



INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES DE TEL'AMARA

-----  
Section Sols - Recherches  
-----

NOTE PROVISOIRE SUR LES PROPRIETES  
PHYSIQUES DES SOLS DE LA BEKAA MOYENNE ET SUD

-----

P. WILLAIME  
Maître de Recherches ORSTOM

-----  
Mai 1967  
-----

C. R. S. T. O. M. Fonds documentaire

N° : 2 5 8 2 5

Cote : B

NOTE PROVISOIRE SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DES SOLS DE  
LA BEKAA MOYENNE ET SUD

Dans cette note nous avons rassemblé les premières données sur les caractéristiques physiques d'un certain nombre de profils, constituant un échantillonnage restreint mais assez représentatif de l'ensemble des sols de la Bekaa, s'étalant au Sud de Rayak.

Le choix des sites de prélèvement s'est effectué principalement en fonction des unités cartographiques mentionnées sur les cartes pédologiques existantes qui ne couvrent malheureusement la rive gauche du Litani.

Dans cette grande dépression intérieure, la complexité des matériaux originels, d'origine colluvio-alluviale ne se prête pas à un inventaire exhaustif des différents types de sols; ainsi dans notre tentative d'établir un certain nombre de corrélations entre propriétés physiques et types de sols, nous avons parfois buté sur des cas d'espèces, faisant exception aux règles générales. L'explication de ces anomalies n'a pu être avancée qu'en faisant appel à des hypothèses concernant en particulier la nature du contenu minéralogique ou l'importance relative de la matière organique liée, ces deux "variables" n'ayant pas été déterminées par voie directe.

Enfin, nous insistons sur le caractère provisoire de certaines conclusions hâtives qui n'ont en elles-mêmes qu'un intérêt limité mais qui nous permettent non seulement d'orienter plus efficacement les grandes lignes de notre programme de travail futur, mais encore de fournir aux ingénieurs chargés des études d'irrigation quelques données chiffrées.

---

## I - LES MATERIAUX ORIGINELS ET LES SOLS

Etroitement resserrée entre les Monts Liban à l'Ouest et l'Antiliban à l'Est, la "Bekaa" se présente comme une longue dépression, partiellement comblée par des matériaux arrachés à toute une série de bassins versants emboîtés dans un substratum géologique où dominent largement les roches carbonatées.

Sous l'action des pulsations climatiques contemporaines ou postérieures à leur genèse, des fractions de ces matériaux meubles, issus de roches-mères à faciès pétrographiques variés, se sont, lors des migrations successives, mélangées plus ou moins intimement avant de se déposer à des distances variables de leur berceau d'origine, distances évidemment fonction de la compétence des agents de transport. Aussi doit-on s'attendre à trouver dans la Bekaa une assez grande hétérogénéité tant verticale qu'horizontale des matériaux originels et par suite à éprouver quelques difficultés à attribuer un coefficient de représentativité valable à chaque profil analysé.

### 1 - Principaux types de matériaux

En réalité les quelques sondages que nous avons effectués en nous inspirant des cartes pédologiques existantes, n'ont que très rarement révélé des hétérogénéités verticales tranchées dans les limites du profil pédologique; de plus, ils ont confirmé l'existence d'une série de dépôts déjà caractérisés par ailleurs, que l'on peut regrouper du point de vue physique en 6 ensembles, grossièrement localisés sur le triangle des textures ci-joint :

- Matériaux A : Ce sont des matériaux alluviaux jeunes, qui bordent successivement de l'amont vers l'aval les cours actuels du Nahr Ghazaïel et du Nahr Litani.

Riches en limon (plus de 50%), ils sont aussi bien pourvus en calcaire total (plus de 65%) et actif (plus de 20%). Ce calcaire est présent sous forme de microcoquillages, d'amas ..//...

friables ainsi qu'à l'état diffus.

Matériaux B. - Matériaux jeunes également, ils s'étirent en lanière le long du Litani - Limoneux (de 30 à 50%) ils sont riches en calcaire total (entre 35 et 50%); le rapport calcaire total/calcaire actif est ici voisin de 4. On peut également y rencontrer de petits coquillages.

Matériaux B'. Ils alternent le long du Litani avec les précédents. Ils sembleraient un peu plus riches en argile (de 30 à 45%) et en calcaire actif.

Matériaux C. - Principalement étalés sur la rive droite du Litani où ils servent de support à une station d'expérimentation, ces matériaux renferment une proportion équivalente de sables d'argiles et de limon. Ils sont moyennement calcaires (entre 10 et 20%).

Matériaux D. - Argileux ou argilo-limoneux, ils couvrent la totalité des glacis de piedmont (matériaux rouges) et la plus grande partie des zones basses de la Bekaa (matériaux bruns ou gris) Leurs teneurs en calcaire sont variables. Assez élevées dans les matériaux gris (entre 30 et 40%) elles sont négligeables dans les rouges et oscillent entre 0 et 20% dans les bruns.

Matériaux E.- Argileux ou argilo-sableux, ces matériaux se caractérisent surtout par une faible teneur en limon (moins de 20%). Ils correspondent à d'anciennes terrasses alluviales, probablement constitués d'éléments issus du bassin versant du Yafoufa. Ils sont totalement décalcarifiés.

Tous ces matériaux, mis en place au quaternaire, donc relativement jeunes, ont engendré, sous l'action combinée des facteurs naturels et humains, esquissée ci-après, plusieurs catégories de sols assez peu évolués que nous passerons brièvement en revue avant d'aborder l'étude de leurs propriétés physiques.

## 2 - Aperçu sur la pédogénèse

La mise en place récente de tous ces matériaux d'origine alluvio-colluviale n'a pas permis aux processus pédogénétiques de s'exprimer pleinement. Les propriétés physico-chimiques des matériaux originels transparaissent encore très fortement. Les seules oblitérations actuellement visibles des caractères hérités sont principalement liées à des conditions pédoclimatiques particulières.

Dans les milieux bien aérés et bien drainés qui sont l'apanage des piedmonts et des terrasses les plus anciennes, les sols rouges conservent pratiquement tous les caractères des matériaux ou des sols situés en amont qui n'ont été que peu ou pas transportés.

Dans les zones plus basses, moins bien drainées, il semble que dans presque tous les cas la coloration brune ou brun rouge observée est liée à des phénomènes d'hydratation, qui s'exprimeraient d'autant mieux que le milieu est plus confiné.

Enfin dans les secteurs où l'engorgement périodique est ou était quasi-permanent, la couleur grise caractéristique de l'hydromorphie s'affirme. A cette couleur est d'ailleurs souvent associée une forte quantité de matière organique relativement peu évoluée, principalement à l'emplacement d'anciennes zones palustres, à présent partiellement assainies.

Dans les matériaux originellement calcaires se superposent à ces processus une faible migration du calcaire, d'ailleurs assez difficile à mettre en évidence par le fait même que tous les sols ayant une profondeur supérieure à 30 cm. présentent des horizons supérieurs fortement perturbés par les façons culturales. On ne rencontre que rarement de fortes accumulations en profondeur; les niveaux (ou les horizons) les plus riches que nous ayons

pu observer seraient à classer parmi les encroûtements tuffeux. D'une façon plus générale, et sans vouloir minimiser l'importance des migrations verticales ou obliques du calcaire, nous pensons que l'absence totale de calcaire sur plus de 1 m. dans de nombreux profils de la Bekaa n'est pas l'aboutissement d'une évolution pédogénétique mais tout simplement le reflet d'un caractère hérité.

La structuration des profils semble être d'autant plus marquée que le matériau est plus âgé et plus riche en argile; elle est de plus d'autant plus "large" que le milieu est moins bien drainé, la structure prismatique semblant, comme le signale RUELLAN pour les sols du Maroc, se développer plus nettement dans les sols peu calcaires.

En résumé nous estimons donc que la grande majorité des sols de la Bekaa moyenne et Sud peuvent être considérés comme des sols assez peu évolués, où les processus d'évolution sont, dans les horizons supérieurs, masqués par des remaniements mécaniques dus à l'homme ou aux eaux de ruissellement, dans les horizons sous-jacents très souvent freinés par une hydromorphie temporaire. Il est à noter également que nous n'avons jamais rencontré de niveau ou de calcaire très induré assimilable à une croûte; tout au plus apparaissent à des profondeurs généralement supérieures à 50 cm. des niveaux conglomératiques peu cimentés.

