

Institut de Recherches  
Agronomiques libanais

Office de la Recherche  
Scientifique et Technique  
Outre-Mer

CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES  
DES SOLS DE LA PLAINE DU AKKAR

JUILLET 1969

A. OSMAN  
Chef de la Section Sols  
à l'IRAL

P. WILLAIME  
Pédologue ORSTOM

AVANT - PROPOS

)

Ce rapport est extrait d'un document plus complet établi par la Section des Sols de l'IRAL à la demande des promoteurs d'un projet de mise en valeur intéressant les deux grands périmètres irrigables du Nord-Liban : la plaine du AKKAR et la dépression du Koura.

Ce document comporte, entre autres choses, une étude monographique des sols à laquelle nous ferons implicitement référence toutes les fois que nous serons amenés à utiliser certains symboles ou certaines données chiffrées ainsi qu'une carte de ressources en sols dont la trame nous a permis d'établir la carte des vitesses d'infiltration annexée à ce rapport.

---

## SOMMAIRE

### Introduction

### I. Les méthodes utilisées

#### I.1. Méthodes de terrain

- I.1.1. La vitesse d'infiltration
- I.1.2. La densité apparente
- I.1.3. Les profils hydriques

#### I.2. Techniques de laboratoire

- I.2.1. Mesure de l'humidité
- I.2.2. Relations pF/humidité
- I.2.3. Humidité équivalente
- I.2.4. Densité réelle

### II. Détermination du domaine d'eau utile

#### II.1. Remarques sur la façon dont l'eau se présente dans le sol

- II.1.1. Aspect statique
- II.1.2. Aspect dynamique

#### II.2. Humidités aux différents pF - Humidité équivalente

- II.2.1. Humidité au point de flétrissement ( $H_f$ )
- II.2.2. Humidité aux pF 3 et 2,5 - Humidité équivalente (HE)
- II.2.3. Relation  $H_f/HE$

#### II.3. La porosité

- II.3.1. Aspect statique : type de porosité
- II.3.2. Aspect dynamique : le gonflement, la dispersion
- II.3.3. Les résultats
- II.3.4. La compacité, ses conséquences

#### II.4. L'eau utile

- II.4.1. A l'échelon des horizons
- II.4.2. A l'échelon des profils
- II.4.3. Par type de sol - Représentation cartographique

### III. La vitesse d'infiltration

#### III.1. Aperçu critique de la méthode utilisée - Ses limites

- III.1.1. La vitesse d'infiltration, grandeur vectorielle
- III.1.2. Limitations spatiales

#### III.2. Les résultats

- III.2.1. Variations de la vitesse d'infiltration en fonction du temps
- III.2.2. Principaux facteurs influençant les "indices d'infiltration"
- III.2.3. Variations des "indices" a, b, T
- III.2.4. Variations de l'"indice" c (vitesse limite)

#### III.3. Représentation cartographique

- III.3.1. Les données
- III.3.2. Mode de représentation

#### III.4. Conclusion

### Résumé et conclusions générales

## INTRODUCTION

Cette étude sur les caractéristiques hydrodynamiques des sols du AKKAR n'est autre qu'une tentative d'interprétation d'un nombre de résultats assez considérable en valeur absolue, mais relativement faible si l'on tient compte de l'extension et de la variabilité des sols représentés. De ce fait, ses objectifs, déjà inopérants au niveau du projet régional de mise en valeur, se trouveront également limités à l'échelon de la parcelle de culture.

Tout d'abord à l'échelle du projet régional, ce travail n'apporte pas d'informations susceptibles d'en modifier les grandes lignes ; à ce niveau en effet, en se plaçant sur le seul plan technique, le dépouillement des données existantes concernant le climat, le bioclimat, l'hydrologie, l'hydrogéologie, les sols et les rendements cultureux, devrait déjà autoriser certaines options et peut-être même une définition approximative de l'ampleur des travaux à entreprendre.

A l'opposé, à l'échelon de la parcelle de culture, les résultats consignés dans ce rapport ne sont pas suffisants pour rationaliser et optimiser l'utilisation des eaux d'irrigation. Ils ne tiennent en effet aucun compte des caractéristiques spécifiques à chaque site, tant du point de vue microclimatique que du point de vue édaphique. Or ces particularités règlent parfois très étroitement l'évolution des profils hydriques, le développement des parties aériennes des plantes, la profondeur d'enracinement, le drainage, bref des phénomènes dont en fin de compte dépendent dans une large mesure les rendements cultureux et la productivité annuelle de chaque parcelle.

D'un autre côté pour réduire au maximum les risques d'erreur liés à l'état de siccité édaphique très poussée de ces sols en été, nous avons été amenés à opérer presque uniquement dans des parcelles irriguées. Pour cette raison, la densité des points d'observation, qui reflète en quelque sorte la répartition irrégulière des secteurs irrigués, peut paraître très hétérogène.

Nous pensons toutefois que ce travail fournira aux promoteurs du projet des renseignements utiles concernant les principales limitations édaphiques à une exploitation intensive ainsi que les améliorations qu'il serait souhaitable de préconiser ; il devrait également sinon les aider à dimensionner certains ouvrages, du moins leur permettre, en leur donnant un aperçu de la répartition des secteurs "hydrodynamiquement" semblables, de circonscrire les zones d'intervention prioritaire et de nuancer les extrapolations des résultats obtenus sur parcelles expérimentales dans des conditions bien définies. Peut-être, enfin, ouvrira t'il la voie à un certain nombre d'études complémentaires, qu'il serait probablement utile d'entreprendre dans un avenir prochain.

## I - LES METHODES UTILISEES

### I.1. : Méthodes de terrain

=====

#### I.1.1. La vitesse d'infiltration

##### + Description de l'appareillage

L'appareil utilisé de type Muntz, comporte :

- 2 cylindres concentriques de diamètre 20 et 40cm, de hauteur 15cm. Pour les mesures ces cylindres sont enfoncés de 5cm dans le sol.
- un support métallique sur lequel reposent 2 réservoirs. Le plus petit, dont le volume est proche de 20 litres, alimente le petit cylindre, le second, d'un volume triple, l'anneau de garde.

##### + Technique

La mesure s'effectue sous une charge en eau de 3cm environ ; l'épaisseur de la lame est maintenue constante grâce à un système d'ajutages, permettant à l'air et à l'eau de transiter par deux orifices différents.

La mise en eau, qui reste sans doute l'opération la plus délicate, se déroule lentement, de façon à réduire au maximum les risques de détérioration structurale, d'emprisonnement de bulles d'air, ou d'affouillement du sol. Pour ce faire, on place dans le cylindre central une membrane de caoutchouc perforée, permettant à la lame d'eau d'atteindre assez rapidement la base de l'ajutage. Pour l'anneau de garde une membrane non perforée est disposée sous l'orifice d'alimentation. Ces 2 membranes sont retirées dès que l'eau effleure la base des ajutages.

Dans les sols du AKKAR, l'opération a duré 3 heures en moyenne. Les mesures ont été dans la grande majorité des cas effectuées dans des parcelles irriguées, donc toujours suffisamment humides. Les profils hydriques ont été systématiquement relevés. Deux batteries de 3 appareils, distants au moins de 5m au plus de 10m, ont été installées sur les 90 emplacements choisis. Les mesures n'ont concerné que deux niveaux : l'horizon supérieur Ap (5cm), l'horizon (B) sous-jacent non perturbé par les façons culturales (40cm).

#### I.1.2. La densité apparente

Nous l'avons déterminée à l'aide d'un densitomètre à membrane. Les mesures ont été effectuées à 5cm et à 40cm (2 mesures à chaque niveau), uniquement dans des horizons non ou peu graveleux. De ce fait, aucune correction, due à l'existence de cailloux, n'a été jugée nécessaire. Les chiffres mentionnés correspondent à la densité apparente totale.

#### I.1.3. Les profils hydriques

Les échantillons ont été prélevés systématiquement à 5 niveaux (0-15, 15-30, 30-45, 45-60, 60-80) juste avant la mise en place des infiltromètres. Une deuxième série de prélèvements à 3 niveaux (0-15, 30-45, 60-90) d'importance beaucoup plus réduite a eu lieu au sortir de la saison des pluies.

## I.2 : Techniques de laboratoire

=====

### I.2.1. Mesure de l'humidité

#### + Sur échantillons non remaniés

Les mesures ont été effectuées au laboratoire d'Abdé. La terre placée dans des boîtes métalliques tarées et relativement étanches, étaient pesées à l'état humide, quelques heures après le prélèvement, puis placées à l'étuve (105°). Il est à noter que l'interruption du courant électrique en dehors des heures de travail nous a amenés à faire subir aux échantillons 3 séchages de 8 heures. Après la dernière opération, les échantillons étaient placés dans des dessiccateurs et pesés.

#### + Sur échantillons tamisés

La détermination de l'humidité pour diverses valeurs du pF s'est déroulée dans de meilleures conditions au laboratoire de Tel Amara, où nous n'avons pas à craindre de coupures de courant. Les échantillons étaient pesés à l'état sec, après un séjour à l'étuve d'au moins 24 heures.

### I.2.2. Relations pF/Humidité

L'humidité au point de flétrissement théorique a été obtenue à l'aide d'une presse à membrane avec manomètre différentiel, de type classique. L'échantillon tamisé à 2mm et préalablement saturé d'eau per ascensum pendant 20 heures environ, a été soumis à une pression de 15,8 Atmosphère durant 48 heures.

L'humidité à pF 3.0 et à pF 2.5 a été déterminée à l'aide d'un appareil à plaque de procelaine poreuse sous des pressions équivalentes à celles qu'exerceraient des colonnes d'eau de  $10^3$  et  $10^2$  cm, soit 1 et 0,32 Atmosphère.

Un échantillon "Témoin" a été introduit dans chaque série.

### I.2.3. Humidité équivalente

Le ressuyage des échantillons ne s'effectue plus comme précédemment sous l'effet d'une différence de pression mais sous l'action d'un champ de gravitation, dont l'intensité est égale à 1000g. Cette opération a été menée à l'aide d'une centrifugeuse spécialement adaptée à ce genre de mesure. La vitesse de rotation est voisine de 4.400t/minutes. La durée de centrifugation à cette vitesse est de 30 minutes.

### I.2.4. Densité réelle

Ce paramètre n'a été précisé que sur un nombre d'échantillons réduit car les valeurs trouvées s'écartent très peu de la valeur théorique 2.65. Nous avons utilisé la méthode pycnométrique.

## II - DETERMINATION DU DOMAINE D'EAU UTILE

II.1. : Remarques sur la façon dont l'eau se présente dans le sol à différents pF  
=====

### II.1.1. Aspect statique

Des études menées par ailleurs ont montré quelle pouvait être l'importance relative des deux formes sous lesquelles l'eau était présente dans le sol. A des pF > 5, l'eau se trouverait uniquement sous forme de films enrobant les particules de façon continue ; le nombre de couches "élémentaires" variant selon le taux d'humidité et la nature des surfaces adsorbantes. Pour la gamme de pF appartenant au domaine d'eau utile, existent conjointement des films et des manchettes, ces dernières étant encore relativement peu nombreuses à pF 4,2.

A l'équilibre et pour un pF donné, le diamètre maximal des pores remplis d'eau est d'autant plus petit que le pF est élevé. A chaque catégorie de capillaire, on peut faire correspondre une fraction de l'eau utile. C'est ainsi qu' l'on parle d'eau "non utilisable" quand elle est présente dans des pores < 0,2 $\mu$ , d'eau fortement fixée quand le diamètre des pores est compris entre 0,2 $\mu$  et 1 $\mu$ , d'eau facilement utilisable, pour des diamètres compris entre 1 et 10 $\mu$ , d'eau à drainage lent, rapide, instantanée, pour des diamètres supérieurs.

On voit déjà quels rôles respectifs peuvent jouer la texture, dont dépend l'importance des surfaces adsorbantes, et la structure, qui commande la distribution des différents types de porosité : macroporosité ou porosité de drainage et d'aération - microporosité ou porosité capillaire (encore appelée porosité de rétention).

### II.1.2. Aspect dynamique

En régime d'humectation et en supposant négligeables les effets de gonflement et dispersion, l'eau pénètre tout d'abord dans les plus gros pores, là où les forces de gravité l'emportent nettement sur les forces d'origine capillaire. Au fur et à mesure que progresse le front d'humectation, les capillaires moyens puis les capillaires de plus en plus fins se remplissent et simultanément l'eau enrobe toutes les surfaces adsorbantes. Il arrive parfois que l'eau ne parvienne pas à occuper tous les vides, l'air pouvant être emprisonné sans pour cela provoquer d'éclatement d'agrégats. De ce fait la capacité maximum pour l'eau à saturation se retrouvera souvent inférieure à la porosité totale, d'autant plus que la structure sera plus stable et que le réseau capillaire sera plus discontinu.

