

Sur les feuilles de programme (cf. annexe 16) nous voyons que la population des petits écarts augmente. De plus, on a pour chaque observation, la valeur de l'écart type et celui-ci diminue sensiblement, ce qui veut dire que les résultats se groupent. Cela confirme le fait que les gros éléments sont détruits au profit d'éléments plus petits, tandis qu'une part des matériaux qui les composaient se déposent dans les concavités du micro-relief, c'est-à-dire qu'il se produit un aplanissement.

- La méthode 4 est une comparaison de la longueur des courbes d'aspérimétrie (exprimées en pouces lues sur les graphiques obtenus au traceur de courbes - cf. annexe 16). Le tableau qui suit nous donne la variation de la longueur au fur et à mesure des observations.

		11	12	21	31	41	42	61
Observation	1	8,74	8,45	9,07	8,38	8,78	8,47	8,23
	2	8,56	8,30	8,65	8,21	8,45	8,54	8,11
	3	15,88	8,24	8,93	8,31	8,46	8,29	
	4	8,20	8,14	8,47	8,14	8,24	8,15	
	5	8,21	8,17					

11 - lire parcelle 1 emplacement 1

12 - lire parcelle 1 emplacement 2

Dans tous les cas, la longueur de la courbe diminue faiblement. Il ne semble pas que l'on puisse tirer des conclusions précises de ces derniers résultats.

5.2. - Parcelles arrosées avec une ligne mobile

La ligne mobile a été décrite aux paragraphes 3.2.1. et 3.2.2.

5.2.1. - Rappel des parcelles

Ce sont les parcelles n°s 8 et 9 (cf. annexe 17) ; la notation des emplacements a été décrite au paragraphe 5.1.1.

5.2.2. - Les perméabilités

Les mesures n'ont été faites que lors de l'ouverture d'un profil pédologique. Nous n'avons donc des mesures que sur la parcelle n° 9.

Direction du flux	V	H
Horizon supérieur 10 cm	0,12	1,32
Horizon inférieur 50 cm	0,3	0,001

La perméabilité verticale inférieure est plus grande que la perméabilité verticale supérieure ($V_I > V_S$). Par contre, la perméabilité horizontale supérieure est plus grande que la perméabilité horizontale inférieure ($H_S > H_I$).

5.2.3. - Les densités

Les densités de la croûte ont été déterminées par la méthode à la paraffine. Celles du sol sous-jacent l'ont été au moyen de la sonde TROXLER aux profondeurs de 5, 10, 20 et 30 cm. On a tracé les courbes correspondantes (cf. courbes annexe 18).

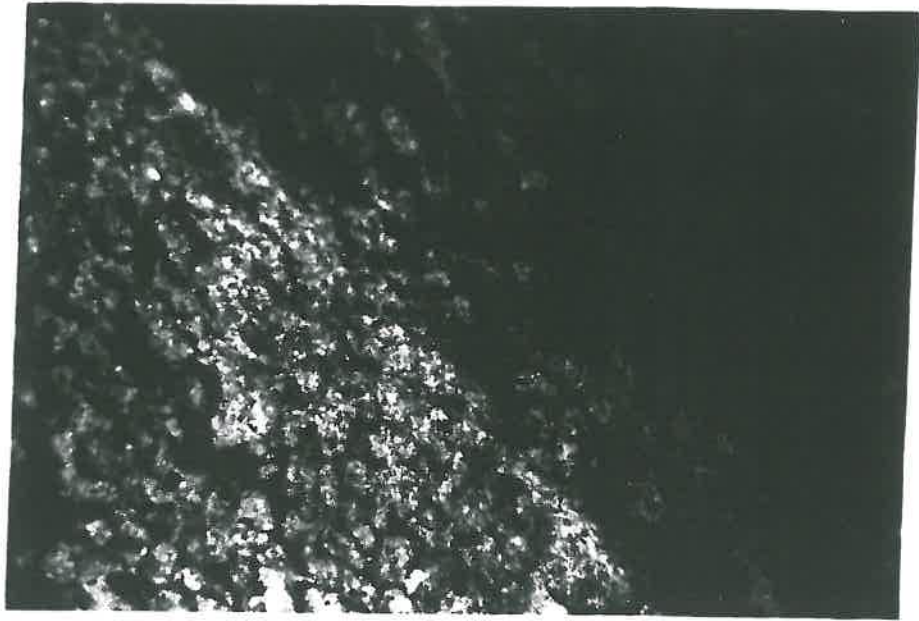
Les résultats sont hétérogènes ; on note cependant deux extrêmes : la densité de croûte de la parcelle n° 8 emplacement "a" qui est faible et celle de la parcelle n° 9 emplacement "b" qui est assez forte.

