

Etude Comparée
des Propriétés Hydriques
et des Caractéristiques
Hydrodynamiques
de Trois Familles de Sols
du Liban Nord

P. Willaime A. Osman & F. Gras

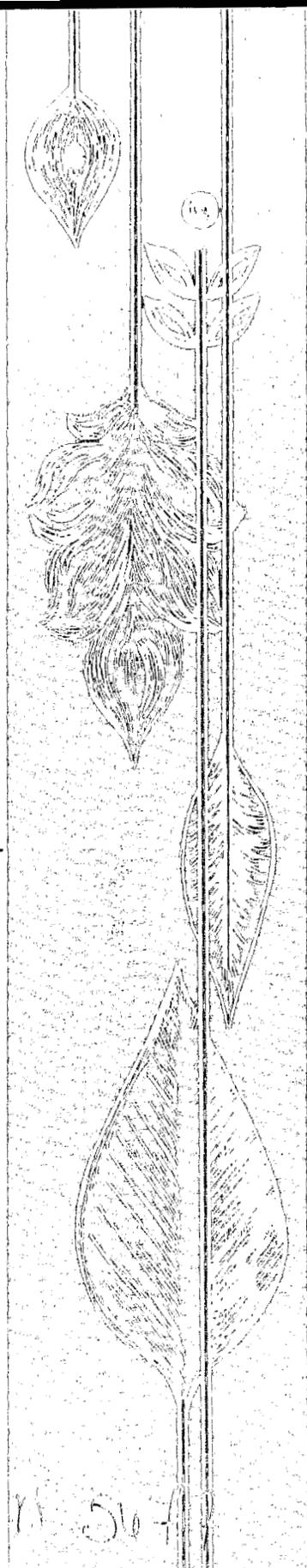
PUBLICATION NO 14

(Série Technique)

JUIN 1971

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
LIBAN

MAGON



MAGON. — Écrivain carthaginois qui a vécu vers 140. av. J.-C. Il écrivit en 28 volumes un Traité sur l'Agriculture et la Médecine Vétérinaire qui fut traduit en latin par ordre du Sénat.

Extrait de *L'Histoire de l'Agriculture Ancienne*
par A. ABOU NASSER, Beyrouth 1960.

M A G O N

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
LIBAN

Publication n° 14

Série Technique

Juin 1971

ETUDE COMPAREE DES PROPRIETES HYDRIQUES
ET DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
DE TROIS FAMILLES DE SOLS
DU LIBAN NORD

Par

P. WILLAIME

A. OSMAN

F. GRAS

SOMMAIRE

I — INTRODUCTION	1
II — MATERIAUX ET METHODES	2
III — RESULTATS	6
IV — DISCUSSION	15
V — CONCLUSION	28
VI — RESUME	32
VII — BIBLIOGRAPHIE	

- 2. JUIN 1972

O. R. S. T. O. M.

Collection de Références

5477

Pedo

ETUDE COMPAREE DES PROPRIETES HYDRIQUES
ET DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
DE TROIS FAMILLES DE SOLS
DU LIBAN NORD

Par

P. WILLAIME

A. OSMAN

F. GRAS

I — INTRODUCTION

La connaissance des caractéristiques hydriques des sols présente un grand intérêt, non seulement dans l'étude dynamique de certains processus pédogénétiques, mais surtout dans la détermination des besoins en eau des cultures irriguées.

L'objet de cette note est précisément de fournir un certain nombre de résultats et de relations permettant de comparer le comportement vis à vis de l'eau de trois grandes familles de sols bien représentés dans la plaine du AKKAR et dans la dépression du KOURA et de mettre en relief la complexité des problèmes que pose la détermination de la dose d'arrosage, de la fréquence des irrigations voire même des aptitudes culturales de chaque entité «pédo-géographique».

La collecte des données s'est étalée sur deux campagnes de prospection entreprises dans le cadre de l'avant-projet FAO de mise en valeur du Liban-Nord.

Les analyses ont été effectuées en partie à la station d'Abdé, en partie aux laboratoires de Tel-Amara.

II — MATERIAUX ET METHODES

1 — Matériaux

Les profils étudiés se sont, pour la plupart, différenciés dans des matériaux allochtones, dont les propriétés physico-chimiques sont étroitement influencées par la nature pétrographique des bassins versants d'où ils sont issus. Ainsi dans la partie septentrionale de la plaine du Akkar se sont développées des formations meubles dans lesquelles prédominent des éléments détritiques provenant de l'altération de roches basaltiques; dans la partie Sud, l'origine de ces mêmes éléments est à rechercher presque essentiellement dans la fraction aluminosilicatée piégée dans les calcaires durs du Céno-manien; dans le Koura enfin, les matériaux accumulés résultent, dans la majorité des cas, d'un brassage de produits d'altération de roches surtout calcaires, accessoirement gréseuses ou basaltiques.

C'est sur cette disparité originelle des matériaux qu'est fondé le «distinguo» des trois grandes familles de sols envisagées dans cette étude comparative.

En outre la mise en place relativement récente de toutes ces formations n'a pas permis aux processus pédogénétiques de s'exprimer pleinement; les caractères hérités transparaissent

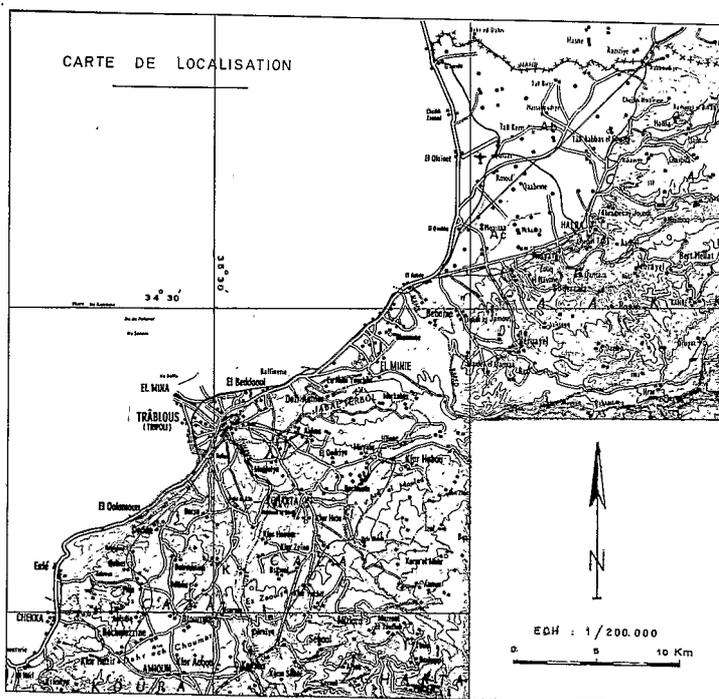
encore très nettement; les seules oblitérations actuellement visibles sont liées à des interventions anthropiques et, à un degré moindre, à des conditions pédoclimatiques particulières. Les profils seront donc presque toujours de type Ap/C ou BC, les caractères vertiques s'affirmant dès que le taux d'argile excède 50%.

La carte de localisation ci-jointe permet de saisir à la fois la répartition des points d'observation et l'extension approximative des trois familles de sols, que, dans la suite de l'exposé, nous désignerons ainsi:

«sols K»: Famille de sols de la dépression du Koura.

«sols Ac»: Famille de sols de la plaine du Akkar surtout influencés par les calcaires.

«sols Ab»: Famille de sols de la plaine du Akkar surtout influencés par les Basaltes.



2 — Méthodes

a — Méthodes de terrain

+ Vitesse d'infiltration

L'appareil utilisé, de type Muntz, comporte deux cylindres concentriques de diamètre 25 et 50 cm ainsi qu'un support métallique sur lequel reposent deux réservoirs. Le plus petit de ces réservoirs, dont le volume est proche de 20 litres, alimente le petit cylindre; le second, d'un volume triple, l'anneau de garde.

La mesure s'effectue sous une charge en eau de 3 cm 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. Six appareils distants de 5 m au moins sont utilisés à chaque emplacement, trois en surface, trois à 40/50 cm au niveau de l'horizon non perturbé par les façons culturales. Chaque mesure dure 3 heures en moyenne.

+ Densité apparente

Elle est déterminée à l'aide d'un densitomètre à membrane à deux niveaux (5 et 40/50 cm), uniquement dans des horizons non ou peu graveleux.

b — Techniques de laboratoire

+ Humidité «actuelle»

Les échantillons non remaniés sont transportés dans des boîtes métalliques étanches et sont pesés quelques heures après le prélèvement. Ils sont ensuite placés à l'étuve (105°), où ils séjournent au moins 24 heures.