### 3 - Les grandes catégories de sol.

Les caractères hérités prenant le pas sur les caractères acquis, la répartition et les propriétés des différents types de sols et des matériaux originels correspondants seront assez voisines.

Si l'on se réfère à la classification exposée au paragraphe(1) on peut associer à chaque ensemble une ou plusieurs catégories de sols, selon qu'ils évoluent dans un seul ou plusieurs

contextes pédoclimatiques.

Pour rendre possible une extrapolation géographique des résultats obtenus sur quelques profils-types, nous avons mentionné dans le tableau ci-dessous, en regard de nos différentes catégories de sols, le nom des séries homologues qui figurent sur les cartes pédologiques du "Litani River Project" (L.R.P) pour la partie Centre et Sud, et de l'Institut de Tel'Amara (T.A.) pour la partie Nord.

Matériaux originels	Pédoclimat	Catégories de sols	Unités cartographiques LRP ou TA
A	Engorgement prolongé Submergé en hiver - Nappe peu profonde en été	Sol gris limoneux organique très calcaire	a : Ghazaïel loam
B	Drainage médiocre	Sol brun limoneux calcaire	b : Bar Elias loam
B'	- id -	Sol brun limono- argileux calcaire	b' : Bar Elias loam
C	- id - Nappe sub-aff. eh hiver	Sol brun limono- argileux peu calcaire	c :
D	Très bon drainage	Sol rouge argileux non calcaire	d <sub>1</sub> : Anjar clay loam
	Drainage médiocre à moyen	Sol brun argileux ou argilo-limoneux Teneur en calcaire variable	d <sub>2</sub> : Belhamic loam El Khiara Silty clay loam Sols châtaîns et bruns calcaires (TA)
	Mauvais drainage	Sol gris argilo- limoneux souvent organique calcaire	d <sub>3</sub> : El marj Silty clay loam
E	Très bon drainage	Sol rouge argileux ou argilo-sableux non calcaire	e : Sol rouge châtaîns (TA)

## II - PROPRIETES PHYSIQUES

Les caractéristiques hydrodynamiques ont été principalement déterminées au laboratoire, d'une part parce que nous n'avions pas les moyens matériels de réaliser un nombre suffisant de mesures sur le terrain et d'autre part parce que nous avons estimé que les tests de laboratoire permettent une étude comparative plus précise des divers échantillons (moins grande variabilité dans les résultats, meilleure reproductibilité des conditions dans lesquelles sont effectuées les mesures).

Nous avons utilisé les méthodes d'analyse et les tests classiques :

- Granulométrie : Méthode "Pipette Robinson"
  - Calcaire total : Calcimètre Bernard
  - Calcaire actif : Méthode à l'oxalate d'ammonium
  - Densité apparente : Densitomètre à membrane
  - Densité réelle : pycnomètre
  - Humidité à pF : 4,2 : Presse à membrane  
pF : 3,0 Presse à plaques de  
et 2,5 : porcelaine poreuse
  - Perméabilité, stabilité structurale : méthode Hénin-Monnier
- 1 - Granulométrie

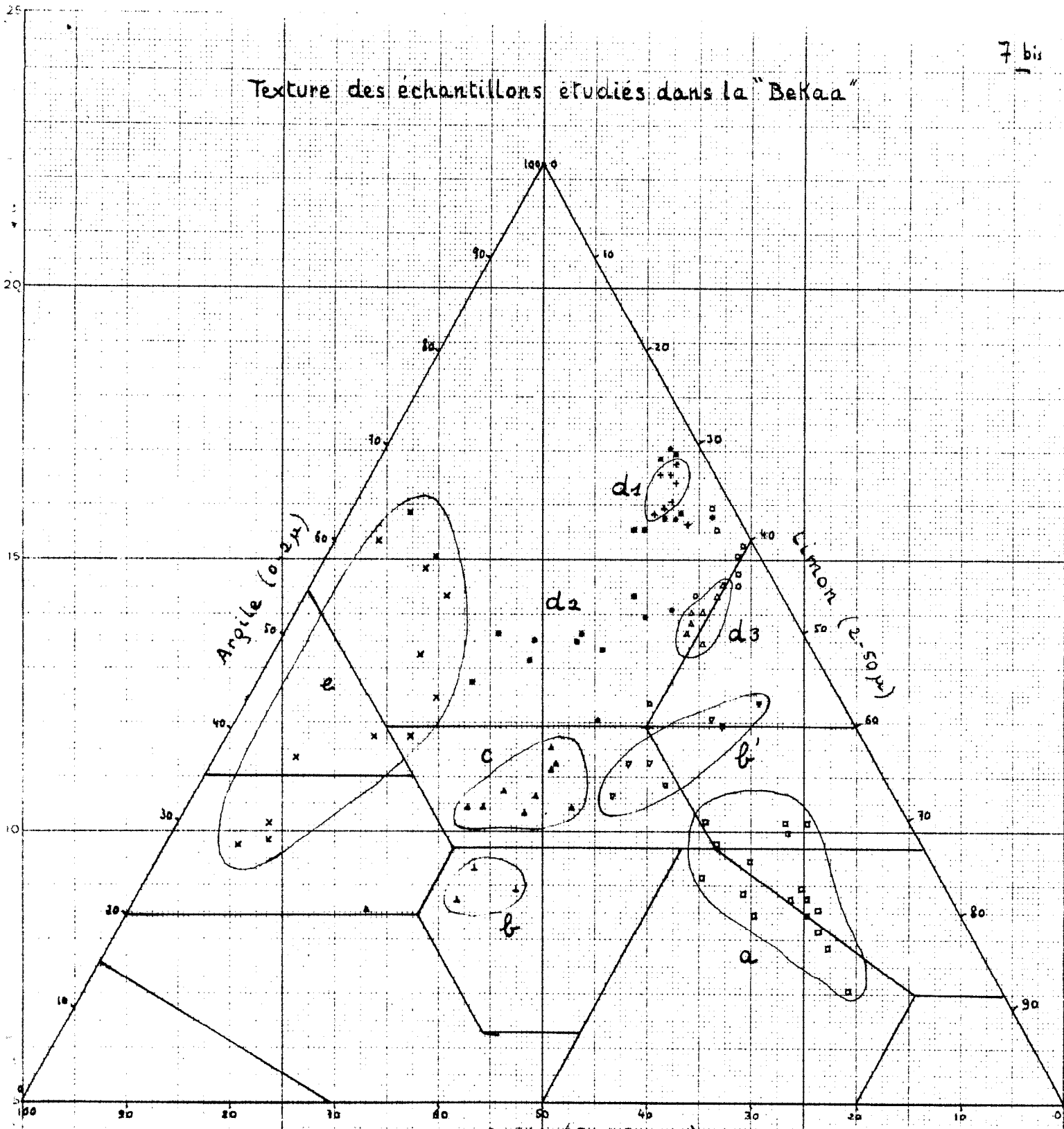
Nous avons reporté les points représentatifs des échantillons étudiés dans le diagramme des textures à coordonnées trilineaires, adopté par la classification américaine. Les différentes catégories de sols ont été repérées par les lettres qui figurent dans le tableau précédent.

D'une façon générale, on constate que plus un échantillon est riche en calcaire, plus la fraction limoneuse est abondante. On a ainsi pu déterminer les relations suivantes :

.. / ...



# Texture des échantillons étudiés dans la "Bekaa"



- catégories :
- a      □
  - b      △
  - b'     ▽
  - c      ▲
  - d1    ×
  - d2    ○
  - d3    ⊙
  - e      ×

Sable (50 - 2000 μ)

→ échantillons riches en calcaire

<u>Teneur en calcaire %</u>		<u>Teneur en limon %</u>	
<u>Total</u>	<u>actif</u>	<u>correspondante</u>	
> 60	> 20	> 50	
60 - 30	20 - 10	50 - 35	
< 30	< 10	< 35	

Cette correspondance tendrait donc à démontrer de façon indirecte que le calcaire est surtout présent dans la fraction limoneuse; nous rejoignons là d'ailleurs une observation qu'a effectué RUELLAN au Maroc sur les sols isohumiques.

La fraction "limon fin" l'emporte sur la fraction "limon grossier" dans tous les sols observés, sauf dans les sols de la catégorie e, peut-être plus évolués que les autres (rapport l/a dans le (B) < 0,15).

Dans la fraction sableuse, les sables fins prédominent nettement dans les sols jeunes limoneux des catégories a b et b' (sf/sg voisin de 3). Ils sont minoritaires dans les sols rouges e et dans certains sols rouges d<sub>1</sub>. Dans les autres sols les rapports sf/sg oscillent entre 1 et 2.