En régime de dessèchement, c'est le phénomène inverse qui se produit. Les gros pores se vident les premiers, les petits capillaires ensuite. Aussi on conçoit très bien que pour un taux d'humidité donné les forces de tension qui maintiennent l'eau à l'état "suspendu" seront plus élevées en régime de dessèchement (l'eau est présente dans les pores de petite dimension) qu'en régime d'humectation (l'eau n'a pas encore eu le temps de pénétrer dans ces mêmes pores).

Cette hystérésis d'humectation bien connue a des conséquences qu'il est utile de rappeler : il est théoriquement impossible à un horizon sec de se réhumecter au contact d'un horizon plus humide. En pratique il est important de tenir compte de cette donnée pour pouvoir interpréter correctement le régime hydrique de sols complexes, résultant par exemple de la superposition de niveaux à texture très différents (argile sur sable ou sur limon).

## II.2.: Humidité aux différents pF - Humidité équivalente =====

Il est tout d'abord utile de mettre l'accent sur l'influence qu'exercent les conditions de prélèvement et les modes de préparation des échantillons sur les résultats chiffrés des analyses physiques et par conséquent d'insister sur la nécessité d'en tenir compte dans toute tentative d'interprétation.

Nous précisons donc que ces mesures d'humidité ont été effectuées, rappelons le, sur des échantillons remaniés, tamisés à 2mm, après séchage à l'air. Il est probable que nous aurions obtenu des résultats sensiblement différents si nous avions opéré sur des échantillons non perturbés et conservés légèrement humides. Aussi il ne faut pas s'étonner d'enregistrer certaines discordances entre les résultats de laboratoire et de terrain.

Ces mesures n'intéressent qu'un nombre limité de profils (30 au total) ; toutefois leur degré de représentativité nous autorise à généraliser aux principaux types de sols du AKKAR, les quelques conclusions que nous serons amenés à formuler.

### II.2.1. Humidité au point de flétrissement (Hf)

Cette humidité étant presque essentiellement fonction de l'importance des surfaces adsorbantes, il nous est apparu logique de chercher à relier cette donnée aux taux d'argile et d'éléments fins.

#### II.2.1.1. Résultats graphiques.

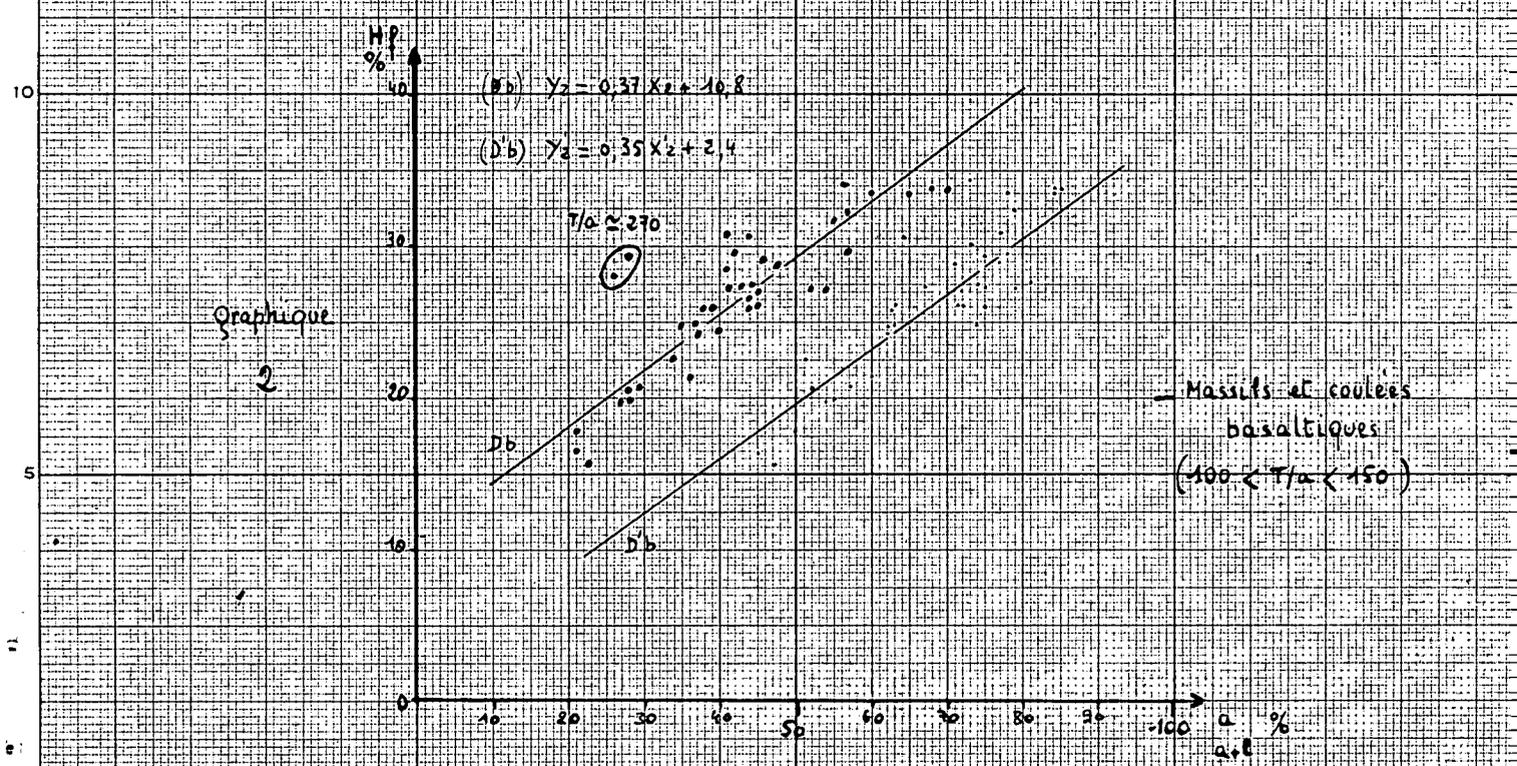
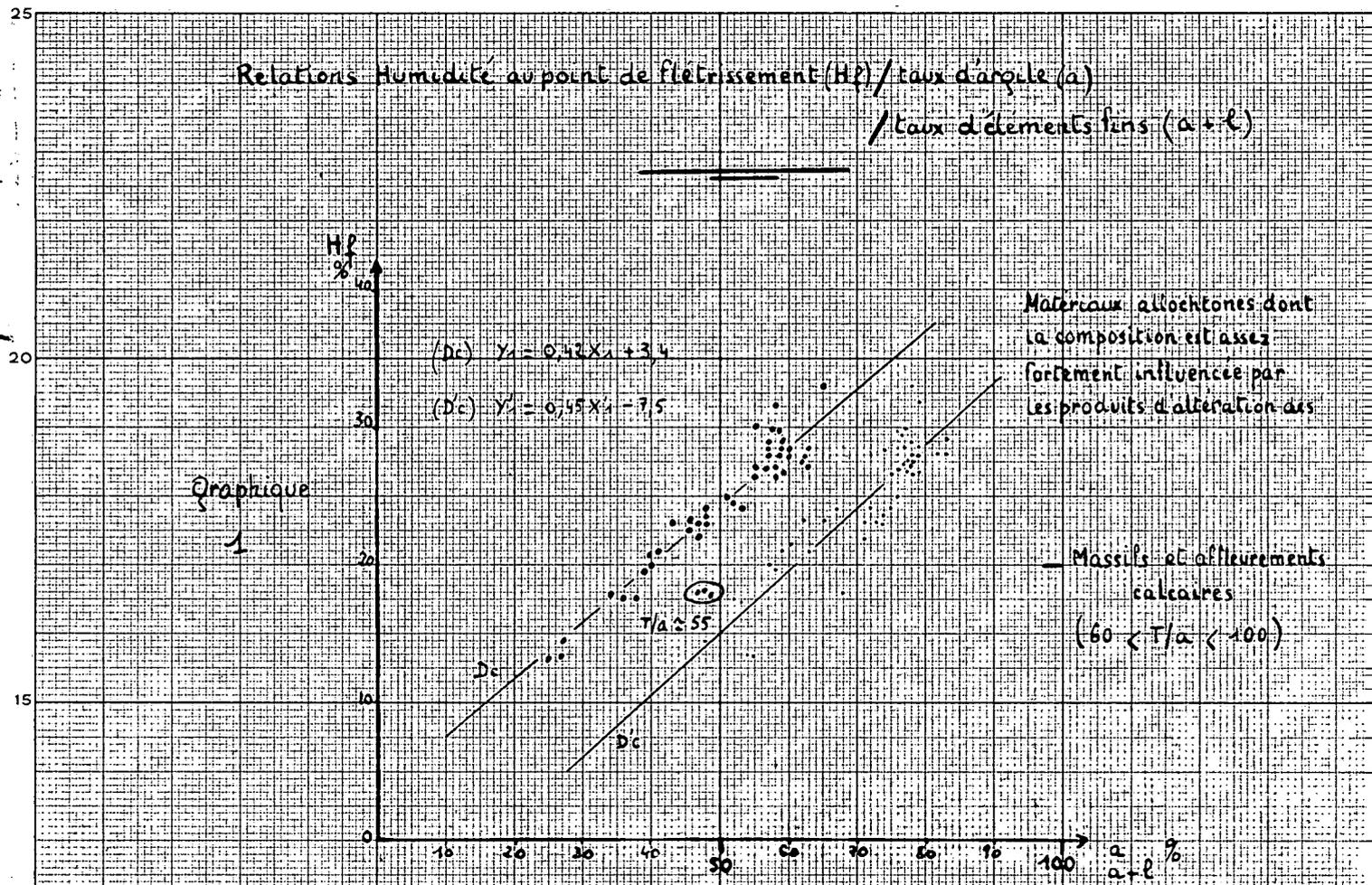
Le report des points représentatifs sur un graphique en coordonnées normales, où figurent en ordonnée l'humidité au point de flétrissement (Hf) et en abscisse le taux d'argile (a), laisse apparaître un regroupement sensiblement linéaire de part et d'autre d'un axe dont le coefficient angulaire serait proche de 1 (0,5 si l'on tient compte des unités différentes sur les 2 axes). Il en va de même lorsqu'on substitue aux teneurs en argile, les teneurs en éléments fins (a + l).

Si l'on examine les distributions de plus près, on constate que les échantillons provenant de profils situés en aval des massifs du Cénomaniens ou au voisinage d'affleurements calcaires, se localisent généralement en dessous de leurs homologues texturaux plus fortement influencés par les matériaux d'origine basaltique. Pour mieux mettre en relief cette disparité, nous avons alors décidé de rassembler les points représentatifs de chaque catégorie d'échantillons sur deux graphiques distincts.

Mais pour cela il importait tout d'abord de trouver un critère plus précis que la simple localisation géographique pour tester sur chaque profil analysé la prépondérance des influences des deux types de roche mère qui dominent la plaine du AKKAR. L'absence dans de nombreux sols d'éléments détritiques caractéristiques et bien spécifiques ainsi d'ailleurs que le manque de données géomorphologiques et minéralogiques nous a contraints à adopter un critère dont la validité est peut être discutable, mais qui s'est avéré par la suite être en assez bonne corrélation avec nos données hydriques. Il s'agit du rapport Capacité d'échange/Argile granulométrique (T/a).

Le fait que des échantillons provenant de profils manifestement influencés par les matériaux d'altération de calcaires ou de basalte présentaient des rapports T/a respectivement compris entre 70 et 100 meq%, et entre 100 et 150 meq%, nous a incités à reporter sur les deux graphiques ci-joint les points représentatifs, d'une part de tous les échantillons à T/a < 100 (graphique 1), d'autre part de tous les échantillons à T/a > 100 (graphique 2).

Relations Humidité au point de flétrissement (Hf) / taux d'argile (a)  
/ Taux d'éléments fins (a+l)



### II.2.1.2. Equation des droites de régression

Pour clarifier l'exposé, on adoptera pour les droites de régression des points représentatifs des divers échantillons l'indice c lorsque l'influence des roches calcaires est prédominante, l'indice b pour les autres, et l'on désignera par D les droites des systèmes Hf/a et D' celles des systèmes Hf/a+1.