+ Humidité aux différents pF

Les échantillons préalablement et successivement soumis à un séchage à l'air, à un tamisage (2mm), à une humectation saturante «per ascensum», subissent un ressuyage «forcé» dans deux types d'appareil: Presse à membrane munie d'un mano-

mètre différentiel pour le pF 4,2; appareil à plaques de porcelaine poreuse pour les pF 3 et 2,5.

+ Humidité équivalente

Les échantillons remaniés comme précédemment sont placés dans un champ de gravitation d'intensité égale à 1000 g. L'opération est menée dans une centrifugeuse spécialement adaptée à ce genre de mesure. La vitesse de rotation est voisine de 4.400 t/mn; la durée de centrifugation à cette vitesse est de 30 minutes.

+ Granulométrie

Le mode de séparation des différentes fractions granulométriques est conforme à celui qui est défini dans la méthode dite «internationale»

+ Densité réelle

Elle est déterminée à l'aide d'un pycnomètre de 50 cc.

III — RESULTATS

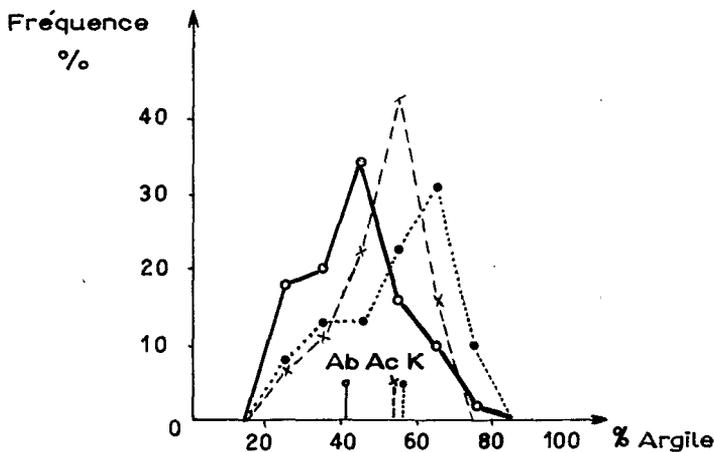
1 — Données texturales

Le nombre de profils pris en considération dans cette étude comparative se répartit ainsi: 16 pour les sols Ac, 14 pour les sols Ab, 12 pour les sols K. Cela correspond à un nombre d'échantillons égal respectivement à 44, 39, et 38. Les prélèvements ont été effectués systématiquement dans l'horizon Ap (de 0 à 15/20cm) et dans l'horizon BC (de 30 à 50cm et de 80 à 100cm dans les sols suffisamment profonds).

L'éventail textural de l'échantillonnage est précisé sur le graphique 1. L'examen des courbes de fréquence des teneurs en argile révèle l'existence d'une majorité d'échantillons ar-

gileux dans les trois familles de sols; toutefois, leur prédominance est plus marquée dans les sols Ac et K. Les valeurs «médianes» correspondent en effet aux taux d'argile suivants: 41 pour les sols Ab, 54 pour les sols Ac, 56 pour les sols K. D'un autre côté, les teneurs en limons fins sont «en moyenne» constantes pour une famille de sols donnée, mais elles diffèrent sensiblement d'une catégorie à l'autre; cette dernière propriété texturale apparait d'ailleurs très nettement sur les graphiques 2a, 2b et 2c: droites parallèles sur un même graphique, écart variable d'un graphique à l'autre.

Compte tenu de la fréquence de répartition des divers types texturaux cartographiés dans les deux périmètres du Akkar et du Koura, il s'avère, en première analyse, que le degré de représentativité de cet échantillonnage est assez correct.



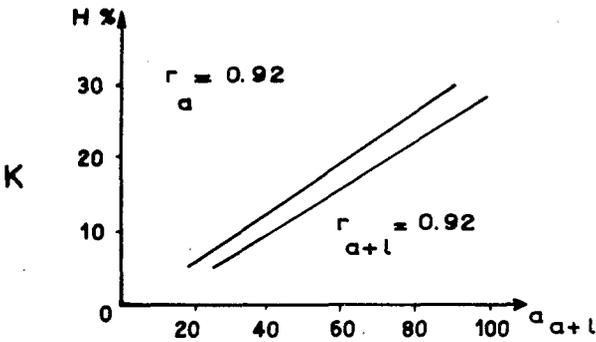
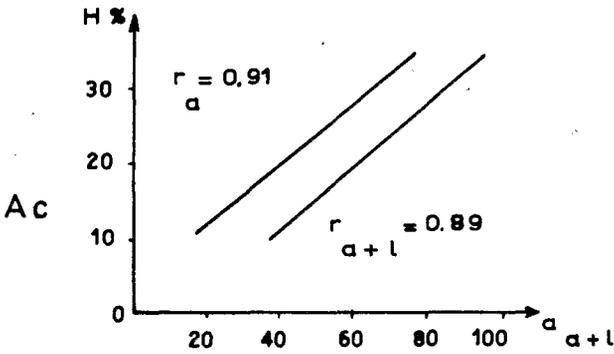
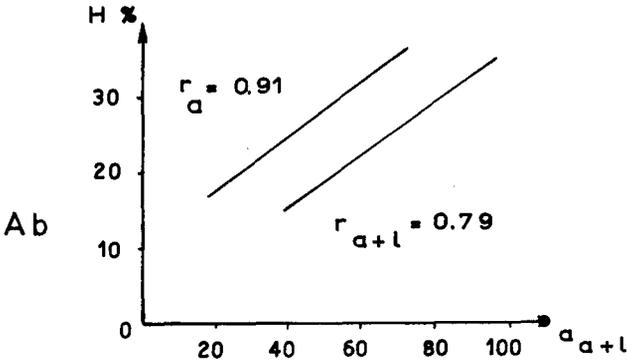
1 — Caractéristiques texturales de l'échantillonnage.
Valeurs «médianes».

—○— Sols Ab x---x Sols Ac• Sols K

2 — Rétention de l'eau

a — Rétention à pH 4,2

Le report sur 3 graphiques dans un système de coordonnées comportant en abscisse les teneurs en argile ou en élé-



2 — Rétention de l'eau à pF 4,2 en fonction des taux d'argile ou d'éléments fins — Droites de regression et coefficients de corrélation.

ments fins, en ordonnée l'humidité à pF 4,2, ayant mis en relief, pour chaque famille de sols, une répartition sensiblement linéaire des points représentatifs, nous avons été naturellement amenés à établir les équations des droites de régression (cf. graph. 2). Hf désignant l'humidité à pF 4,2, a la teneur en argile, a + 1 la teneur en éléments fins, ces équations sont les suivantes:

Sols K: Hf = 0,35 a — 0,4	Hf = 0,31 (a+1) — 2,5
Sols Ac: Hf = 0,42 a + 3,4	Hf = 0,45 (a+1) — 7,5
Sols Ab: Hf = 0,37 a + 10,8	Hf = 0,35 (a+1) + 2,4

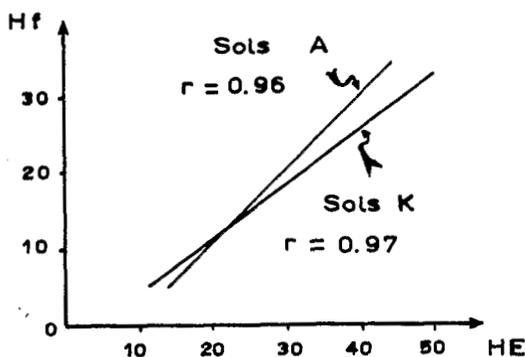
Les corrélations très étroites dans tous les cas ($r > 0,8$) confirment l'influence prépondérante des teneurs en éléments fins et plus particulièrement en argile sur le pouvoir de rétention à pF 4,2 et permettent d'obtenir une bonne estimation de Hf à partir de ces deux données texturales. Il est à noter également les valeurs assez élevées des coefficients angulaires, ce qui laisse déjà supposer l'existence dans la fraction fine d'une quantité importante d'éléments cristallisés ou amorphes à fort pouvoir d'adsorption.

b — Rétention à l'Humidité équivalente

Le graphique 3 fait ressortir les relations existant entre Hf et l'Humidité équivalente HE. Aucune différence systématique n'ayant pu être décelée dans la répartition des points représentatifs des échantillons Ac et Ab, nous avons calculé l'équation de la droite de régression pour l'ensemble des points A, d'une part, et l'ensemble des points K d'autre part. Ces équations sont les suivantes

Sols A: Hf = 0,98 HE — 8,9	r = 0,96
Sols K: Hf = 0,71 HE — 2,6	r = 0,97

Les coefficients de corrélation étant encore plus proche de l'unité que dans le cas précédent, il est donc préférable, pour estimer Hf, de se référer aux valeurs de HE plutôt qu'aux résultats d'analyses granulométriques.