Enfin il est utile de signaler que dans les horizons riches en matière organique les particules élémentaires sont parfois reliées entre elles par un ciment organo-ferrique, très résistant à l'action de l'eau oxygénée. Aussi dans de tels horizons, il n'est pas impossible que les taux de limon<sup>ou</sup> de sables soient légèrement surestimés.

.. / ...

## 2 - Humidité au point de flétrissement (Hf)

### 2.1 - Mode de représentation des résultats.

La quantité d'eau fixée étant surtout fonction de l'importance des surfaces adsorbantes, nous avons cherché à tester la finesse des corrélations existantes avec les teneurs en argile (figure 1). Une deuxième expression graphique de ces liaisons a permis de suivre les variations de Hf en fonction du taux d'éléments fins (figure 2). Dans les deux cas, nous n'avons pas calculé les coefficients des droites<sup>e</sup> de regression; elles ont été tracées par simple estimation. Le nombre insuffisant des points représentatifs nous a en outre amené à regrouper des catégories de sols assez voisines.

### 2.2. - Position relative des droites de regression

#### 2.2.1 - Relations Hf/argile.

Deux droites de regression s'individualisent assez nettement: une première correspondant à la catégorie a se situe dans la gamme des faibles teneurs en argile au-dessus de toutes les autres. Une seconde relative à la catégorie c se place au contraire en dessous. Entre les deux droites, les points représentatifs des catégories b b' etc renfermant moins de 45% d'argile sont assez bien alignés. Au-delà de 45%, pour les sols des catégories d, la droite de regression moyenne est sensiblement dans le prolongement de la précédente, mais le coefficient de corrélation est évidemment, compte tenu de l'hétérogénéité plus grande des matériaux concernés, moins élevé; on constate en particulier que les sols rouges d, se concentrent sous la droite, les sols gris au-dessus, les sols bruns se répartissant de part et d'autre dans la même proportion.

#### 2.2.2 - Relations Hf/a + 1.

L'ensemble des points représentatifs se regroupe autour de trois droites de regression sensiblement convergentes. En allant dans le sens des ordonnées croissantes on rencontre successivement:

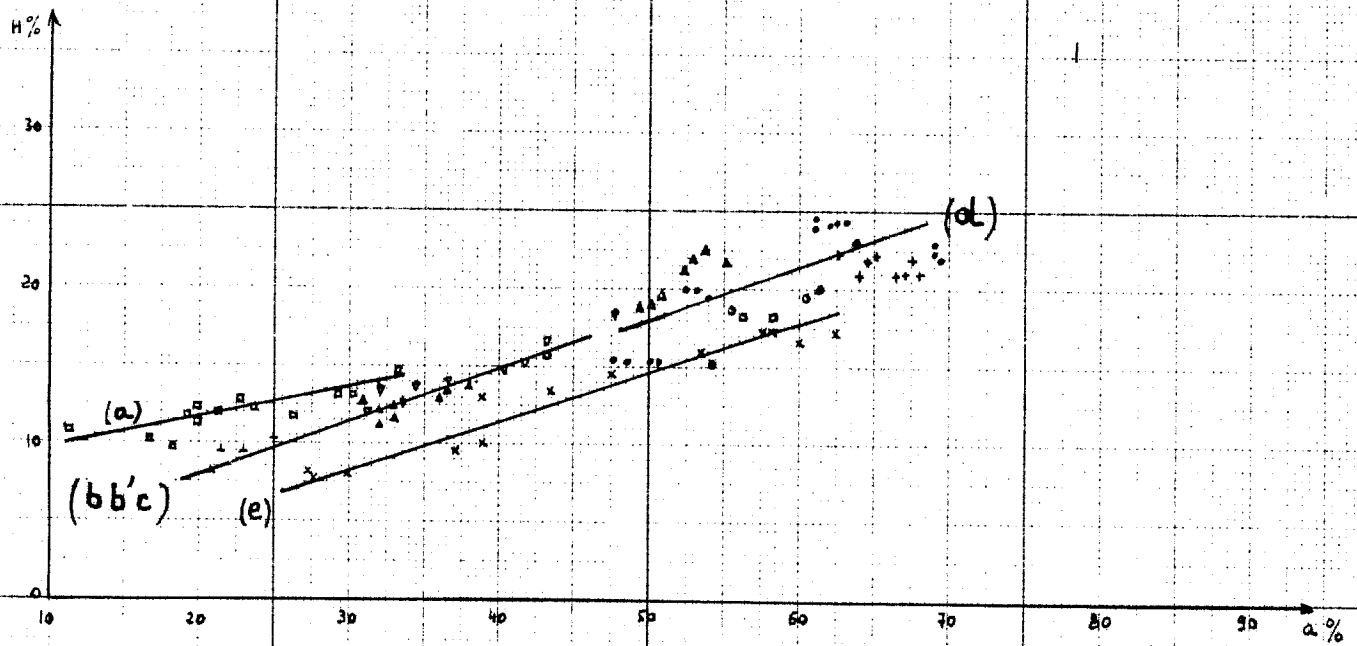
../...

# Humidité au Point de Flétrissement

— en fonction du taux d'argile (a)

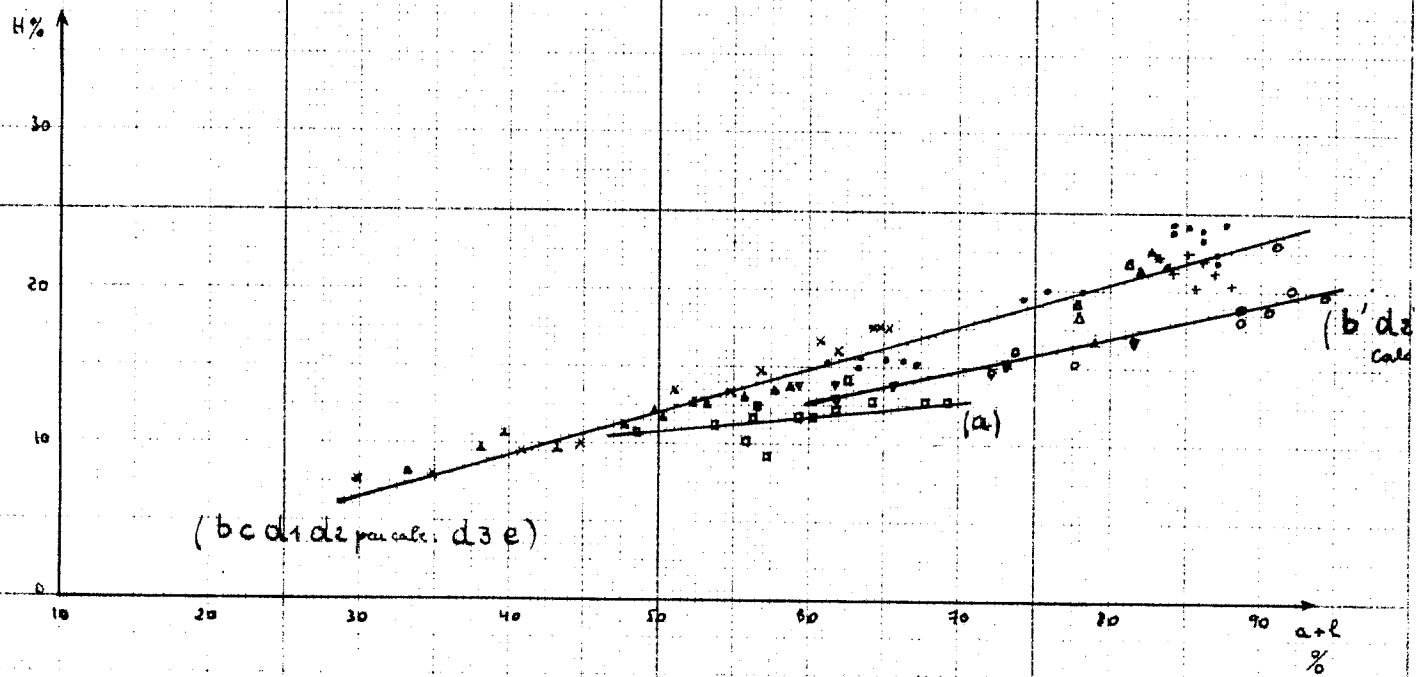
9 bis

Figure 1



— en fonction du taux d'éléments fins (a+l)

Figure 2



- Les sols de la catégorie a très riches en limons
- Les échantillons des catégories b' c et d<sub>2</sub> renfermant plus de 30% de calcaire total et plus de 10% de calcaire actif, donc riches en limon.
- Tous les échantillons renfermant moins de 35% de limons totaux, ainsi que les sols de la catégorie d<sub>3</sub>.