En ce qui concerne la densité des mottes mesurée par la méthode à la paraffine, l'on a obtenu les valeurs suivantes :

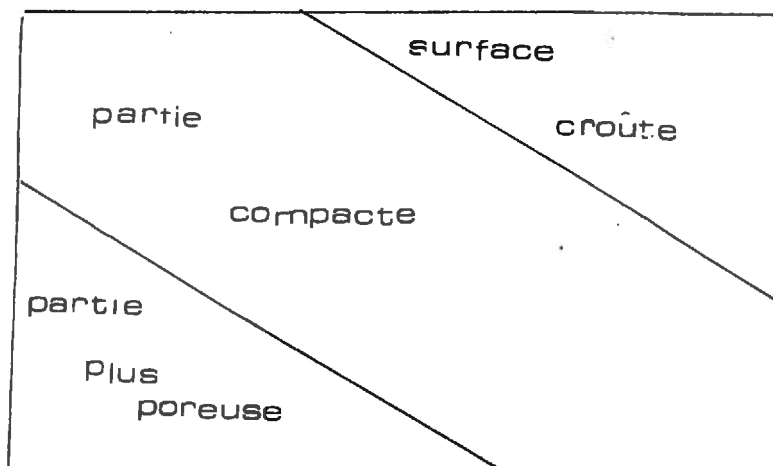
- P 8 "a" : 1,61
- P 8 1 : 1,53
- P 9 "a" : 1,66
- P 9 "c" : 1,75

5.2.4. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux

A l'aide d'une binoculaire (cf. paragraphe 4.3.6.), nous avons observé la structure d'un élément de croûte.



Photographie d'une coupe de croûte x 60



La photographie montre la coupe d'une croûte (grossissement $\times 60$) prélevée sur la parcelle n° 9 à l'emplacement "a" qui se trouve à mi-portée du sprinkler. Nous observons une mince croûte de battance compacte, avec en dessous une porosité moyenne et une structure feuilletée horizontale.

La compacité de la croûte correspond à la répercussion de la dose d'arrosage excessive apportée (cf. paragraphe 3.3. et profil pédologique en 4.4.2.).

La formation observée s'est agencée alors que la pluviométrie dépassait les très faibles conductivités hydriques de l'horizon supérieur.

Parcelle	9
Pluviométrie (mm/h)	4,4
Perméabilité verticale S (mm/h)	0,02

5.2.5. - Essai de détermination de la taille des gouttes

La ligne mobile n'a été utilisée que sur maïs, ce qui a rendu impossible l'essai de détermination des gouttes des arroseurs.

5.2.6. - Comparaison des essais sur banc aux pluviométries enregistrées sur parcelles

Les arroseurs de la ligne mobile n'ont pas été testés sur banc. Néanmoins, sur parcelle nous avons fait des mesures de pluviométries (cf. annexe 15). Nous remarquons que les courbes dans le temps sont restées comparables.

Par contre, l'arrosage n'est pas très uniforme. Sur la courbe, il y a trois amplitudes maximales : une de 1 à 2 m du canon, une de 8 à 11 m et la dernière à 13 m. Entre ces extrêmes, nous avons des valeurs assez basses.

5.2.7. - Discussions des observations photographiques

Les parcelles n°s 8 et 9 ne sont rentrées dans le cadre de l'étude qu'une fois la saison d'irrigation commencée, aussi nous n'avons pas de photographie présentant l'état "initial" de l'emplacement.



Parcelle 9 "ligne mobile"
(M. DUTHURON)
emplacement "b"
9 - b - 3
(après la dernière irri-
gation : 10.08.76)

La photographie précédente montre l'état final (à la fin de la saison d'irrigation) de l'emplacement "b" de la parcelle 9. Nous observons qu'il y a un aplanissement total de la surface du sol ; on n'observe plus de rugosité.

Nous voyons également des fissures de dessiccation. L'évolution de la surface du sol s'est produite comme il a été décrit au paragraphe 5.1.7. ; elle a même été plus loin dans le processus de dégradation.

