

INSTITUT de RECHERCHES
AGRONOMIQUES du LIBAN
(IRAL)

OFFICE de RECHERCHE SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE OUESTRE-MER (ORSTOM)

Contribution à l'étude du domaine d'eau utile
des principaux types de sols irrigables de la Bekaa

TELL AMARA
Décembre 72

P. WILLAÏME
K. KHAZAKHA

Contribution à l'étude du domaine d'eau utile
des principaux types de sols irrigables de la Bekaa.

SOMMAIRE

Introduction

I - Matériaux originels et sols

- I.1. Localisation des profils étudiés
- I.2. Aperçu sur les relations morphogénèse/pédogénèse
- I.3. La différenciation des profils

II - Caractéristiques des paramètres édaphiques pouvant influencer la rétention de l'eau

- II.1. La texture
 - . Les grandes unités texturales
 - . Les pseudoparticules
- II.2. Les carbonates
 - . Carbonates totaux et calcaire actif
 - . Répartition du CO₃ dans diverses fractions granulométriques
- II.3. Autres paramètres
 - . Le contenu minéralogique
 - . La matière organique
 - . La structure

III - Influence exercée par ces divers paramètres sur l'eau utile pondérale

- III.1. Remarques préliminaires
 - . Allure des courbes pF/H
 - . Expression graphique de EUp
- III.2. Influence de la texture
 - . Analyse globale des relations EUp/texture
 - . Etude expérimentale
 - . Discussion
- III.3. Influence des carbonates
 - . Exposé des résultats
 - . Interférence texture/carbonates
- III.4. Influence des autres paramètres
 - . Le contenu minéralogique
 - . La stabilité structurale
 - . La matière organique

IV - Le domaine d'eau utile - Ses limitations

- IV.1. Estimation de l'eau utile volumique
- IV.2. Les limitations du domaine d'eau utile
 - . Limitations visibles
 - . Limitations occultes
- IV.3. Disponibilité de l'eau dans des échantillons plus ou moins remaniés

Conclusion

Bibliographie

Annexes

- . Méthodes analytiques
- . Résultats d'analyses
- . Cartes de localisation

INTRODUCTION

Une grande partie des zones irrigables de la Bekaa sud devant faire prochainement l'objet d'une étude intégrée de mise en valeur hydro-agricole, il nous a semblé utile de réunir dans un même document les résultats d'analyses physiques relatifs à des sols représentatifs des secteurs déjà cartographiés de la Bekaa ainsi qu'un commentaire interprétatif succinct visant principalement, tout d'abord, à présenter les valeurs moyennes de l'eau utile pondérale par grande catégorie de sols, ensuite, à tester l'influence différentielle sur la rétention de divers paramètres édaïques, enfin à mettre l'accent sur les limites de confiance qu'il convient d'accorder aux données de laboratoire dans le domaine des relations sol/eau.

Sur les cartes de localisation des divers profils analysés, annexées à ce document, nous avons fait figurer certaines données cartographiques complémentaires. Sur la carte au 1/200.000 qui couvre l'ensemble de la Bekaa ont été délimitées les zones d'extension des trois catégories de sols qui présentent des domaines d'eau utile théorique différents ; sur la carte au 1/100.000 de la moitié sud de la Bekaa nous avons surtout cherché à faire ressortir la nette prédominance des sols argileux dans les seuls secteurs qui ont été inventoriés de façon assez détaillée.

La quasi totalité des résultats d'analyse mentionnés dans ce document proviennent du laboratoire de l'IRAL de Tell Amara.

I. Matériaux originels et sols.

1.1 - Localisation des profils étudiés.

Les divers profils échantillonnés ont été localisés sur les cartes jointes en annexe. Ces cartes laissent apparaître une densité très inégale des points de prélèvements : forte dans les secteurs récemment cartographiés à grande échelle (secteur Gabb Elias), elle reste très faible dans les régions qui jusqu'à alors n'ont fait l'objet que de reconnaissances très succinctes (extrême sud - rive droite du Litani au nord de Chtaura - bassin de l'Oronte).

On peut néanmoins considérer que l'ensemble de ces profils constitue un échantillonnage assez représentatif de la plus grande partie des sols de la Bekaa pouvant convenir à une irrigation intensive.

1.2 - Aperçu sur les relations morphogénèse/pédogénèse.

De façon très schématique, on peut distinguer dans la "plaine" de la Bekaa trois grandes unités morphologiques dont les caractéristiques orientent plus ou moins étroitement les processus pédogénétiques actuels.

a) Les piedmonts et hauts glacis.

Généralement tapissés de matériaux colluviaux n'ayant subi au cours de leur transport que peu de transformations, ils bénéficient d'un drainage externe correct favorisant une assez bonne aération du milieu sol et conséquemment le maintien de certains héritages (contenu minéralogique - rubéfaction) jusqu'à alors passablement protégés par le manque d'agressivité des facteurs climatiques de la pédogénèse, (température frai-

che en période pluvieuse - pluviométrie globale faible et mal répartie)

b) Les bas glacis et terrasses moyennes.

Ils résultent de l'accumulation de matériaux allochtones plus ou moins remaniés, dont l'origine est à la fois plus lointaine et plus complexe que dans le cas précédent. Leur position topographique particulière limite l'exportation des éléments les plus labiles préexistants ou importés de l'amont. Le milieu sol restera donc "confiné", parfois même légèrement hydromorphe ; les phénomènes d'hydratation l'emportant sur les processus d'oxydation, le matériau présentera souvent une coloration brunâtre.

Par ailleurs cette unité morphologique pourra être le siège de fortes accumulations calcaires dont la genèse sera favorisée non seulement par l'environnement pétrographique de la Bekaa (massifs presque essentiellement calcaires), mais encore par certaines caractéristiques spécifiques des "climats méditerranéens d'altitude" (existence de périodes à la fois froides et pluvieuses, favorable à la solubilisation du Ca sous forme de bicarbonate ; violence des précipitations et faible perméabilité des sols facilitant les migrations latérales ; fortes évapotranspirations au sortir de la saison des pluies responsables d'une précipitation rapide des éléments dissous).

c) Les basses terrasses et alluvions récentes.

Constituées de matériaux jeunes, elles subissent annuellement un engorgement de plus ou moins longue durée, responsable de l'apparition d'un "fond de teint" grisâtre parfois constellé de verrues ocre rouille plus ou moins indurées (concrétions ferromanganifères). Le blocage dans ces milieux peu drainants d'éléments solubilisés dans des solutions neutres ou alcalines favorisera la néoformation de minéraux argileux relativement riches en silice. Le calcaire "secondaire" n'apparaîtra nettement individualisé que dans les zones de résurgence ou au niveau de battement des nappes superficielles.

1.3 - La différenciation des profils.

Sur tous ces matériaux, l'empreinte qu'ont laissée les divers facteurs de pédogenèse actuels est généralement assez peu perceptible. Seules l'action de l'eau dans les zones basses et les interventions humaines répétées dans les secteurs de culture intensive sont toujours manifestes ; ces dernières en particulier sont pratiquement seules responsables des différenciations structurales qui affectent tous les sols cultivés.

Par contre il est fréquent d'observer en bordure de certains axes de drainage ou dans les zones subarides du nord Bekaa, des sols complexes qui laissent transparaître des horizons souvent tronqués par suite d'une alternance de phases rhéostasiques et biostasiques liées à des modifications climatiques ou à des soubresauts tectoniques localisés, dont la genèse résulte de processus pédo génétiques passés.

En bref, si l'on passe en revue les manifestations morphologiques des divers modes de différenciation qui intéressent les sols monogéniques de la Bekaa on aboutit aux constatations suivantes ;

Le lessivage en argile existe probablement sous des pluviométries supérieures à 600mm/an, dans des matériaux suffisamment poreux. Des cutans d'illuviation ont été observés sous des pluviométries comprises entre 600 et 800mm dans les sols du Kouira (Al OSMAN). Mais si ce phénomène est perceptible à l'échelle microscopique il ne l'est pratiquement jamais à l'échelle macroscopique d'autant moins que les horizons superficiels des profils sont souvent très perturbés artificiellement.

Le profil calcaire laisse apparaître assez fréquemment un léger appauvrissement des horizons de surface. L'apparition de formes d'accumulation importantes est le plus souvent liée soit à la présence de nappes,

soit à la superposition de dépôts d'âge différents, hormis peut-être dans les Sierozems à encroûtement du nord Bekaa.

Le profil organique de son côté est caractéristique des sols "isohumiques" ; l'amenuisement des teneurs en C avec la profondeur est très progressif; en outre l'influence du microclimat sur l'activité biologique se traduit, toutes conditions sensiblement équivalentes par ailleurs, par une diminution des teneurs à mesure que lon progresse vers les zones subarides.

L'engorgement périodique doit être tenu pour responsable de certaines caractéristiques minéralogiques des sols de basse plaine, en plus bien sûr des symptômes visuels classiques de l'hydromorphie.

Enfin l'homme a modelé dans bon nombre de sols un profil cultural laissant apparaître la succession de 3 types d'horizons :

- Un horizon Ap1 de puissance au plus égale à 20cm, travaillé au moins une fois par an, ne comportant que des unités structurales à faces terreuses. Une structure mottueuse à tendance prismatique y est fréquemment associée à une structure finement grumeleuse.

- Un horizon Ap2 se développant jusqu'à des profondeurs voisines de 40cm, perturbé lors des labours profonds dont la périodicité est variable (3 ans généralement) ; on y rencontre conjointement des unités structurables à faces terreuses et à faces brillantes.

- Enfin un horizon (B) ou C à structure non dégradée, prismaticocubique et/ou en plaquettes dès que le taux d'argile excède 50%.

II. Caractéristiques des paramètres édaphiques pouvant influencer la rétention de l'eau.

II.1 - La texture

II.1.1. Les grandes unités texturales.

Nous avons reporté sur le triangle des textures ci-joint (graph. 1) les points représentatifs de l'ensemble des échantillons soumis à l'analyse. Compte tenu des nombreux travaux de reconnaissance effectués dans l'ensemble de la Bekaa (1) ... (8), il semble que cette répartition graphique donne un reflet assez exact de l'importance relative des divers domaines texturaux existants. Il est à noter en particulier qu'il n'existe pas de sols sableux: Les teneurs maximales en sables totaux que nous avons relevées n'excèdent jamais 70% ; les taux d'argile oscillent entre 15 et 80% avec une assez nette prédominance des teneurs dans la gamme 45-65% et les taux de limons totaux entre 5 et 75%.

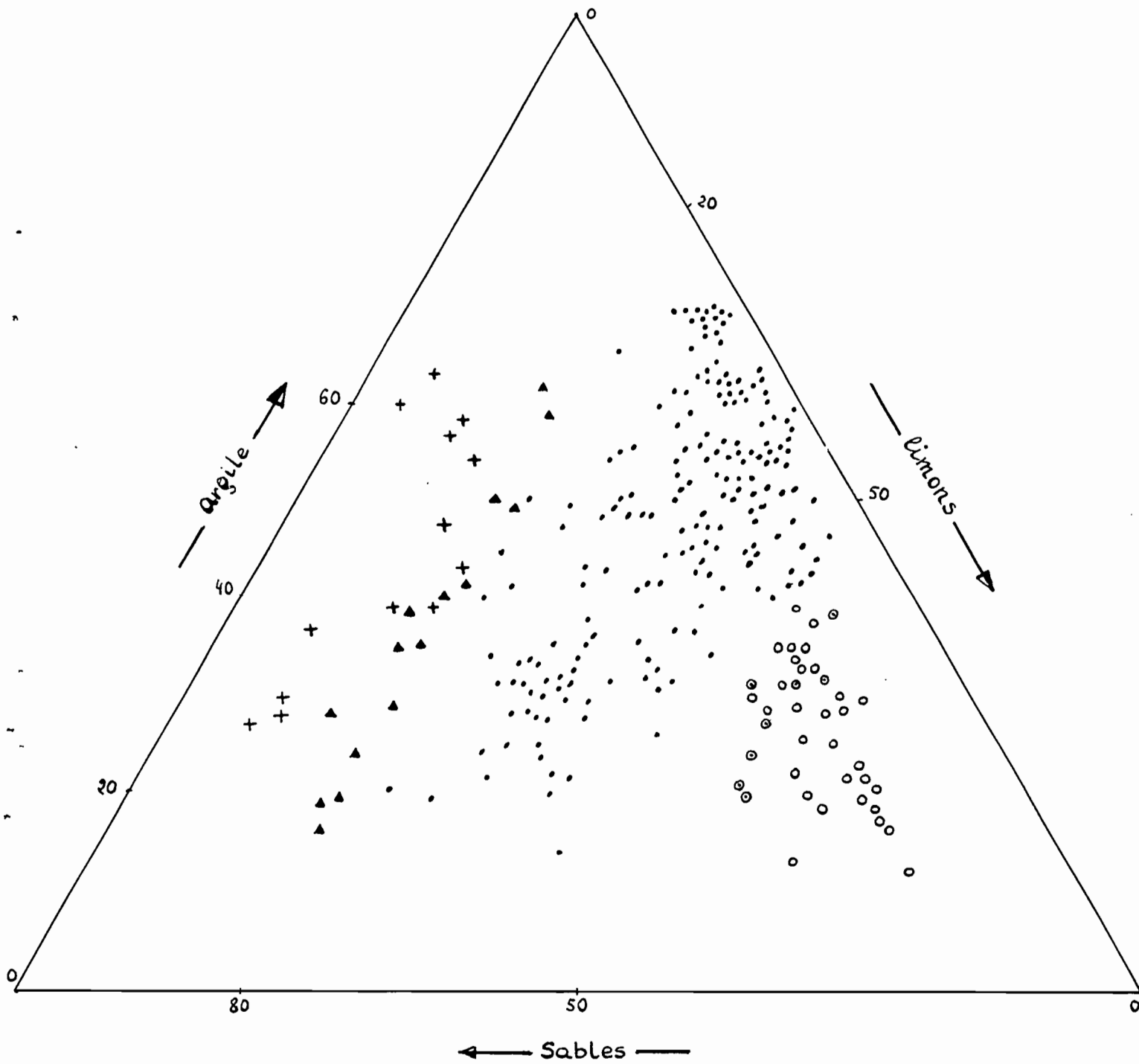
Un examen plus attentif du graphique à coordonnées trilineaires nous montre que les teneurs inférieures à 20% de limons totaux caractérisent uniquement des matériaux issus de bassins versants emboîtés dans un substratum comportant une proportion non négligeable de roches gréseuses ou de passées argilo-sableuses rattachées aux niveaux crétacé C1-C2. A l'opposé, des teneurs en limons totaux supérieures à 50% ne sont l'apanage que des dépôts les plus récents qui couvrent d'importantes superficies le long du Nahr Chazaïel.