Les équations des droites de régression sont les suivantes :

Dc	Y1 =	0,42 X1 + 3,4	r1 =	0,91
Db	Y2 =	0,37 X2 + 10,8	r2 =	0,91
D'c	Y'1 =	0,45 X'1 - 7,5	r'1 =	0,89
D'b	Y'2 =	0,35 X'2 + 2,4	r'2 =	0,79

Il est déjà intéressant de noter les valeurs assez voisines des coefficients angulaires. De même il importe de souligner les différences assez nettes qui existent entre les ordonnées à l'origine des droites Dc et D'c d'une part, Db et D'b d'autre part.

### II.2.1.3. Discussion

Si l'on passe en revue les facteurs autres que les éléments minéraux inférieurs à 20 $\mu$  pouvant intervenir dans les phénomènes de rétention, on constate que cette intervention sans être négligeable est relativement faible.

Il a déjà été montré qu'à ce pF, l'effet "structure" se fait à peine sentir, l'eau étant surtout présente sous forme de films.

La matière organique, dont les teneurs oscillent généralement entre 1 et 2%, est bien évoluée et intimement liée à la fraction minérale. Son incidence dans les phénomènes de rétention est difficilement chiffrable. Si l'on peut se permettre d'extrapoler des résultats obtenus sur des échantillons très sableux ayant 5% d'argile, 2% de limon fin et 0,4% de matière organique, on peut évaluer à 1,5g la quantité d'eau qui à ce pF serait fixée par 1g de matière organique. De toutes façons elle n'intervient aucunement de façon différentielle.

Enfin la fraction "limon grossier" n'est jamais très importante (généralement moins de 15%).

Il est d'ailleurs possible de se faire une idée du rôle secondaire que peuvent jouer ces divers facteurs en se référant aux valeurs des ordonnées à l'origine de droite de régression D' ; pour a+1 = 0 les teneurs en eau à pF 4,2 sont ou faibles ou négatives.

Si à présent on essaie d'évaluer les parts respectives que prennent les limons fins et les argiles dans la rétention de l'eau, on est amené à formuler les remarques suivantes :

- Pour une même catégorie de sols, le parallélisme des droites D et D' prouve que, en moyenne et dans la gamme des textures considérées, les quantités de limons fins ne varient pas ; celles-ci seraient en outre un peu plus importantes dans les échantillons "basaltiques" (25% contre 20%).

- l'accroissement des teneurs en eau est donc essentiellement lié à une augmentation parallèle des taux d'éléments inférieurs à 2 $\mu$ . Si l'on suppose que cette fraction colloïdale ne renferme que des argiles au sens minéralogique du terme, la faible convergence des droites Dc et Db laisse à penser que nous avons affaire à des contenus minéralogiques assez voisins.

- La persistance d'un écart entre les droites D'c et D'b semble prouver que les limons fins n'interviennent pas uniquement quantitativement. Cet écart serait probablement imputable à une différence de nature des limons "calcaires" et "basaltiques", ces derniers renfermant sans doute plus de "pseudo-limons".

En bref, les limons fins exercent quantitativement et qualitativement une influence très sensible dans les phénomènes d'adsorption d'eau ou de cations, influence qui explique à la fois, les humidités au point de flétrissement plus élevée, à teneur en argile comparable, ainsi que les rapports  $T/a$  supérieurs à 100, des échantillons "basaltiques".

Sur un plan pratique, il est utile de mettre l'accent sur les  $H_f$  élevées de certains horizons. Nous verrons dans un autre chapitre, qu'associées à de fortes compacités, celles-là sont responsables de l'amenuisement considérable du domaine d'eau utile.

### II.2.2. Humidités au pF 3,0 et 2,5 - Humidité équivalente (HE)

Dans ce cas, nous avons jugé inutile de procéder à des tentatives de corrélation avec les teneurs en argile ou en éléments fins, et ceci pour plusieurs raisons.

Tout d'abord, il ne faut pas perdre de vue qu'à ces pF l'eau est présente tout autant sous forme de manchettes que sous forme de films. Par conséquent l'état structural et microstructural des échantillons interfère de façon non négligeable ; la destruction des agrégats par tamisage à sec, permet peut-être de réduire l'effet "structure" mais ne l'annihile pas. Les corrélatifs risquent donc d'être plus lâches que pour les pF 4,2 et par là même perdent beaucoup de leur intérêt.

D'un autre côté, si l'humidité à pF 4,2, même mesurée sur échantillons remaniés, donne un ordre de grandeur généralement valable de la limite inférieure réelle du domaine d'eau utile, il est absolument impossible de relier à un pF déterminé la limite supérieure réelle. Certains auteurs ont simplement montré que cette "capacité au champ" correspond à des pF d'autant plus élevés que la texture est plus argileuse.

La détermination systématique des humidités à pF 3,0 et 2,5 a donc, pour nous comme buts essentiels, d'une part de nous fournir un aperçu du tracé de la courbe humidité/pF, et d'autre part de contrôler les valeurs de l'humidité équivalente, dont le pF, variable, se trouve compris entre 2,5 et 3,0 dans les échantillons qui ne présentent pas une distribution granulométrique "discontinue".

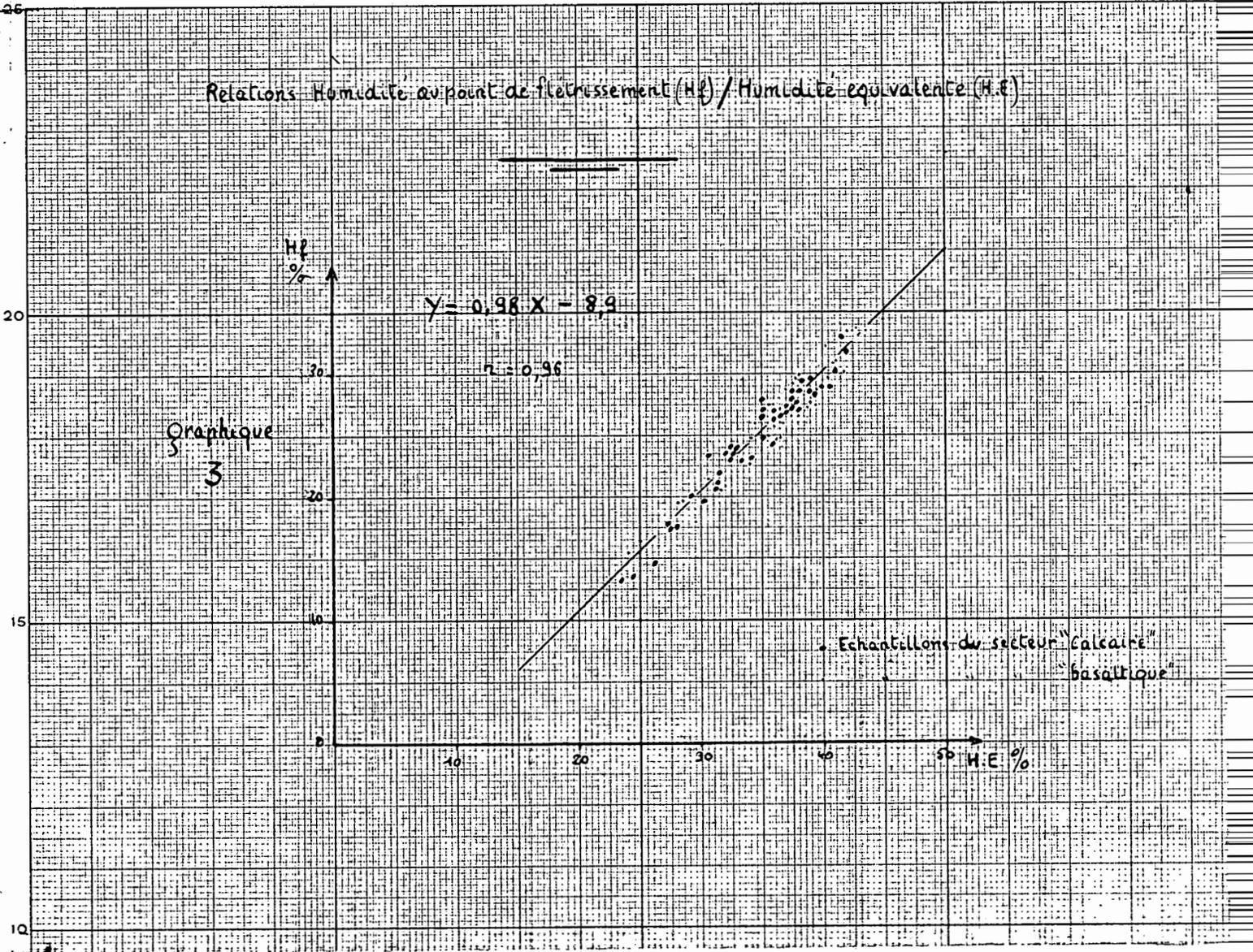
#### II.2.2.1. Relations pF/humidité.

Si sur un graphique pF/humidité on joint les points relatifs aux pF 4,2, 3,0 et 2,5, on constate que la ligne brisée obtenue tourne toujours sa "convexité" vers l'origine. Au point d'inflexion l'angle des 2 droites est toutefois assez ouvert ; pour des échantillons "basaltiques" riches en argile, les axes des deux segments sont presque confondus.

L'inclinaison des segments "supérieurs", laisse à penser que pour des pF > 4,2 les quantités d'eau libérées quand le pF passe de 4,2 à 4,5 sont de l'ordre de 1 à 2% en poids. Si cette remarque ne présente que peu d'intérêt pour les cultures irriguées, elle permet peut être d'expliquer pourquoi certaines espèces perennes, comme l'olivier, parviennent à résister à des sécheresses édaphiques très marquées ; dans d'autres régions que le Liban on a pu montrer en effet que l'olivier pouvait s'alimenter en eau jusqu'à des pressions de succion de 40 Atmosphères (soit pF 4,6).

Pour des pF compris entre 2,5 et 3 le rapport de proportionnalité entre unités pF et teneurs en eau est plus favorable. En moyenne on enregistre une libération de 3% d'eau pour une augmentation de 0,2 unité pF.

Relations Humidité au point de flétrissement (H<sub>f</sub>) / Humidité équivalente (H.E.)



Graphique  
3

Echantillons du secteur "Calcaire"  
"basaltique"

#### II.2.2.2. Valeurs de H.E.

L'humidité équivalente est généralement plus proche de l'humidité à pF 3 que de l'humidité à pF 2,5 ; elle a même été trouvée inférieure dans un échantillon renfermant 70% d'argile. Comme d'un autre côté plusieurs auteurs ont montré que le pF de la capacité au champ dans les sols argileux est également assez voisin de 3, il nous a semblé logique d'adopter l'humidité équivalente comme limite supérieure théorique du domaine d'eau utile, d'autant plus que cette donnée est couramment déterminée au laboratoire.

#### II.2.3. Relation Hf/H.E. (cf. graphique 3)

Dans un but essentiellement pratique, nous avons cherché à voir comment pouvaient être reliés ces deux types d'humidité. Le report d'une centaine de points représentatifs d'échantillons provenant de tous les types du sol du AKKAR, dont les textures s'intègrent dans une gamme allant de 25 à 70% d'argile, révèle l'existence d'une corrélation linéaire très étroite. ( $r = 0,96$ ). Si Y désigne l'humidité à pF 4,2 et X l'humidité équivalente, l'équation de la droite de régression est la suivante :

$$Y = 0,98 X - 8,9$$

En première approximation on peut donc dire que l'eau utile théorique pondérale (X-Y) est constante et égale à 9%.

Ce résultat est intéressant de plusieurs points de vue :

- Tout d'abord il permet d'évaluer avec une assez bonne précision l'humidité au point de flétrissement sans qu'il soit nécessaire d'utiliser la presse à membrane ; l'opération est donc rapide.

- Ensuite il autorise l'adoption de doses d'irrigation uniques, pour des plantes annuelles dont les systèmes racinaires n'explorent que les horizons superficiels à densité apparente pas trop élevée et ceci quel que soit le type de sol considéré.

- Enfin il incite à rechercher pour les cultures arbustives les types de sol les moins argileux, puisqu'ils allient à des capacités utiles sensiblement analogues à celles des sols lourds, une moindre compacité, un meilleur ressuyage et de plus grandes facilités d'entretien.

### II.3. : La porosité

=====

#### II.3.1. Aspect statique : types de porosité

Par définition, la porosité totale est égale au rapport : volume des "vides"/volume total. De façon schématique ces vides pourraient être classés en 2 catégories :

- La 1ère catégorie engloberait les espaces existant entre les mottes et entre les agrégats, constituant ce que l'on pourrait qualifier de porosité "externe", et que l'on pourrait subdiviser en macroporosité et en porosité intersticielles.