Ces relations présentent sur les précédentes (Hf/a) l'avantage d'être plus étroites. Il semblerait que l'intervention de la fraction "limon fin" estompe quelque peu les différences inhérentes au contenu minéralogique. Elles pourraient donc se révéler sur un plan pratique plus intéressantes.

### 2.3. - Interprétation - Discussion

#### 2.3.1 - Rôle de la matière organique.

Elle ne semble intervenir qu'à des taux relativement élevés. C'est probablement sa présence qui confère à tous les sols de la catégorie a une teneur en eau à pF 4,2. supérieure à celle de tous les autres échantillons renfermant des taux d'argile similaires, la fraction limoneuse ne jouant qu'un rôle négligeable, comme nous le verrons plus loin.

Pour des teneurs inférieures à 3%, les points représentatifs des horizons de surface et de profondeur d'un même profil monogénique sont très voisins. Il est possible en effet que le taux de matière organique lié, relativement au taux d'argile soit trop faible pour avoir une incidence marquée sur la rétention de l'eau à pF 4,2.

#### 2.3.2 - Rôle de la fraction minérale.

##### Contenu minéralogique.

On sait que dans une terre humide l'eau est présente sous deux formes : sous forme de manchettes avec ménisque et sous forme de films dont l'épaisseur est fonction du taux d'humidité.

.../...

Les résultats de travaux récents de HALLAIRE et BALDY, qui ont opéré sur une argile kaolinitique et une montmorillonite K, ont montré qu'il était possible, en faisant varier la tension superficielle des liquides d'imbibition, de mettre en évidence sur un graphique  $\Psi = f(H)$  la part relative de l'eau fixée sous forme de films et sous forme de manchettes. Si l'on désigne respectivement par  $H_1$  et  $H_2$  ces deux types d'humidité, on trouve qu'à  $pF > 5$   $H_2$  est nul et qu'à  $pF < 5$   $H_2$  augmente relativement de plus en plus à mesure que baisse le potentiel matriciel. A  $pF$  4,2, on peut, compte tenu de l'allure des courbes obtenues, considérer que  $H_2$  est négligeable et que toute l'eau est fixée sur les argiles et a fortiori sur les particules plus grossières, uniquement sous forme de films. L'épaisseur de ceux-ci semblant de plus être indépendante du type d'argile minéralogique, la quantité d'eau adsorbée sera donc fonction de la surface spécifique, beaucoup plus grande pour une montmorillonite que pour une kaolinite.

Il est évident que la garniture ionique doit interférer; dans le cas particulier des sols de la Bekaa, tous saturés principalement en ions calcium, nous supposons que cette garniture n'intervient pas de façon différentielle.

L'incidence du contenu minéralogique sur la capacité d'adsorption à  $pF$  4,2 devrait donc être assez nette.

#### Fraction limoneuse.

Si l'on néglige le rôle de la fraction sableuse dans la rétention à  $pF$  4,2, fraction d'ailleurs jamais très importante, on peut schématiquement décomposer la quantité d'eau fixée en deux parties : une partie enrobant les particules argileuses, une autre les particules limoneuses.

Supposons donc que le limon intervienne fortement. On devrait alors obtenir sur un graphique  $H_f/a$ , pour une teneur en argile donnée et pour un même contenu minéralogique, des points ..//...

représentatifs d'autant plus décalés vers le haut qu'il y a plus de limon.

Or, tel n'est pas le cas général car on retrouve de nombreux points représentatifs d'échantillons riches en calcaire, donc en limon, et à capacité d'échange relativement élevée, au voisinage de la droite de régression des sols rouges e qui ne contiennent que très peu de limon et des argiles dont le type dominant est la kaolinite.

Il semblerait donc que dans bon nombre de ces sels, la nature même des limons, très souvent calcaires, parfois siliceux limite grandement le rôle qu'ils pourraient jouer dans les phénomènes de rétention.

### 2.3-3. - Position relative des points représentatifs.

De ce qui précède, il ressort que, pour une teneur en argile donnée, cette position est principalement liée à la nature du contenu minéralogique, sauf toutefois pour les sols de la catégorie a, riches en matière organique. En nous référant aux valeurs du rapport Capacité d' Echange/argile, qui donnent une idée approximative des types d'argile existants, nous constatons effectivement que :

- la droite de régression la plus basse concerne des matériaux à dominantes kaolinitiques (CE/a voisin de 20%).

- les points représentatifs des échantillons des catégories d situés au-dessus de la droite moyenne de régression correspondent aux rapports CE/a les plus élevés ( $> 65\%$ ) : la montmorillonite serait donc dans ce cas l'argile prédominante.

- Enfin il n'est pas impossible que la position relativement basse des échantillons riches en calcaire actif s'explique simplement par le fait que leur fraction argileuse renferme une quantité non négligeable de calcaire, à pouvoir d'adsorption moins élevé qu'une argile.

.../...

2.3.4. - Hf au laboratoire et Hf du sol en place.

- Etude comparative -

Au laboratoire, la détermination du taux d'humidité à pF 4,2, s'effectue à partir d'un échantillon saturé avec une eau peu chargée; l'humectation est suffisamment longue pour que l'équilibre ionique de la "solution du sol" soit réalisé.

Sous l'action de l'air comprimé cette solution est progressivement chassée, mais sa concentration en électrolytes reste sensiblement constante, donc assez faible.

Dans le sol, par contre, chaque motte de terre se dessèche sous l'effet de l'évapotranspiration; l'eau étant éliminée pratiquement seule, la concentration des solutions du sol augmente en même temps que le pF.

De façon schématique on peut dire que le travail exercé pour extraire l'eau du sol doit vaincre entre autres choses les actions capillaires conférant à l'eau une pression négative P, ainsi que l'accroissement de pression osmotique due à la concentration progressive des solutions du sol, P'.

Si l'on désigne par V le volume d'eau déplacé, on peut donc écrire:

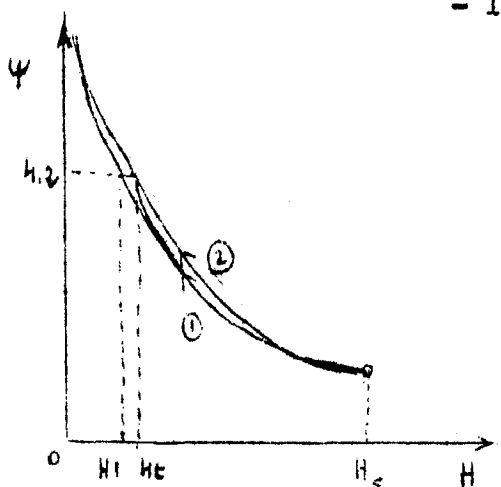
$$P_s = P + P' \quad P_s = \text{Pression du suction du sol}$$
$$\Psi = -VP_s \text{ ou plus exactement } \Delta\Psi = -\sum_0^t v P_s \Delta t$$

Si  $\Delta\Psi$  est constant,  $P_s$  qui varie avec le temps augmentera d'autant plus vite que P' sera relativement important. Donc en fin de compte le volume V déplacé sera d'autant plus petit que les solutions du sol seront plus fortement chargées en ions. Au laboratoire où P' est relativement faible, le volume V déplacé sera donc plus grand que dans le sol en place.

On peut traduire tout ceci graphiquement de la façon suivante :

../...





$H_s$  = Humidité à saturation

1 = Déssèchement labo

2 = Déssèchement terrain

$H_1$  =  $H_f$  labo

$H_t$  =  $H_f$  terrain

Les écarts d'humidité en valeur relative devraient être d'autant plus grands que les pF sont élevés.

- Conséquences pratiques -.

Nous n'avons malheureusement aucune idée de l'importance des rapports  $H_t/H_1$ , mais il est probable que dans bon nombre d'échantillons calcaires ou très calcaires ils sont bien supérieures à 1. Par conséquent, la limite inférieure réelle du domaine d'eau utile, c'est-à-dire le point de flétrissement physiologique, des sols calcaires doit être considérée comme sous-estimée, si l'on se réfère aux valeurs obtenus en laboratoire. Aussi nous pensons qu'en première approximation et pour des estimations rapides du domaine d'eau utile à partir des données granulométriques, on peut dans tous les cas utiliser la droite de régression relative aux échantillons renfermant moins de 35% de limons totaux, qui figure sur le graphique  $H_f/a + 1$ .