5.2.8. - Les indices d'aspérimétrie - parcelle 8, emplacement 2

Suivant les trois méthodes d'exploitation d'aspérimétrie utilisées (cf. paragraphes 4.3.1.2. et 4.3.1.3.), nous avons réuni les différents indices traduisant l'évolution de la surface du sol (pour les différents programmes cf. annexe 16).

- Méthode 2 Evolution de la norme des écarts

: N° d'observa-	: 821	: 822	:
: tions	:	:	:
: - - - - -	: - - - - -	: - - - - -	:
:	: 28,12	: 18,74	:
:	:	:	:

- Méthode 3 Pourcentages de dépassement

N ^{os} d'observations		821	822
(0,2		26,66	17,97
Classes) 0,4		2,35	2,34
(0,6		0,79	2,34

- Méthode 4 Longueur des courbes d'aspérimétrie

N ^{os} d'observations	821	822
	7,97	7,96

(longueurs exprimées en pouces, lues sur les graphiques obtenus au traceur de courbe - annexe 16)

Ces données nous indiquent qu'il y a effectivement aplanissement de la surface du sol dans le sens expliqué lors du paragraphe 5.1.8., c'est-à-dire diminution du nombre des gros éléments au profit des petits.

5.3. - Parcelles non arrosées (parcelles n^{os} 7 et 10)

Ce sont les parcelles témoin de l'étude.

5.3.1. - Rappel des parcelles

Les parcelles témoin sont les n^{os} 7 et 10 (cf. annexe 17).

5.3.2. - Les perméabilités

Les mesures n'ont été faites que sur la parcelle n° 7.

Direction du flux	V	H
Horizon supérieur (10 cm)	0,08	0,6
Horizon inférieur (50 cm)	0,09	0,4

Nous constatons, (comme c'était le cas pour la ligne mobile), que :

$$VI > VS \quad \text{et} \quad HS > HI$$

5.3.3. - Les densités

Les densités mesurées sur croûtes et sur le profil à l'aide des mêmes procédés que pour les autres parcelles, ont été regroupées sous forme de graphiques (cf. annexe 18).

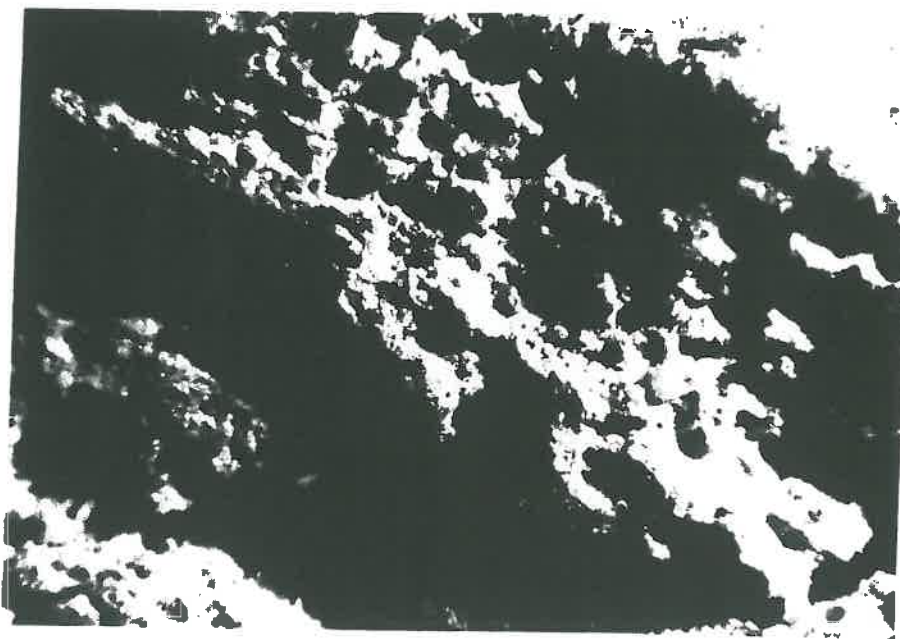
Les valeurs sont faibles ; elles sont voisines pour les deux parcelles.