3 — Relations entre l'Humidité à pF 4,2 (Hf) et l'Humidité équivalente (HE)

c — Eau utile théorique pondérale

Si l'on adopte comme limite supérieure du domaine d'eau utile l'Humidité équivalente, l'eau utile théorique pondérale Eu est égale à $HE - Hf$. En exprimant cette différence par rapport à Hf, elle même fonction croissante des taux d'argile ou d'éléments fins, on obtient les relations suivantes.

$$\text{Sols K: Eu} = 0,40 \text{ Hf} + 3,6$$

$$\text{Sols A: Eu} = 0,02 \text{ Hf} + 9,1$$

Dans la grande majorité des sols K, Hf varie entre 15 et 25%; Eu sera donc compris entre 10 et 14%, les échantillons les plus riches en éléments fins présentant les plus grandes réserves utiles théoriques. Dans les sols A, Eu pratiquement constant reste voisin de 9.5%.

3 — Capacité pour l'air et pour l'eau

a — Densité apparente et Porosité

La majorité des horizons non perturbés par les façons culturales présente des densités apparentes comprises entre 1,4 et 1,6 les sols K semblant être les plus compacts. En surface, où la densité apparente dépend étroitement de l'état de préparation du terrain, elle excède rarement 1,4. Ces résultats ont généralement été obtenus dans des horizons légèrement humides.

La densité réelle a été mesurée sur un nombre limité d'échantillons de texture différente; les résultats s'écartant assez peu de la valeur théorique 2,65 nous avons adopté cette dernière valeur pour le calcul de la Porosité. Sur cette base, on trouve que la Porosité totale dans des horizons légèrement humides est généralement toujours suffisante en surface ($\geq 50\%$), alors qu'en profondeur elle reste souvent confinée entre 40 et 45%.

b — Eau utile volumique théorique

Si l'on désigne par Hm l'humidité à saturation et si l'on confronte les données de Hm HE Hf pour diverses valeurs de la densité apparente, on constate que dans certains horizons Hm peut se trouver inférieur à HE et parfois même à Hf. L'eau utile volumique EU sera donc égale selon les cas.

à $(HE - Hf) \times Da$ quand $Hm \geq HE$

à $(Hm - Hf) \times Da$ quand $Hm \geq HE$

à 0 quand $Hm \geq Hf$

Il est bon de souligner toutefois que la prise en considération simultanée de données recueillies sur le terrain (Da et par conséquent Hm) et de résultats obtenus en laboratoire sur échantillons remaniés (HE et Hf) est sujette à discussion, car elle pose des problèmes d'interprétation dont nous reparlerons dans le chapitre suivant.

c — Réserve utile

Les valeurs de la Réserve utile RU peuvent être calculées par horizon puis par profil en appliquant les formules:

$$RU_h \text{ (en mm)} = EU \times e/10$$

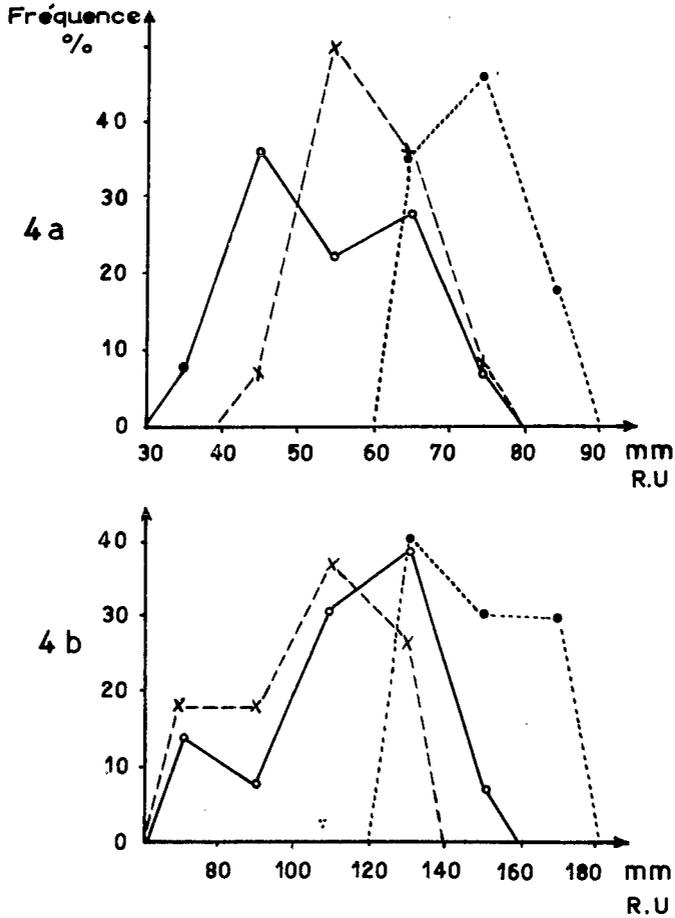
e: épaisseur de l'horizon considéré (en cm)

$$RU = \Sigma RU_h$$

Les résultats pour des tranches de sols de 50 et de 100 cm ont été reportés sur les graphiques 4a et 4b. (page 12). Les sols K apparaissent comme étant de meilleurs réservoirs que les sols A. Comme nous le verrons plus loin, cette disparité de comportement entre sols A et K est liée au fait qu'aux limitations de stockage d'origine mécanique (pierrosité, profondeur), à peine plus fréquentes dans les sols A, se surajoutent, pour bon nombre de ces derniers sols, des limitations d'ordre hydrique.

4 — Vitesse d'infiltration

La courbe de variations en fonction du temps de la vitesse d'infiltration V, a généralement 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 pré-



4 — Réserves utiles comparées des 50 premiers cms (4a) et des 100 premiers cms (4b) dans les sols Ab Ac et K

○—○ Sols Ab x—x Sols Ac ●●●●● Sols K

sentent presque toujours un certain nombre de points aberrants, il nous a semblé utile de chercher à les caractériser à l'aide de trois indices «Vitesse» et d'un indice «Temps», ainsi définis:

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

b: vitesse d'infiltration au temps $t = 15$ minutes

c: vitesse d'infiltration à l'équilibre

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

Les deux premiers indices caractérisent ce que l'on peut appeler la «perméabilité d'arrosage», surtout intéressante à connaître pour les horizons de surface; le 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, peut servir non seulement à mieux circonscrire les problèmes de drainage mais aussi à mieux définir les limites maximales des débits d'arrosage.

Nous rappellerons que la grande majorité des mesures a été effectuée dans des sols frais.

a — Perméabilité d'arrosage

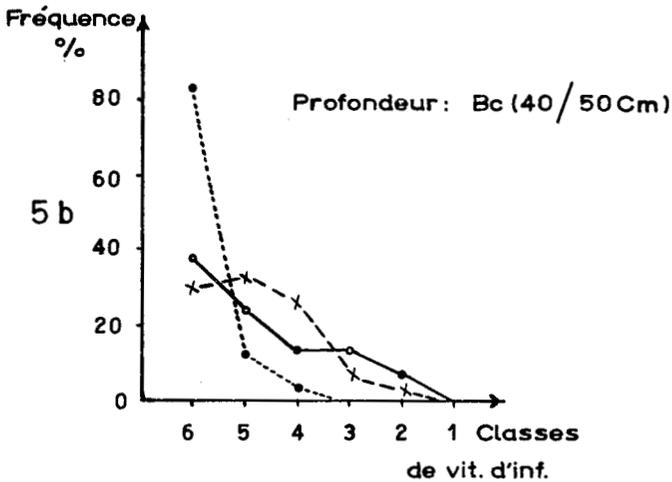
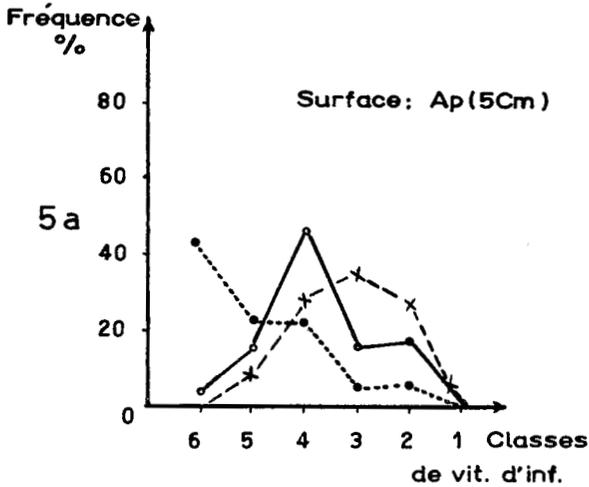
En surface, les valeurs de a (perméabilité instantanée) sont quasi nulles dans 30% des sols K. Par contre dans les sols A, a est dans tous les cas supérieur à 30 mm/h. L'indice b présente le même pourcentage de valeurs négligeables dans les sols K; dans les autres sols, il n'est inférieur à 30 mm/h que dans certains vertisols non caillouteux.