- La 2ème concernerait les canaux de diverses origines dont l'extension dans la masse des mottes peut être ou non interrompue, ainsi que les pores généralement tubulaires perforant ou non les agrégats (pores en doigt de gant), que l'on pourrait regrouper sous l'appellation porosité "interne" elle-même pouvant être subdivisée en macroporosité de mottes et en porosité d'agrégats.

Ajoutons de suite qu'il n'est pas dans nos intentions d'assimiler porosité capillaire à la somme porosité intersticielle + porosité d'agrégats ; celles-ci peuvent être liées également à l'existence d'interstices ou de pores assez "gros".

Dans la plaine du AKKAR la grande majorité des profils observés se caractérise par la superposition de deux types d'horizons :

le type "superficiel" périodiquement perturbé par les façons culturales, à structure artificielle mottée, où parfois il est possible de distinguer deux catégories d'éléments structuraux étroitement associés, les uns se rapprochant du type grumeleux, les autres du type nuciforme moyen à grossier.

le type "subsuperficiel" et "profond" où se développe une structure naturelle angulaire de type prismatique grossier rapidement relayée vers la profondeur par une structure en plaquettes, spécifique des sols vertiques.

Si dans le premier cas, peuvent coexister les divers types de porosité précédemment définis, dans le second cas, lorsque l'humidité du sol est au moins égale à  $H_f$ , ne subsiste qu'une porosité "capillaire" surtout intersticielle.

### II.3.2. Aspect dynamique : le gonflement - la dispersion

Il est évident qu'il est illusoire de vouloir accorder à une détermination chiffrée de porosité la même fiabilité qu'à un résultat d'analyse chimique ; les coefficients de variations ne sont absolument pas comparables. Cela tient pour une grande part à une certaine variabilité aléatoire de cette grandeur dans l'espace, mais aussi à l'existence de certaines lois de variations dans le temps, liées à l'intervention des facteurs eau et plante et donc indirectement, dans les parcelles de cultures en particulier, à l'action de l'homme.

#### II.3.2.1. Modifications de porosité liées à l'action de l'eau.

Partons d'un sol sec dont la porosité est  $P_0$  et humectons le de façon à l'amener à une humidité voisine de la capacité de rétention.

Dans un premier temps considérons comme négligeables les phénomènes d'éclatement et de dispersion. De façon schématique on peut dire que tout échantillon de terre dispose d'une certaine capacité de stockage et d'une certaine faculté d'adsorption. Si le rapport capacité de stockage à l'état sec/faculté d'adsorption est nettement supérieur à 1, cela veut dire que la porosité non capillaire est relativement importante. Aussi même si les agrégats sont amenés à accroître leur volume pour emmagasiner l'eau qu'ils adsorbent, le volume total apparent du sol ne sera que très peu modifié ; seule la largeur des interstices ou le diamètre des pores seront réduits. La porosité totale reste constante.

Si au contraire ce rapport est inférieur à l'unité, l'accroissement de volume des agrégats entraîne normalement un accroissement du volume apparent du sol. Plusieurs cas peuvent alors se présenter : ou bien l'extension de ce volume apparent peut se réaliser librement, comme par exemple dans des horizons fréquemment travaillés ; dans ce cas, la densité apparente diminue et la porosité prend une nouvelle valeur  $P_1 > P_0$ . Ou bien cette extension est soumise à certaines contraintes ; c'est le cas par exemple des horizons superficiels de sols "naturels" riches en argile gonflantes. Il se crée alors un microrelief particulier appelé "gilgai".  $P_1$  est alors probablement compris entre  $P_0$  et  $P_1$ . Ou bien la situation particulière de l'horizon, soumis par exemple à la pression qu'exercent les couches supérieures du sol, lui interdit tout foisonnement. Dans ce cas la porosité initiale n'est pas modifiée.

Si à présent nous avons affaire à des sols particulièrement instables, se superposent alors aux phénomènes exposés ci-dessus, les effets d'éclatement et d'effondrement des édifices structuraux, entraînant par eux-mêmes une dispersion des éléments, à laquelle succède rapidement un certain tassement et de ce fait une réduction de la porosité.

Pour effectuer des mesures valables il est donc indispensable d'opérer lorsque les équilibres teneur en eau/gonflement/dispersion sont réalisés. La période qui convient le mieux est évidemment la fin de la saison des pluies.

Dans les sols du AKKAR, la dispersion assez faible semble jouer un rôle secondaire dans l'évolution de la porosité totale. Le foisonnement est par contre toujours perceptible sur des échantillons traités au laboratoire. Toutefois pour les raisons précédemment évoquées, il est fort probable que dans les sols en place les variations du taux d'humidité n'ont qu'une incidence négligeable sur la porosité totale des horizons non perturbés (au delà de 30cm) ; dans les horizons de surface, si l'action de l'eau est nettement efficiente, elle est dans la majorité des cas masquée par la répétition des façons culturales.

### II.3.2.2. Modifications de porosité liées à l'action de l'homme

Si l'on passe sous silence les travaux d'entretien, qui n'intéressent que la partie la plus superficielle du sol, il reste à voir de quelles façons les travaux de préparation du sol peuvent améliorer la porosité, cette amélioration s'accompagnant d'une accentuation de la vitesse d'infiltration.

Il importe tout d'abord de choisir le moment le plus propice pour effectuer un type de labour donné. En fin de saison culturale, c'est à dire avant l'hivernage, il est évidemment préconisé d'effectuer un labour profond et grossier pour augmenter au maximum la macroporosité interstitielle et pour atténuer les phénomènes de délitement ; ce labour ne pourra être obtenu qu'en opérant sur un sol sec, ce qui exige une énergie "tractrice" considérable.

Au sortir de la saison des pluies, on pourra obtenir une structure grossière en travaillant le sol à un taux d'humidité voisin de la limite d'adhésivité (labour moulé) ou une structure fine si on attend que le sol se ressuie jusqu'à atteindre la limite inférieure de plasticité. Les dépenses d'énergie à fournir sont dans ce cas bien moindres. On peut néanmoins douter a priori des facilités d'exécution de l'un ou de l'autre type de labour dans des sols argileux qui se ressuient très lentement.

Avant toute chose, il serait donc utile de connaître pour quelques types de sols, les valeurs approchées des limites mécaniques d'Atterberg de façon à pouvoir déterminer non seulement les divers indices classiques mais encore certaines limitations à l'irrigation par submersion. Nous envisageons d'effectuer prochainement une série de tests sur des échantillons prélevés dans la future zone pilote.

### II.3.3. Les résultats

#### II.3.3.1. Densité réelle.

Nous n'avons pas jugé utile de déterminer cette grandeur sur un nombre important d'échantillons, car les teneurs en matière organique ne sont pas suffisantes pour modifier profondément la valeur théorique moyenne égale à 2,65. Les résultats sont effectivement les suivants :

N° échant.	702	681	401	393	403	391	121	212	123	372
Argile	6,5	27,0	28,0	28,0	35,0	44,0	55,0	59,0	62,5	68,0
m. o.	0,5	1,8	1,6	0,7	1,5	2,0	1,7	1,9	1,6	1,6
Dens.réelle	2,65	2,66	2,60	2,67	2,71	2,61	2,68	2,64	2,61	2,73

Aussi avons nous adopté systématiquement la valeur 2,65 pour les calculs de porosité.

### II.3.3.2. Densité apparente.

Deux déterminations au moins par emplacement et à 2 niveaux (0 et 40cm) nous ont conduits à dépouiller près de 500 résultats. Nous en avons éliminé plus de la moitié qui ne semblait pas avoir été obtenus dans de bonnes conditions. La cause essentielle de cet énorme déchet est imputable un peu au manque de rodage des équipes chargées d'effectuer ce travail, mais surtout au fait que nous ne disposions alors pas de membranes spécialement adaptées au type d'appareil utilisé. Les résultats retenus ont été contrôlés soit directement soit indirectement en les confrontant avec les données de profils hydriques relevés en été ou au sortir de l'hiver, et par comparaison avec des horizons présentant d'autres caractéristiques semblables. Nous avons évité d'effectuer des mesures dans les horizons dont l'humidité était inférieure à Hf ainsi d'ailleurs que dans les horizons trop caillouteux. Malgré ces précautions la variabilité dans les résultats est restée assez forte, aussi nous a-t-il semblé plus correct d'exprimer la grande majorité des résultats obtenus avec une seule décimale.

En surface les valeurs de  $d_a$  oscillent entre 1,0 et 1,4, la moyenne étant voisine de 1,25. A 40cm les limites de l'intervalle seraient 1,1 et 1,7 ; la grande majorité des résultats se concentrent toutefois entre 1,3 et 1,5. Il n'a pas été possible d'établir de corrélations ni avec le type de sol ni même avec les teneurs en argile.

Les porosités totales seraient ainsi comprises, en surface, entre 62 et 47% (moyenne 53%) ; à 40cm principalement entre 49 et 41%. A ces valeurs limites de la porosité correspondent des humidités pondérales à saturation égales à 62 et 34% en surface, 36 et 26% à 40cm.

Si l'on compare ces derniers chiffres aux valeurs de Hf, on constate que les sols très argileux voient leur domaine d'eau utile très fortement tronqué dès que leur densité apparente excède 1,4.

### II.3.4. La compacité - ses conséquences

#### II.3.4.1. Limitation du domaine d'eau utile

Sur le graphique 4, nous avons reporté la courbe de variation du taux d'humidité maximum de rétention ou humidité à saturation (Hm) dans un système de coordonnées  $d_a/H_f$ . D'après la relation établie précédemment entre H.E. et Hf, il est évident que si  $H_f > H_m - 9$  pour une valeur donnée de la densité apparente, la limite supérieure du domaine d'eau utile n'est autre que la capacité maximum de rétention. Plus l'intervalle Hm-Hf sera réduit, plus le volume d'eau utilisable par la plante sera faible.

Pour améliorer cet état de chose, donc pour amener la différence Hm-Hf à sa valeur maximale, on doit chercher à diminuer Hf et à augmenter Hm. Une réduction de Hf n'est possible que si l'on incorpore au sol des quantités appréciables de sables ; c'est une technique qui ne peut être rentabilisée que pour des cultures riches. L'accroissement de Hm est lié à une amélioration de la porosité totale ; dans ce cas il est nécessaire de procéder à des labours plus profonds et à des travaux d'entretien plus fréquents.

Dans les sols du AKKAR, les horizons de surface, périodiquement travaillés ne sont pas concernés par ce genre de limitation. En profondeur par contre la quasi totalité des vertisols et une grande partie des autres sols ne constituent que de piètres réservoirs d'eau utilisable.(cf. graphique)

### II.3.4.2. Asphyxie totale et partielle.

En nous inspirant d'une méthode de calcul utilisée par d'autres auteurs pour établir un indice de compacité, nous avons cherché à voir quelles étaient les valeurs limites de Hf au delà desquelles risque de se manifester une certaine anaérobiose. pour des humidités voisines du point de rétention.