De même en ce qui concerne les mottes nous avons de faibles valeurs :

- P 7 : 1,27

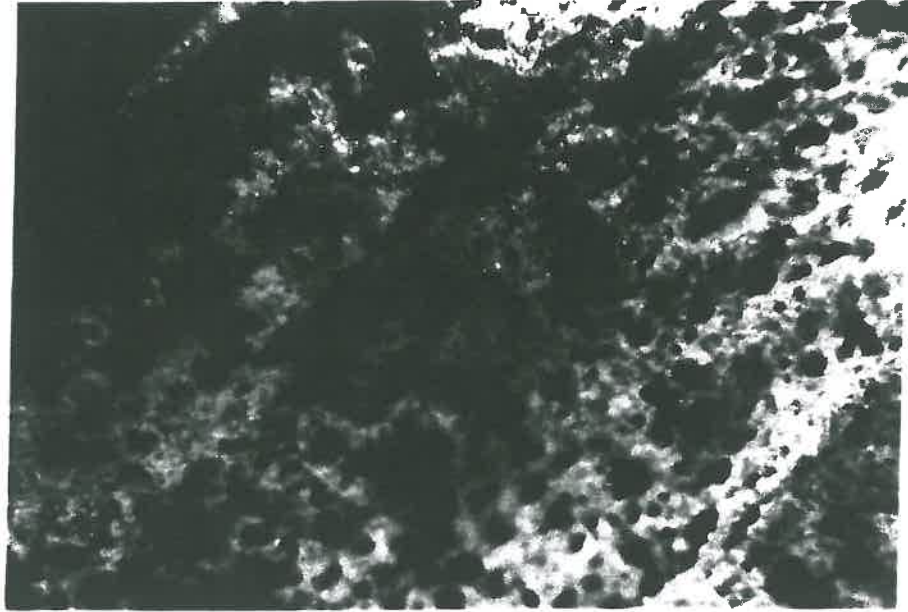
- P10 : 1,43

5.3.4. - Observation à la binoculaire d'éléments structuraux

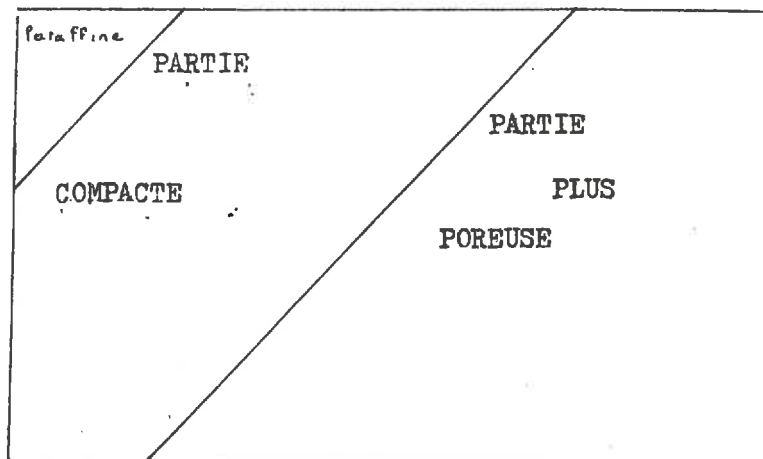


Photographie d'une surface de croûte après grattage $\times 60$
Prélèvement fait sur la parcelle n° 7

Il existe une croûte sur la surface du sol des parcelles non arrosées. Elle a été signalée dans la description du profil pédologique (4.4.2.). Toutefois elle se présente sous un aspect nettement différent des croûtes prélevées sur les parcelles arrosées. Une pellicule de faible épaisseur (de l'ordre de 0,1 cm) constitue la partie compacte superficielle, qui peut d'ailleurs être à peu près inexistante. Immédiatement au-dessous apparaît une porosité importante ainsi qu'il ressort de la photographie ci-dessus prise après grattage de la pellicule de surface.



Photographie d'une coupe de croûte x 60



Le prélèvement a été fait sur la parcelle n° 7. Nous observons une croûte de battance fortement soufflée. En dessous se trouve une porosité assez importante.

5.3.5. - Essai de la détermination de la taille des gouttes :
sans objet

5.3.6. - Comparaison des pluviométries :
sans objet

5.3.7. - Discussions des observations photographiques

Nous ne présentons ici que la photographie (cf. ci-après) de l'état final de l'emplacement "a" sur la parcelle n° 10. En ce qui concerne l'état initial on peut se référer aux photographies des observations n° 1 présentées au paragraphe 5.1.7.



Parcelle 10 "témoin sec"
(M. LAVILLE)
emplacement a - 2 observations
10 - a - 2

Deuxième observation, faite
après l'arrêt de l'irrigation
sur les parcelles arrosées
10.08.76

La photographie nous montre la surface du sol avec encore une bonne rugosité. Des mottes de dimensions variées sont visibles. Les plus grosses d'entre elles sont émoussées et sont empâtées avec la surface. Il y a beaucoup de coulées de boues et de petites colonnettes. Ces effets sont dus à la pluviométrie naturelle (cf. annexe 2 - pluviométrie).