Comme antérieurement (18) nous avons déjà relevé certaines particularités hydriques dans des échantillons dont les teneurs en limons étaient ou relativement élevées ou relativement faibles, nous avons repéré par des signes différents les points représentatifs des échantillons appartenant aux trois domaines texturaux suivants :

(a) moins de 20% de limons, (b) plus de 50%, (c) entre 20 et 50%

En outre, afin de conférer à cette ségrégation conventionnelle un ancrage à la fois géographique et pédologique ont été distingués parmi les échantillons relevant respectivement des domaines texturaux (a) et (b),

- Repartition texturale des echantillons -



- | | | |
|---|-----------------------|---|
| a/ Echantillons ayant moins de 20% de limons totaux | - Glacis de Rayak | + |
| | - Autres sols | ▲ |
| b/ " " plus de 50% " " " | - Alluvions Sud Rayak | ○ |
| | - Autres sols | ⊙ |
| c/ " " entre 20 et 50% " " " | | • |

ceux du glacis de Rayak et ceux du confluent Litani - Ghazaïel. Les premiers se singularisent principalement par une prédominance des sables grossiers sur les sables fins et par un contenu minéralogique où prédomine la kaolinite ; les seconds s'avèrent être très riches en calcaire et bien pourvus en matière organique.

II.1.2. Les pseudoparticules.

Les pourcentages de pseudosables ont été estimés en soumettant les trois fractions sableuses (Sg+Sf+lg), obtenues après dispersion classique, à l'action de H₂O₂ concentré et de HCl au 1/2, afin d'éliminer les liants organiques, calcaires ou ferriques. Les éléments fins (0-20 μ) mis en suspension ont été pipetés ; les hydroxydes solubilisés ont été reprécipités par NH₄OH puis pesés. C'est la somme "éléments fins en suspension + hydroxydes précipités" provenant de la fraction sableuse que nous avons assimilés aux pseudo-sables. Les résultats figurent dans le tableau 1.

Tableau 1

Estimation des pseudo-sables											
	: Sols de glacis				: Sols de bas glacis				: All.:		
	: Rouges non calc.				: Brun-rouge \pm calc.				: calc:		
N° Profil	: 44	: 52	: 54	: 55	: 45	: 49	: 57	: 61	: 64	: 42	:
Ps.s.% sables tot.	: 13	: 10	: 16	: 9	: 9	: 12	: 11	: 6	: 10	: 0	:
Sables tot.% terre	: 12	: 15	: 16	: 21	: 15	: 18	: 17	: 27	: 33	: 30	:
Ps.s.% terre tot.	: 1,6	: 1,5	: 2,6	: 1,8	: 1,4	: 2,1	: 1,8	: 1,7	: 3,4	: 0	:

Sols de terrasses moyennes										
	: Bruns \pm calcaires						: Bruns "dolomitiques":			
N° Profil	: 46	: 48	: 50	: 51	: 53	: 56	: 3	:	: 4	:
	:	:	:	:	:	:	: A	: C	: A	: C
Ps.s.%s.total	: 8	: 12	: 9	: 7	: 17	: 7	: 9	: 14	: 10	: 10
s.tot.%terre totale	: 29	: 19	: 33	: 20	: 23	: 18	: 47	: 26	: 48	: 25
Ps.s.% terre totale	: 2,3	: 2,2	: 3,0	: 1,4	: 4,0	: 1,3	: 4,4	: 3,6	: 4,7	: 2,5
	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:

Les pseudo limons de la fraction 2 à 20 μ ont été évalués en opérant de façon différente ; la fraction (a+1) obtenue selon les procédés classiques a été débarassée des particules < 2 μ par siphonages successifs. Par la suite les limons fins ont subi durant 1/4 d'heure l'effet dispersant des ondes ultrasoniques. Les résultats ne concernent que 3 types de sols (tableau 2)

La confrontation des deux tableaux de résultats nous permet de déceler que les sols qui renferment le plus de pseudo-particules seraient les sols carbonatés pourvus d'une proportion assez importante de formes d'accumulation indurées bien individualisées, en particulier les sols bruns subarides du nord Bekaa à profil calcaire différencié (profils 3,4, 7bis).

Hormis ces sols on peut considérer, malgré l'imperfection de nos méthodes d'évaluation, que les pseudo particules ne joueront pas de rôle différentiel sensible sur les relations qui pourraient être établies entre les données classiques de la granulométrie et les propriétés hydriques, d'autant moins que la majorité des sols renferme plus de 50% d'éléments inférieurs à 2 μ et que parmi ces derniers prédominent fréquemment les particules inférieures à 0,5 μ (12).

Tableau 2

Estimation des pseudo-limons

	: Sol de : Sol de terrasse moy. : Sol alluvial :
	: glaciais : (Sierozem) : (hydromorfe) :
	: non calc riche en dolomie : très calcaire :
N° Profil	: 39 bis : 7 bis : 42 bis :
Horizon	: C : A : BCa : C : Ap : C :
Profondeur	: 80-100 : 0-20 : 40-50 : 80-100 : 0-20 : 40-60 :
Ps. l. % l. fins	: 5 : 15,5 : 4,6 : 7,5 : 2,6 : 2,6 :
l. fin % terre totale	: 3 : 15 : 15 : 27 : 27 : 38 :
Ps l. % terre totale	: 0,15 : 2,4 : 0,7 : 2,0 : 0,7 : 1,0 :

II.2 - Les carbonates

Les carbonates peuvent être décelés dans une grande partie des sols de la Bekaa. Seuls les sols rouges de piedmont situés dans les districts les plus pluvieux (plus de 600mm/an) en sont totalement dépourvus. D'une façon plus générale on observe d'ailleurs en position topographique comparable et pour des environnements pétrographiques assez semblables, un enrichissement en calcaire à mesure que l'on progresse vers les secteurs septentrionaux subarides.

II.2.1. Carbonates totaux et calcaire actif.

Si dans les sols rouges (gamme Munsell 2,5YR) les teneurs en $\text{CO}_3=$ restent négligeables, dans les sols brun-rouge (5YR) où le drainage externe est encore correct, elles dépassent rarement 20%.

Les sols les plus riches en $\text{CO}_3=$ se concentrent sur les terrasses moyennes et dans les alluvions récentes des zones subarides ($250 < P < 400\text{mm}$) ainsi que dans les basses plaines des secteurs plus humides. Dans ces dernières régions, il n'est pas rare de rencontrer des sols limono-calcaire renfermant plus de 65% de $\text{CO}_3=$ répartis de façon assez uniforme.

Les rapports $\text{CO}_3=/\text{CO}_3\text{Ca}$ actif sont généralement compris entre 2 et 3 sauf dans certains sols évoluant dans des matériaux renfermant des calcaires dolomitiques (sols subarides du nord Bekaa) où ils peuvent osciller entre 5 et 8.

La texture influe également sur la valeur de ces rapports. Dans les sols lourds ($a > 50\%$) ces derniers sont voisins de 2 ; dans les sols plus légers ($a < 35\%$) ils seraient plus proches de 3.

II.2.2. Répartition du $\text{CO}_3=$ dans diverses fractions granulométriques.

Dans un premier temps nous avons déterminé les quantités de $\text{CO}_3=$ présentes dans le sol total et dans les 3 fractions les plus grossières (sg+sf+stf). Par différence nous avons calculé les teneurs en carbonates de la fraction fine (a+l). Parallèlement nous avons dosé, après élimination des hydroxydes du percolat chlorhydrique, les taux de Ca et de Mg ; c'est à la lumière de ces derniers résultats que nous avons été amenés à distinguer les sols dits "calcaires" et les sols dits "dolomitiques". Dans les premiers les rapports $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{CO}_3\text{Mg}$ de la fraction sableuse toujours supérieure à 10 peuvent atteindre dans les horizons BCa ainsi que dans les profils limono-calcaires des valeurs proches de 60. Dans les seconds ces mêmes rapports sont toujours inférieurs à 4.

Ultérieurement nous avons précisé la répartition du $\text{CO}_3=$ dans les fractions argile et limons fins de deux profils représentatifs l'un des sols "calcaires" (profil 42 bis) l'autre des sols "dolomitiques" (profil 7 bis).

Tableau 3

Répartition du $\text{CO}_3^{=}$ dans diverses fractions granulométriques

1 - Sols "calcaires"

1a - Sur bas glacis et terrasses moyennes

: Profils :	$\text{CO}_3^{=}$	$\text{CO}_3^{=}$ % fraction considérée					$\text{CO}_3(\text{a}+1)$	CO_3Ca
:Horizons :	total	sg	sf	lg	lf	a	% sol	actif
:	:	:	:	:	:	:	:	:
: 19 (B)	: 14,0	: 61	: 26	: 30	: 8	: 6,0	: 7,5	:
: 11 Ap	: 14,5	: 30	: 13	: 30	: 10	: 5,9	: 6,0	:
: 22 (B)	: 16,0	: 23	: 20	: 35	: 14	: 8,9	-	:
: 32 "	: 17,0	: 62	: 40	: 27	: 14	: 11,8	: 8,0	:
: 12 "	: 17,5	: 26	: 14	: 32	: 16	: 7,5	: 5,5	:
: 28 "	: 23,0	: 79	: 55	: 25	: 19	: 16,4	: 13,0	:
: 18 "	: 29,5	: 96	: 77	: 89	: 24	: 21,7	: 14,5	:
: 14 "	: 30,0	: 43	: 54	: 57	: 25	: 22,7	: 14,5	:
: 27 "	: 32,0	: 71	: 45	: 44	: 29	: 23,6	: 18,0	:
: 30 "	: 36,0	: 32	: 37	: 66	: 28	: 17,3	: 11,0	:
: 28 BCa	: 53,0	: 56	: 85	: 56	: 52	: 38,3	: 20,5	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:

1b - Sur basses terrasses et alluvions récentes

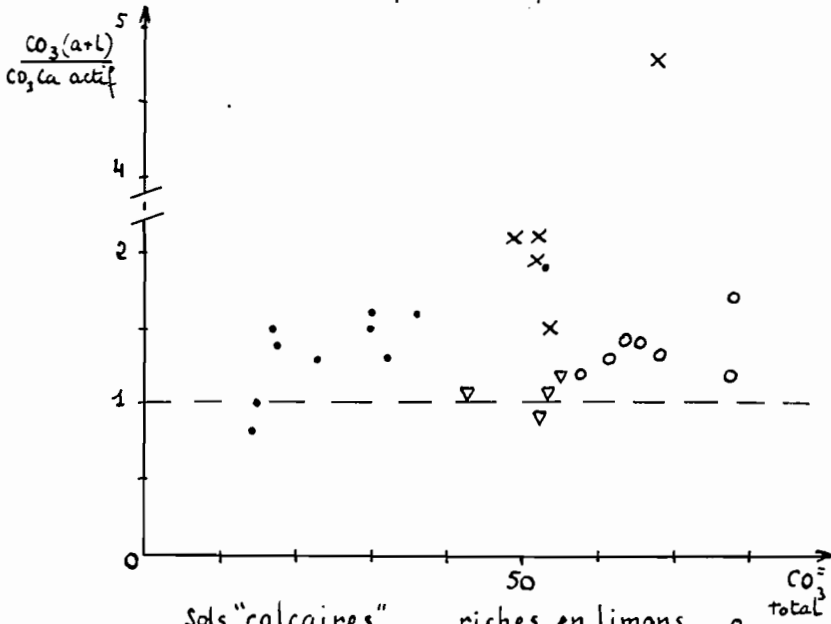
:	:	:	:	:	:	:	:	:
: 31 (B)	: 32,5	: 23	: 42	: 53	: 30	: 23,3	: 14,5	:
: 42 Ap	: 65,5	: 79	: 84	: 89	: 56	: 39,5	: 27,5	:
: C	: 61,5	: 80	: 85	: 85	: 51	: 36,4	: 27,0	:
: "	: 64,0	: 76	: 83	: 79	: 56	: 39,4	: 27,5	:
: 17 "	: 68,5	: 94	: 91	: 89	: 55	: 37,4	: 28,5	:
: 34 "	: 79,0	: 82	: 93	: 94	: 69	: 39,4	: 23,5	:
: 42 b Ap	: 57,5	: 99	: 92	: 91	: 79 : 20	: 29,6	: 25,0	:
: C	: 80,0	: 98	: 97	: 93	: 82 : 35	: 39,0	: 34,0	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:	:

2 - Sols "dolomitiques"

:	:	:	:	:	:	:	:	:
: 2 A	: 55,0	:	: 78	:	: 31	: 12,0	: 10,0	:
: C	: 68,0	:	: 91	:	: 64	: 38,0	: 8,0	:
: 3 A	: 52,0	: 81	: 81	: 66	: 34	: 18,0	: 20,0	:
: C	: 52,0	-	: 96	: 70	: 45	: 33,6	: 18,0	:
: 4 A	: 53,5	: 79	: 77	: 64	: 38	: 19,1	: 17,5	:
: C	: 53,5	-	: 83	: 70	: 46	: 35,7	: 23,0	:
: "	: 49,0	: 74	: 77	: 63	: 42	: 31,9	: 15,5	:
: 7 A	: 42,5	: 71	: 55	: 42	: 26 : 15	: 7,5	: 7,0	:
: C	: 52,0	: 65	: 70	: 70	: 66 : 29	: 28,0	: 13,5	:

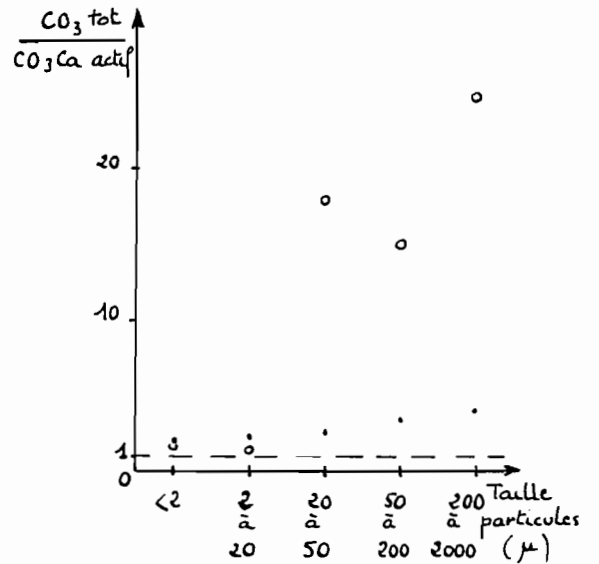
Graph. 2

2a. "Activite" des carbonates de la fraction fine

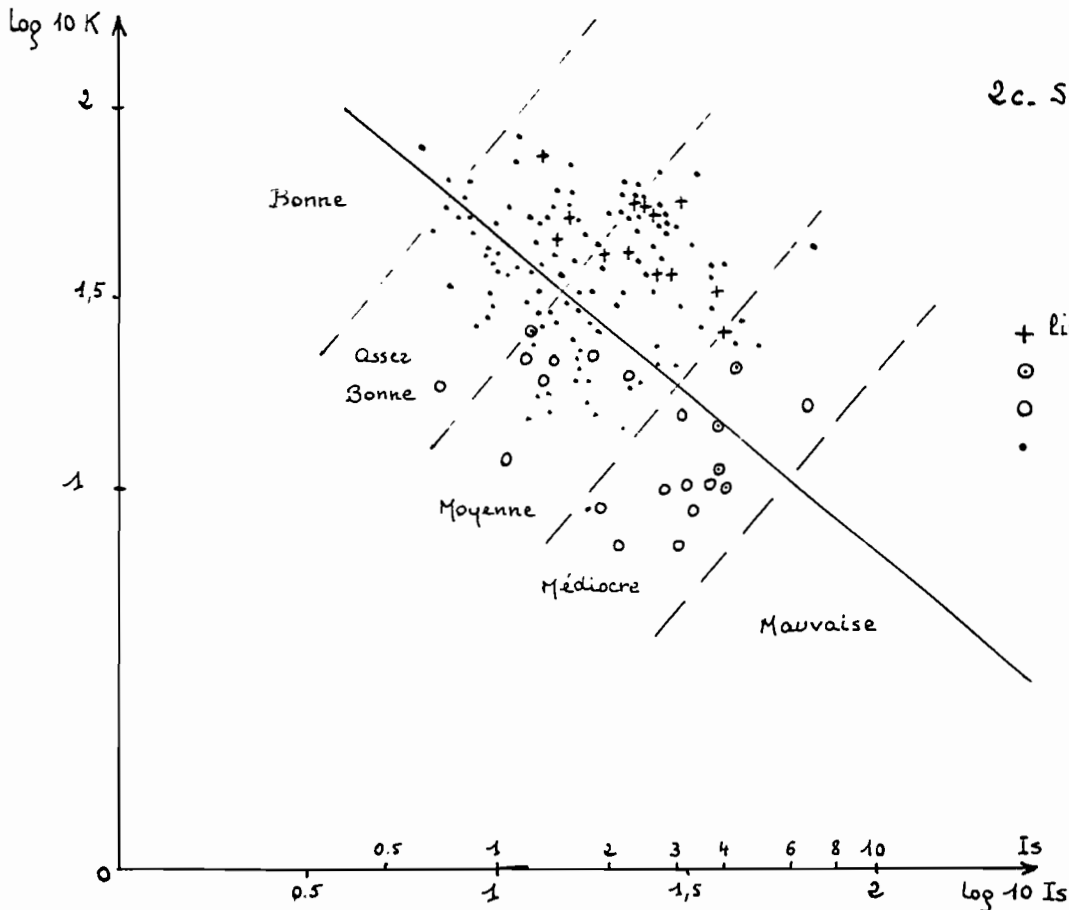


- sols "calcaires" - riches en limons
- autres sols
- ▽ sols "dolomitiques" - horizon de surface
- x horizons profonds

2b. Incidence de la taille des particules sur "l'activite" du CO3Ca



- Sol "calcaire"
- o Sol "dolomitique"



2c. Stabilité Structurale

- + limons totaux < 20%
- o " " > 50% (Sierozems)
- o " " > 50% (Hydromorphes)
- " " entre 20 et 50%

Des résultats consignés dans le tableau 3, il faut retenir les pourcentages élevés de $\text{CO}_3=$ dans les fractions limoneuses fines et grossières des sols "calcaires" renfermant plus de 50% de $\text{CO}_3=$ total ; nous verrons ultérieurement en effet que les limons calcaires jouent un grand rôle dans la rétention de l'eau utile. On peut également remarquer qu'il existe une corrélation assez étroite entre le $\text{CO}_3=$ total et le $\text{CO}_3=$ de la fraction (a+1) ; ceci est simplement lié au fait que les profils analysés, comme d'ailleurs la quasi totalité des sols de la Bekaa, sont très riches en éléments fins (a+1 > 70%). Il est à noter en outre que la fraction < 2 μ renferme une proportion importante de $\text{CO}_3=$ dès que la teneur en $\text{CO}_3=$ excède 50% ; cette proportion est au moins égale à 1/5. Enfin on peut constater qu'il n'y a pas toujours équivalence entre le CO_3Ca actif et le $\text{CO}_3=$ de la fraction fine même dans les sols "calcaires" ; $\text{CO}_3(\text{a}+1)$ est presque toujours supérieur (graph. 2a).

Cette notion de calcaire actif reste d'ailleurs assez conventionnelle. En analysant plusieurs échantillons très calcaires (voir en particulier le W 42b), on a pu montrer en effet que d'une part une proportion importante du calcaire présent dans les fractions grossières pouvait être déplacé par l'oxalate NH_4 et que d'autre part les rapports $\text{CO}_3=$ total/calcaire actif des fractions inférieures à 20 μ étaient souvent voisins de 2 (graph. 2b - tableau 4). Aussi il semble abusif de vouloir confondre calcaire actif et calcaire de la fraction fins, l'"activation" du calcaire devant être liée à d'autres phénomènes que le simple accroissement par fractionnement du rapport surface/volume.

Tableau 4

Carbonates totaux et calcaire actif dans diverses fractions granulométriques

Ech.	Terre tot.		argile		l. fin		l. grossier		s. fins		s. grossier	
	Ct	Ca	Ct	Ca	Ct	Ca	Ct	Ca	Ct	Ca	Ct	Ca
7b 1:	42.5	7.0	15.5	8.0	26.5	20.0	42	2.5	55	4.0	71	3.0
7b 3:	52.0	13.5	29.0	9.5	66.5	20.0	70		70		65	
42b 1:	57.5	26.5	20.5	12.5	79	35.5	91		92		93	
42b 2:	80	36.5	35.0	17.5	82	37.5	93	37.5	97	29.0	98	26.0

II.3 - Autres paramètres

II.3.1. Le contenu minéralogique.

Les matériaux meubles qui se concentrent dans la "plaine" de la Bekaa sont tous d'origine allochtone ; de ce fait ils renferment tout un cortège de minéraux argileux hérités plus ou moins transformés dont l'origine peut être très variée. A côté d'argiles détritiques très stables (dans les conditions pédoclimatiques actuelles de la Bekaa) telles que la kaolinite, on rencontrera assez fréquemment des minéraux détritiques communs dans les calcaires tels que l'illite ou la chlorite. La montmorillonite souvent présente dans les sols rouges de piedmont ou les sols bruns des terrasses moyennes ne verra son importance relative s'accroître que dans les sols de basse plaine plus ou moins hydromorphes ou à la base de certains glacis en des endroits où le drainage externe est déficient. Enfin l'attapulgitite dont la néoformation ne peut se réaliser que dans des sédiments basiques riches en silice en magnésie et en calcium a pu être décelée dans les sols subarides de l'extrême nord qui évoluent dans des conditions propices à son invulnérabilité (matériaux riches en dolomie, climat peu agressif : faible pluviométrie - forte évapotranspiration).

Tableau 5

Tableau synthétique sur les données minéralogiques des sols de la Bekaa (1)

: géom. : sols	: Drain. : externe	: N° : (2)	: I	: K	: M	: V	: C	: Interstratifiés		: T/a
								: CM	: IM	
: Piedmont		: 51	: 30/40	: 25				: 15	: 30/60	
: et	: Bon	: 1	: ++	: +++		: ++				: x : 50
: Glacis		: 9	: +++	: +++	: +	: +				: : 50
: Sols		: 53	: 40	: 20				: 20	: 30	
: gén.		: 30	: +	: ++			: +			: x : 50
: rouges		: 28	: ++	: ++		: +				: x : 45
: non calc.		: 52	: 10	: 20					: 70	
<hr/>										
: Bas		: 7	: ++	: ++	: ++					: x : 70
: Glacis		: 8	: ++	: ++	: +++		: ++			: x : 60
: Terrasses		: 2		: ++	: ++					: : 70
: Moyennes	: moyen	: 3	: ++	: ++	: ++	: +	: ++			: x : 70
		: 4	: +	: ++	: +++	: +	: ++			: : 80
	: à	: 54	: 10/20	: 25	: 60/70					
		: 10	: ++	: +++	: +++	: +	: +			: : 70
	: médiocre	: 59		: 30/40					: 60/70	
: Sols		: 58		: 20/40	: 40/70		: 10/20			
: Bruns		: 55	: tr.	: 20	: 80					
: + calc/		: 56		: 40/50					: 50/60	
		: 57		: 30/40	: 60/70					
		: 27	: +	: ++	: ++	: +	: ++			: x : 80
		: 29	: ++	: +++	: +		: +			: x : 50
: Sierozems										: (5)
: très carb.		: 60	: 20/30	: 20	: 20			: 20		: 20
		: 61	: 20/30	: 20				: 30		: 30
<hr/>										
: Alluvions	: mauvais	: 31	: +	: ++	: +	: +	: +			: : 80
: s. + hyd.		: 26	: +	: ++	: +++		: +			: : 90

(1) Données fournies par : AUB - Teneurs : + traces ++ faible +++ moyenne
ORSTOM/Strasbourg - Teneurs exprimées en %.

(2) Au sein d'une même unité pédomorphologique les numéros de profil sont classés en allant du Nord vers le Sud.

(3) nd = non différencié x = présent

(4) T/a = Capacité d'échange de la terre totale par rapport au pourcentage d'argile - exprimé en meq. pour 100g. d'argile granulométrique.

(5) Pourcentage d'Attapulgite.