Si l'on désigne respectivement par Vs, Vl, Va les volumes occupés au point de rétention par les trois phases solide liquide et gazeuse dans un volume de terre arbitrairement fixé à 100cc, on peut poser les relations suivantes :

$$V_s + V_l + V_a = 100 \qquad V_l + V_a = \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \times 100 \qquad V_l = H.E \times d_a$$

Il y aura asphyxie totale si  $V_a = 0$  et a fortiori si  $V_a < 0$ . Nous supposons, avec d'autres auteurs qu'une asphyxie dite "partielle" pourra se réaliser dès que  $V_a < V_l$ . Il est utile de répéter que nous raisonnons sur l'équilibre sol/eau/air existant à l'humidité de rétention (H.E).

$$\begin{aligned} \text{1er cas : } V_a < 0 \qquad V_a &= \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \times 100 - H.E \, d_a \\ V_a < 0 \qquad \text{si } H.E &\gg 100 \left(\frac{1}{d_a} - \frac{1}{d_r}\right) \end{aligned}$$

Appliquons cette inégalité aux sols du AKKAR, pour lesquels nous avons adopté  $d_r = 2,65$  et pour lesquels existe la relation  $H_f = H.E - 9$

$$H_f + 9 \gg 100 \left(\frac{1}{d_a} - 0,38\right)$$

$$\text{Donc } V_a \leq 0 \text{ si } H_f \gg \frac{100}{d_a} - 47$$

$$\begin{aligned} \text{2è cas : } V_a < V_l \qquad \text{soit } \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) \times 100 - H.E \, d_a &< H.E \, d_a \\ 50 \left(1 - \frac{d_a}{d_r}\right) &< H.E \, d_a \end{aligned}$$

$$\text{Donc } V_a < V_l \text{ si } H.E > 50 \left(\frac{1}{d_a} - \frac{1}{d_r}\right)$$

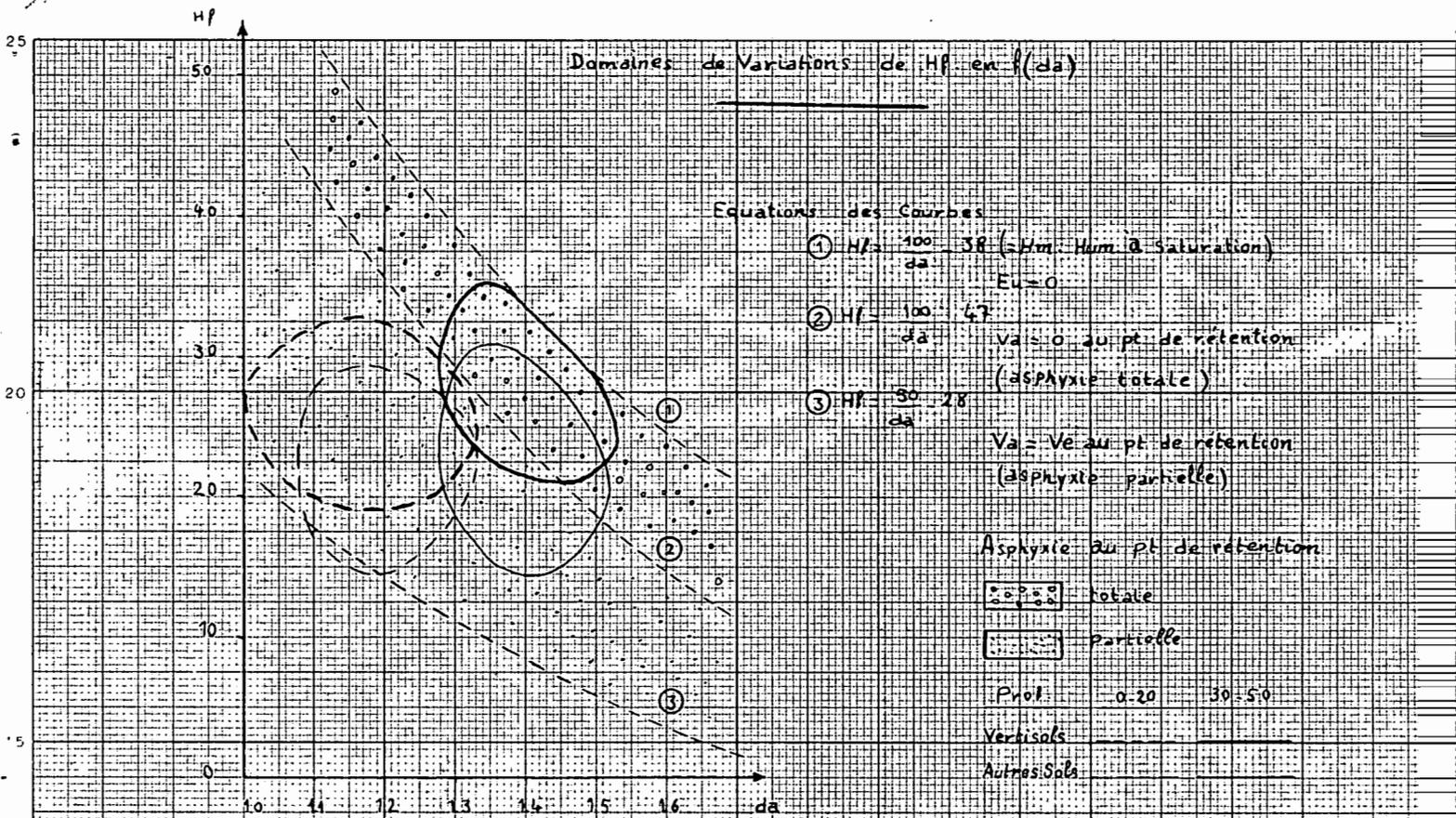
c'est à dire pour les sols du AKKAR :

$$V_a < V_l \text{ si } H_f > \frac{50}{d_a} - 28$$

Si nous reportons sur le graphique 4, le tracé des branches d'hyperbole correspondant aux 2 relations précédentes, on constate que les horizons de surface placés à la capacité de rétention présentent toujours une certaine capacité pour l'air ; celle ci semble être toutefois insuffisante, puisque dans tous les cas les points représentatifs se localisent dans la zone d'asphyxie partielle. Dans les horizons profonds, la capacité pour l'air est nulle pour la majorité des vertisols et une grande partie des autres sols.

### II.3.4.3. Conséquences pratiques.

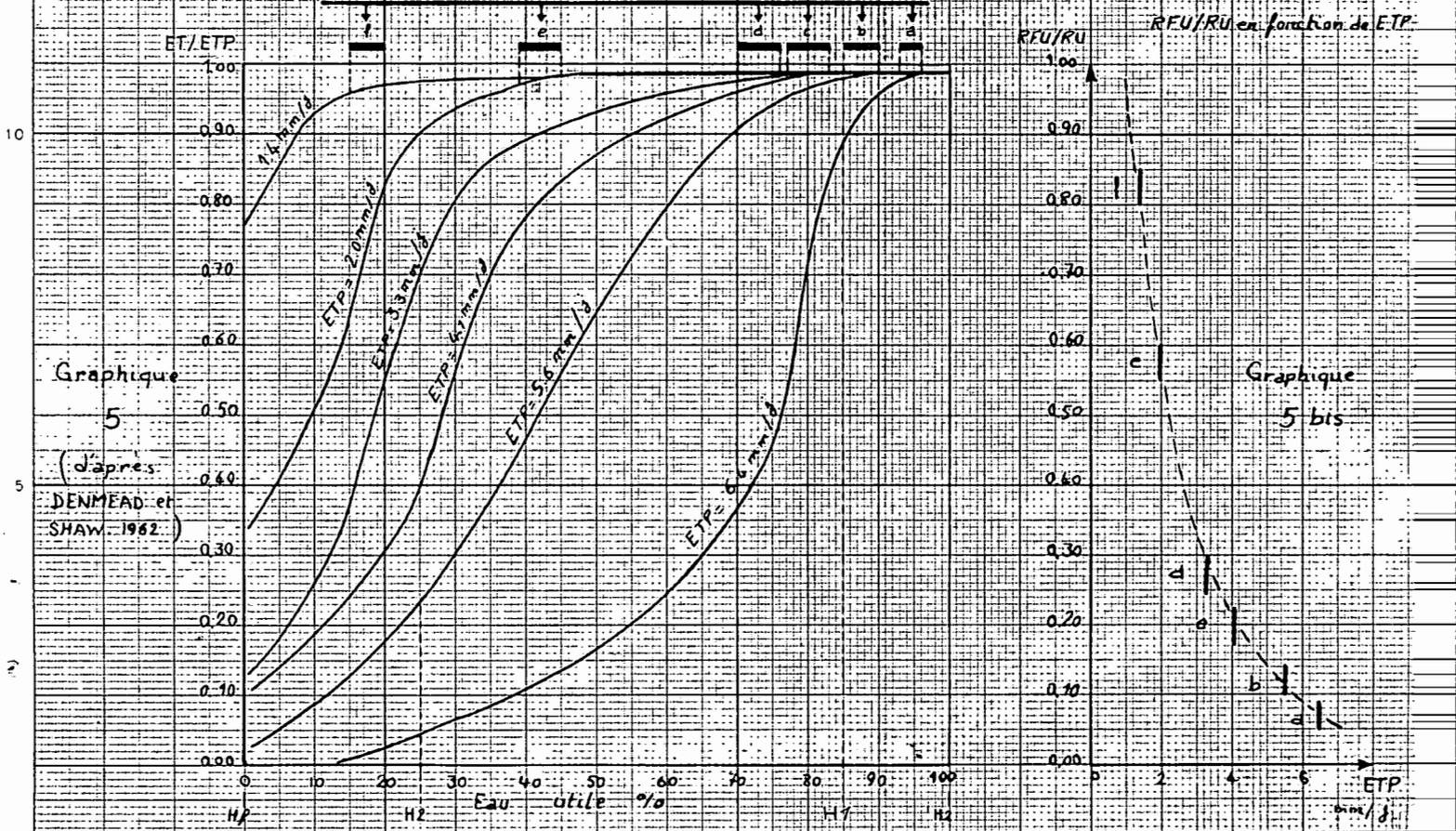
Des études relativement récentes ont montré que les variations, en fonction de la teneur en eau du sol, de la "transpiration relative" d'une plante couvrant parfaitement le sol (valeur du rapport ET/ETp) étaient différentes selon les niveaux que pouvait atteindre l'ETp. (cf. graphique 5) Si l'on désigne par RFU la réserve en eau facilement utilisable c'est à dire la quantité d'eau que peut absorber la plante sans



Variations de l'Evapotranspiration relative  $ET/ETP$  en fonction de l'Eau utile  $E_u$ , pour différentes valeurs de ETP

Début de réduction de la transpiration

Allure de la Courbe  
 $RFU/RU$  en fonction de ETP



être obligée de réduire sa transpiration, et par RU la réserve en eau utile, les rapports RFU/RU sont d'autant plus proches de 1 que l'ETp est plus faible, et ceci quelle que soit la nature du matériau (cf. graphique 5 et 5 bis).

Examinons ce qui peut se passer dans les sols du AKKAR durant la période d'irrigation la plus intensive (Juillet - Août). A cette époque la moyenne journalière de l'ETp est comprise entre 5 et 6mm ; la courbe de variations du rapport ET/ETp en fonction de H présente alors un palier assez réduit (cf. courbe 5, 6mm/j).

Si donc on cherche à placer la plante dans des conditions optimales d'alimentation en eau, on sera amené à irriguer dès que le taux d'humidité atteindra la valeur H1. Mais pour cette teneur en eau relativement proche du point de rétention (Hr), la capacité pour l'air, dans un vertisol par exemple, sera réduite en surface et presque nulle en profondeur. L'aération du système racinaire sera sérieusement contrecarrée et la plante risque de voir ses facultés de résistance aux maladies physiologiques ou aux agents pathogènes, considérablement amoindries.

Si au contraire la fréquence des irrigations est plus lâche, l'humidité du sol pourra diminuer jusqu'à une valeur H2, plus proche de Hf. A ce moment la plante réduira sa transpiration en obturant partiellement ses orifices stomatiques, mais au niveau des racines les échanges gazeux ne seront plus entravés comme précédemment.

Théoriquement le problème à résoudre est donc le suivant : il s'agirait de savoir dans quelle mesure interfèrent sur les rendements les 2 facteurs limitants que sont le manque d'eau et le manque d'air. Dans l'immédiat il est plus simple et donc préférable de déterminer expérimentalement le taux d'humidité minimal, pour lequel on doit déclencher l'irrigation, en procédant à des essais faisant intervenir comme variable de premier ordre la fréquence des arrosages et comme variable de deuxième ordre la dose, le travail du sol, le drainage etc....

## II.4 : L'eau utile

=====

### II.4.1. A l'échelon des horizons

Dans les 3 colonnes <sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup> du tableau n°1, ont été consignées les valeurs de l'eau utile pondérale (en % de la terre fine) pour chacun des horizons. Ont été soulignées les valeurs inférieures à l'eau utile théorique H.E - Hf ; cette réduction de Eu est due, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, à la conjonction de fortes densités apparentes et de taux d'humidité au point de flétrissement relativement élevés.

Il nous a semblé inutile de surcharger le tableau avec les résultats de la réserve utile de chaque horizon ; cette eau utile volumique a été calculée à partir de la formule classique

$$RU \text{ (mm)} = (H.E - Hf) \times d_a \times e/10.$$

e exprimé en cm, désignant l'épaisseur de l'horizon considéré

### II.4.2. A l'échelon des profils

Nous avons déterminé la réserve utile pour des tranches de sol égales à 50cm et à 100cm, estimant que la première valeur pouvait donner une idée des quantités d'eau effectivement utilisables par les plantes annuelles et que la seconde devait constituer la limite supérieure du volume d'eau pouvant être mis à la disposition d'espèces perennes.