5.3.8. - Les indices d'aspérimétrie

Des mesures d'aspérimétries n'ont été faites que sur la parcelle n° 7.

Selon les trois méthodes utilisées, nous obtenons :

- Méthode 2 Evolution de la norme des écarts

N° d'observations	711	712
	35,46	32,06

- Méthode 3 Pourcentages de dépassement

N° d'observations	711	712
(0,2	21,09	21,09
Classes) 0,4	5,46	6,25
(0,6	2,33	1,56

- Méthode 4 Longueur des courbes d'aspérimétrie

⋮	⋮	⋮	⋮			
⋮	N° d'observations	⋮	711	⋮	712	⋮
⋮		⋮	8,18	⋮	8,14	⋮
⋮		⋮		⋮		⋮

(longueurs exprimées en pouces lues sur le graphique obtenu au traceur de courbes - annexe 16)

Quelle que soit la méthode utilisée, on n'observe que de très faibles différences entre la première et la dernière mesure. Toutefois on peut noter une diminution du pourcentage d'éléments de la classe la plus large au profit de la classe immédiatement inférieure (méthode 3) ce qui correspond à une légère diminution de la norme des écarts (méthode 2).

6 - SYNTHESE DES RESULTATS

6.1. - Comparaison des résultats suivant le mode d'irrigation

Après la lecture des paragraphes 5.1., 5.2. et 5.3. nous pouvons essayer de comparer les résultats pour déterminer le groupe où l'effet de l'impact pluviométrique a été le plus marquant.

6.1.1. - Comparaison des perméabilités

En ce qui concerne les perméabilités, les résultats ne sont pas comparables dans leur grandeur ; néanmoins, les coefficients sont tous très faibles.

Nous avons toujours $VI > VS$ et $HS > HI$. Dans tous les cas $VS < HS$. Dans tous les cas sauf un $VI > HI$. Cela confirme une certaine densité de l'horizon supérieur et l'existence d'une porosité suivant une orientation horizontale de la structure dans l'horizon de surface.

6.1.2. - Comparaison des densités

Les densités sont comparables dans les deux premiers groupes avec quelques valeurs extrêmes. Pour le dernier groupe, celui des parcelles non arrosées, les valeurs de densités se différencient nettement, elles sont plus faibles que celles observées sur les deux autres groupes (cf. annexe 18). Il a été montré au paragraphe 5.1.3. que les densités les plus faibles s'observent sur les parcelles recevant une faible pluviométrie horaire.

6.1.3. - Comparaison des observations d'emplacements

Lors de la comparaison des observations visuelles et photographiques, on peut bien différencier les trois groupes observés.

Pour le groupe des parcelles arrosées par un canon mobile la dégradation décrite au paragraphe 5.1.7. est graduelle suivant quatre phases. Sur la dernière photographie de chaque série, on observe en plus de la diminution des gros éléments des traces grises de petites nappes de dépôt.

Le groupe de parcelles arrosées avec la ligne mobile, ici représenté par la photographie d'un emplacement de la parcelle 9, manifeste l'aspect de dégradation de surface le plus prononcé. On observe des fentes de retrait qui correspondent à une irrigation trop importante suivie par une dessiccation assez rapide.

Le groupe des parcelles non arrosées (cf. 1ère photographie, paragraphe 5.3.7.) conserve en fin de campagne une certaine rugosité de surface avec présence d'éléments fins et grossiers. Nous sommes à la phase II (cf. description des phases de dégradation au paragraphe 5.1.7.).

Visuellement il apparaît que ce sont les parcelles arrosées avec la ligne mobile (parcelles n°s 8 et 9) qui sont les plus atteintes par l'effet de l'irrigation ; puis viennent les parcelles arrosées avec les canons mobiles et enfin les parcelles non arrosées qui n'ont subi que la pluviométrie naturelle.

La différence observée entre le premier groupe (canons) et le deuxième (sprinklers) correspond à une différence de dose par arrosage. En effet, l'arrosage par la ligne mobile (peu pratique à déplacer) a subi les conséquences psychologiques habituelles aux arrosages difficiles. L'agriculteur a espacé les tours d'eau et donc a augmenté le nombre de millimètres apportés à chaque passage, et chaque fois bien au-delà de la dose souhaitable.