3 - Densités réelle et apparente - Porosité

3.1 - Densité réelle.

Quelques mesures effectuées au pycnomètre sur des sols "Bruns" et des sols "Rouges" nous ont montré que les chiffres obtenus étaient très voisins de la densité théorique 2,65; ils oscillaient entre 2,60 et 2,68.

..//...

Seuls les sols gris limoneux (a), riches en matière organique, présentent une densité réelle inférieure, comprise entre 2,52 et 2,58.

Dans les calculs ultérieurs, nous adopterons donc respectivement 2,65 et 2,55.

### 3.2. - Densité apparente.

Elle n'a été déterminée que sur un nombre limité de profils. Sur les terres argileuses de la Bekaa, les mesures sont assez délicates et la variabilité dans les résultats est grande, surtout dans les horizons de surface, périodiquement perturbés. De plus dans les sols qui renferment une proportion importante d'argiles gonflantes, elle varie avec le taux d'humidité.

Les résultats suivants exposés par catégorie ont été obtenus sur des sols dont l'humidité était proche du point de flétrissement à l'aide d'un densitomètre à membrane ou d'un cylindre calibré.

#### + Détermination au densitomètre.

Catégorie	a	Moy	c	Moy
Surface labourée	1,17 - 0,85 0,92 - 0,82	0,94	1,26 - 1,33 1,18 - 1,49	1,26 1,30
Surface non labourée	1,25 (tassée par animaux)	1,25		
Profondeur (> 40 cm.)	1,21 - 1,03 1,08 - 1,02	1,08	1,43 - 1,51 1,62 - 1,32	1,37 1,45

#### + Détermination au cylindre calibré &

Catégorie	d <sub>2</sub> (RA 169)	Moy	B (RA 31)	
Surf. non labourée	1,46		1,35	* Résultats extraits du rapport "Les sols du périmètre du Yafoufa"
Profondeur (> 40 cm)	1,76 1,67	1,71	1,74	

3.3. - Macro et microporosité.

Si l'on désigne par :

- P = la porosité totale
- mP = la microporosité ou porosité capillaire
- MP = la microporosité ou capacité pour l'air
- cr = l'humidité pondérale au point de rétention
- dr = la densité réelle
- da = la densité apparente.

nous savons qu'il existe entre ces grandeurs les relations suivantes :

$$P = 1 - \frac{da}{dr} = mP + MP$$

$$mP = cr da.$$

3.3.1 - Résultats obtenus pour les catégories a c d2 e

Catégorie	P	mP	MP	Observations
Surface	60	38	22	{ labourée
	64	39	25	
	68	34	34	
	51	46	5	
a	-----			Tassée par les animaux
Profondeur	54	45	9	:
	58	50	8	
	60	45	15	
	60	38	22	
	-----			Nombreuses racines de peupliers
Surface	53	25	28	{ labourée
	50	28	22	
	52	28	24	
c	-----			
Profondeur	46	26	20	:
	43	33	10	
	48	29	19	
	-----			
Surface	45	24	21	non labourée
d <sub>2</sub>	-----			
Profondeur	34	35	0	:
	37	38	0	
	-----			
Surface	49	20	29	non labourée
e	-----			
Profondeur	35	24	11	:
	-----			

### 3.3.2. - Discussion.

Lorsque la plante est placée dans les conditions optimales d'alimentation en eau, c'est-à-dire quand le taux d'humidité du sol est voisin du point de rétention, il est indispensable que les organes souterrains, ainsi d'ailleurs que la microflore bénéficient d'une aération minimum pour pouvoir croître ou proliférer correctement. Autrement dit il est nécessaire que le volume des pores non capillaires, c'est-à-dire la macroporosité ne soit pas négligeable. Si  $MP = 0$ , l'asphyxie est totale. Si  $MP < mp$ , il y a, selon certains auteurs, risque d'asphyxie partielle. Selon d'autres, le seuil critique de la capacité pour l'air est voisin de 10%.

L'examen du tableau ci-dessus nous montre que d'une façon générale les horizons de surface, fréquemment travaillés et biologiquement actifs, sont mieux aérés que les horizons profonds, susceptibles de s'engorger très rapidement si l'on utilise en particulier des doses d'irrigation trop importantes. Les sols les moins "asphyxiants" seraient les sols rouges de la catégorie e et les sols bruns de la catégorie c. Dans les sols a et d<sub>2</sub> situés dans les parties déprimées de la Bekaa, l'hydromorphie externe<sup>\*</sup> due à l'extrême compacité des horizons profonds. Pour les sols de la catégorie a, à structure très fragile, il est à noter que le simple piétinement des animaux a rendu négligeable la macroporosité; d'un autre côté, il faut aussi remarquer que la régénération de la structure est toujours possible puisque certains horizons profonds voient leur compacité s'amenuiser dans de larges proportions dès que s'y installe un puissant système racinaire.

Ces quelques résultats doivent déjà inciter les exploitants à beaucoup de prudence dans la conduite des irrigations et d'une façon plus générale dans la mise en oeuvre des techniques culturales. Pour les raisons que nous avons évoquées<sup>et</sup> pour d'autres dont nous

.../...

\* temporaire peut être renforcée par une hydromorphie interne.

parlerons plus tard, il vaut mieux se cantonner en deça qu'au-delà des doses théoriques, car il risque de se créer en profondeur une anaérobiose temporaire toujours nuisible, même indirectement, puisqu'elle peut favoriser l'installation de divers parasites. En fin dans les sols très compacts, il sera toujours souhaitable de procéder à des labours profonds de façon à accroître la tranche de sol exploitable par les racines; dans les sols à structure fragile les façons superficielles ne devront pas être trop fréquentes pour ne pas rendre trop pulvérulente la structure de l'horizon supérieur.

#### 4 - Eau utile et eau facilement utilisable

##### 4.1 - Eau utile.

##### 4.1.1. - Remarques préliminaires.

Si les spécialistes en physique du sol sont en général d'accord pour prendre comme limite inférieure du domaine d'eau utile le taux d'humidité correspondant à une pression de 15,8 atmosphères, ils n'ont pas encore réussi à définir un test de laboratoire simple et rapide qui pourrait se substituer dans tous les cas à la mesure de la capacité au champ sur le terrain, la seule valable, mais malheureusement toujours très longue.

On sait en effet que le pF à la capacité au champ <sup>varie</sup> entre autres choses, avec la texture. GRAS cité par DUCHAUFFOUR a établi une relation Humidité C.C./Humidité pF 3.0 montrant que pour les terres légères le pF c.c. est voisin de 2.0 alors qu'il peut dépasser 3.0 pour des terres très lourdes.

Pour l'ensemble de nos échantillons nous avons choisi le pF 2,5, sans perdre de vue que l'humidité c.c. est sous-estimée pour les sols renfermant moins de 50% d'éléments fins ou 35% d'argile et surestimés pour ceux qui contiennent plus de 60% d'éléments fins ou plus de 45% d'argile.

.../...

Nous avons là encore cherché à établir des corrélations avec les taux d'argile et d'éléments fins. Comme on pouvait logiquement le prévoir, ces corrélations sont assez lâches. Cela tient à la plus grande variabilité des résultats obtenus à pF 2,5. A ce pF en effet, l'eau fixée sous forme de manchettes prend une grande importance relative. Aussi la quantité d'eau adsorbée dans ce cas sera t-elle fonction non seulement de la surface spécifique des argiles, mais également de l'architecture du corps poreux qu'est le sol, donc de sa structure, et plus précisément de sa microstructure. On comprend ainsi pourquoi le mode de préparation d'un échantillon influe beaucoup sur les résultats. Au laboratoire nous avons toujours opéré sur des échantillons tamisés à 2 mm. saturés préalablement durant 24 heures.

#### 4.1.2 - Résultats et discussion.

Ils correspondent à la différence des humidités pondérales obtenues à pF 2,5. Ils ont été reportés sur les graphiques (1) et (2); les corrélations semblent meilleures sur le graphique  $E_u = f(a + l)$ . Nous passerons en revue les résultats par catégorie de sols.

+ catégorie a : la corrélation est ici très lâche; la structure et par suite le taux de matière organique liée doit jouer un rôle plus important que la texture : le profil présentant les Is les plus bas offre les plus grandes capacités utiles. Dans tous les cas, l'eau utile pondérale est supérieure à 20%.