T varie dans de larges proportions. La vitesse limite d'infiltration est atteinte instantanément (en moins de 5') dans 30% des sols K et rapidement (entre 5 et 15') dans les autres sols K et dans la majorité des vertisols non caillouteux de la catégorie de sols A.

Tous ces indices sont fonction évidemment de l'état de préparation du terrain ainsi que du déficit de saturation; aussi ont-ils bien souvent une signification plus agronomique ou saisonnière que pédologique.

b — Perméabilité stabilisée

Sur le graphique 5, a été mentionnée par famille de sols la fréquence des résultats propres à chaque classe de



5 — Perméabilités comparées des sols Ab, Ac, K
Classe de vitesse d'infiltration:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Très rapide (> 250mm/h) | 4. Modérée (20 à 60) |
| 2. Rapide (120 à 250) | 5. Moyt. lente (6 à 20) |
| 3. Moyt. rapide (60 à 120) | 6. Lente et très lente (66) |

—●— Sols Ab●..... Sols Ac x---x Sols K

vitesse d'infiltration, dont les limites sont très voisines de celles du Soil Survey Manuel.

En surface, la majorité des sols A présente une perméabilité correcte (80% des résultats sont supérieurs à 20 mm/h). Les sols K par contre drainent mal dans l'ensemble (40% des résultats restent inférieur à 6mm/h

Dans les horizons non travaillés, on assiste à une diminution du pourcentage de résultats par classe, à mesure que l'on progresse vers les classes rapides. Cette diminution, régulière pour les sols A, est brutale pour les sols K; pour ces derniers 80% des résultats se rangent dans la classe «lente et très lente»; dans les sols A, seuls les vertisols très argileux drainent aussi mal.

IV — DISCUSSION

1 — Choix des méthodes

Les objectifs des études que nous avons entreprises dans le Nord Liban et les conditions dans lesquelles elles se sont déroulées ne se prêtaient guère à la mise en œuvre de méthodes d'approche extrêmement raffinées; au laboratoire en particulier, nous avons eu recours soit à des techniques universellement adoptées (Humidités, granulométrie), soit à des tests dont il importe d'examiner avec attention les modalités d'exécution.

a — Détermination du domaine d'eau utile

Cette détermination implique la réalisation de deux types de mesure d'humidité, le premier correspondant au point de flétrissement permanent d'une plante, le second reflétant le

pouvoir de rétention après saturation d'un sol suffisamment ressuyé. Pour obtenir une estimation correcte de ces deux bornes d'humidité, l'idéal consisterait à suivre les variations in situ des profils hydriques. L'examen combiné de la plante et de son support devrait faire ressortir d'une part le changement de rythme dans le processus de ressuyage du sol préalablement saturé (variation brutale du rapport dH/dt permettant de situer l'intervalle de rétention), et d'autre part les manifestations des premiers symptômes de flétrissement permanent, qui sont essentiellement sous la dépendance de la pression osmotique des feuilles, et par conséquent fonction de l'espèce considérée. A ce propos, il est utile de rappeler que le choix du tournesol comme plante test est très conventionnel. Si le flétrissement de cette plante correspond effectivement à une pression de succion voisine de 15 atm., il n'en est pas de même pour l'olivier par exemple qui parvient à résister à des pressions voisines de 40 atm. Quoiqu'il en soit, les courbes pF /Humidité étant toujours assez «redressées» au delà de pF 4,2 (15,8 atm.), l'erreur commise sur les taux d'humidité en adoptant systématiquement une pression de 15 ou 15,8 atm. n'est jamais très importante.

Les difficultés matérielles que posent de tels examens ont incité certains chercheurs, en particulier **SALTER** et **WILLIAMS** (1965) à voir quelles étaient les techniques de laboratoire qui fournissaient les résultats les plus proches des données non pas «réelles» mais «standard» ainsi définies: pour la limite inférieure du domaine d'eau utile, point de flétrissement du tournesol végétant dans une terre non tamisée; pour la limite supérieure, humidité au champ après saturation naturelle et ressuyage durant 48 heures. Il ressort de ces études que les meilleurs résultats ont été obtenus à partir d'échantillons non perturbés; si les différences enregistrées ne sont pas très marquées sous une pression de 15 atm., elles peuvent être assez importantes pour des humidités voisines de la Capacité au Champ. Nous avons pu nous mêmes étayer ces conclusions en soumettant certains échantillons à des broyages de plus en plus fins. **HALLAIRE** et **BALDY** (1963) ont d'ailleurs formulé une explication logique à ce phénomène

en étudiant les variations des relations Humidité/Potentiel matriciel en fonction de diverses valeurs de la tension superficielle des liquides d'imbibition. Ils ont pu mettre en évidence dans une terre ressuyée l'importance relative des deux formes sous lesquelles l'eau est retenue, les films et les manchettes. Ces dernières augmentant relativement à mesure que la terre s'humidifie, on conçoit très bien que le fait de soumettre les échantillons à un tamisage multiplie le nombre de sites favorables à leur formation, et par conséquent augmente les quantités d'eau retenues à pF bas.

Si bon nombre d'auteurs préconisent donc l'utilisation d'échantillons non perturbés, l'unanimité ne s'est pas encore réalisée sur le choix des pressions auxquelles ces échantillons doivent être soumis. Pour la limite inférieure les uns adoptent 15 atm., d'autres 15,8; pour la limite supérieure les uns restent fidèles à 0,3 atm, d'autres à 0,1; d'autres enfin préfèrent utiliser en les affectant de coefficients de correction les valeurs de l'Humidité équivalente mesurée dans des conditions bien déterminées. En fait il n'existe pas de relations simples entre ces humidités et l'humidité de rétention.

De notre côté, nous avons toujours opéré sur des échantillons tamisées, d'une part parce que, jusqu'à présent, aucune méthode standardisée de prélèvement d'échantillon non perturbé destiné à des mesures de pF n'a été définie et d'autre part parce que le caractère peu nuancé de nos études d'inventaire ne nous laissait pas le temps de procéder à des prélèvements longs et délicats. Pour la limite supérieure du domaine d'eau utile, nous avons préféré l'Humidité équivalente à l'Humidité à pF 2,5. Un assez grand nombre de déterminations effectuées dans les sols du Liban nous ont montré en effet que le pF de l'HE était variable; proche de 2,5 dans les matériaux assez sableux, il oscille entre 2,7 et 3 dans les matériaux argileux. Le sens de ces variations n'étant pas sans rappeler celui du pF de la capacité au champ (GRAS. 1962, cité par DUCHAUFOR), il nous a semblé préférable d'adopter HE comme limite supérieure, d'autant plus d'ailleurs que cette donnée couramment déterminée au laboratoire reste assez voisine sinon légèrement

supérieure à la capacité au Champ mesurée dans les horizons Ap de certains sols du Akkar, horizons dans lesquels il n'y a pas à craindre de limitations liées à l'excès de compacité. Dans bien des cas en effet la faculté d'adsorption pour l'eau est fortement contrecarrée par le degré de compaction des matériaux, tant et si bien que les capacités au Champ correspondent sur les courbes Humidité/pF établies en laboratoire à des pF parfois bien supérieurs à 3.