Le tableau 5 dans lequel nous avons rassemblé de façon synthétique les divers résultats d'analyses minéralogiques effectuées par ailleurs (12) (17) illustre assez bien l'extrême variété des argiles représentées ; on notera en particulier l'omniprésence de la kaolinite et la prédominance des minéraux 2:1 dès que le drainage externe se ralentit.

Enfin il est utile de signaler l'existence d'une assez bonne corrélation entre les données minéralogiques et les valeurs du rapport T/a dans des échantillons suffisamment riches en argile (> 50%). Dans un précédent rapport (8) nous avons déjà pu définir des limites approximatives de ces valeurs pour diverses entités pédomorphologiques ; supérieures à 80 meq% dans les sols des basses plaines à mauvais drainage externe, elles restent généralement comprises entre 50 et 70 meq% dans tous les autres sols, exception faite de certains sols développés dans des matériaux issus des niveaux crétacé C1-C2 (glacis de Rayak - de Qab Elias - de Joub Jannine) où elles excèdent rarement 40 meq%.

II.3.2. La matière organique.

D'une façon générale, on constate que les teneurs en C total (déterminé selon la méthode WALKLEY et BLACK) des horizons Ap de sols irrigués sont systématiquement plus élevées dans la partie sud de la Bekaa que dans les zones septentrionales plus sèches. Au sud de Rayak, les taux de C sont toujours supérieurs à 15‰ dans les sols plus ou moins hydromorphes de basse plaine et ils oscillent généralement dans les autres sols entre 9 et 12‰. Au nord de Rayak, sous des pluviométries inférieures à 500mm/an, les teneurs n'excèdent 10‰ qu'exceptionnellement ; la moyenne des déterminations effectuées est proche de 7‰.

C'est une matière organique très bien évoluée. Rares sont les sols hydromorphes où le rapport C/N est proche de 15 ou légèrement supérieur. Dans les sols exondés en permanence du secteur sud Rayak, les rapports C/N oscillent entre 8 et 10 alors que dans le secteur nord des valeurs comprises entre 6 et 8 sont assez fréquentes.

Le pourcentage des formes libres séparables par densimétrie reste faible ; il en est de même des formes extractibles au pyrophosphate de sodium : Les taux d'extraction calculés sur un nombre réduit d'échantillons prélevés au nord de Rayak n'excèdent pratiquement jamais 15%. Les formes très fortement fixées, assimilables à l'humine, doivent donc prédominer. C'est d'ailleurs ce que semble confirmer la séparation par électrophorèse de la fraction humifiée extraite au pyrophosphate ; les acides humiques gris les plus polymérisés l'emportent assez nettement sur les acides humiques bruns les plus mobiles. C'est également la conclusion qui se dégage de divers essais et observations ayant trait à la relative inefficacité des traitements à l'eau oxygénée 110 vol.

II.3.3. La structure.

Comme nous l'avons déjà signalé, la totalité des profils observés présentent deux horizons bien différenciés sur le plan structural : Un horizon superficiel Ap, qu'il est parfois possible de scinder en deux sous-horizons, auquel succède un horizon (B). La structure artificielle motteuse des horizons périodiquement travaillés leur confère une porosité correcte ; la densité apparente est généralement inférieure à 1,3. Par contre les horizons (B) non perturbés développés pour la plupart dans des matériaux argileux et gonflants voient leurs possibilités d'emmagasinement en fluides beaucoup plus réduites ; les valeurs des densités apparentes gravitent autour de 1,45.

Fréquemment dégradée en surface, en particulier dans les sols irrigués par submersion (21), la structure reste dans l'ensemble assez correcte. Les indices Is ne sont voisins de 4 ou supérieurs que dans les horizons

(B) ou C très riches en limons calcaires (graph. 2c).

Cette assez bonne stabilité structurale est due probablement davantage aux fortes teneurs en argile à garniture ionique presque essentiellement calcique et à un degré moindre au fer (teneur généralement inférieure à 10%), qu'à l'existence de liants organiques. En effet le pourcentage d'agrégats stables après prétraitement à l'alcool, qui, d'après MONNIER (14), serait sensiblement proportionnel au facteur cohésion, est assez élevé (>50%); en outre la différence entre les taux d'agrégats "alcool" et "benzène" toujours supérieure à 40% semblerait montrer que la matière organique humifiée serait relativement trop peu importante pour réduire sensiblement la mouillabilité.

III. Influence exercée par ces divers paramètres sur l'eau utile pondérale.

Afin de réduire au maximum l'effet structure qui risque de masquer l'influence des autres facteurs, particulièrement à pF bas, nous ne présenterons dans ce chapitre que les relations obtenues à partir d'échantillons tamisés; l'influence de l'agencement particulière ne sera pas pour autant négligée, mais elle fera l'objet d'un développement ultérieur dans le dernier chapitre.

Pour mener à bien ce type d'étude nous avons adopté une méthode d'approche qui consiste d'une part à analyser de façon critique la distribution graphique des points représentatifs de divers types de sols, et d'autre part à mettre en oeuvre des tests expérimentaux très simples visant à vérifier le bien fondé de certaines déductions.

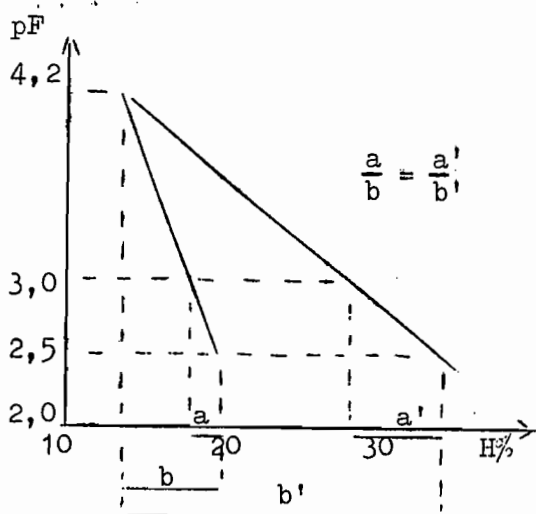
III.1 - Remarques préliminaires

Si la borne inférieure du domaine d'eau utile peut être valablement assimilée à la quantité d'eau que retient le sol à pF 4.2, la borne supérieure correspond suivant le type de sol à des valeurs du pF pouvant osciller entre 2,0 et 3,0. De notre côté nous avons limité aux pF 2,5 et 3,0 la détermination systématique de l'humidité de rétention, étant donné l'allure de l'éventail textural de notre matériel expérimental. Par ailleurs les relations assez étroites que nous avons relevé dans quelques profils entre capacité au champ et humidité équivalente (HE) nous ont incités à tenir également compte de cette dernière donnée.

III.1.1. Allure des courbes pF/H .

En examinant le positionnement, dans un système de coordonnées pF/H , de ces diverses humidités caractéristiques, nous avons pu constater tout d'abord que le pF de l'humidité équivalente restait compris entre 2.5 et 3.0, sauf dans la plupart des échantillons prélevés sur le glaucis de Rayak ($pF < 2,5$), et ensuite que les trois points représentatifs correspondant aux pF 4.2, 3.0 et 2.5 étaient presque toujours sensiblement alignés.

Cette dernière remarque mérite une attention particulière car elle semblerait prouver que, dans une gamme de pF donnée limitée aux valeurs 4.2 et 2.5, le pourcentage d'eau utile compris entre deux valeurs de pF , autrement dit le taux de disponibilité de l'eau utile, est approximativement le même pour tous les échantillons considérés. L'analyse du graphique ci-joint sur lequel ont été reportées deux droites théoriques proches des courbes pF/H de deux échantillons représentatifs présentant des propriétés hydriques très différentes (383 - 172) nous montre en effet que le même



rapport de proportionnalité relie les segments a et b d'une part et les segments a' et b' d'autre part.

Transposé sur le plan pratique, ce résultat signifie, en négligeant certaines restrictions que nous évoquerons ultérieurement, que le rapport RFU/RU , bien connu des spécialistes en irrigation, serait indépendamment du type de sol et par conséquent uniquement fonction des données microclimatiques. En d'autres termes, toutes conditions égales par ailleurs, la fréquence

des irrigations devrait être d'autant plus lâche que RU , sensiblement proportionnel à l'eau utile pondérale (EUp), sera grand.

III.1.2. Expression graphique de l'eau utile pondérale (EUp).

La seule façon de représenter les variations de EUp sans privilégier un facteur causal de la rétention consiste à mettre en parallèle les valeurs de l'humidité de flétrissement H_f et celles que l'on juge correspondre à la borne supérieure du domaine d'eau utile. Pour ce qui nous concerne nous avons à choisir parmi 3 modes de représentation : H_f en fonction de HE , de l'humidité à $P_f 2,5$ ou de l'humidité à $P_f 3,0$. Les variations du pF de HE proche de 3,0 dans les sols lourds et de 2,5 dans les sols relativement légers, n'étant pas sans rappeler celles de la capacité au champ, nous avons préférentiellement adopté le système H_f/HE .

Le report sur le graphique 3 comportant H_f en ordonnée et HE en abscisse, des quelques 250 points représentatifs permet en première analyse de formuler les remarques suivantes :

a) la majorité des points représentatifs se répartit de part et d'autre d'une droite virtuelle dont le coefficient angulaire est proche de 1 ; cela signifie que pour ces échantillons EUp restera sensiblement constant quelle que soit leur texture.

b) au-dessus de ce regroupement majoritaire s'alignent les points représentatifs des échantillons présentant une certaine hétérométrie dans le domaine granulométrique (sols du glacis de Rayak) ; en dessous se dispersent ceux qui correspondent aux sols limono-calcaires hydromorphes.

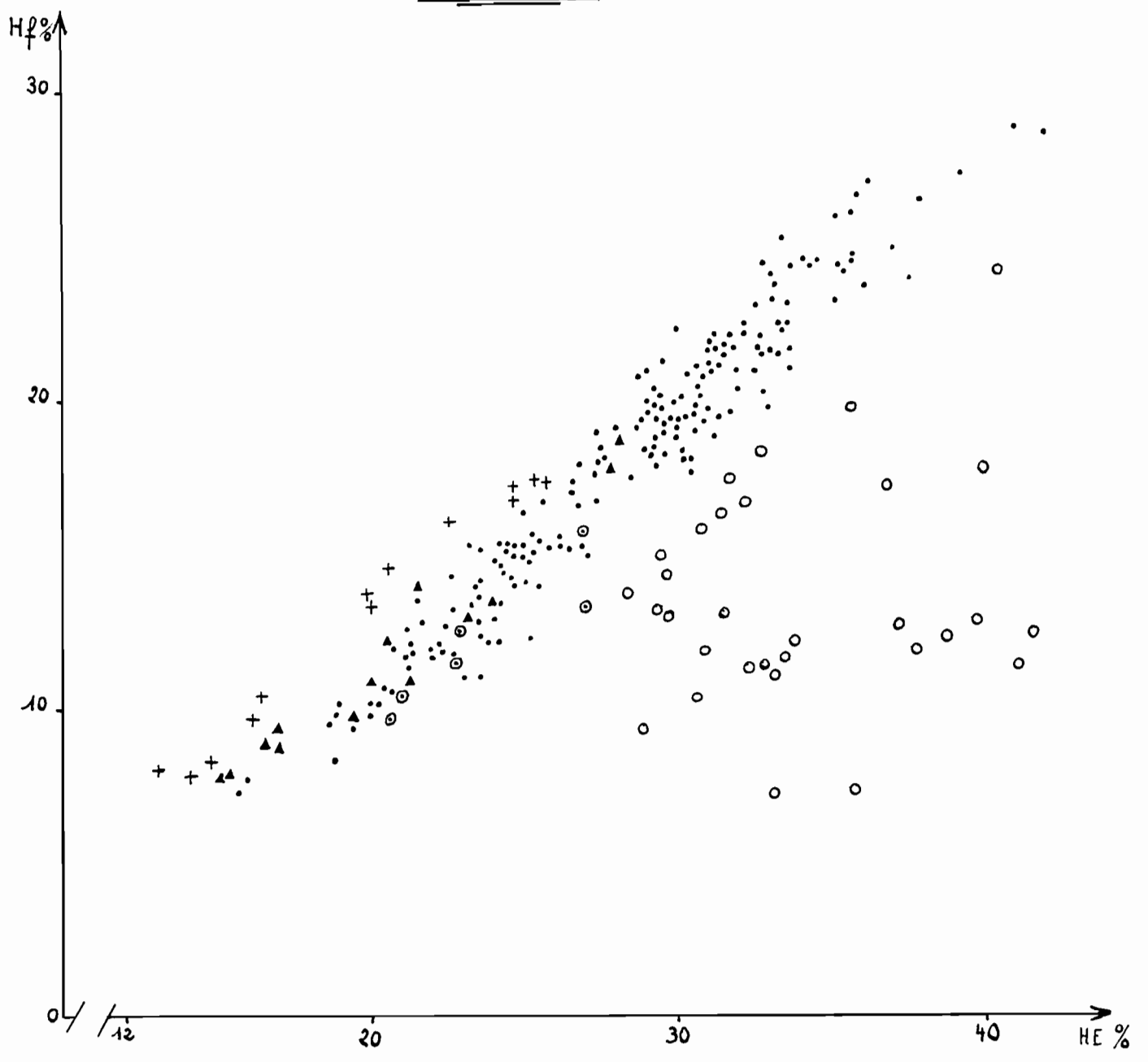
En faisant abstraction de ces deux derniers regroupements qui intéressent des catégories de sols géographiquement bien localisées il est alors possible de conférer à l'équation de la droite de régression de tous les autres points, $H_f = 0,88HE - 6,7$, une valeur à la fois significative ($r=0,96$) et représentative. L'application de cette équation permet ainsi de préciser les limites de l'intervalle de variation de l'eau utile théorique pondérale de la grande majorité des sols de la Bekaa : EUp serait compris entre 8% (sols légers) et 12% (sols lourds).