+ catégorie e : *Les points représentatifs se groupent vers les faibles ordonnées (nature kaolinique du matériau)*  
+ autres catégories : a de rares exceptions près (deux profils renfermant probablement une forte quantité de montmorillonite), les points représentatifs peuvent se répartir en deux groupes distincts :

- le premier correspond à tous les échantillons renfermant plus de 10% de calcaire actif et 30% de calcaire total. Pour ceux-ci  $E_u$  est toujours supérieure à 13%. La droite de régression est sensiblement horizontale.      ..//...

### Eau utile "pondérale"

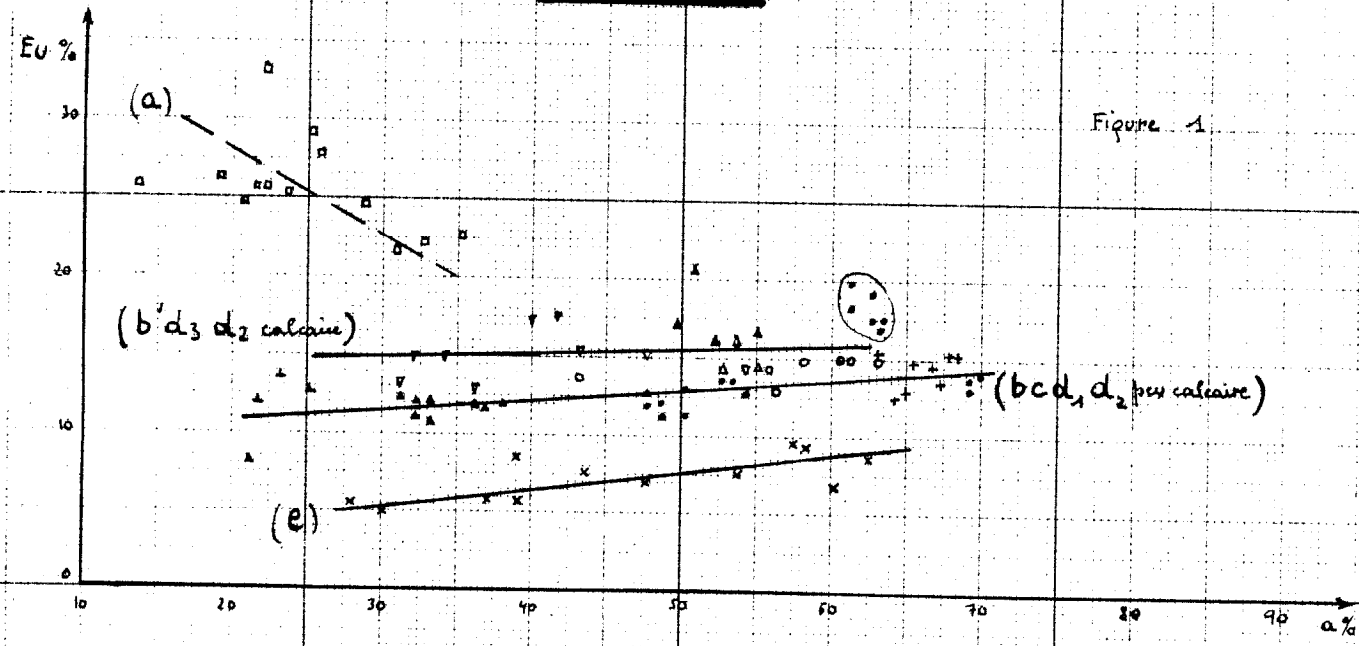


Figure 1

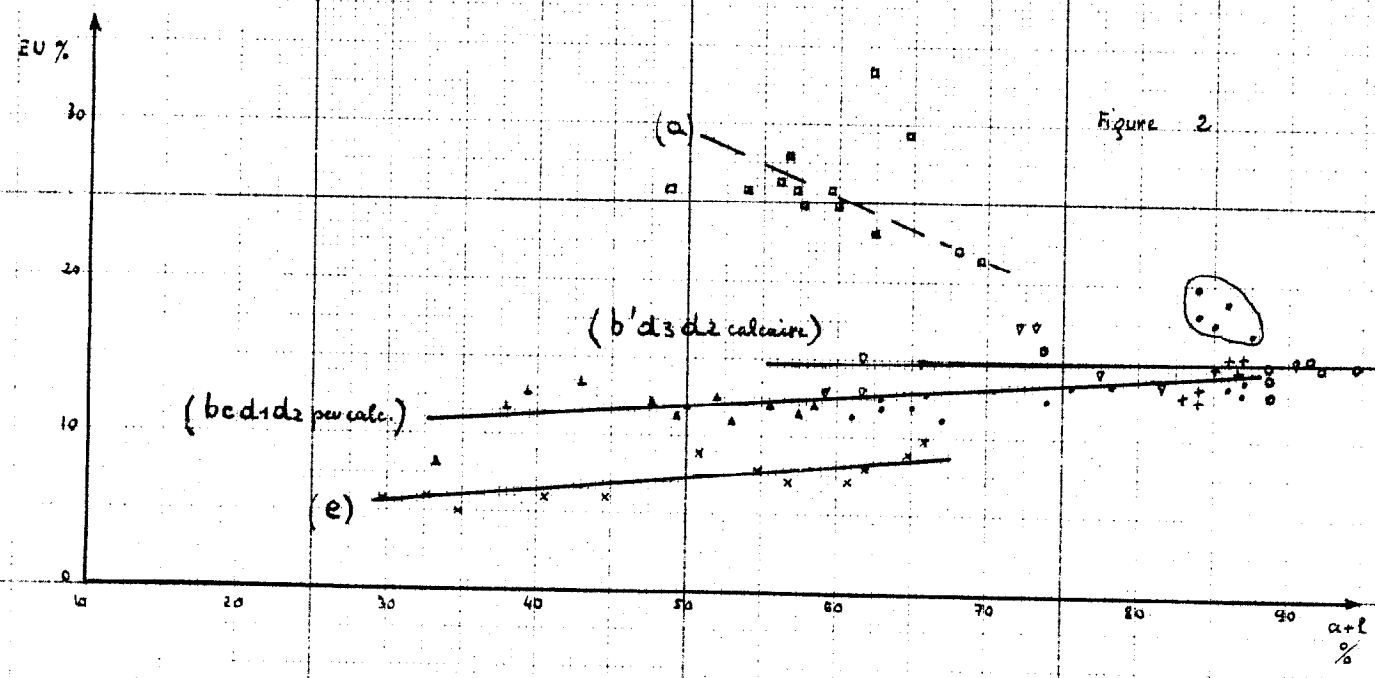


Figure 2

Le second rassemble les échantillons non ou peu calcaires. Eu n'excède la valeur de 13% que pour de fortes teneurs en argile (> 60%); de ce fait la droite de régression sensiblement parallèle à la précédente est légèrement décalée vers le bas.

Est-ce à dire que les échantillons calcaires ont des réserves utiles plus grandes que leurs homologues texturaux non calcaires ? nous ne le pensons pas car ce décalage dans le sens des ordonnées croissantes est tout simplement lié au décalage dans l'autre sens des humidités au point de flétrissement. Aussi, en nous appuyant sur un raisonnement développé au chapitre précédent, nous estimons que pour l'ensemble des catégories b b' c d<sub>1</sub> d<sub>2</sub> d<sub>3</sub> l'eau utile pondérale est approximativement constante et voisine de 12%.

En résumé, compte-tenu des remarques préliminaires et des quelques données dont nous disposons, le domaine d'Eau utile des différentes catégories de sol devrait être assez voisine des valeurs ci-dessous :

Catégorie	da moyen		Eu pondérale			Eau volumique		Observations
	S	P	Max.:	Moy.:	Min.:	moyen		
						S	P	
a	0,9	1,1	30	25	20	22	27	
b	1,3	1,5		13		17	20	Estimation de da
b'	1,3	1,5		12		16	18	- idem -
c	1,3	1,5		12		16	18	
d <sub>1</sub>	1,4	1,7		12		17	20	- idem -
d <sub>2</sub>	1,4	1,7	15	-	10	21	25	Mouture ←
						↓	↓	Arg.dominantes
						14	17	Kao ←
d <sub>3</sub>	1,4	1,7		14		19	24	Estimation de da
e	1,3	1,7	10	9	7	12	15	

Remarque : Lorsque l'on calcule la réserve en eau théoriquement utilisable par une plante dont le système racinaire explore une tranche de sol h, on considère que les racines sont capables d'exploiter l'eau d'une tranche légèrement supérieure h + 30 mm, encore appelée Profondeur efficace.