Des signes typographiques ont été utilisés pour indiquer divers types de limitation de la réserve utile: l'astérisque signifie que la profondeur utile est inférieure à 50cm ou à 1m selon qu'il surmonte respectivement le nombre de la colonne 7a ou 7b. Le signe + révèle l'existence dans le profil d'un pourcentage non négligeable de cailloux, dont

TABLEAU N° 1

Type	Prof. N°s	Arg.	T/a	Eu pondérale			da		Réserve utile	
				a	b	c	0	40	/50cm	/100cm
As 2-1	68	32		(3,8)	8,3	8,8	1,3	1,6	45	113
2-2	69	3		0,5	0,8				(5)	(10)
Ac 1-2	410	40	80	10,8	10,2	9,1	1,1	1,45	+ 58	+ 110 *
Ac 1-4	54	30	80	10,3	9,2	11,0	1,2	1,4	+ 58	+ 120
Ac 2-1	WAB 1	60		11,0	10,4	6			(62)	(104)
	11	58	80	<u>10</u>	<u>6</u>	<u>3</u>	1,3	1,4	48	70
	12	58	70	9,5	10,3	8,9	1,1	1,3	58	116
	21	59	80	8,0	7,6	7,6	1,3	1,35	52	103
Ac 2-2	17	59	70	9,1	<u>10</u>	<u>6</u>	1,1	1,4	60	130
	71	50	90	10,5	<u>11</u>	<u>9</u>	1,2	1,4	+ 63	+ 123
Ac 2-3	15	60	80	9,4	<u>6</u>		1,3	1,45	50	
Ac 2-4	13	40	90	10,6	10,6	8,6	1,3	1,3	+ 66	+ 124
Ac 3-2	404	50	90	9,4	8,9	8,2			(60)	(100) *
	406	(50)	90	10,7	6,7	<u>3</u>	1,1		+ 50	+ 70
	408	58	95	9,1	8,5	<u>5</u>			+ 50	+ 80
	417	48		11,4	10,7				70	(90) *
Ab 1-1	40	30	140	8,8	8,1	9,2	1,2	1,4	55	120
	42	23	150	8,2	11,8	8,4			(63)	(122)
Ab 1-2	39	44/28	(120)	8,7	9,4	10,7	1,1	1,35	58	130
	46	42	130	9,4	8	<u>4</u>	1,2	1,4	49	100 (⊗)
Ab 1-3	22	50	110	10,5	11,6	<u>7</u>	1,15		(64)	(113)
	37	68	110	8,4	<u>5,5</u>	<u>2,5</u>	1,2	1,35	37	54 (⊗)
Ab 1-6	51	45	110	8,0	8,3	<u>7</u>			(49)	(110) (⊗)
Ab 2-1	31	58	110	8,4	<u>6,5</u>	<u>1</u>			(45)	(52)
	34	60	90	6,2	8,1	7,7	1,0	1,3	44	94
Ab 2-2	44	38	(120)	10,3	10,0	11,2	1,3		(68)	(150)
Ab 3-1	30	40	(90)	10,6	9,3	8,6			(62)	(120)
Ab 3-3	58	28	250	11,0	<u>9</u>				(50) *	
	62	40	120	11,6	11,9	10,3			(73)	(120) *
	63	44	130	10,9	<u>4</u>	<u>1</u>			(45)	(110)

N.B. Colonne 1 : Sont soulignés de 2 traits les vertisols profonds et non caillouteux, d'1 trait les vertisols peu épais ou caillouteux.

Colonne 3 et 4 : Valeurs moyennes arrondies.

Colonne 7 : Limitations de la réserve utile

+ pierrosité dans le profil non négligeable

\* niveau caillouteux à moins de 50cm ou de 100cm.

(⊗) niveau limono - sableux

( ) valeurs approchées (densité "apparente estimée")

il a été tenu compte pour le calcul de R.U. Enfin signalons que les résultats figurant entre parenthèses ont été obtenus à l'aide de données densitométriques estimées et non mesurées.

#### II.4.3. Par types de sols - Représentation cartographique

Le nombre de profils analysés en détail et pour lesquels nous disposons des données hydriques essentielles (da - Hf - HE - HpF 3,0 et 2,5) étant assez limité (30 au total) il n'a pas été possible de dresser une carte de réserve utile, indépendamment de la carte pédologique au 1/20 000.

Nous avons donc été naturellement conduits à définir pour chaque type de sol les limites des intervalles de variations de la R.U. en tenant compte non seulement des caractéristiques des profils analysés mais aussi des descriptions et des résultats d'analyses partielles des autres sondages. Les chiffres que nous avons adoptés figurent dans le tableau 2.

Pour la représentation, nous avons ménagé des "fenêtres" de 2x1cm dans les principales entités cartographiques, comportant dans la partie supérieure, les limites des intervalles de variations du RU à 50cm, dans la partie inférieure les limites à 100cm. Les couleurs du fond et du cadre de ces "fenêtres" reflètent respectivement les limitations principales et secondaires propres à l'unité cartographique, considérée. Ces limitations de la R.U. sont au nombre de 4 : l'interaction texture/type d'argile/compacité ; la profondeur ; la pierrosité ; la teneur en sables.

Il est bon de préciser, à propos de la profondeur utile d'un sol complexe présentant une couche drainante à moins de 1m, qu'à la limitation d'ordre mécanique, que peuvent opposer certains niveaux caillouteux, peut se surajouter, dans des niveaux également riches en sables ou en limons, une limitation d'ordre hydrodynamique, étant donné que l'hystérésis d'humectation réduit les possibilités de réhumectation d'un milieu rapidement ressuyé, à partir d'horizons susjacents, pouvant être plus humides.

TABLEAU N° 2

Types de Sols	Profils analysés	Intervalle de variation de R.U.		Limitations de R.U.	
		à 50cm	à 100cm	Principales	Secondaires
As 2-1, 2-2	68-69	5-50	10-120	S.	Prof.
Ac 1-2	410	50-60	100-120	-	p.
Ac 2-1	WAB 11-12-21	45-65	70-120	t/a/c	p.
2-2	17-71	50-65	100-130	t/a/c	p.
2-3	15	45-65	70-120	t/a/c	p.
2-4	13	45-65	70-120	t/a/c	p.
Ac 3-2	404-406 408-417	50-70	70-110	p.	t/a/c
Ab 1-1	40-42	55-65	110-130	-	-
1-2	39-46	50-70	80-130	-	prof.
1-3	22-37-31	35-65	50-110	t/a/c	-
1-6	51	45-55	100-120	-	t/a/c
Ab 2-1	34	40-50	50-100	t/a/c	-
2-2	44	60-70	120-150	-	prof.
Ab 3-1	27-30	45-65	60-120	t/a/c	-
3-3	58-62-63	40-75	40-120	prof.	t/a/c

⊛ S : forte teneur en sable - Prof. : profondeur - p : pierrosité  
t/a/c : Interaction texture/type d'argile/compacité.

### III - VITESSE D'INFILTRATION

#### III.1 : Aperçu critique de la méthode utilisée - ses limites =====

##### III.1.1. La vitesse d'infiltration, grandeur vectorielle

Sur le plan hydrodynamique, le sol peut être considéré dans la presque totalité des cas, comme un milieu anisotrope. La vitesse d'infiltration en particulier, est fortement influencée par les impuretés et les accidents de toutes sortes qui se répartissent dans la masse du sol soit de façon anarchique, soit de façon périodique et systématique ; aussi n'est-il pas rare d'obtenir dans des horizons soumis à de multiples contraintes extérieures actuelles ou passées, telles que ruissellement, travaux culturels ou développement racinaire, des résultats discordants à des distances relativement faibles. De ce fait, les valeurs moyennes n'ont fréquemment qu'une signification limitée ; il semble préférable de leur substituer les valeurs des limites des intervalles de variation, plutôt que de chercher à éliminer des résultats qui, pour des raisons mal définies, sont considérés comme aberrants. Sans aller jusqu'à épouser dans leur stricte rigueur les méthodes de dépouillement statistiques, il semble également indispensable d'exposer les résultats en s'inspirant de certaines lois de répartition.

D'un autre côté, le caractère vectoriel de la vitesse d'infiltration rend difficile sinon impossible toute tentative de corrélation avec des caractéristiques physico-chimiques couramment déterminées. Ces relations ne peuvent à notre avis se révéler que dans des horizons non ou peu perturbés, lorsque ces caractéristiques interfèrent fortement dans l'élaboration et l'évolution des propriétés structurales. De la même façon, il est illusoire de vouloir chercher à comparer la vitesse de "filtration" mesurée au laboratoire sur échantillons remaniés et la vitesse d'"infiltration" obtenue sur le terrain ; l'écart entre ces deux grandeurs sera d'ailleurs d'autant plus grand que la compacité et les quantités d'argiles gonflantes seront elles-mêmes plus importantes.

##### III.1.2. Limitations spatiales

Les mesures effectuées ne caractérisent en principe que les phénomènes d'infiltration verticale, l'anneau de garde ayant théoriquement pour rôle d'interdire à l'eau du cylindre central de diffuser latéralement. Il eût été certainement intéressant de noter les différences de débits, rapportés à l'unité de surface, du petit et du grand réservoir et d'observer en fin d'expérience l'extension du volume de terre humectée. Ce type d'étude mené systématiquement nous aurait sans doute permis de nous forger une idée plus exacte de l'importance des processus d'infiltration latérale, dont la connaissance est utile à tout projet d'établissement d'un réseau de drainage efficient.

En outre nous devons signaler que les infiltromètres n'ont jamais été installés au delà de 50cm ; ces mesures en profondeur auraient en effet exigé des travaux de terrassement considérables, difficiles à réaliser dans des parcelles intensivement cultivées, à une époque de pleine production. Quelques essais menés à la station d'Abdé en utilisant la méthode Porchet, nous ont toutefois montré que dans des sols homogènes et argileux les valeurs obtenues au delà de 1m étaient voisines sinon inférieures à celles qui intéressaient les horizons moyens (40 - 50cm).

#### III.2 : Les résultats =====

##### III.2.1. Variations de la vitesse d'infiltration en fonction du temps

La courbe de variations  $V = f(t)$  a une allure hyperbolique ; relativement élevées en début de mesure, les valeurs de  $V$  décroissent asymptotiquement vers une valeur limite atteinte plus ou moins

rapidement. Bien que les courbes obtenues présentent un certain nombre de points "aberrants", il nous a semblé utile de chercher à les caractériser à l'aide de 3 indices "Vitesse" et d'un indice "Temps", ainsi définis .

a : vitesse d'infiltration au temps  $t = 5$  minutes

b : " " " " "  $t = 15$  "

c : " " " " à l'équilibre

T : Temps nécessaire à l'obtention de la valeur limite

Les deux premières données caractérisent ce que l'on peut appeler la "perméabilité d'arrosage" ; la troisième de son côté correspond à une "perméabilité stabilisée", c'est-à-dire à une vitesse d'infiltration obtenue après établissement du régime permanent. Cette dernière donnée, qui reflète un aspect essentiel de la dynamique de l'eau en milieu saturé est intéressante à connaître, non seulement pour mieux circonscrire les problèmes de drainage, mais aussi pour mieux définir les limites maximales des débits d'arrosage.

### III.2.2. Principaux facteurs influençant les "indices d'infiltration"

Le premier facteur auquel on songe est évidemment le facteur eau. Le taux d'humidité du sol intervient de plusieurs façons, soit directement en conditionnant l'amplitude du déficit de saturation, soit indirectement en agissant sur les processus de retrait et de gonflement.

La structure ou plus exactement la distribution des pores, qui dépend en partie du travail du sol constitue le deuxième facteur important; elle commande dans une large mesure les débits observés.

L'instabilité structurale peut être de son côté responsable d'un colmatage partiel des canaux d'écoulement et par suite d'un ralentissement de l'infiltration.

La nature et l'abondance des éléments colloïdaux favorisent plus ou moins, sous l'action des forces de succion, l'adsorption de l'eau et de ce fait les processus de foisonnement déjà évoqués.

Enfin la présence de niveaux d'arrêt discontinus ou continus à relativement faible profondeur, peuvent perturber parfois même annihiler la percolation.

Pour ces diverses raisons nous avons attaché, lors du dépouillement des données, un grand intérêt aux caractéristiques de chaque site, pour tenter de mieux préciser l'importance que peuvent revêtir dans chaque cas l'erreur expérimentale liée à l'hétérogénéité du substrat et à l'imperfection des manipulations. La prise en considération des profils hydriques relevés systématiquement avant chaque mesure, des accidents de sédimentation, de la compacité, de la texture, de l'instabilité structurale, nous a ainsi permis de définir, comme pour l'eau utile, un certain nombre de limitations, auxquelles il est souvent indispensable de se référer pour expliquer certaines anomalies apparentes.

Rappelons enfin que toutes les mesures ont été effectuées dans des sols cultivés, toujours suffisamment ressuyés.