6.1.4. - Aspérимétries

Pour la parcelle n° 8 (sprinklers) nous n'avons pas de mesure d'aspérимétrie avant le début de la saison d'irrigation. On ne peut donc pas observer l'évolution complète de la rugosité du sol. Mais on constate que les modifications qui existent entre deux observations sont plus grandes que dans les autres cas, pour les méthodes d'interprétation 2 et 3 (la méthode 4 ne donnant de renseignements précis dans aucun des cas).

Les variations les plus faibles sont observées pour les mesures faites sur la parcelle témoin n° 7 (sec).

Les mesures d'indice d'aspérимétrie confirment donc la classification des parcelles faite à partir de la comparaison des photographies.

6.1.5. - Rendements

Nous pouvons en plus mettre en parallèle les rendements enregistrés.

Avant qu'ils irriguent, les agriculteurs avaient des rendements de l'ordre de 4 à 5 t/ha de grains secs de maïs.

Parcelles	Canons				Sec	Sprinklers		Sec	
	1	2	3	4	6	7	8	9	10
Rendement grains secs Tonne/ha	7	7	7,2	7,5	7	2,3	6	6	2,5

Les maïs appartiennent tous au groupe IV en ce qui concerne la précocité. Les variétés employées sont : I.N.R.A. 508, 250 ; Cargul 555 qui théoriquement ne marquent pas vraiment de différence de rendements dans les mêmes conditions de culture.

D'après le tableau ci-dessus, les rendements les plus élevés se trouvent sur les parcelles arrosées par canon mobile. Avec les parcelles arrosées par la ligne mobile on observe une différence en moins de 1 t/ha qui ne peut être imputée à un manque d'eau, mais au contraire aux doses excessives qui ont asphyxié le sol.

Les parcelles sèches fournissent un rendement particulièrement bas (en année moyenne 4 t/ha). Il faut imputer les conditions climatiques propres à 1976 : sécheresse, et chaleur ayant pu provoquer un défaut de fécondation.

6.2. - Appréciation du risque de compactage et essai de conclusion

Nous avons, lors des différents chapitres 5.1., 5.2. et 5.3. décrit et mesuré les variations de la couche cultivée dues à l'irrigation. L'évolution observée provient surtout de la succession des cycles d'humectation et de dessiccation.

Tant que l'humidité n'atteint pas la capacité au champ en surface (0 à 5 cm) :

- la surface du sol se dégrade peu ; l'action mécanique des gouttes d'eau se manifeste par un arrachement de matière à la surface des mottes et par un début de destruction des éléments structuraux fins
- on observe un nivellement de la surface du sol, donc un remaniement de l'ensemble de la couche travaillée

Quand l'humidité à la capacité au champ est atteinte dans l'horizon de 0 à 5 cm :

- il y a formation d'un lit de boue
- les éléments de petite taille se soudent entre eux et fusionnent
- l'irrigation entretient un excès d'eau favorisant le transport de boue et permet la formation de dépôts dans les micro-dépressions
- on observe une diminution de la rugosité qui est proportionnelle (selon J. BOIFFIN et M. SEBILLOTTE) aux quantités d'eau reçues jusqu'à une valeur maximale comprise entre 50 et 70 mm d'eau.

A ce stade, toute action mécanique extérieure provoquant une pression de haut en bas entraîne un risque de compactage. Ces pressions exercées à la surface du sol peuvent se transmettre assez profondément. Au bout de quelques années, on peut observer la formation d'une semelle de compactage importante à 15 - 25 cm.

Nous sommes en sols hydromorphes, tous tassement est donc aggravé.

Ces risques encourus lors de la mise, en pratique d'une irrigation sont loin d'être négligeables ; il faut essayer de les minimiser en prenant des précautions pour maintenir en état la structure et pour régénérer la couche cultivée.

Le binage n'est pas une vraie solution car il défait la croûte et enfouit des morceaux de celle-ci qui ne se mélangent pas vraiment au reste du sol. Il subsiste des morceaux de croûte irréguliers, mal structurés et difficilement exploitables par les racines.

Contre le choc des gouttes, l'idéal est une bonne couverture végétale, mais à défaut, on peut réaliser un mulch (10 à 15 t de paille par ha). Pour éviter la formation de lame d'eau, il faut avoir une surface motteuse et de préférence exécuter des labours dressés et profonds. On réalise aussi des reliefs artificiels (ados). Dans ces sols, le drainage enterré peut également être utilisé, le mouvement de l'eau devant s'amorcer à partir d'une décompression de l'air due aux drains.