.../...



#### 4.2. - Eau facilement utilisable.

##### 4.2.1 - Cas des sols à nappe peu profonde durant la période active de croissance.

C'est le cas des sols de la catégorie a et de certains sols de la catégorie d<sub>3</sub>, qui présentent en commun les caractères suivants: forte richesse en matière organique (5%) moyennement évoluée - Teneur élevée en limon (> 40%).

Dans de tels matériaux, les phénomènes de remontée capillaire ne sont donc pas à priori négligeables; l'épaisseur de la tranche de sol humectée à partir de la nappe peut théoriquement atteindre 1 m.; toutefois le taux d'humidité assez élevé sur les 20 ou 30 premiers cms. (voisin du point de rétention) diminue progressivement jusqu'au front d'humectation au-delà duquel les mouvements ascendants sont très réduits (Hysteresis d'humectation).

On pourrait donc en première analyse conclure que les plantes croissant sur ce type de sol devraient être parfaitement ravitaillées en eau, à partir du moment où elles développent la presque totalité de leurs racines dans ce qu'HENIN appelle la "zone capillaire active" (tranche de sol d'environ 60 cm. au-dessus du plan d'eau pour un sol de limon).

En réalité, si l'on envisage le processus de remontée capillaire sous un angle dynamique, on s'aperçoit que les mouvements ascendants sont d'autant moins rapides que le matériau est plus fin. C'est ainsi que d'après HENIN, il faut 3 mois pour humecter une tranche de 90 cm. dans un sol de limon renfermant 5% de matière organique. Cette vitesse ascensionnelle, qui est en moyenne de 1 mm./jour décroît rapidement à mesure que l'on s'éloigne du plan d'eau;

dans ce cas particulier, la lenteur de progression est due à la faible mouillabilité du matériau. Certes la pression de succion des racines peut accroître la vitesse de transit de l'eau, surtout si la densité racinaire est élevée, mais les débits ainsi activés ne parviendront pas toujours à compenser les pertes par ..//..

transpiration, surtout si l'Etp est très forte.

Or dans la Bekaa, les Etp journalières sont presque toujours supérieurs à 7 mm. à partir de Juin. Dans les sols considérés ici, 7 mm. d'eau peuvent être fournis par une tranche de sol voisine de 3 cm. mais à condition que la vitesse de transfert de l'eau dans le sol puisse assurer le remplacement de l'eau perdue. Ord, des débits de 3 cm./jour ne sont réalisables probablement que dans les premiers cms. qui surmontent la nappe.

Ceci expliquerait donc pourquoi les agriculteurs de la Bekaa sont placés dans l'obligation d'irriguer ces sols à nappe souvent peu profonde (1 m. en été); la participation de l'eau qui remonte par capillarité s'avère toujours insuffisante. L'eau facilement utilisable sera donc fournie presque essentiellement par gravité, comme dans le cas suivant.

#### 4.2.2. - Cas des sols normalement drainés.

On peut avec HALLAIRE définir l'eau facilement utilisable (RFU) comme étant "l'eau que le végétal utilise sans avoir à réduire sa transpiration". Elle correspond à une fraction de la réserve utilisable (RU) ou domaine d'eau utile, fraction variable suivant la nature du matériau considéré. Les spécialistes en irrigation attribuent à ce rapport RFU/RU parfois appelé coefficient d'utilisation de la réserve utile, des valeurs qui oscillent entre 0,3 pour les sols argileux riches en argiles gonflantes à 0,7 pour les terres franches. En fait, comme l'a montré HALLAIRE, ce coefficient varie non seulement avec le type de matériau, mais encore avec la vitesse de dessèchement du sol, qui est une fonction directe du pouvoir évaporant de l'air, donc du climat.

Ainsi dans la Bekaa, où le pouvoir évaporant est très élevé en été, la régulation stomatique interviendra rapidement pour des taux d'humidité encore proche du point de rétention. Le rapport

../...

RFU/RU sera toujours faible quel que soit le matériau. Sur un plan pratique cela signifie donc qu'il sera nécessaire d'adopter pour les irrigations estivales une périodicité relativement courte, si l'on ne veut pas trop perturber la croissance des végétaux.

L'expérimentation menée l'an dernier sur des sols de la catégorie c a effectivement montré que pour des doses globales identiques correspondant à l'Etp calculé, les meilleurs rendements en matière sèche de maïs fourrage ont été obtenus sur les parcelles où la fréquence des irrigations était la plus grande.

## 5 - Perméabilité et stabilité structurale.

### 5.1 - Remarques préliminaires.

Après un bref exposé des premiers résultats obtenus, nous essaierons de dégager parmi les divers tests auxquels on soumet les échantillons ceux qui semblent être les mieux adaptés aux sols irrigués de la Bekaa. Il est bien évident que ces conclusions devront être considérées comme provisoires, attendu que nous ne disposons pas encore d'un nombre important de résultats ni surtout de méthodes d'investigation suffisantes (détermination de la matière organique liée - examens micropédologiques)

### 5.2. - Méthode utilisée.

La méthode a été mise au point par HENIN et MONNIER. Elle est développée dans divers ouvrages de Pédologie. Elle aboutit à la détermination de deux indices :

**I<sub>s</sub>** : indice d'instabilité structurale, d'autant plus élevé que la structure est instable

**K** : indice de perméabilité, exprimé en cm/heure, qui n'est autre que le coefficient K figurant dans la formule de Darcy  $Q = K HS/L$ , où Q est le débit, H la charge en eau, L la hauteur de terre et S la section du tube.

../...

### 5.3. - Résultats.

Il est tout d'abord utile de préciser que la variabilité des résultats obtenus est beaucoup plus grande pour l'indice K que pour l'indice Is. Cela tient pour une grande part à la nature des matériaux qui ne renferment que très peu d'éléments grossiers.

Les résultats ont été reportés sur un graphique comportant en abscisse  $\log 10 I_s$ , en ordonnée  $\log 10 K$ .

#### 5.3.1 - Localisation globale des points représentatifs.

Comme l'indique la figure ci-jointe, ils chevauchent la droite moyenne théorique, sensiblement en son milieu. Les valeurs limites des intervalles de variation sont égales à 0,6 et 8,0 cm/h. pour K, à 0,6 et 7,0 pour Is. Les sols de la Bekaa Centre et Sud ont donc dans l'ensemble une structure moyenne.

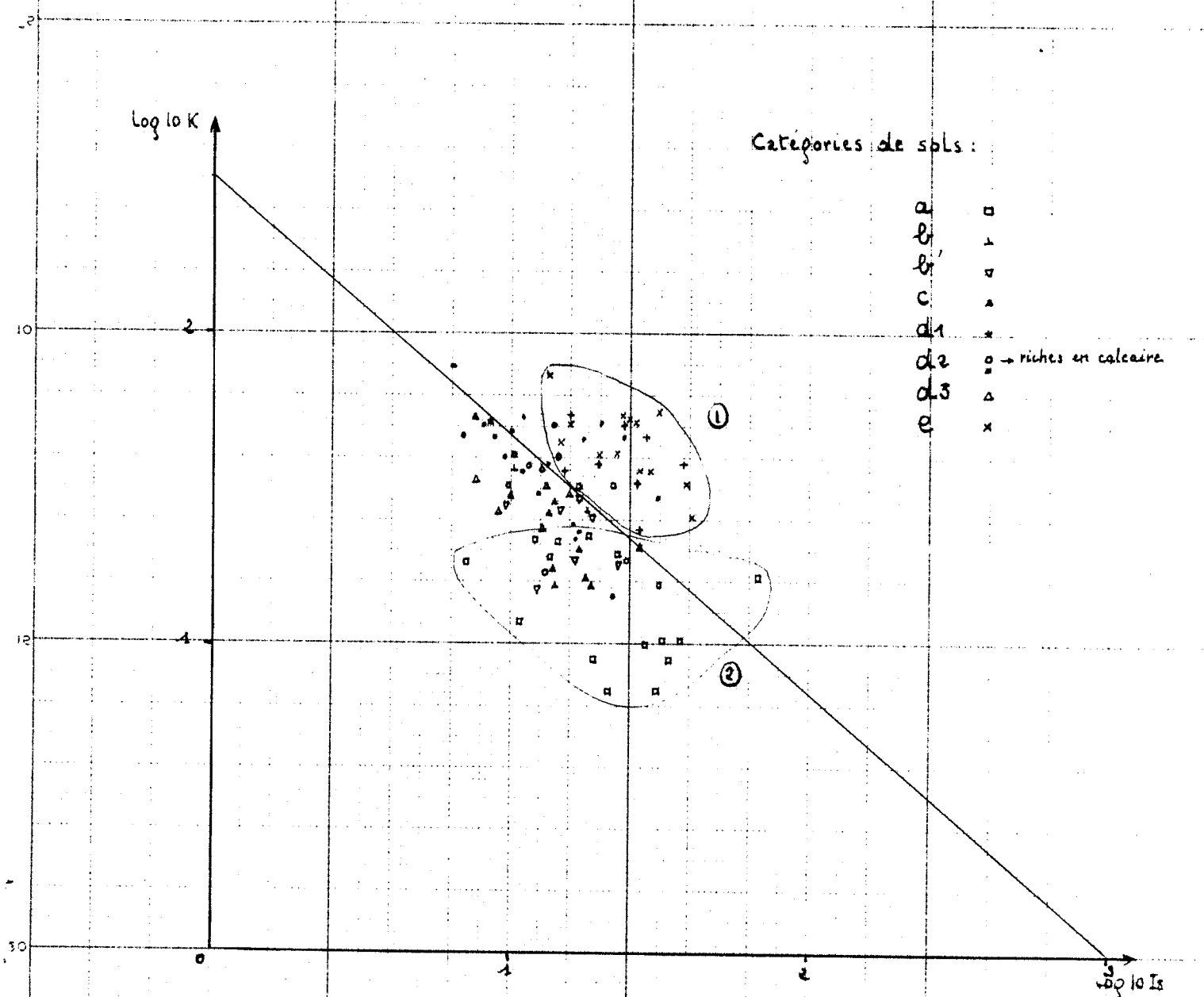
#### 5.3.2. - Position relative des diverses catégories de sols.