Par ailleurs, l'alignement dans une gamme texturale assez étalée des 13 points représentatifs des échantillons provenant du glacis de Rayak nous a également permis de calculer l'équation de la droite de régression correspondante qui s'avère être sensiblement parallèle à la précédente. Cette équation est en effet la suivante : $H_f = 0,84HE - 3,4$ ($r=0,98$). EUp serait dans ce cas compris entre 6 et 8%.

Pour les sols limono-calcaires par dontre la dispersion des points représentatifs rend impossible un tel calcul. Dans l'immédiat il importe simplement de souligner les valeurs toujours plus élevées de EUp qui oscillent entre 13 et 30%.

Ces écarts parfois importants entre catégories de sols proviennent d'une adsorption différentielle pouvant s'exercer soit aux fortes tensions matricielles (point de flétrissement) soit aux faibles tensions (point de rétention). Dans ce qui suit nous nous proposons d'étudier l'influence des divers paramètres édaphiques à ces deux niveaux.

Relations H_f / H_E



N.B. même légende que pour le graphique 1

III.2 - Influence de la texture

III.2.1. Analyse globale des relations EUp/texture

Une première constatation s'impose lorsque l'on compare le positionnement des points représentatifs sur le triangle des textures (graph. 1) et sur le graphique Hf/HE (graph. 3). Les valeurs élevées, faibles et intermédiaires de EUp correspondent à des échantillons dont les teneurs en limons totaux sont respectivement supérieures à 50%, inférieures à 20% et comprises entre 20 et 50%. Par ailleurs il ne semble pas que les teneurs en argile aient une incidence marquée sur les variations de EUp. Pour les échantillons limono-calcaires on parvient même à mettre en évidence une décroissance de EUp à mesure qu'augmentent les teneurs en argile (8). Dans les autres échantillons, pour lesquels il existe d'assez bonnes corrélations entre teneurs en argile et humidité au point de flétrissement, EUp est une fonction légèrement croissante des teneurs en argile ; les coefficients angulaires des droites de régression Hf/HE sont en effet légèrement inférieurs à 1.

En se basant simplement sur le fait que EUp, égal à la différence HE-Hf, est d'autant plus grand que Hf, fonction de l'importance des surfaces adsorbantes, est faible, on peut déjà partiellement expliquer l'accroissement du domaine d'eau utile vers les basses humidités dans les échantillons limono-calcaires dont les fractions fines renferment une assez forte proportion de carbonates à très faible pouvoir d'adsorption à pF 4.2. Par contre à pF bas, où l'effet "manchette" joue un rôle prépondérant, il est a priori difficile de saisir les relations qui pourraient exister entre rétention et nature des échantillons. Aussi avons nous procédé, pour affermir certaines présomptions, à des essais de rétention sur diverses fractions granulométriques.

III.2.2. Etude expérimentale.

a) Techniques

Dans un premier temps, nous avons testé le comportement de particules de taille supérieure à 50 μ provenant d'une part d'une roche calcaire tendre broyée (CO₃= voisin de 95%), d'autre part d'un sable de plage préalablement lavé à l'acide chlorhydrique (% de quartz proche de 93). Ces échantillons ont été fractionnés en cinq classes (0,05 à 0,1 - 0,1 à 0,2 - 0,2 à 0,5 - 0,5 à 1 - 1 à 2mm). Sur chacune des fractions nous avons déterminé l'humidité de rétention à pF 4.2 et 2.5.

Dans un deuxième temps, nous avons opéré sur des particules inférieures à 50 μ provenant des fractions limoneuses et argileuses de quatre échantillons représentatifs des catégories de sols précédemment différenciées (cf. graph. 1 et 3). Leurs caractéristiques essentielles sont rassemblées dans le tableau 6.

Tableau 6

N°	Caractéristiques des échantillons testés									
	granulométrie					CO ₃ =	C	pF		EUp
Ech.	a	lf	lg	sf	sg	tot.	%	2.5	4.2	(1)
39 bis	58	3	3	13	21	0	0,22	25,2	17,1	8,1
AB 0	54	19	11	8	6	22	1,06	32,0	20,7	11,3
7b 2	34	15	10	17	22	75	0,30	21,4	10,6	10,8
42b 2	22	39	14	13	10	80	0,47	38,5	6,5	32,0

(1) EUp a été pris égal à la différence des humidités à pF 2.5 et à pF 4.2

b) Résultats

Les résultats relatifs aux particules de taille supérieure à 50 u (graph. 4.1.a, tableau 7) nous montrent que le fractionnement de matériaux homogènes n'a, comme prévu, aucune influence sur la rétention à pF 4.2 - A pF 2,5 par contre cette influence, à peine marquée dans le matériau quartzueux s'avère importante dans le matériau calcaire dès que la taille des particules devient inférieure à 100 u. Autrement dit l'eau utile pondérale d'un échantillon presque essentiellement calcaire augmente déjà considérablement dès que l'on atteint la classe granulométrique correspondant aux sables fins.

Tableau 7

Pouvoir de rétention de particules supérieures à 50 u

: N°	: pF :	Taille des particules en mm					
		: Ech. :	: 5-2 :	: 2-1 :	: 1-0,5 :	: 0,5-0,2 :	: 0,2-0,1 :
:	: 2.5 :	:	: 0.2 :	: 0.3 :	: 1.0 :	: 1.1 :	: 2.8 :
: Q	: 4.2 :	:	: 0.3 :	: 0.2 :	: 0.4 :	: 0.2 :	: 0.5 :
: (CO ₃ =0): EUp	:	:	: 0 :	: 0.1 :	: 0.6 :	: 0.9 :	: 2.3 :
:	:	:	:	:	:	:	:
:	: 2.5 :	: 8.6 :	: 10.3 :	: 11.0 :	: 12.0 :	: 14.2 :	: 22.4 :
: Ca	: 4.2 :	: 4.3 :	: 4.2 :	: 4.0 :	: 4.1 :	: 3.7 :	: 3.8 :
: (CO ₃ =95): EUp	:	: 4.3 :	: 6.1 :	: 7.0 :	: 7.9 :	: 10.5 :	: 18.6 :

Pour les particules de taille inférieure à 50 u, le tableau 8 nous livre un certain nombre de résultats intéressants.

A pF 4.2 les valeurs en apparence anarchiques de la rétention des fractions argileuses s'expliquent fort bien quand on tient compte de la proportion parfois importante de carbonates (cf. tableau 9) et de la nature des contenus minéralogiques ; on peut voir en particulier que les pouvoirs d'adsorption des fractions argileuses non carbonatées extraites des échantillons 39 bis et ABO donnent un reflet assez fidèle de leurs dominantes minéralogiques : kaolinite pour le premier, minéraux 2:1 pour le second. De même l'adsorption différentielle des fractions limoneuses semble être fonction de l'importance relative des pseudo-particules, mieux représentées dans l'échantillon 7b.2.

A pF 2.5, les disparités précédentes, liées à la présence de carbonates, de pseudoparticules ou à la nature du contenu minéralogique, encore apparentes dans les fractions argileuses, s'estompent totalement dans les fractions limoneuses. Pour ces dernières on notera la rétention relativement importante des échantillons très carbonatés ainsi que la valeur élevée des rapports de proportionnalité reliant les pouvoirs d'adsorption des limons fins et grossiers ; ces rapports voisins de 3 dans les échantillons très carbonatés atteignent 7 dans les autres. Il semble donc que le concours apporté par les limons grossiers dans la rétention à pF bas sera d'autant plus marquée que l'échantillon sera plus riche en carbonates.

Quant à la différence des humidités à pF 2.5 et 4.2, que l'on peut assimiler à l'eau utile pondérale, elle s'avère être maximale pour la fraction limon fin, quel que soit l'échantillon considéré. Là encore il est à noter que les limons fins retiennent beaucoup plus d'eau utile que les limons grossiers : 4 fois plus dans les échantillons très carbonatés, 10 fois plus dans ceux qui renferment moins de 40% de calcaire.

Tableau 8

Pouvoir de rétention de particules inférieures à 50 u

: N° :	Argile :			Limon fin :			Limon grossier :		
	: Ech. :	: pF 2.5 :	: pF 4.2 :	: EUp :	: pF 2.5 :	: pF 4.2 :	: EUp :	: pF 2.5 :	: pF 4.2 :
: 39 bis :	: 46.6 :	: 33.6 :	: <u>13.0</u> :	: 42.9 :	: 6.6 :	: <u>36.3</u> :	: 6.3 :	: 2.8 :	: <u>3.5</u> :
: AB 0 :	: 92.0 :	: 69.6 :	: <u>22.4</u> :	: 38.0 :	: 4.3 :	: <u>33.7</u> :	: 5.1 :	: 1.6 :	: <u>3.5</u> :
: 7b.2 :	: 62.3 :	: 22.9 :	: <u>39.4</u> :	: 59.8 :	: 8.7 :	: <u>51.1</u> :	: 19.7 :	: 8.3 :	: <u>11.4</u> :
: 42b.2 :	: 62.5 :	: 29.7 :	: <u>32.8</u> :	: 66.7 :	: 1.5 :	: <u>65.2</u> :	: 18.0 :	: 2.2 :	: <u>15.8</u> :

III.2.3. Discussion.

Ces résultats semblent être apparemment assez éloignés de ceux qu'ont pu obtenir d'autres auteurs. C'est ainsi que SALTER et al. (16), qui ont cherché à tester la finesse des relations pouvant exister entre l'eau utile et le pourcentage de particules incluses dans chaque classe granulométrique, trouvent que la meilleure corrélation correspond à la fraction limon grossier (20 à 50 u) ; mais dans ce cas l'eau utile est exprimée en volume et sa borne supérieure a été déterminée in situ ; aussi l'effet structure, que pour notre part nous avons volontairement négligé, joue t'il un rôle primordial. De leur côté, ABROL et al. (9), qui ont opéré sur échantillons tamisés, ont mis en évidence d'assez bonnes corrélations entre EUp et la fraction "silt" (2 à 50 u) ; en outre, en soulignant l'existence d'une certaine proportionalité entre EUp et les teneurs en calcaire total, ils ont émis l'idée que l'intervention du calcaire, dont l'influence dans les phénomènes de rétention a été souvent négligée, dépend dans une large mesure de sa répartition au sein des diverses fractions granulométriques. Cette opinion ne semble pas totalement partagée par MASSOUD (13) qui, après avoir testé une gamme d'échantillons perturbés plus ou moins calcaires, conclue à une très nette prédominance des influences texturales ; il est à noter toutefois que cet auteur ne disposait que d'un nombre réduit d'échantillons très carbonates.

Sans pouvoir trancher le débat de façon péremptoire, nous avons pour notre part cherché à dégager certaines conclusions "provisoires", parce que insuffisamment étayées, sur les interférences texture/carbonates, en nous appuyant sur des résultats déjà partiellement exposés, que nous interpréterons cette fois en donnant la préséance au facteur "carbonates".

III. 3. - Influence des carbonates

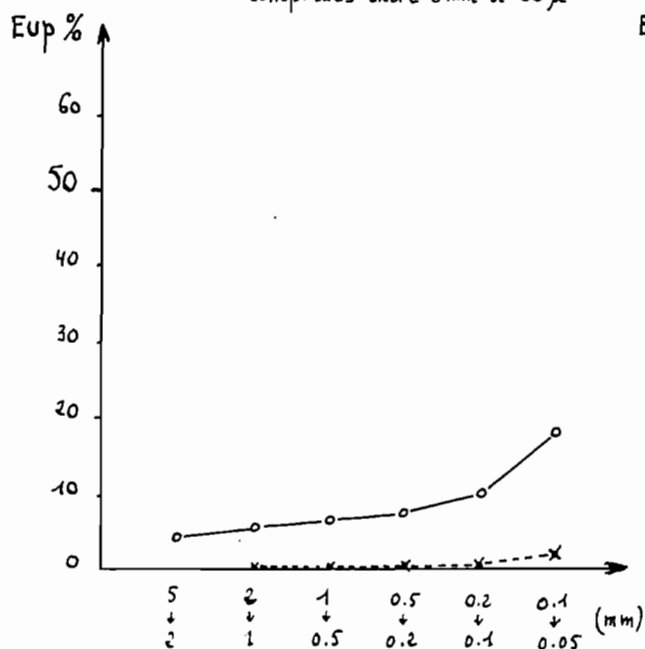
III.3.1. Exposé des résultats.