En bref, malgré les imperfections de nos méthodes, nous pensons avoir cerné d'assez près les quantités d'eau potentiellement utilisables par la plante, tout d'abord parce que la légère surestimation de l'humidité que l'on commet en substituant la mesure sur échantillon perturbé sous 15 atm. à la méthode dite «standard» de SALTER et WILLIAMS, a pu être partiellement compensée par le fait que nous avons toujours opéré sous une pression de 15,8 à 16 atm.; ensuite parce que une fraction de l'eau à drainage lent, dont il n'est pas tenu compte lors de la mesure de la capacité au Champ, peut être utilisée par les plantes; ce dernier processus permet de justifier l'adoption de HE comme limite supérieure puisque l'Humidité au Champ lui a toujours été trouvée légèrement inférieure.

b — Densité et Porosités

Dans le but de donner plus d'homogénéité à l'interprétation volumique de nos données hydriques pondérales obtenues sur des échantillons perturbés, on aurait pu comme certains auteurs (DABIN. 1960. — WACQUANT. 1968), essayer de mesurer la densité apparente dans des tubes de percolation et rechercher d'éventuelles corrélations avec la Densité mesurée sur le terrain dans des profils bien représentatifs. En réalité cette méthode simple et reproductible est difficilement applicable d'une part à cause du caractère vertique assez accusé de la majorité des sols du Nord Liban et d'autre part à cause de l'intérêt pratique que présente pour nous la connaissance des différences de compaction des horizons travaillés et des horizons soustraits à toute intervention extérieure.

La prise en considération de la Da (terrain) et de la densité réelle théorique nous a permis de calculer la Porosité totale Pt qui ne représente en fait que le pourcentage du volume des vides existant à un moment donné et pour un taux d'humidité donné, ainsi que l'Humidité maximale à saturation Hm théoriquement égale à Pt/Da . En outre pour étayer de données chiffrées certains arguments relatifs à l'aération du sol, nous avons combiné, de façon peut-être abusive, des résultats de mesures effectuées sur le terrain (Da , Hm) et de tests réalisés en laboratoire sur échantillon perturbé (HE , Hf). L'évaluation sur ces bases des divers types de porosité, très justement critiquée par DE LEENHEER (1967), peut se justifier dans notre cas particulier puisque notre étude vise beaucoup plus à comparer le comportement de trois familles de sols qu'à préciser l'évolution dans le temps des rapports sol/eau/air toujours délicate à saisir.

c — Vitesse d'Infiltration

Dans la méthode utilisée, l'eau en charge percole dans un milieu saturé sous l'effet conjugué de la diffusion et de la pesanteur. L'épaisseur de la lame d'eau restant constante, cette méthode se rapprocherait donc quelque peu du système d'arrosage par submersion artificielle avec écoulement continu ou encore, à un degré moindre, du système par infiltration à la raie, largement répandu dans toutes ces régions du Liban.

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. En outre elles n'intéressent que les 70 premiers cm de sol, car l'installation des infiltromètres à plus grande profondeur exige des travaux de terrassement considérables difficiles à réaliser dans des parcelles de cultures surtout durant l'époque de pleine production. Quelques essais menés à la station d'Abdé dans des sols homogènes nous ont toutefois montré qu'entre 1m et 1,5m les résultats obtenus

étaient voisins sinon inférieurs à ceux qui concernaient le niveau 40/50 cm.

Si parfois nous avons obtenu des résultats discordants à des distances relativement faibles, nous avons jugé utile de tenir compte, lors du dépouillement, de ces aberrations apparentes car elles sont souvent le reflet d'une certaine anisotropie localisée mais caractéristique, qui n'apparaît pas toujours lors d'un examen ponctuel de profil pédologique.

L'exploitation des résultats nous a permis de classer les sols en vue de leur aptitude à l'irrigation et de nous fournir une idée de l'intensité critique d'arrosage susceptible d'être précisée ultérieurement à l'aide d'une expérimentation directe, qui offre à l'utilisateur de meilleures garanties.

2 — Etude comparative

L'imperfection des méthodes utilisées, appliquées au milieu sol naturellement complexe doit nous inciter à ne pas accorder aux résultats chiffrés obtenus une confiance aveugle; ceux-ci ne peuvent être considérés, «en valeur absolue», que comme des ordres de grandeur, nous autorisant simplement à dégager les tendances de comportement des divers sols inventoriés. Par contre, étant donné que tous les sols ou échantillons de sol ont été soumis aux mêmes tests et techniques analytiques, les résultats sont, «en valeur relative», suffisamment précis pour que nous puissions tirer des conclusions valables à partir des disparités existantes entre les trois familles de sols envisagées, d'autant mieux d'ailleurs qu'ont pu être mises en évidence des corrélations très étroites entre certains paramètres (cf.chap.II)

a — Rétention à pF 4,2 et nature des matériaux

Ainsi que nous l'avons déjà remarqué, la position relative des droites de régression tracées sur les graphiques 4 traduit, pour une famille de sols donnée, une certaine constance des

teneurs en limons fins; comme a priori on est en droit de supposer qu'au sein d'une même famille les limons sont de même nature, on est amené à conclure que leur pouvoir de rétention à pF 4,2 restera inchangé dans toute la gamme de texture couverte par les échantillons analysés. D'un autre côté, comme il est également plausible de considérer comme assez faible l'influence «différentielle» à ce pF des fractions sableuses, de la matières organique, et même de la structure (on opère sur échantillon remanié), l'accroissement du pouvoir d'adsorption serait donc presque essentiellement lié, pour une famille de sols donnée, à l'augmentation parallèle des teneurs en argile. Compte tenu de ces hypothèses préliminaires, le fait que les droites de regression Hf/a soient approximativement parallèles prouverait que les fractions argileuses ont en moyenne un pouvoir d'adsorption assez voisin; en d'autres termes, le décalage des droites de regression Hf/a et Hf/a + 1 vers les ordonnées croissantes quand on envisage successivement les sols K, Ac et Ab, serait donc lié davantage à des disparités dans les teneurs et la nature des fractions limoneuses qu'à des contenus mineralogiques très différents.

b — Capacité pour l'eau et pour l'air; risques d'asphyxie

Il est généralement admis que la perturbation par tamisage de l'agencement des microparticules d'échantillons de terre estompe l'effet différentiel de la structure sur certaines constantes hydriques telles l'Humidité équivalente (BOURRIER 1965), les limites d'Atterberg (GROSSMAN et al. 1968) ainsi que sur les phénomènes d'Hystéresis (CHANG. 1965); aussi est-ce peut-être là la cause première de l'étroitesse des relations qui ont pu être établies entre HE, Hf, et teneur en argile. Si donc nos résultats n'ont sur le plan théorique qu'une portée limitée, ils présentent par contre sur un plan pratique un certain intérêt étant donné que le produit (He-Hf) Da constitue une bonne estimation de l'eau utile réelle; ainsi, des relations formulées au chapitre II on peut tirer cette première conclusion que, dans le cas de plantes annuelles à enracinement superficiel l'adoption d'une dose d'arrosage unique pour tous les

sols A est possible puisque la différence HE-Hf est sensiblement constante; dans les sols K par contre cette dose devrait augmenter à mesure que le support devient plus argileux.

Cette conclusion n'est valable, rappelons le, que dans les horizons où Da reste inférieur à 1,2 — 1,3; dans les horizons plus compacts, le volume d'eau utile est avant tout conditionné par les valeurs relatives de Hm HE et Hf; il en est d'ailleurs de même de la Capacité pour l'air. Aussi dans le but de préciser ces interactions nous a t'il semblé intéressant d'établir pour chaque famille de sols les relations existant entre la compacité et la texture, dans un premier temps pour des valeurs nulles de l'eau utile, dans un deuxième temps pour des valeurs nulles ou insuffisantes de la macroporosité (asphyxies totale ou partielle). Nous choisirons pour paramètre textural la teneur en argile a et nous adopterons pour la Densité réelle la valeur théorique 2,65.