Le choix du régime d'irrigation intervient aussi dans la protection de la surface.

Des essais israéliens (1969) en cultures maraîchères ont montré qu'on obtenait des rendements plus élevés lors d'arrosages à faible débit (4,5 mm/h) que lors d'arrosages à débits plus forts (13 à 18 mm/h). En effet, seul le faible débit n'a pas provoqué la saturation de la couche superficielle du sol. Seulement, comme l'a observé et écrit M.E. DALLEINE, les arrosages à faible débit distribués par une ligne mobile subissent les conséquences de la pénibilité du travail. L'agriculteur a tendance à laisser la ligne au même emplacement le plus longtemps possible et par suite à irriguer trop longtemps, ce qui finalement entraîne par arrosage des doses trop importantes.

Au cours de notre étude, nous avons effectivement observé ce comportement. De ce fait, la parcelle irriguée avec la ligne mobile ayant des arroseurs de faible débit a beaucoup plus souffert de la saison d'irrigation que les autres. Les répercussions sont visibles sur les rendements. On pourrait en conclure que pour l'irrigation sur sol fragile, il faut d'abord songer à faire des arrosages courts. Le facteur débit instantané perd alors de son importance.

6.3. - Détermination des analyses significatives

Un certain nombre d'analyses telles que les essais Proctor, les limites d'Atterberg etc... et les analyses chimiques (à l'exception de la stabilité structurale) donnent les bases nécessaires à l'interprétation de l'évolution du sol soumis à un régime d'irrigation.

Néanmoins, les résultats de ces mesures ne présentent pas de différences vraiment importantes entre le début et la fin d'une saison et ne peuvent permettre d'hypothèse quant au niveau de dégradation.

Seuls les essais suivants ont permis (et pourront permettre de façon plus précise s'ils sont adaptés) de quantifier et de qualifier la dégradation du sol :

- essai avec l'aspérimètre à aiguilles
- les observations d'emplacements
- la détermination de la taille des gouttes
- l'observation à la binoculaire d'éléments structuraux
- la détermination des densités apparentes
- la détermination des perméabilités des horizons

A partir de ces expériences, nous avons réussi à montrer que sur toutes les parcelles il y a eu des effets néfastes dus à l'irrigation, en raison de l'humidification des sols et de l'action mécanique des gouttes d'eau.

Afin de pouvoir cerner de façon plus précise les effets dus à l'irrigation, il serait souhaitable, pour une étude ultérieure, de mieux adapter le protocole d'expérimentation à l'orientation de la recherche, et de le compléter éventuellement .

7 - PROPOSITION D'UN PROTOCOLE POUR LES ETUDES ULTERIEURES

Lors des différents essais, nous avons rencontré un certain nombre de difficultés aussi bien au niveau de la mise en oeuvre qu'au niveau de l'interprétation. De plus, en développant l'étude, d'autres expériences complémentaires sont apparues souhaitables pour l'élaboration d'un protocole en vue d'une étude ultérieure.

7.1. - Les différentes analyses et précautions à prendre

Une détermination granulométrique d'échantillons recueillis en surface a été faite en début de saison ; il serait souhaitable qu'elle soit déterminée à la fois en surface et dans le premier horizon.

Pour l'aspérimétrie à aiguilles il est souhaitable de placer derrière les aiguilles un fond noir mat afin que sur les photographies la lecture du sommet des aiguilles soit très claire. On en profitera pour placer sur ce tableau une horizontale graduée qui servira de base pour l'abscisse et l'ordonnée de chaque point.

Pour les mesures de perméabilité, de densité apparente et de stabilité structurale, il faut envisager de faire deux mesures : une avant la saison d'irrigation et une autre à la fin. Cela, dans le but de déterminer une évolution à ce niveau si elle existe.

L'observation à la binoculaire des éléments structuraux devra être étendue et il faudrait envisager des observations plus poussées avec un microscope.

L'essai de détermination de la taille des gouttes tel qu'il a été pratiqué pendant cette étude devrait répondre à des normes précises de temps d'exposition à la pluviométrie, ce qui n'a pas été fait. Il resterait toutefois comme inconnue, la relation entre le diamètre apparent des gouttes et leur diamètre réel.