En reprenant l'examen du graphique Hf/HE (graph. 3), nous constatons que la répartition des trois ensembles de points représentatifs différenciés dans le chapitre III.1.2. pourrait être également mise en parallèle avec un certain gradient des teneurs en carbonates. Nullos dans les sols du glacis de Rayak, celles-ci restent supérieures à 50% dans les sols limono-calcaires et oscillent entre 0 et 50% dans les autres sols. Toutefois si, pour ces derniers, nous avons pu mettre en évidence, à teneur en a+1 comparable, une moindre rétention à pF 4.2 dans les sols calcaires, nous n'avons pas pu déceler sur le graphique Hf/HE un effet différentiel très net des carbonates sur EUp, même pour des teneurs proches de 50%. Cette dernière observation tendrait donc à corroborer les conclusions de I. MASSOUD (13) qui n'a opéré que sur des échantillons qui recélaient généralement moins de 55% de carbonates.

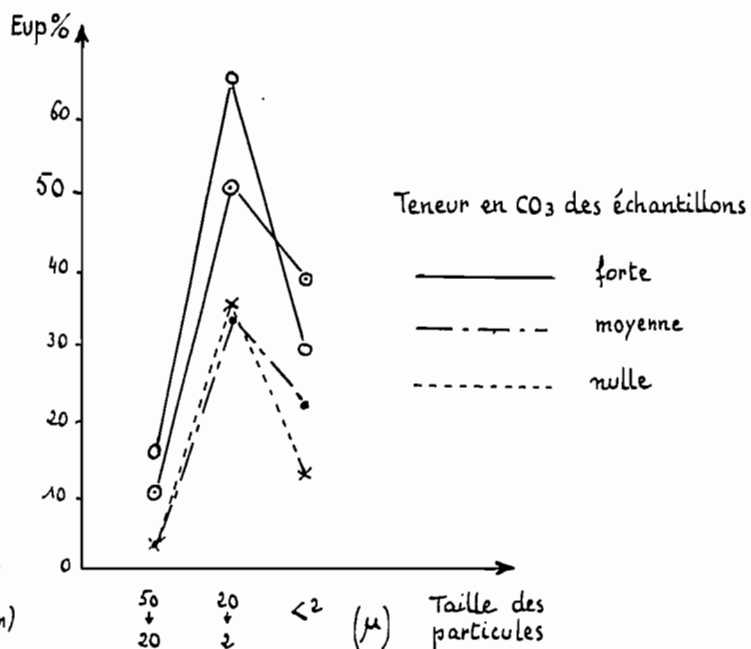
Mais si l'on se réfère aux données concernant les sols limono-calcaires ou aux tests de rétention dont nous avons déjà parlé dans le chapitre précédent, on est bien obligé d'admettre que l'influence des carbo-

4.1 - Influence de la texture sur l'Eau Utile pondérale

4.1 a : Pour des particules de tailles comprises entre 5mm et 50μ

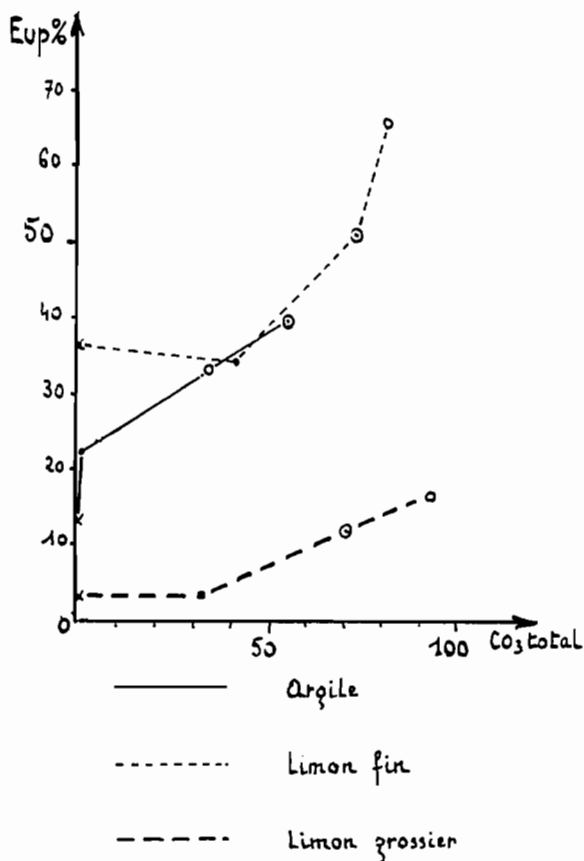


4.1 b : Pour des particules < 50μ

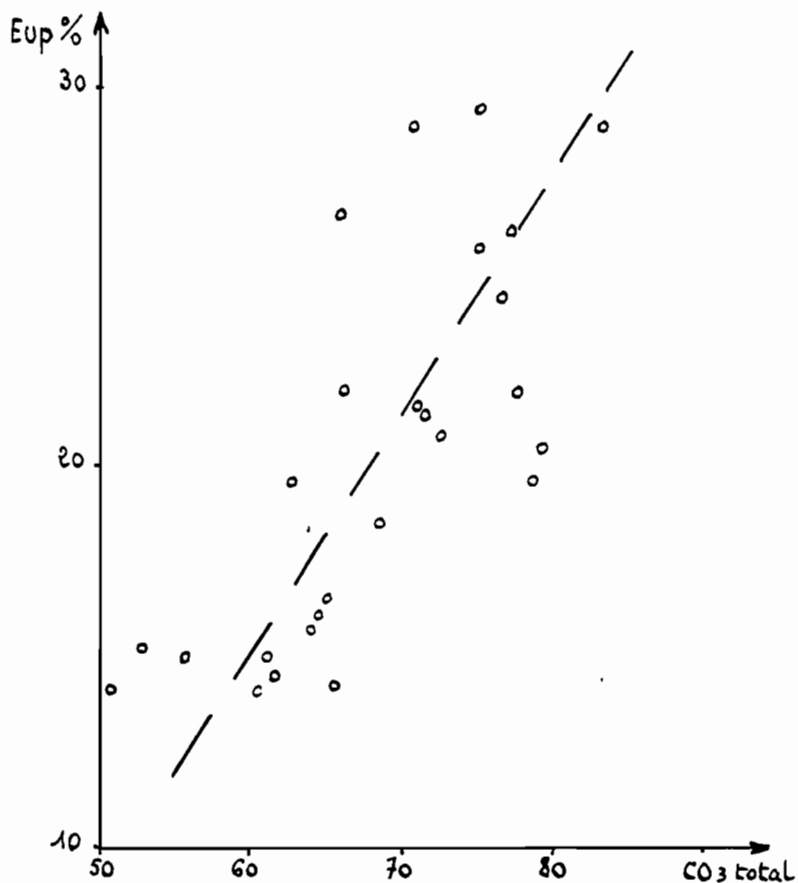


4.2 - Influence des carbonates sur l'Eau Utile pondérale

4.2 a : Pour des particules < 50μ



4.2 b : Dans les sols limono-calcaires hydromorphes



nates est loin d'être secondaire quand les teneurs excèdent 50% (graph.4.2). Pour ce qui concerne les sols, on peut certes objecter que la relation existant entre CO₃ et teneurs en limons est seule responsable de cette influence apparente. Toutefois cet argument, déjà ému par le fait que la corrélation limons/CO₃ n'est pas très étroite, n'est plus suffisant pour expliquer l'accroissement parallèle de EUp et des teneurs en CO₃ dans une classe granulométrique donnée.

En se reportant au tableau 9 ou au graphique 4.2a, on remarque en effet qu'aux teneurs les plus élevées en CO₃ correspondent les plus fortes rétentions d'eau utile. Il est encore plus intéressant de relever sur les courbes relatives aux limons, pour lesquelles l'interférence de la matière organique et du contenu minéralogique est négligeable, le palier sensiblement parallèle à l'axe des x qui s'étire jusqu'à des teneurs en CO₃ voisines de 50%. Ceci permettrait d'échafauder l'hypothèse qu'il existe, pour les teneurs en CO₃ des valeurs -seuil en deçà desquelles l'influence des CO₃ sur la rétention d'eau utile n'est pas perceptible.

Tableau 9

Influence des carbonates sur l'eau utile

N°	Argile	Limon fin	L. grossier	Terre tot.
Ech.	CO ₃	EUp	CO ₃	EUp
39b	0	13.0	0	36.3
A.B0	1	22.4	42	33.7
7b.2	56	39.4	74	51.1
42b.2	35	32.8	86	65.2

III.3.2. Interférence texture/carbonates.

Dans un échantillon de terre totale il est évidemment difficile sinon impossible de dissocier l'influence de chacun de ces deux facteurs, d'autant moins que généralement la fraction granulométrique la plus "active" dans la rétention de l'eau utile (les limons fins) renferme une proportion importante d'éléments carbonatés ; il doit à vrai dire exister une sorte de synergie entre ces deux facteurs comme nous le montrent les graphiques 4.1a et 4.1b. A priori il semble donc que la rétention d'eau utile sera d'autant plus forte qu'il y aura d'une part plus de limons fins et d'autre part plus de carbonates dans cette fraction texturale. La validité d'une telle hypothèse, qui rejoint d'ailleurs les présomptions de ABROL et al. (9), semble être partiellement confirmée par l'étude comparative des propriétés hydriques de deux échantillons très riches en CO₃ (7b.2 et 42b.2) provenant l'un d'un sierozem de la Bekaa nord, l'autre d'un sol hydromorphe alluvial de la Bekaa sud. (voir tableaux 6 - 8 et 9). Dans ce cas il est fort probable en effet que les disparités observées (EUp respectivement égal à 10,8 et 32,0) soient dues principalement au fait que les limons fins carbonatés sont trois fois moins représentés dans l'échantillon 7b.2 que dans l'échantillon 42 b.2 (11% contre 33%).

Certes nous devons admettre que cette explication s'applique difficilement à une série d'échantillons issus des horizons profonds de trois autres sierozems (profils 2 - 3 et 4). Est-ce dû à certaines caractéristiques spécifiques de ces sols (présence d'attapulгите, prédominance de calcaire dolomitique, absence de sables grossiers) ou plus simplement à un taux important de pseudoparticules, comme le laissent supposer les résultats exposés au chapitre II.1.2. ? Seule une étude détaillée de chaque fraction granulométrique pourrait le préciser, mais il n'est évidemment pas

exclu que d'autres paramètres que la texture et les carbonates puissent jouer un rôle non négligeable, rôle que nous évoquons dans les chapitres suivants et qui s'avère très difficile à cerner.

III.4. - Influence des autres paramètres

III.4.1. Le contenu minéralogique

A pF 4.2 la plus grande partie de l'eau fixée l'est sous forme de films. Les surfaces adsorbantes étant principalement constituées de feuillets argileux et l'épaisseur des films étant pratiquement indépendante du type d'argile minéralogique (11), les quantités d'eau adsorbées seront donc proportionnelles aux surfaces spécifiques, très variables d'un type d'argile à l'autre ; les matériaux dans lesquels dominent les argiles gonflantes présenteront donc des humidités au point de flétrissement bien supérieures à celles des matériaux kaolinitiques. C'est effectivement ce que révèle l'examen du graphique 5a sur lequel n'ont été représentés que des échantillons suffisamment riches en argile : ceux qui proviennent du glacier de Rayak ($T/a < 40 \text{ meq\%}$) se concentrent vers les basses ordonnées ; ceux qui correspondent à des rapports $T/a > 80 \text{ meq\%}$ se répartissent nettement au dessus ; entre ces deux regroupements se localisent les échantillons présentant des rapports T/a intermédiaires. Il est toutefois utile de préciser que cette tentative de corrélation entre nature du contenu minéralogique et relations H_f/a butte sur un certain nombre d'obstacles liés au fait que les argiles minéralogiques ne se répartissent pas seuls et exclusivement dans la fraction inférieure à 2 μ et qu'une faible quantité d'eau, parfois non négligeable, peut être adsorbée par d'autres constituants.

Aux pF bas, la position relative des points représentatifs dans un système HE/a est sensiblement la même que dans le système H_f/a , sauf pour les échantillons limono-calcaires hydromorphes et avec moins de netteté pour ceux qui proviennent du glacier de Rayak. Mais il est fort probable que ces cas exceptionnels soient dus avant toute chose aux effets combinés de la texture et des carbonates ; les écarts enregistrés entre HE et H_f dans les sols de Rayak sont en effet identiques quelle que soit la teneur en argile ; dans les sols limono-calcaires hydromorphes on parvient même à déceler une relation négative entre EU_p et teneur en argile.