1er cas: Relations Da/a pour les valeurs nulles de EU

EU sera nul quand $H_f \geq H_m$ (1)

Or $H_m = 100 (1/Da - 1/Dr) = 100/Da - 37,8$

et Hf est relié au taux d'argile a par les relations:

(Sols Ab) $H_f = 0,37a + 10,8$

(Sols Ac) $H_f = 0,42a + 3,4$

(Sols K) $H_f = 0,35a - 0,4$

En exprimant dans la relation (1) Hm en fonction de Da et Hf en fonction de a, on aboutit aux trois relations suivantes:

(Ab) $a \geq 270/Da - 131$ (2)

(Ac) $a \geq 238/Da - 98$ (3)

(K) $a \geq 286/Da - 107$ (4)

2ème cas: Relations Da/a pour les valeurs nulles ou insuffisantes de la Capacité pour l'air

La Capacité pour l'air sera nulle quand $HE \geq H_m$ (5)

Or HE est relié indirectement au taux d'argile par les relations:

$$(Ab) \quad HE = 0,37a + 19,7$$

$$(Ac) \quad HE = 0,42a + 12,3$$

$$(K) \quad HE = 0,49a + 3,1$$

Il y aura donc Risques d'Asphyxie totale si

$$(Ab) \quad a \geq 270/Da - 155 \quad (6)$$

$$(Ac) \quad a \geq 238/Da - 119 \quad (7)$$

$$(K) \quad a \geq 204/Da - 83 \quad (8)$$

Certains auteurs prétendent qu'il y a risques d'asphyxie partielle dès que le volume occupé par la phase gazeuse devient inférieur au volume occupé par la phase liquide. Ceci peut se produire quand $HE = H_m/2$, c'est-à-dire quand

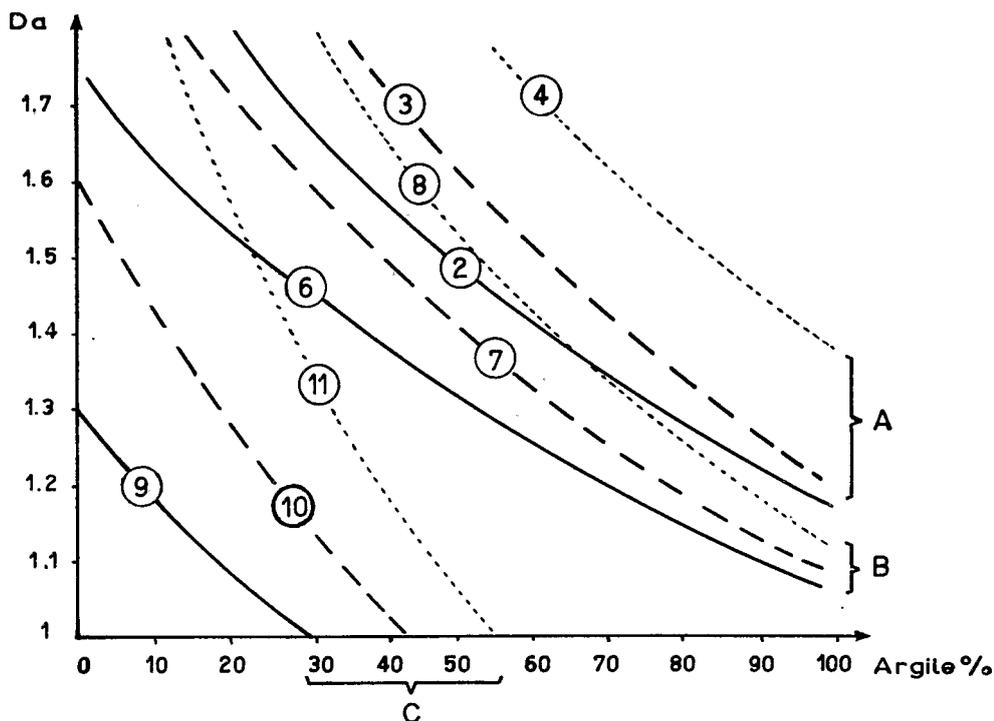
$$(Ab) \quad a > 135/Da - 104 \quad (9)$$

$$(Ac) \quad a > 119/Da - 74 \quad (10)$$

$$(K) \quad a > 102/Da - 45 \quad (11)$$

Si nous représentons graphiquement ces diverses inégalités, nous obtenons une série de branches d'hyperboles dont la position relative permet de tirer un certain nombre de conclusions sur le comportement comparé des sols Ab Ac et K (graph. 6):

— La sécheresse «physiologique» d'un horizon en place «saturé» d'eau est atteinte théoriquement pour des valeurs combinées de a et de Da susceptibles d'être rencontrées dans certains horizons BC de sols Ab, plus exceptionnellement dans les mêmes horizons de sols Ac; dans les sols K par contre un tel phénomène n'a pratiquement aucune chance de se produire. On constate en particulier qu'à teneur en argile équivalente, les



6 — Relations Da/a pour les valeurs nulles du Domaine d'Eau Utile et pour les valeurs nulles ou insuffisantes de la capacité pour l'air.

- Eau Utile nulle: A Sols Ab
- Asphyxie au totale: B Sols Ac
- pt de rétention partielle: C Sols K

Référence à l'équation précisée dans le rapport.

———— Sols Ab - - - - - Sols Ac Sols K

sols Ab peuvent devenir physiologiquement secs pour des valeurs de Da inférieures à celles qui sont nécessaires pour rendre les sols K asphyxiant au point de rétention.

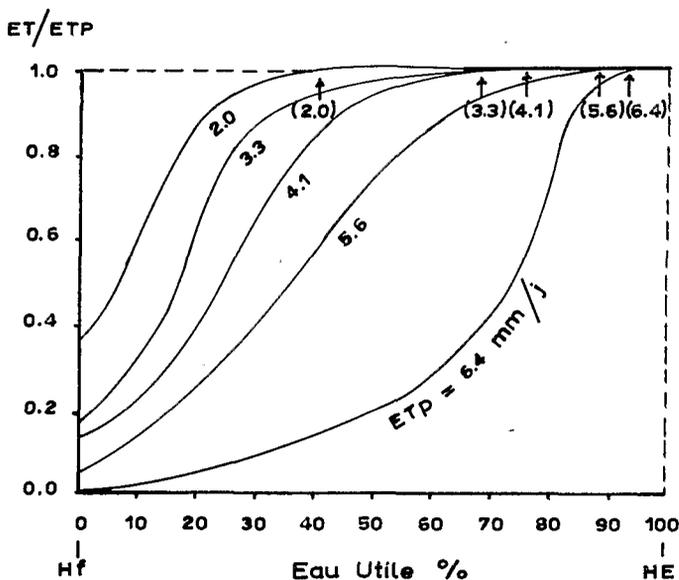
— Lorsque les conditions optimales d'alimentation hydrique sont réalisées (taux d'humidité voisin du point de rétention) dans des sols dont les teneurs en argile correspondent aux valeurs médianes des échantillonnages (41% pour

Ab, 54% pour Ac, 56% pour K), l'aération ne s'avère suffisante que dans les horizons travaillés où Da est rarement supérieur à 1,3; là encore les sols K présentent sur les sols A un avantage assez net.

— Enfin il est à noter que pour la quasi totalité des sols renfermant plus de 40% d'argile, une asphyxie partielle, telle que nous l'avons définie précédemment, se fait toujours sentir lorsque le sol est à l'humidité de rétention.

Toutes ces remarques prennent dans les plaines du Nord Liban une résonance particulière du fait que nous nous trouvons sous un climat Thermoméditerranéen accentué (d'après BAGNOULS et GAUSSEN) à longue saison sèche. La saison d'intense activité agricole correspondant à la période estivale, durant laquelle on enregistre des évapotranspirations localement et temporairement excessives (les moyennes de juillet sont parfois supérieures à 5 mm/j: SARRAF et al. 1969), il arrive qu'aux heures les plus chaudes et les plus ensoleillées de la journée l'offre ne peut satisfaire aux demandes instantanées de la plante; celle-ci alors amenée à obturer ses ouvertures stomatiques voit baisser son activité photosynthétique et par conséquent sa production de matière sèche. Le graphique 7 ci-joint, établi par DENMEAD et SHAW en 1962 (in SLATYER. 1967), illustrant les variations de l'évapotranspiration relative (ET/ET_p) en fonction de divers valeurs du domaine d'eau utile, permet de mieux saisir la complexité de certains problèmes concernant les relations sol/eau/plante dans ces régions du Liban. Si nous examinons l'allure de la courbe 5 mm/j, nous constatons que l'eau facilement utilisable (RFU), définie par HALLAIRE comme étant l'eau que la plante peut consommer sans être obligée de réduire sa transpiration, ne représente qu'une fraction réduite de la Réserve utile (RU); par conséquent le taux d'humidité à partir duquel se manifeste cette réduction de la transpiration est proche de l'humidité de rétention ($H_r = H_E$). Comme d'un autre côté, une asphyxie totale pour des valeurs également proches de H_E est toujours à craindre dès que les horizons deviennent plus denses, il serait du plus grand intérêt de savoir si, pour augmenter l'ef-

ficiencia de l'irrigation, il est préférable d'adopter une courte périodicité d'arrosage ou une fréquence assez lâche; dans le premier cas les plantes risquent de souffrir d'un manque d'air, dans le second d'un manque d'eau. Si ce problème ne concerne que très peu les plantes annuelles, il peut fausser dans une large mesure l'interprétation de certaines observations effectuées sur plantations arbustives.