### III.2.3. Variations des indices a, b, T.

1 - En surface : a, est dans tous les cas, supérieur à 30mm/h ; il est supérieur à 60mm/h dans quelques vertisols des séries Ab 3-1 et Ac 3-1, et dans les autres types de sols.

b n'est inférieur à 30mm/h que dans certains vertisols rattachés aux séries Ab 1-3, Ab 2-1, Ab 3-3, Ac 2-1 et Ac 3-2.

Dans les sols As, a et b sont toujours supérieurs à 60mm/h.

T varie dans de larges proportions ; il est souvent inférieur à 15' dans les vertisols ; dans d'autres types, l'équilibre n'est atteint qu'après plus de 2 heures de percolation.

Toutes ces valeurs relativement élevées de a, b et T s'expliquent surtout par le fait que le déficit de saturation est souvent important dans les horizons de surface.

2 - A 40cm : des valeurs de a et b voisines de 10mm/h sont fréquentes dans les sols n'appartenant pas aux séries As à texture sableuse à argilo-sableuse, et Ab 2-2, qui repose sur des niveaux limoneux ou

graveleux sub-affleurants ; dans ces deux dernières séries, a et b sont supérieurs à 60mm/h.

T présente la particularité d'être réduit (inférieur à 20') dans tous les vertisols non caillouteux ; l'équilibre s'instaure instantanément ( $T = 0$ ) dans 50 % des sols évoluant sur matériau "basaltique" ; dans les vertisols "calcaires" la proportion est moindre (30 %). Ceci est du, dans la majorité des cas, au fait que le taux d'humidité des horizons profonds est assez proche du taux d'humidité à saturation (déficit de saturation réduit). Cette remarque semblerait donc prouver indirectement que ces horizons ne participent pratiquement pas à l'alimentation hydrique des plantes ; elle corroborerait le bien fondé des craintes précédemment formulées, concernant l'amenuisement du domaine d'eau utile à ce niveau.

#### III.2.4. Variations de l'indice c (vitesse limite)

Si les indices précédents étaient principalement fonction du déficit de saturation, l'indice c dépend des propriétés physico-chimiques intrinsèques du substrat et d'un nombre limité de facteurs extérieurs plus ou moins mesurables, parfois négligeables (travail du sol, densité des voies à écoulement rapide, développement racinaire). Pour tester l'existence éventuelle de relations entre l'indice c et les divers types de sols, nous avons consigné les résultats dans un tableau à double entrée (tableau 3), comportant dans le sens vertical les principales séries de sols, dans le sens horizontal les classes de vitesse d'infiltration, dont les limites sont très voisines de celles du "Soil survey manual". Le chiffre reporté dans chaque case du tableau correspond au nombre de mesures par série de sol, dont les résultats s'inscrivent dans les limites de la classe concernée.

##### III.2.4.1. Vitesse limite en surface (cf. graphique 6).

La majorité des résultats se groupent dans les classes "modéré", "moyennement rapide" et "rapide". Il nous est apparu également intéressant de comparer le comportement des trois matériaux de nature différente (As), (Ac) et (Ab), respectivement dominés par la présence de sables, d'éléments détritiques issus de calcaires, et d'éléments issus de basaltes. Comme le nombre de mesures effectuées dans chaque matériau est très différent (18, 68, 136), on ne peut que dégager certaines tendances : d'une façon générale, la vitesse limite décroît quand on passe de (As) à (Ac) et de (Ac) à (Ab) ; l'écart apparaît toutefois moins sensible entre les deux premiers qu'entre les deux derniers ; des valeurs inférieures à 20mm/h sont exceptionnelles dans (As), rares dans (Ac), mais assez fréquentes dans (Ab). Il est à noter également que la pierrosité augmente considérablement la proportion de mesures incluses dans la classe "rapide" ; c'est le cas de quelques sols des séries Ac 3-2, Ab 2-2 et Ab 3-3.

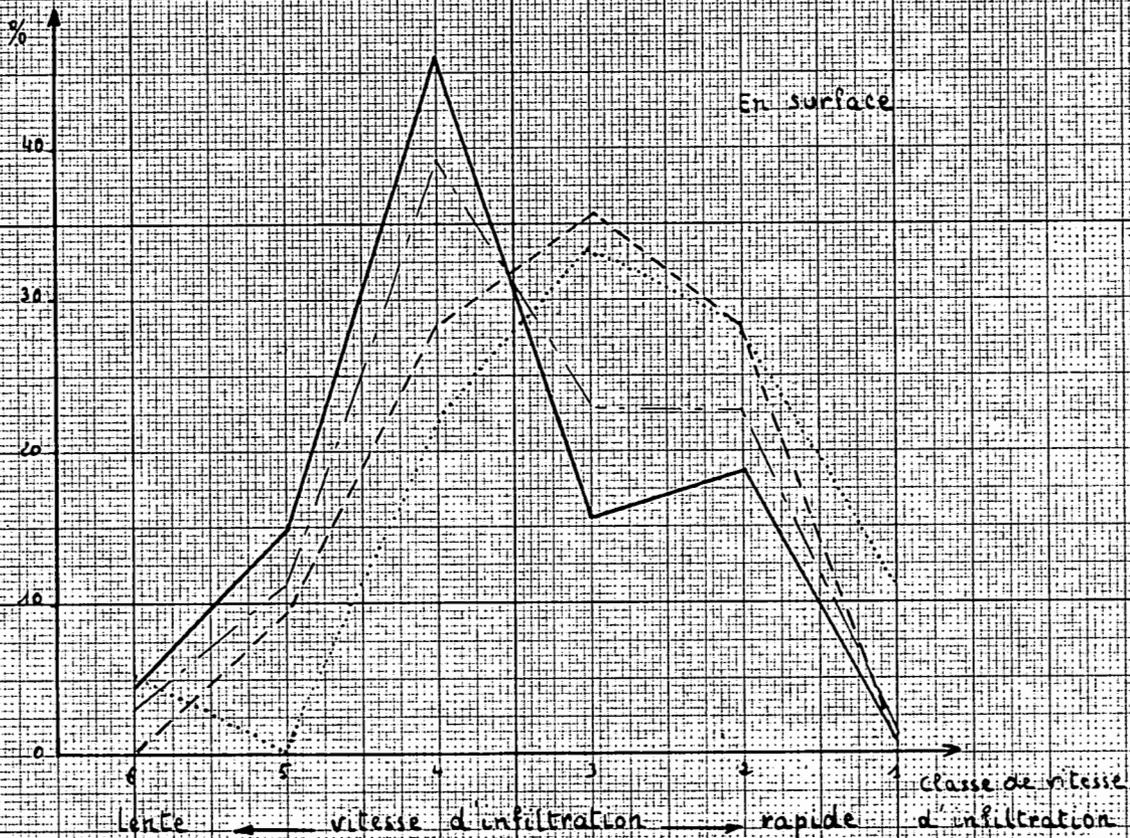
##### III.2.4.2. Vitesse limite à 40cm (cf. graphique 7).

Dans ce cas, on assiste à une diminution régulière du nombre de résultats par classe, à mesure que l'on progresse vers les classes rapides ; 60 % des vitesses d'infiltration obtenues sont inférieures à 20mm/h ; plus de la moitié de celles-ci ne dépassent pas 6mm/h. Une exploitation graphique des résultats relatifs aux trois matériaux précédemment évoqués, laisse apparaître une forte disparité entre (As) d'une part, (Ac) et (Ab) d'autre part ; la comparaison entre (Ac) et (Ab) n'est guère possible, car elle est faussée par le fait qu'il existe proportionnellement plus de niveaux drainants à 40cm dans (Ab) (basalte désagrégé, niveaux graveleux). Là encore, seuls les sols caillouteux ou certains sols complexes présentent un pourcentage non négligeable de mesures dans les classes "moyennement rapide" et "rapide" ; à l'opposé les mesures effectuées dans des vertisols non graveleux se localisent principalement dans les classes "lente" et "très lente".

Le décalage entre les points représentatifs des horizons travaillés et des horizons non perturbés montre combien sont bénéfiques pour l'amélioration de la vitesse d'infiltration les façons culturales.

Permeabilité comparée des catégories de sols As, Ac et Ab.

Graphique 6



Graphique 7

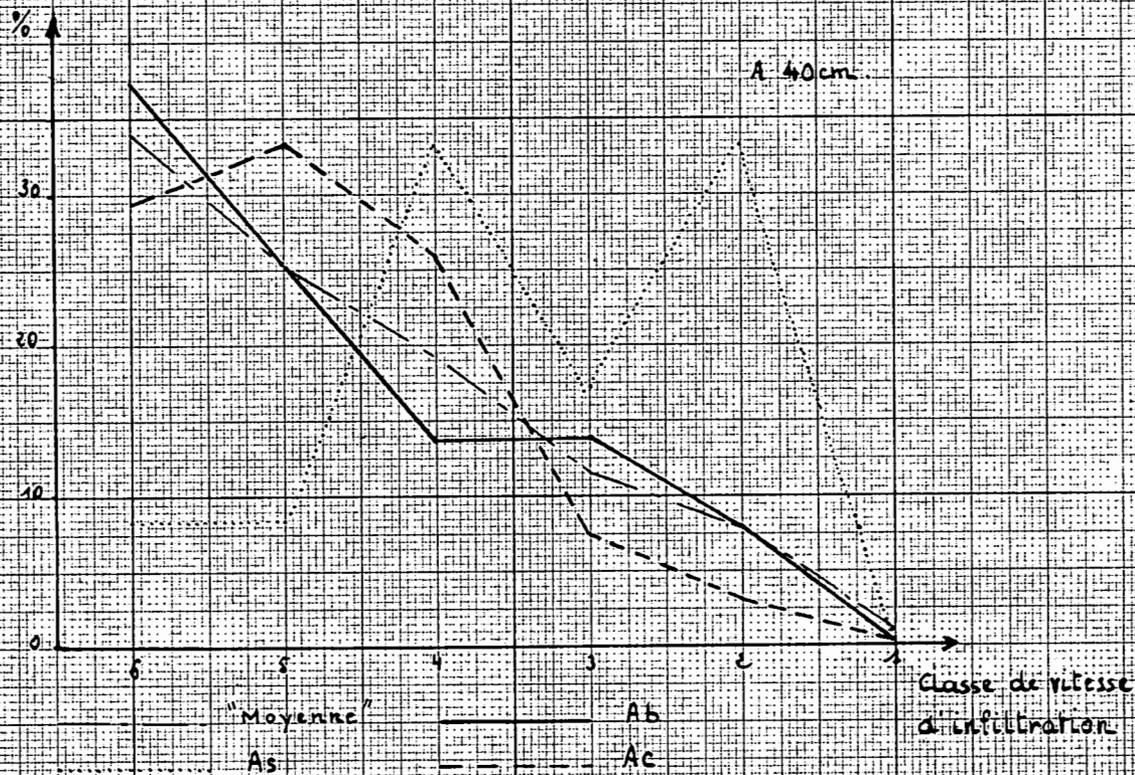


TABLEAU N° 3

Types de Sols	N°s de Profils	Nombre de résultats													
		Horizon (B)							Horizon Ap.						
		Total	Par interv. de variation						Total	Par interv. de variation					
			6	20	60	120	250		6	20	60	120	250		
As et	2-1:65-68-69-70 2-2:19-48	12	1	1	4	2	4	18	1	-	4	6	5	2	
Ac	1-2:2-410 1-3:(49) - 53 1-4:54	5 4 2	-	-	4	1	-	6 6 3	-	-	1	3	2	-	
Ac	2-1:11-12-20-21 2-2:16-17-18 2-2:71-(52) 2-3:15 2-4:13-56	9 11 2 4	3	6	-	-	-	9 14 2 6	-	3	-	3	3	-	
Ac	3-1:1-55 3-2:5-64-406 3-2:417-P6-3	5 12	1	1	3	-	-	5 17	-	-	-	2	3	-	
Ab	1-1:40-41-42 7-10-25-26 1-2:33-38-39-46 60-424-429 24-(45) 4-6-9-22-37	7 29	-	1	-	3	2	9 35	-	2	3	2	2	-	
Ab	1-3:59-(23)-31 28 1-6:51-413 2-1:8-34-50 47-(72) 2-2:43-44	21 5 9 5	14	7	-	-	-	27 6 13 6	3	7	11	4	2	-	
Ab	3-1:27-30-36 57-58-61-62 3-3:63-66-67- 403-421-291 (32)	5 26	4	1	-	-	-	9 31	1	-	7	1	-	-	
AoA1	P1-P2-P5	6	4	1	1	-	-	9	1	-	6	2	-	-	
A2A4	P3P4	4	1	-	2	1	-	6	-	-	-	1	5	-	
Totaux généraux		183	62	47	36	22	15	1	237	8	26	92	54	54	3

Enfin nous devons signaler que, si les corrélations type de sol/vitesse d'infiltration sont assez lâches en surface, elles tendent à s'affirmer à 40cm dès lors que la profondeur du sol est suffisante ; ceci nous conduira à adopter pour chaque niveau de mesures des modes de représentation cartographique distincts.