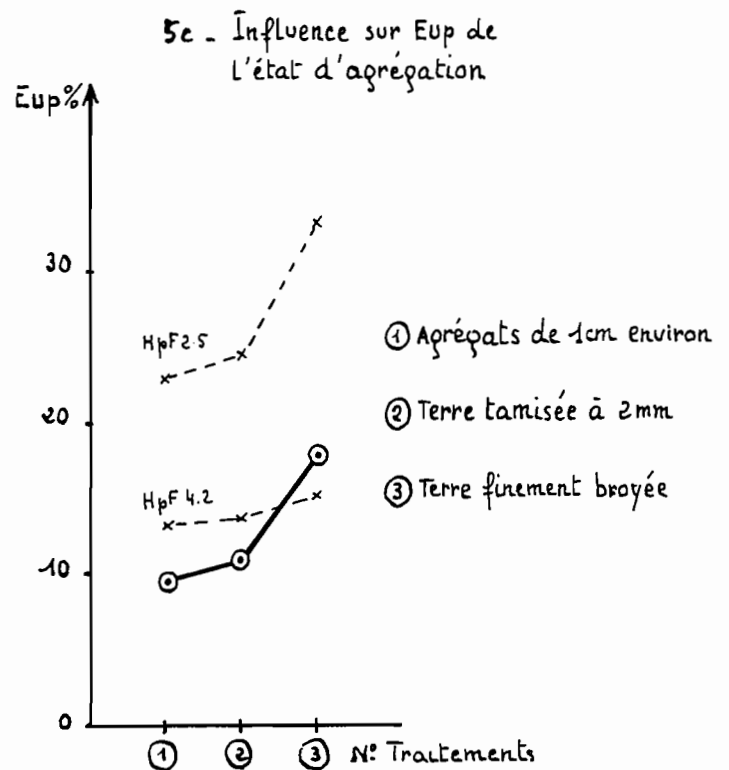
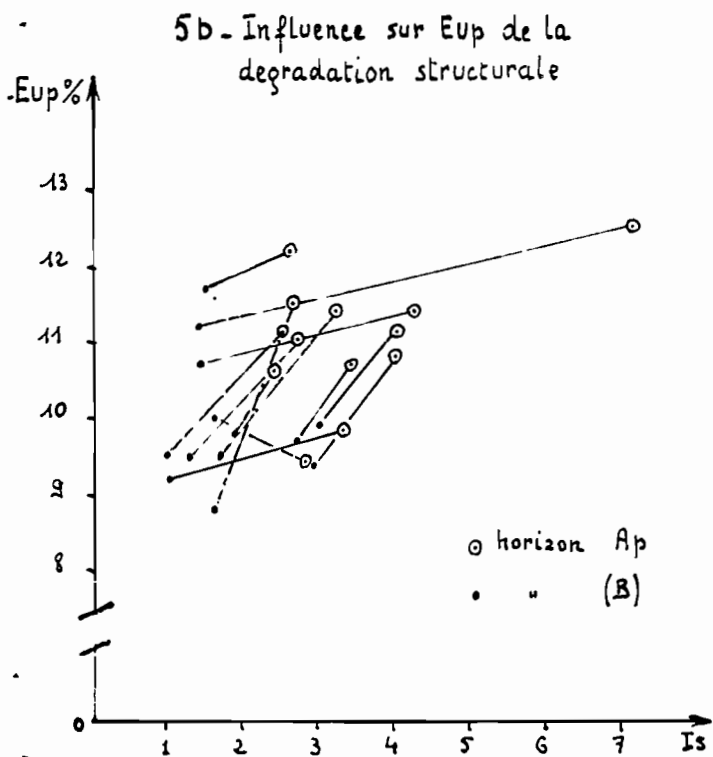
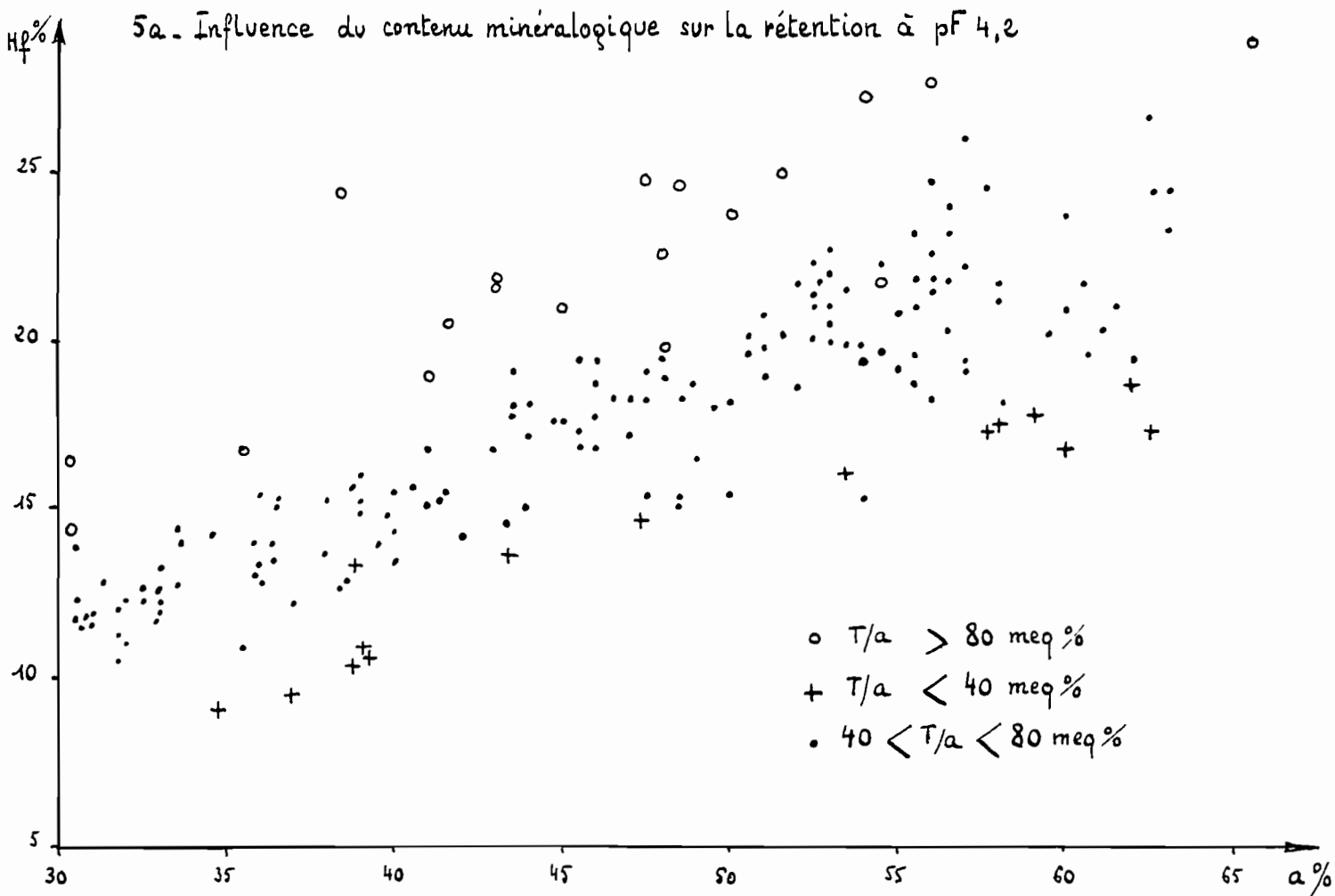
On peut donc conclure à une influence différentielle secondaire du contenu minéralogique sur la rétention de l'eau utile, tout au moins dans les sols de la Bekaa que nous avons analysés.

III.4.2. La stabilité structurale.

La comparaison de l' EU_p d'échantillons tamisés issus d'horizons superficiels dégradés et d'horizons sous-jacents non perturbés appartenant à un même profil monogénique, révèle l'existence d'un léger accroissement de EU_p quand diminue la stabilité structurale (graph. 5b).

Pour expliquer ce phénomène on peut remarquer que la dégradation structurale se traduit beaucoup plus par une diminution des taux d'agrégats eau que par un accroissement des taux d'éléments fins ; il s'agit donc davantage d'un "délitement" que d'une "dispersion", ce qui implique dans tous les cas une augmentation sensible des taux de microagrégats. Or certains auteurs(10) ont montré que, pour un degré de compaction identique (cas de nos échantillons tamisés), les teneurs en eau d'échantillons préparés à partir soit de microagrégats ($< 250 \mu$) soit de gros agrégats (1 à 5mm), comparables à pF 4.2, divergeaient à l'avantage des microagrégats jusqu'à pF 2.0. De notre côté, nous avons pu confirmer ce résultat en opérant sur des agrégats de tailles différentes provenant de l'horizon superficiel du profil 28 (graph. 5c).

La dégradation structurale due à la répétition des façons culturales serait donc bien la cause d'une meilleure rétention d'eau utile dans des échantillons tamisés.



III.4.3. La matière organique.

Son rôle est très difficile à cerner. En effet, sur un même profil monogénique les différences de teneurs entre horizons ne sont pas suffisantes pour pouvoir mettre en évidence une éventuelle influence (sols isohumiques), d'autant que la quantité de matière organique relativement au taux d'argile reste généralement toujours faible. De plus l'existence de formes d'humus très liées à la matière minérale rend inopérante les essais menés en laboratoire, visant à éliminer la matière organique en utilisant des techniques les moins dégradantes possibles (action de H₂O₂ concentré).

Tout ce que l'on peut dire c'est que la prise en considération d'échantillons provenant d'un même type de sol (limono-calcaire hydromorphe) dont les teneurs sont assez étalées, ne permet pas de déceler la moindre influence différentielle de la matière organique sur l'eau utile pondérale.

IV. Le domaine d'eau utile - Ses limitations -

IV.1. - Estimation de l'eau utile volumique (EUv).

L'équivalent volumique de l'eau utile pondérale s'obtient en multipliant cette dernière grandeur par la densité apparente de l'horizon considéré. Cette densité apparente est calculée en tenant compte du degré de pierrosité de l'horizon (da totale ou partielle).

Bien que nous n'ayons effectué qu'un nombre limité de mesures dans des horizons non ou peu caillouteux à l'aide d'un densitomètre à membrane (90 au total), nous avons cherché à voir quelle était la fréquence par classe des résultats obtenus. Dans ce but nous avons établi deux graphiques (6a et 6b) : le premier regroupe les données relatives aux sols limono-calcaires hydromorphes dont la porosité est excellente à tous les niveaux, le second concerne les horizons labourés et les horizons non perturbés des autres sols.

Les valeurs moyennes et médianes sont respectivement égales à

1.09 et 1.05 dans les sols limono-calcaires hydromorphes

1.13 et 1.1 dans les horizons Ap des autres sols.

1.44 et 1.4 dans les horizons (B) des autres sols.

En adoptant les valeurs moyennes approchées suivantes 1,1, 1,1 et 1,45 et en supposant la pierrosité négligeable et l'épaisseur de l'horizon Ap égale à 20cm, on peut déterminer les limites de l'intervalle de variation de l'eau utile volumique théorique pour chacune des grandes catégories de sols précédemment définis. Les résultats rassemblés dans le tableau 10 sont exprimés en mm d'eau ; ils correspondent à des tranches de sols égales à 50 et 100cm

Tableau 10

Limites des intervalles de variation de EUv

Catégories de sols	EUv (%)	
	EUv (%)	EUv (%)
	50cm	100cm
Sols limono-calcaires hydrom.	13-30	71-165
Sols du glacis de Rayak	6-8	40-52
Autres sols	8-12	52-79

IV. 2. - Les limitations du domaine d'eau utile.

Les quantités d'eau effectivement disponibles pour un végétal dépendent certes de l'eau utile volumique mais également de certaines limitations qui peuvent être imposées par des données de l'environnement (nappe - substratum - évapotranspiration), par des propriétés intrinsèques du sol (pierrosité - compacité) ou par la combinaison de plusieurs de ces facteurs. Dans ce qui suit nous passerons sous silence l'influence des conditions microclimatiques car c'est un sujet qui déborde du cadre de notre étude.

IV.2.1. Limitations visibles.

La "profondeur utile" d'un profil peut se trouver réduite, périodiquement par suite des fluctuations de niveau d'une nappe superficielle, ou en permanence lorsque le sol repose à faible profondeur sur un substratum rocheux ou très caillouteux. Les sols qui ont à souffrir du premier type de limitations se rencontrent principalement dans la zone alluviale épisodiquement inondée qui s'étale de part et d'autre du confluent Litani-Ghazaïel ainsi que sur les bas glacis situés au sud de Rayak. Le deuxième type de limitations concerne les sols lithiques plaqués sur le conglomérat fini-tertiaire très induré qui affleure en de nombreux endroits au nord de Baalbek ainsi que les sols peu épais développés sur d'anciens lits de rivières à débit torrentiel, très fréquents sur les glacis cônes plus ou moins ennoyés qui jalonnent le piedmont de l'Antiliban et des monts Liban.