c — Vitesse d'infiltration

Les mesures ont été réalisées dans des conditions sensiblement différentes dans le Akkar et dans le Koura. Sur sols A elles ont eu lieu durant l'été dans des parcelles irriguées consacrées soit aux cultures vivrières, soit plus rarement aux cultures arbustives (agrumes); sur sols K, les résultats ont été obtenus au sortir de la saison des pluies dans des sols supportant une oliveraie agée cultivée en sec qui généralement n'avaient pas été travaillée depuis le début de l'hiver. L'humid-

dité des sols était en outre plus proche du point de flétrissement que du point de rétention dans les sols A contrairement à ce que l'on constatait dans les sols K, où les équilibres sol/eau pouvaient être considérés dans bien des cas comme réalisés. De ce fait il n'est pas possible de comparer les données de la perméabilité d'arrosage.

En ce qui concerne la perméabilité stabilisée, il est à noter de suite la différence de comportement que nous avons pu enregistrer dans les horizons de surface; alors que sur sols A il est rare d'observer des vitesses inférieures à 20 mm/h, dans les sols K 40 % des résultats se confinent dans les catégories de vitesse « lente et très lente ». Il n'est pas impossible que cela provienne d'un tassement du sol plus prononcé sous oliveraie; l'examen des valeurs de D_a ne permet pas toutefois de la déceler. A 40/50 cm, les vitesses limites des sols K sont à rapprocher de celles que nous avons obtenues pour les sols A les moins drainants. Là encore la question se pose de savoir si des mesures effectuées sur sols K dans des conditions écologiques et culturales identiques à celles des sols A (prélèvement en été dans des parcelles irriguées) auraient abouti aux mêmes résultats. L'engorgement du sol sur de grandes profondeurs au sortir de l'hiver peut en effet freiner considérablement le transfert per descensum des eaux de surface. Aussi les conclusions de cette étude comparative doivent elles rester prudentes dans le domaine de la vitesse de transfert de l'eau dans les horizons non travaillés.

V — CONCLUSION

Consequences agronomiques

Il importe à présent de dégager certaines conclusions pratiques qui devraient permettre de préciser les aptitudes culturales préférentielles de chacune des familles de sols prise en considération dans cette étude comparative.

1 — Aptitudes culturales

Si l'on passe sous silence les limitations d'utilisation liées à la présence dans le profil ou à faible profondeur d'obstacles «mécaniques» de toutes sortes (cailloux, roches, niveaux ou lentilles de texture très différente etc...), c'est-à-dire si l'on ne considère que des sols monogéniques suffisamment profonds, on peut dire que tous les sols K, Ab et Ac peuvent convenir aux cultures annuelles irriguées de façon intensive dans la mesure évidemment où aucun facteur extrinsèque ne vienne péjorer certaines de leurs propriétés. C'est ainsi que dans les zones à topographie plane on peut craindre sous l'effet conjugué de mauvais drainages externe et interne, une stagnation des eaux météoriques en saison hivernale d'autant plus prolongée d'ailleurs que les possibilités d'évacuation seront réduites. Compte tenu du modelé des divers secteurs, ces inconvénients seront moins sensibles sur sols K, qui peuvent bénéficier dans de nombreux cas d'un drainage externe efficace, que sur sols Ab ou Ac concentrés pour la plupart dans les parties basses de la plaine du Akkar. Aussi en fin de compte les sols K s'avèrent ils, dans les conditions actuelles, généralement plus aptes à valoriser des cultures de primeurs que bon nombre de sols Ab en particulier sur lesquels les travaux de préparation des terres ne peuvent être entrepris que très tard.

Dans le cas des cultures perennes le problème est plus complexe car leur implantation dépend non seulement de données écologiques ou d'exigences physiologiques propres à cha-

que espèce mais aussi de facteurs socio-économiques souvent primordiaux. Pour notre part nous n'analyserons dans ce présent rapport que les facteurs limitants édaphiques d'ordre hydrique.

Dans la majorité de ces sols A et K à la fois peu drainants en profondeur et rapidement desséchés en surface durant six mois de l'année, on pourrait s'attendre à une accumulation des eaux météoriques ou des eaux d'irrigation au toit de l'horizon non perturbé et par conséquent à une saturation de ce niveau de plus ou moins longue durée, pouvant engendrer des conditions asphyxiantes néfastes au développement racinaire et par là même une réduction considérable de la profondeur utile (VINCK et al. 1970) ; en réalité, les symptômes visuels d'hydromorphie ne transparaissent jamais de façon très nette à ce niveau.

Si l'examen de quelques profils culturaux sur sols Ac nous ont révélé que le système racinaire des agrumes reste surtout concentré entre 10 et 40 cm, par contre nous avons pu observer dans les sols K, une bonne exploration par les racines d'oliviers des horizons profonds argileux et compacts. Il est évidemment difficile de tirer des conclusions directes de ces observations ponctuelles en nombre limité portant sur des espèces très différentes cultivées dans des conditions à peine comparables. Néanmoins il est déjà intéressant de noter qu'elles ne contredisent pas les résultats théoriques que nous avons développés dans le chapitre précédent sur les risques d'asphyxie comparés propres aux sols A et K.

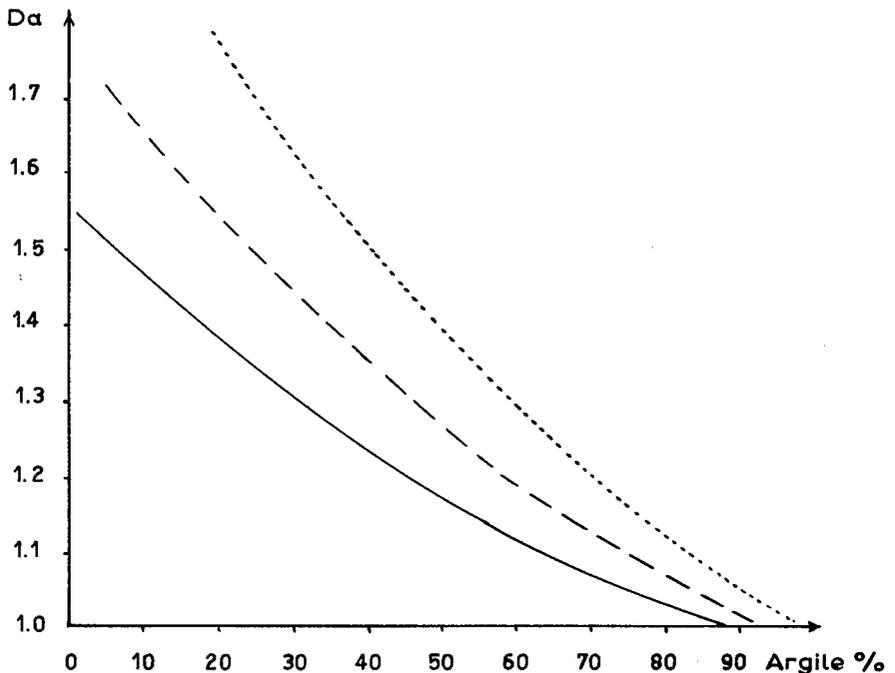
Il semble bien en effet que le facteur limitant essentiel au développement des jeunes radicules ne soit ni la teneur en argile ni la perméabilité (effectivement moins favorables sur sols K) mais plutôt la capacité pour l'air (toujours plus élevée sur sols K). Certains auteurs (PATT et al. 1966) ont ainsi montré que dans des sols lourds, renfermant entre 50 et 70% d'éléments fins, il existait une assez bonne corrélation entre le pourcentage d'air à la capacité au Champ, la densité racinaire dans les 75 premiers cm et la production d'agrumes ; quand ce pourcentage se cantonne entre

5 et 8 % la production oscille entre 20 et 30 t/ha; par contre quand il est supérieur à 10 % les rendements atteignent ou dépassent 40 t/ha. A titre de comparaison, nous avons calculé pour chaque catégorie de sols les équations reliant $D\alpha$ et a lorsque la capacité pour l'air à l'Humidité équivalente est égale à 10 %. En appliquant la relation $Hm = HE + 10/Da$ et en nous servant des données présentées dans le chapitre précédent, on obtient les équations suivantes:

$$(Ab) \quad a = 243/Da - 155$$

$$(Ac) \quad a = 214/Da - 119$$

$$(K) \quad a = 184/Da - 83$$



8 — Limites physiques pour l'obtention de rendements corrects sur plantations d'agrumes.