### III.2.4.3. Remarques sur la vitesse d'infiltration en profondeur

Comme nous l'avons déjà dit, elle n'a pas été déterminée. Néanmoins il est bon de rappeler que la présence d'un niveau drainant à plus de 50cm n'a aucun effet sur la perméabilité des horizons qui le surmontent.

## III.3 : Représentation cartographique

=====

### III.3.1. Les données

Elles sont au nombre de six et sont classées en deux catégories :

- 1) vitesse d'infiltration limite à 40cm  
" " " en surface
- 2) facteurs influençant cette vitesse
  - ° Interaction texture/compacité (t/c)
  - ° Niveau graveleux ou limoneux à moins de 50cm (ng-nl)
  - ° Pierrosité dans le profil (p)
  - ° Prédominance des fractions sableuses (s)

### III.3.2. Modes de représentation

#### III.3.2.1. Vitesse limite (Vl)

Il nous est apparu logique de réserver la surcharge colorée du fond de carte pédologique à la donnée qui présente la meilleure corrélation avec la classification des sols : la vitesse limite d'infiltration à 40cm. La vitesse limite en surface qui dépend trop de l'état de préparation du terrain, fera l'objet d'un mode de représentation ponctuel.

Une couleur a été choisie pour chaque classe. Pour mieux faire ressortir le degré de variabilité des mesures, nous avons adopté le code suivant :

#### 1° Vl à 40cm

Désignons par  $m_n$  le nombre de mesures qui se rangent dans la classe n, nombre exprimé en %<sup>n</sup> du total des mesures relatives à une série de sol donnée ;

Si  $m_n \geq 75\%$ , la série concernée sera uniformément recouverte de la couleur "n".

Si  $m_n < 75\%$ , à la représentation par tache se substituera une représentation par bandes ; les bandes seront larges si  $50\% \leq m_n < 75\%$ , ou étroites si  $25\% \leq m_n < 50\%$ .

Dans le cas particulier où la somme des  $m_n$ , individuellement non "représentables", est supérieure à 25% ou à 50% du total des mesures, une bande étroite ou large de couleur blanche est alors introduite dans la trame. Ce procédé met en relief les séries de sols à profils souvent complexes, où l'on observe de grandes variations dans les résultats.

Ainsi conçues, les trames ne comporteront jamais plus de trois couleurs.

#### 2° Vl en surface

Le mode de représentation ponctuel adopté est une pastille, située à l'emplacement du profil. La couleur correspond à la classe dans laquelle se range la moyenne des 3 mesures relatives à l'horizon de surface.

### III.3.2.2. Facteurs influençant cette vitesse.

Ces facteurs figurent sous forme de symboles au voisinage des "fenêtres" ménagées dans chaque unité cartographique principale.

La signification des symboles est précisée au paragraphe III.3.1.

### III.4. Conclusion :

=====

Il ressort de cette étude sur les vitesses d'infiltration, que la grande majorité des horizons non perturbés drainent mal. Si, dans l'état actuel de la mise en valeur, le manque d'eau limite d'une certaine façon les accidents de végétation liés à des engorgements de plus ou moins longue durée, et ne justifie peut-être pas la mise en place d'un dispositif de drainage assez dense, l'accroissement prochain des ressources en eau, qui s'accompagnera probablement d'une intensification des modes d'exploitation, exige que, dès à présent, on se préoccupe des améliorations qu'il serait souhaitable d'introduire.

En premier lieu, il serait nécessaire de préconiser un approfondissement progressif des labours jusqu'à 40cm ; au delà, mais dans certains cas seulement, un simple griffage serait bénéfique. Cette opération aurait un effet favorable à la fois sur la perméabilité, sur la profondeur utile, et par là même, sur la réserve utile. Pour des cultures perennes que l'on chercherait à implanter dans des sols assez lourds, un reprofilage des parcelles en larges ados serait sans doute rentable.

En second lieu, il faudrait chercher à éliminer les excès d'eau qui risquent de s'accumuler au toit de l'horizon non perturbé. Un réseau dense de fossés peu profonds (50cm) serait sans doute dans bien des cas préférable à un système plus lâche de drains profonds.

Enfin, l'adoption du mode d'irrigation par aspersion permettrait d'ajuster au mieux les apports d'eau aux possibilités d'accueil du sol ; il serait en particulier relativement aisé de déterminer expérimentalement l'intensité critique d'arrosage, au delà de laquelle se manifeste une stagnation superficielle de l'eau.

## RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

La majorité des sols du AKKAR sont des sols lourds, bien pourvus en argiles gonflantes et en matière organique humifiée, donc relativement riches. Si leur fertilité "potentielle" est élevée, leur fertilité "actuelle" est limitée par certaines de leurs caractéristiques physiques et hydrodynamiques.

La quantité et la nature des éléments colloïdaux leur confèrent des humidités au point de flétrissement souvent élevées. Si les fractions limoneuses des matériaux issus de l'altération des calcaires ne semblent jouer qu'un rôle secondaire dans les phénomènes de rétention, ces mêmes fractions renforcent le pouvoir d'adsorption des matériaux provenant des formations basaltiques ; tant et si bien qu'à granulométrie "conventionnelle" équivalente, un sol développé sur ces derniers matériaux devra toujours être considéré comme plus "argileux" qu'il ne le paraîtra sur les fiches d'analyses.

Si l'eau utile "théorique" est sensiblement constante dans une gamme de texture assez étalée, la réserve utile "réelle" peut lui être très inférieure, non seulement à l'échelon des horizons quand se conjuguent une forte teneur en argile et une faible porosité, mais aussi à l'échelon des profils quand la profondeur utile est interrompue soit "mécaniquement", soit "hydrodynamiquement".

Des symptômes d'asphyxie totale, peu probables dans les horizons travaillés, ont parfois toute chance de se manifester dans les horizons non perturbés ; c'est là encore une autre cause de réduction de la profondeur utile.

La vitesse d'infiltration est généralement faible dans les horizons non perturbés de sols suffisamment profonds ; elle s'améliore considérablement dès que l'horizon est travaillé. La présence de cailloux dans les profils favorise le drainage ; les lits de graviers de leur côté peuvent avoir un effet bénéfique quand ils sont continus ; s'ils sont interrompus, ils peuvent alors constituer des poches d'eau.

En ce qui concerne l'infiltration et le drainage, les meilleurs sols sont sans conteste les sols As ; les plus mauvais seraient les vertisols non graveleux du "domaine basaltique", et à un degré moindre, ceux du "domaine calcaire".

D'un point de vue pédogénétique, il semble que l'évolution des horizons profonds soit pratiquement figée ; les forces de succion l'emportant fréquemment sur les forces de gravité, les "solutions" du sol circulant peu. Comme les symptômes visibles d'hydromorphie sont assez peu nombreux, cela signifie que l'air doit pouvoir pénétrer probablement par l'intermédiaire des fentes de retrait et de la microporosité intersticielle. Il n'est pas impossible toutefois que sous culture irriguée mal conduite, ces symptômes s'accroissent.

A partir de ces résultats brièvement résumés, quelles conclusions pratiques peut-on formuler ?

Dans une grande partie des sols du AKKAR, les problèmes à résoudre pour parvenir à rationaliser et à rentabiliser au maximum leur mise en exploitation, sont en apparence multiples. Il s'agit en effet, au niveau de la parcelle, de chercher, à assurer un ressuyage rapide des horizons engorgés au sortir de l'hiver, à favoriser l'infiltration en profondeur, à diminuer la compacité et les risques d'asphyxie, à accroître la profondeur utile et la réserve d'eau utilisable, etc ... En réalité ces problèmes sont plus ou moins interdépendants et si l'on intervient efficacement pour régler l'un d'entre eux, tous les autres ou presque se trouvent automatiquement résolus. Le "Sésame, ouvre-toi" tient ici en cinq mots : "drainage, ressuyage, travail du sol".

- Drainage et ressuyage

Indépendamment des travaux de génie civil, qui, par l'intermédiaire de drains profonds, peuvent servir à intercepter les ruissellements hypodermiques en piedmont, ou à collecter dans les parties aval de la plaine et à évacuer vers la mer, les eaux de nappes subsuperficielles circulantes ou stagnantes, il semble préférable, pour accélérer le ressuyage au niveau de la parcelle, de mettre en place un réseau dense de rigoles rudimentaires peu profondes (50cm), plutôt que d'inciser la surface cultivable d'un dispositif plus lâche de grands fossés (> 1m), probablement moins efficace (vitesse de transfert de l'eau souvent très faible).

Le drainage par drains de poterie est à proscrire pour plusieurs raisons, dont l'une a trait aux caractères vertiques très accusés de la plupart des sols.

- Travail du sol

Il doit être le plus profond possible. Toutefois, l'approfondissement du labour jusqu'à 40cm devrait être progressif, pour éviter que l'épandage en surface, en une seule fois, de fortes quantités de terre provenant des horizons compacts biologiquement peu actifs, n'entrave l'assimilabilité d'éléments organiques ou minéraux, dont les réserves sont sensiblement constantes sur de telles épaisseurs. Au delà de 40cm, un simple griffage serait certainement profitable dans les sols profonds.

Si pour des raisons autres que techniques, on cherche à implanter des cultures perennes sur des sols lourds, il serait alors souhaitable de procéder en outre à un reprofilage des parcelles en larges ados.

La nature des eaux dans toute cette région ne semble pas poser de problèmes particuliers, tant sur le plan de l'agressivité que sur le plan de la salure ou de la conductivité. Aussi le choix des cultures est essentiellement conditionné, sur le plan technique, par les caractéristiques du support. A notre avis, les plantations perennes devraient coloniser de préférence les sols As ; la proximité de la mer exige toutefois la mise en place préalable de brise-vents. Les vertisols non caillouteux ne devraient supporter en aucun cas de telles cultures. Parmi les autres sols, les plus aptes à rentabiliser des spéculations arbustives se situeraient en piedmont des massifs calcaires au S.E., et peut-être dans l'extrême N.W.

Nous concluerons en passant en revue les diverses études complémentaires qu'il serait souhaitable de mener à bien avant de pouvoir vulgariser certaines méthodes de mise en valeur.

Au laboratoire, la détermination des limites d'Atterberg serait à entreprendre sur quelques échantillons représentatifs.

En parcelle expérimentale, il serait intéressant de suivre, à l'aide d'une sonde à neutrons, les variations des profils hydriques pour voir dans quelle mesure l'eau des horizons profonds est consommée. L'étude des variations de la densité apparente des sols en place, en fonction du taux d'humidité, serait aussi très instructive.

Sur certains types de sol, on pourrait comparer l'état structural et les symptômes d'hydromorphie de sols irrigués et non irrigués.

Enfin nous pensons qu'une enquête portant sur les relations type de sol/rendement/indice de vigueur (s'il s'agit d'espèces arborées), ainsi que sur les profondeurs d'enracinement, apporterait de précieuses informations sur des questions qui jusqu'alors, à notre connaissance, n'ont jamais connues de réponses péremptoires.

LEGENDE

1) Vitesse d'infiltration.

1.1 - Representation cartographique.

-  Infiltration en surface
-  Infiltration à 40 Cm

N.B Pour la signification des modes de representation cf rapport

1.2. Différentes classes.

-  1 Très rapide  $\geq 250$  mm/h
-  2 Rapide 120 → 250
-  3 Moyt rapide 60 → 120
-  4 Modère 20 → 60
-  5 Moyt lent 6 → 20
-  6 Lent et très lent  $\leq 6$

2) Eau Utile

2.1- Representation cartographique

"Fenêtre" 12 x 8 mm

-  1 et 2 : Limites de l'intervalle de variation pour des tranches de sol de 50 Cm (1) et de 1m (2).

2.2- Facteurs limitants

-  Interaction: Texture / type d'argile/ compacité.
-  Profondeur
-  Pierrosité
-  Teneur en sables.

-  Facteur limitant principal : couleur de fond de la "fenêtre"
-  Facteur limitant secondaire: couleur du cadre de la "fenêtre".

ECHELLE 1 : 50.000

TEL AMARA. SECTION DES SOLS