Les sols de la catégorie a se caractérisent surtout par un drainage interne médiocre; K est en général inférieur à 2 cm/h. Certains échantillons présentent en outre des  $I_s > 3$ . L'état structural de ces sols serait donc plutôt médiocre.

A l'opposé, les sols rouges des catégories e et d<sub>3</sub> se révèlent comme très perméables. K est toujours supérieur à 3 cm/h. Les indices Is variables, mais relativement élevés relèguent les points représentatifs au-dessus de la droite moyenne théorique.

Les points représentatifs des autres catégories se répartissent principalement sous la droite moyenne, les échantillons très calcaires se regroupant vers les faibles ordonnées : la présence de fortes quantités de calcaire fin semblerait donc avoir une influence néfaste sur le drainage interne.

Perméabilité - Stabilité Structurale



Catégories de sols :

- a    □
- b    ▴
- b'   ▾
- c    ★
- d1   ×
- d2   ○ → riches en calcaire
- d3   ▴
- e    ×

- ① Limite du secteur des sols "rouges" (catégories d2 et e)
- ② " " " " " " "gris limoneux" (catégorie a)

### 5.3.3. - Incidence des façons culturales et de l'irrigation.

Ce chapitre sera traité de façon plus détaillé ultérieurement. Dans l'immédiat on peut déjà formuler les remarques suivantes :

- Les horizons supérieurs des sols non cultivés, probablement plus riches en matière organique liée que les horizons sous-jacents, présentent un indice  $I_s$  plus bas que celui de ces derniers horizons.

Dans la majorité des sols cultivés, nous assistons au phénomène inverse. La dégradation des horizons supérieurs est quasi-générale; elle semble plus élevée quand le sol est irrigué, particulièrement sous plantations arbustives. Les sols de la catégorie a, a priori assez fragiles, font exception à cette règle; dans ces sols compacts il est probable en effet qu'en aérant le milieu, les façons culturales favorisent les activités biologiques et par là même la formation de fractions agrégées.

## 5.4 - Valeur des différents tests.

### 5.4.1 - Influence des prétraitements.

On sait que l'indice  $I_s$  est inversement proportionnel à la moyenne des taux d'agrégats, stables à l'eau, soumis en outre à deux prétraitements : Alcool et Benzène.

L'alcool qui augmente la cohésion, plus qu'il n'accroît la mouillabilité est facilement miscible à l'eau. Le benzène au contraire est hydrophobe. L'eau pénétrera dans un échantillon préalablement imbibé d'alcool avec facilité tout en laissant à l'air la possibilité de s'échapper des capillaires; la destruction des agrégats sera donc relativement faible. Dans le cas du Benzène, au contraire, les menisques d'eau exerceront une forte pression sur l'atmosphère incluse et les agrégats éclateront, d'autant plus facilement que l'échantillon sera plus pauvre en ciments organiques.



### 5.4.3. - Interprétation et conclusions.

Les sols sont d'autant plus cohérents qu'ils sont plus argileux.

Les variations de la mouillabilité semblent être tout autant affectées par la présence de matière organique<sup>(a)</sup>, que par la présence de fortes quantités de sables grossiers (c).

Le prétraitement benzène semble trop "violent" pour les sols rouges. Non seulement le taux d'agrégats vrais ( $> 200 \mu$ ) est négligeable (1%), mais encore la dispersion des éléments fins est quasi totale. Pour l'ensemble des trois types de sols, les écarts relatifs enregistrés dans les taux de dispersion benzène semblent trop faibles pour être pris en considération dans une étude comparative.

Les taux de dispersion à l'eau par contre sont mieux différenciés et rendent beaucoup mieux compte du comportement des sols en place. Ils permettent<sup>en</sup> outre d'expliquer pourquoi à Is équivalent un sol rouge draine beaucoup mieux qu'un sol gris.

Le sol rouge en effet comme beaucoup d'autres sols de la Bekaa se délite rapidement quand il est humecté, mais contrairement à ce qui peut se passer dans les sols gris par exemple ou dans certains sols bruns la destruction des agrégats n'est pas totale, en ce sens qu'elle n'aboutit pas à la dispersion des éléments fins. La quantité d'éléments dispersés étant négligeable dans les sols rouges, ils conserveront toujours une perméabilité correcte - bien que l'indice Is soit parfois très élevé - Il n'est pas impossible évidemment qu'il y ait une valeur limite de Is à partir de laquelle la dispersion devient sensible. C'est là évidemment un point important à étudier, avant de dispenser des conseils pratiques concernant par exemple les limites supérieures des débits d'arrosage.



Il est utile également de signaler qu'il existe une relation inverse mais logique entre le taux de dispersion à l'eau et le rapport Cohésion/Mouillabilité que l'on peut considérer comme étant un coefficient de résistance à la dégradation structurale. Cette corrélation négative n'existe pas avec le taux de dispersion benzène.

Pour ces diverses raisons, il est donc indispensable dans une étude structurale des sols de la Bekaa, de tenir un grand compte des taux d'agrégats obtenus sans prétraitement.

- Conclusion.

L'insuffisance du nombre d'échantillons analysés ainsi que le manque de rigueur de certains arguments ne doit pas masquer les résultats d'ensemble de ce travail, qui sont sur un plan pratique relativement encourageants.

Nous avons vu, en effet, qu'en dehors des sols gris de la catégorie a, <sup>et des sols rouges de la catégorie e</sup> les propriétés hydriques des autres sols sont assez voisines : le domaine d'eau utile dans la gamme des textures représentées dans la Bekaa est sensiblement constant et l'eau facilement utilisable semble dépendre beaucoup plus des conditions microclimatiques que des propriétés édaphiques. Certes des précautions restent à prendre dans la conduite des irrigations presque toujours trop abondantes.

Celles-ci, en effet, risquent, non seulement de créer des conditions de milieu défavorables à la croissance, mais encore d'entraîner des gaspillages d'énergie considérable. / L'état structural est par ailleurs assez correct. La dégradation des horizons supérieurs sous l'effet des cultures irriguées intensives est surtout fonction du passé cultural; on ne pourra y remédier qu'en introduisant dans l'assolement des engrais verts, comme la luzerne, dont

.. / ...

l'effet régénérateur a déjà pu être démontré.

Sur le plan scientifique il reste encore beaucoup d'études à entreprendre concernant en particulier les formes sous lesquelles se présente la matière organique de ces sols, le rôle du calcaire dans les phénomènes de rétention, l'évolution des profils hydriques sous conditions naturelles et artificielles et enfin l'étude en lames minces de la microstructure des terres.

---