Pour la connaissance du temps d'exposition, il suffirait de reproduire en moins élaboré, le système d'obturateur à volet ou à rideau employé pour les appareils photographiques. Les essais pourraient être plus complets, c'est-à-dire qu'il faudrait faire varier la pression au canon sur un large éventail de valeurs et également tester différents diamètres de buses.

Connaissant mieux la pluviométrie, on pourrait essayer de déterminer pour différents types de sol, la résistance à la destruction des agrégats. Tout d'abord, il est nécessaire de déterminer la capacité d'infiltration du sol. Pour cela, on peut proposer l'infiltromètre, appareil mis au point par R. BERTRAND et F. PARR.

L'appareil est décrit de la façon suivante : une buse montée sur une tour télescopique en aluminium, un cadre pour délimiter la parcelle expérimentale, un dispositif pour la collecte de l'eau de ruissellement, un système d'enregistrement de l'eau de ruissellement et un équipement mobile d'approvisionnement en eau.

La pluie artificielle est réalisée par un arrosage dirigé vers le bas sur une surface connue. L'infiltration est mesurée en déterminant la différence entre l'eau apportée et celle évacuée par ruissellement. Connaissant la capacité d'infiltration, on pourrait essayer de déterminer la résistance à la destruction des agrégats. Cela pourrait se faire en posant un échantillon d'agrégats sur un grillage (dont la dimension des trous serait inférieure à celle des agrégats) et en l'arrosant ; le diamètre apparent des gouttes et la dose étant connus.

Ensuite on pèse ce qui reste de l'échantillon. On peut ensuite établir un tableau liant le diamètre apparent des gouttes et l'intensité de l'arrosage d'une part au pourcentage de matériau de l'agrégat qui est passé à travers le grillage, d'autre part.

Pour compléter notre connaissance des caractéristiques physiques du sol aux différents stades de l'arrosage, nous suggérons l'utilisation d'un pénétromètre.

7.2. - Conclusion

L'étude sous le titre de "Effet de l'impact des fortes pluviométries dues à certaines machines d'arrosage sur les sols à structure fragile" a comporté une description précise des moyens d'analyses, de leur mise en pratique et des interprétations des résultats obtenus.

Cela a débouché sur des constatations assez précises qui, par elles-mêmes, demandent des approfondissements.

Aussi logiquement, se sont inscrites dans le plan du rapport, quelques suggestions concernant le protocole qui pourrait être utilisé pour des études ultérieures plus affinées et plus complètes que celle-ci. Il est regrettable que dans les essais conduits chez l'agriculteur, le contrôle des opérations agricoles échappe à l'expérimentateur ; c'est ce qui s'est produit en ce qui concerne l'arrosage excessif par sprinklers.

Les constatations formulées lors du chapitre 6 énoncent quelques concepts sur l'effet d'impact. Ainsi, le problème soulevé est mieux défini mais il reste toujours ouvert.

*

*

*

BIBLIOGRAPHIE

- ANNALES AGRONOMIQUES
 - J. BOIFFIN et M. SERILLOTTE 76 - 27
Stabilité structurale et battance
 - A. FAURE et J.C. FIESE 72 - 73
Etude expérimentale de la sensibilité au compactage de matériaux meubles en fonction de leur composition granulométrique
 - W. HUTTER 66 - 17
Action des compressions sur la structure d'un sol
 - KEYRABI et MONNIER 68 - 19
Etude expérimentale de l'influence de la composition granulométrique des terres sur leur stabilité structurale
- J. COSTET et G. SANGLERAT
Cours pratique de mécanique des sols
- P. DUCHAUFFOUR
Précis de pédologie
- J. DUPRAT
Rapport entre la structure du sol, l'irrigation et le drainage
- M. GRANET E.N.S.A. GRIGNON 68
Interprétation des analyses de sol
- R. CRAS I.N.R. ANTIBES
Effets des éléments grossiers sur la dynamique de l'eau d'un système sol sableux, éléments grossiers
- G. GAUCHER
Traité de pédologie agricole

84/26

- HAYEN - LYLES - DICKERSON - Trans. Amer. Soc. - Agric. Eng. 75 - 18

Soil detachment from clods by simulated rain and hail.

- D. HILLEL

L'eau et le sol : principes et processus physiques

- J. KARL Wasser und Boden 73 - 3

Une installation mobile d'irrigation pour la mesure d'écoulement de surface et d'érosion du sol

- J. SEGUY C.A.C.G. 67

Note générale sur la fertilisation

- oo0oo -