———— Sols Ab - - - - Sols Ac Sols K

Les expressions graphiques de ces relations sont des branches d'Hyperbole dont les positions nous permettent de saisir les limites des valeurs combinées de la texture et de la compacité qu'il convient de ne pas dépasser ainsi que le sens des améliorations qu'il serait souhaitable d'apporter, pour obtenir sur agrumes des rendements corrects. (cf. graphique 8).

2 — Améliorations souhaitables

Les travaux d'amélioration doivent viser d'une part à contrecarrer les manifestations défavorables de certains facteurs extrinsèques (nappes, stagnation superficielle) et d'autre part à accroître la porosité utile qui commande dans une large mesure la vitesse d'infiltration et. à un degré moindre, le volume d'eau utile.

Sur le premier point, nous pensons que généralement il serait préférable, pour accélérer le ressuyage au niveau de la parcelle de culture, de mettre en place un réseau dense de rigoles rudimentaires peu profondes plutôt que d'inciser la surface cultivable d'un dispositif plus lâche de grands fossés a priori moins efficace à cause de la faiblesse de la vitesse de transfert de l'eau. Dans certains cas un reprofilage des parcelles en larges ados pourrait utilement compléter le système de drainage.

Pour mener à bien le deuxième type d'amélioration, il importerait de travailler le sol sur une profondeur suffisante pour réduire au maximum les valeurs de la densité apparente. L'ampleur des travaux à réaliser, pouvant aller du simple griffage au labour profond, exigerait qu'ils soient entrepris avant plantation. De plus pour que la plante puisse ultérieurement tirer le meilleur parti de cette transformation du support, il serait souhaitable que durant les premiers stades de croissance la fréquence des apports d'eau en saison estivale soit assez lâche, ceci dans le but de favoriser l'installation rapide du système racinaire dans toute l'épaisseur des horizons perturbés. Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est malheureusement

pas possible de savoir si toutes ces interventions peuvent s'avérer bénéfiques durant un laps de temps suffisant pour rentabiliser les lourds investissements initiaux. Nous ne parlerons pas des autres modes d'amélioration tels que le sablage ou l'enfouissement de matière organique, car, à notre avis, ils ne peuvent constituer que des palliatifs de moindre efficacité.

En guise de conclusion à ce chapitre il nous a semblé intéressant de rapporter des propos tenus par un spécialiste en arboriculture fruitière (REBOUR cité par LAMOUREUX. 1965) : «Pour rendre compétitives les nouvelles plantations, il est indispensable de les établir sur des terrains appropriés..... Il est toujours coûteux et souvent vain de vouloir forcer la vocation naturelle du sol en essayant d'en tirer des revenus dépassant ses possibilités et en axant l'exploitation vers des cultures riches auxquelles il ne convient pas». Appliquée aux sols du Nord Liban, cette citation devrait limiter l'emprise des plantations d'agrumes sur les trois familles de sols Ab Ac et K, qui, comme nous l'avons vu ne présentent pas pour la plupart des propriétés physiques particulièrement favorables. Parmi les sols lourds renfermant plus de 45% d'argile, les moins «inadaptés» seraient dans l'ordre les sols K les sols Ac et enfin les sols Ab. De toutes façons on ne saurait trop recommander qu'avant toute plantation les exploitants fassent procéder à un inventaire pédologique de leur périmètre afin d'éviter ou tout au moins de limiter les déconvenues ultérieures

VI — RESUME

L'étude comparée de trois familles de sols du Nord Liban a permis aux auteurs de mettre en évidence l'existence de corrélations étroites entre caractéristiques hydriques et données texturales et de débattre d'un certain nombre de pro-

blèmes ayant trait à l'aspect méthodologique de leur intervention et aux conséquences pratiques des résultats obtenus.

L'exploitation de ces résultats les a conduits en particulier à rendre l'interaction de certaines propriétés édaphiques (capacité pour l'air, vitesse d'infiltration) et de certaines données extrinsèques (évaporation drainage externe) responsable des limitations d'aptitude d'une grande partie des sols étudiés. Les conditions de milieu semblent en effet dans bien des cas être propices à l'apparition de symptômes asphyxiants, n'autorisant l'exploration racinaire que dans les seuls horizons superficiels périodiquement travaillés.

En conclusion, les auteurs présentent un graphique permettant de mieux définir les valeurs combinées des caractéristiques texturales et structurales des supports édaphiques pouvant convenir à certaines spéculations arbustives et passent en revue divers modes d'amélioration qu'il serait souhaitable d'apporter pour augmenter la productivité des terres.

SUMMARY

In this compared study of three great soil families of North Lebanon, the authors have established some quantitative relationships between moisture characteristics and texture and have discussed on validity of some results and their practical consequences.

It has been showed in particular that Interaction between some physical properties of the soil (air capacity, Infiltration speed) and some external factors (Evaporation, drainage) was probably responsible of limitation in land use. These characteristics seems to be able to improve often the asphyxic symptoms and to forbid the growth of roots outside the disturbed Ap Horizon.

In conclusion, the authors presented a graphic to define the combined values for the textural and structural characteristics which convey to some orchards speculations and proposed some types of improvement able to increase the soil's productivity.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les agents de l'IRAL qui ont participé aux divers travaux de terrain et de laboratoire, en particulier MM. Joseph SERHAL, Joseph SHANNINE, Jean HATCHITI et Adnan RAMI. Leurs remerciements s'adressent également au chef du service cartographique de l'IRAL, M. Samir SFEIR et au dessinateur M. Ibrahim HARFOUCHE, qui ont mis au point le document final.

VII — BIBLIOGRAPHIE

BOURRIER J. — 1965 — La mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols par la méthode Vergière. **Bull. tech. Génie rural** N° 73.

CHANG R.K. — 1968 — Component potentials and Hysteresis in water retention by compacted clay soil aggregates. *Soil Sci.* (Baltimore). 105,8.

DABIN B. — 1960 — Utilisation d'un indice de structure pour la détermination de la qualité physique des sols tropicaux. **C.R. 7^e. Congrès Int. de Sc. du Sol.**

DE LEENHEER L. — 1967 — Considérations critiques sur la valeur des résultats de la détermination de la Porosité totale et de la distribution des pores du sol. **Pédologie (Gand)**, XVII, 2.

HALLAIRE M., BALDY C., — 1963 — Potentiel matriciel de l'eau dans le sol et Tension superficielle de l'eau. **Ann. Agron.**, 14,4.

I.R.A.L. — 1969 — Inventaire des ressources en sols — Plaine du Akkar.

I.R.A.L. — 1970 — Inventaire des ressources en sols — Région Koura — Zgharta.

LAMOUREUX M. — 1965 — Notions de Physique des sols appliquées au Liban. **Magon, série tech.**, N° 2. Publ. IRAL-LIBAN.

PATT. et al. — 1966 — Influence des conditions physiques du sol sur le développement des racines et la productivité des agrumes. **Soil Sci.** (Baltimore), 102,8.

SALTER P.J., WILLIAMS J.B. — 1965 — The influence of texture on the Moisture characteristics of soils. I. A critical comparaison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristic curve of a soil. **J. Soil Sci.** (Oxford), 16,1.

SARRAF S., N. VINCK et A. ABOUKHALED — 1969 — Evaporation, Evapotranspiration et coefficient du Piche corrigé. **Magon, Série Sci.**, 32, Publ. IRAL-LIBAN.

SLATYER R.O. — 1967 — Plant-water relationships. **Academic Press.** London and New York.

U.S.D.A. — 1951 — Soil Survey Manual.

VINCK N., A. ABOUKHALED et S. SARRAF — 1970 — Measured and Estimated Water use by a citrus and an apple orchard. **Magon, Série Tech.** N° 2. Publ. IRAL-LIBAN.

WACQUANT J.P. — 1968 — L'analyse au laboratoire de la densité apparente des terres en vue de l'interprétation volumique des résultats d'analyses édaphiques. **Science du sol** (Versailles), 2.