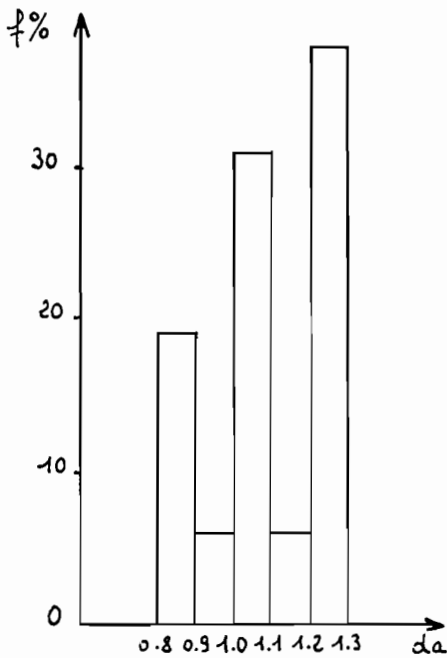
Le "volume utile" de son côté peut être limité par la présence de pierres, de cailloux ou de graviers. Si dans de très rares cas (basaltes altérés) ces éléments participent à la rétention de l'eau, ceux qui généralement parsèment les sols de la Bekaa, de nature calcaire et de densité voisine de 2,7, ne pourraient éventuellement retenir d'infimes quantités d'eau à leur périphérie sous forme de marchettes que s'ils sont en contact étroit avec la matrice environnante. Toutefois comme dans la grande majorité des profils ayant plus de 50cm de profondeur il est rare de déterminer des degrés de pierrosité supérieure à 15%, cet éventuel supplément d'eau utile peut-il être jugé comme négligeable.

IV.2.2. Limitations occultes.

On considère généralement que la quantité maximale d'eau qu'un horizon peut emmagasiner est égale au volume total des vides, c'est à dire à la porosité totale, et que la capacité de rétention est proche de l'expression volumique de l'humidité équivalente déterminée sur échantillon tamisé. Aussi la comparaison des données pondérales de ces deux humidités caractéristiques ($H_m = P/d_a$ et H_E) est elle intéressante en particulier dans les sols à la fois compacts et riches en argiles gonflantes, ou l'humidité maximale (H_m) peut se trouver inférieure à l'humidité de rétention (H_E) et parfois même très proche de l'humidité de flétrissement (H_f). C'est ainsi que lorsqu'on peut établir par ailleurs d'étroites corrélations entre ces dernières humidités et les taux d'argile ou d'éléments fins, par exemple dans le cadre d'études assez détaillées, il est aisé de préciser graphiquement les valeurs limites combinées de la texture et de la compacité à partir desquelles risque de se produire une réduction de l'eau utile volumique (19). Par contre lorsque la variabilité des données de base (cas de notre étude) rend impossible l'application d'une procédure de calcul analogue, la meilleure façon, à notre avis, d'illustrer ce genre de limitations consiste à reporter sur un graphique H_f/H_E une série de droites parallèles aux axes de coordonnées dont les abscisses ou les ordonnées à l'origine correspondent aux humidités maximales d'échantillons plus ou moins compactés (ces humidités maximales ont été calculées en prenant pour densité réelle la valeur théorique 2,65).

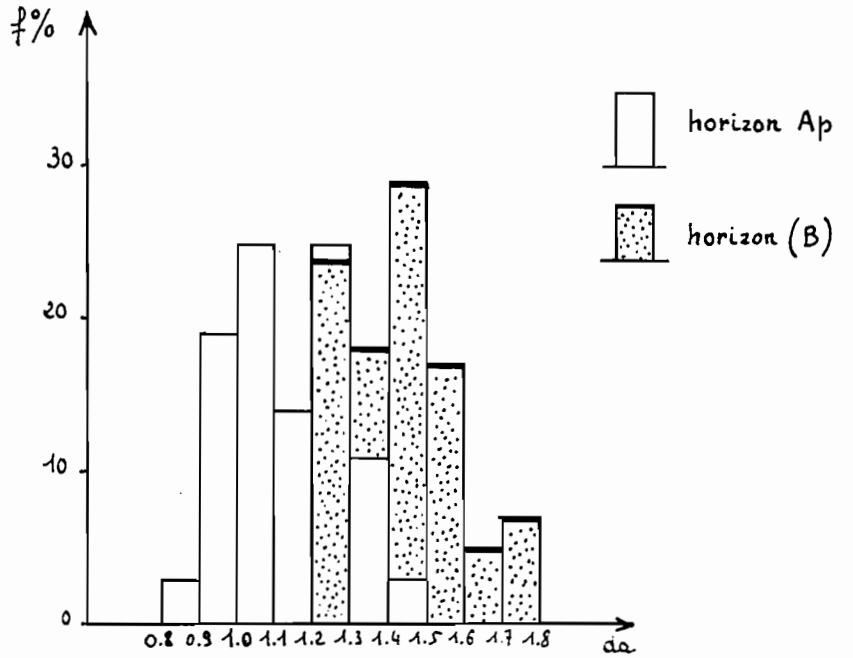
Graph. 6

6a: Densités apparentes dans les sols limono-calcaires



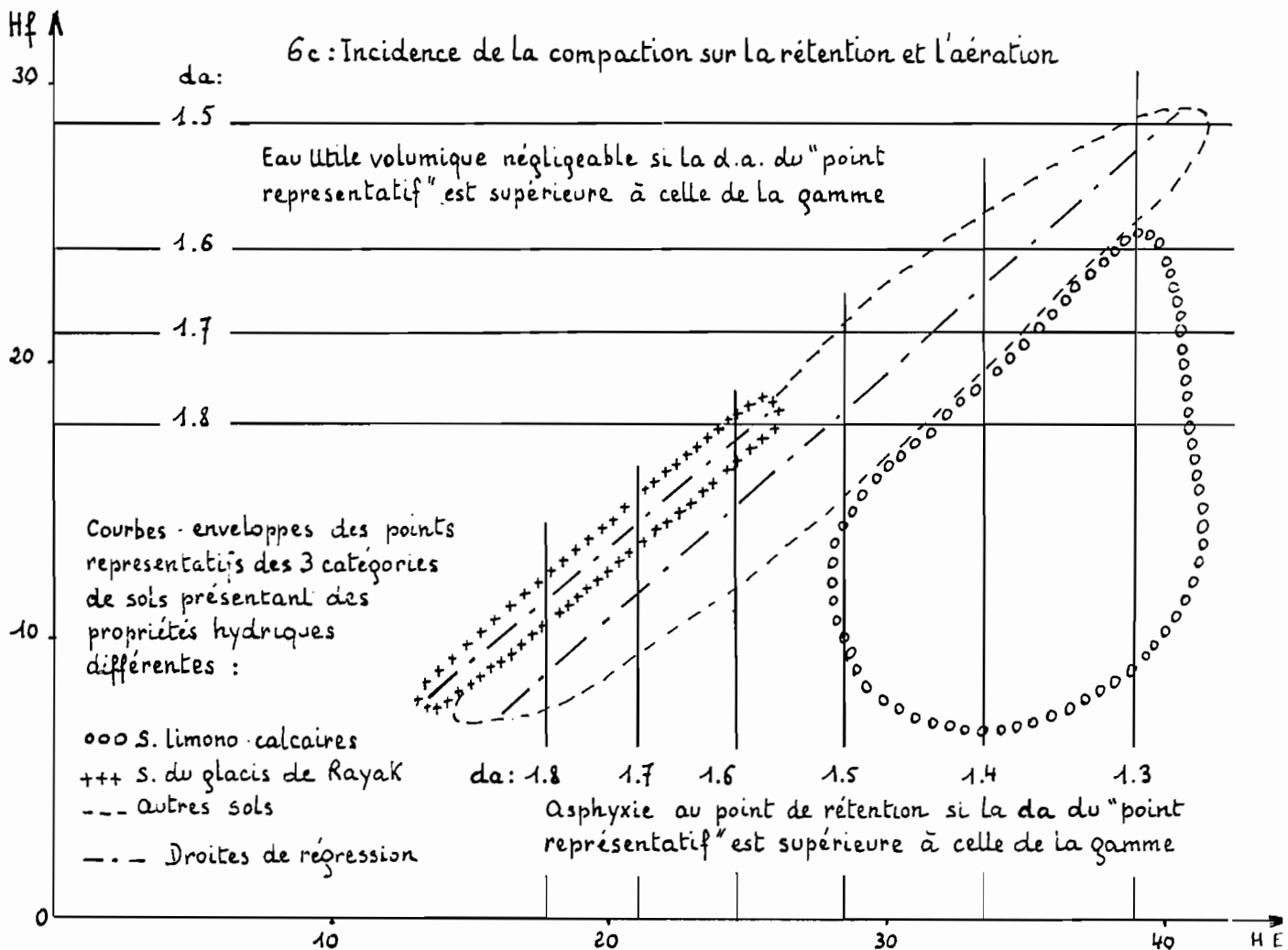
Moyennes : 1.09
(n=16)

6b: Densités apparentes dans les horizons Ap et (B) des autres sols



1.13 (n=36) 1.44 (n=38)

6c: Incidence de la compaction sur la rétention et l'aération



N.B. La densité réelle d_r est supposée égale à 2,65

Le tracé dans un tel quadrillage (graph. 6c) des courbes-enveloppes des points représentatifs propres à chaque catégorie de sols permet de mesurer l'importance du rôle que peut jouer la compaction dans la réduction à des valeurs négligeables de l'eau utile volumique (grille parallèle à l'axe Ox) et dans le degré d'aération d'horizons placés à la capacité de rétention (grille parallèle à l'axe Oy). On peut ainsi constater que EUv ne sera jamais nul dans les horizons limono-calcaires hydromorphes ainsi que dans les sols du glacis de Rayak ; les densités apparentes y sont en effet toujours respectivement inférieures à 1,6 et à 1,8. Par contre ce phénomène peut théoriquement se réaliser dans les horizons compacts et argileux de certains autres sols. De même une asphyxie totale au point de rétention à laquelle pourrait se greffer une réduction sensible du domaine d'eau utile ne devrait survenir qu'exceptionnellement dans les sols limono-calcaires et les sols de Rayak (courbes enveloppes débordant à peine des parallèles à Oy correspondant à des densités apparentes respectivement égales à 1,3 et 1,6); dans les autres sols cette réduction de EUv pourrait être assez fréquente dès que HE excède 30%, c'est à dire pour des teneurs en argile supérieures à 50%.

En guise de conclusion à ce chapitre, il nous paraît opportun de souligner que toutes ces déductions se fondent sur des conceptions assez théoriques des relations sol/eau. Une telle attitude est permise lorsqu'on est amené à préjuger du comportement comparé de plusieurs types de sols, mais il est évident qu'elle s'avère insuffisante quand on doit déterminer avec une marge d'erreur réduite l'importance réelle des volumes d'eau facilement disponibles et par voie de conséquence la périodicité des irrigations.

C'est précisément dans le but de mieux connaître la dynamique des échanges entre le sol et l'eau à pF bas que nous avons procédé à des mesures d'humidités caractéristiques sur des échantillons non perturbés, prélevés à l'aide de cylindres dans un sol verticale représentatif (profil 40).

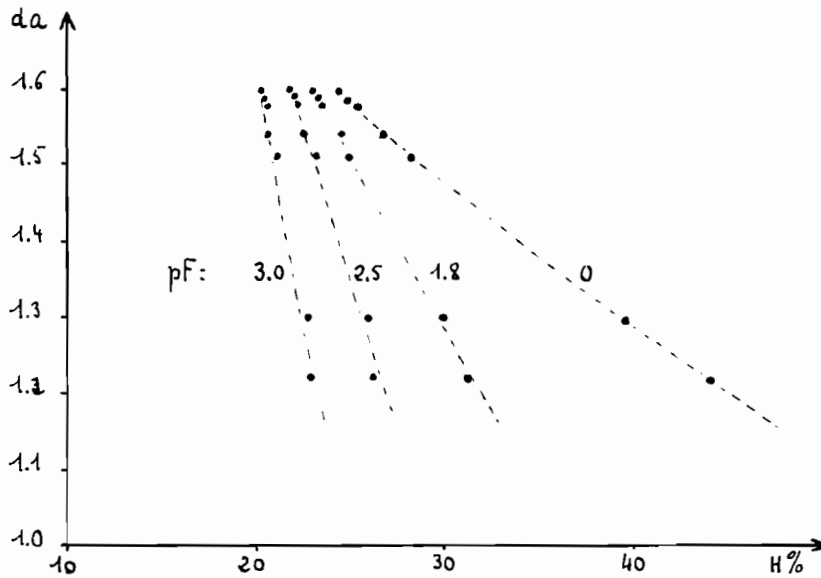
IV.3. - Disponibilités de l'eau dans des échantillons plus ou moins remaniés.

Si la prise en considération de toutes les données exposées dans les deux chapitres précédents peuvent nous fournir un ordre de grandeur valable du domaine d'eau utile, seule l'allure des courbes pF/H, en l'absence bien sûr de la détermination périodique des profils hydriques, peut nous renseigner sur le degré de disponibilité de l'eau présente. Nous avons déjà évoqué ce problème dans le chapitre III.1 en interprétant le tracé des courbes relatives à des échantillons tamisés. Dans ce chapitre nous nous proposons d'étudier comparativement les relations potentiel /humidité obtenues à pF bas sur des échantillons non perturbés plus ou moins compacts (graph. 7).

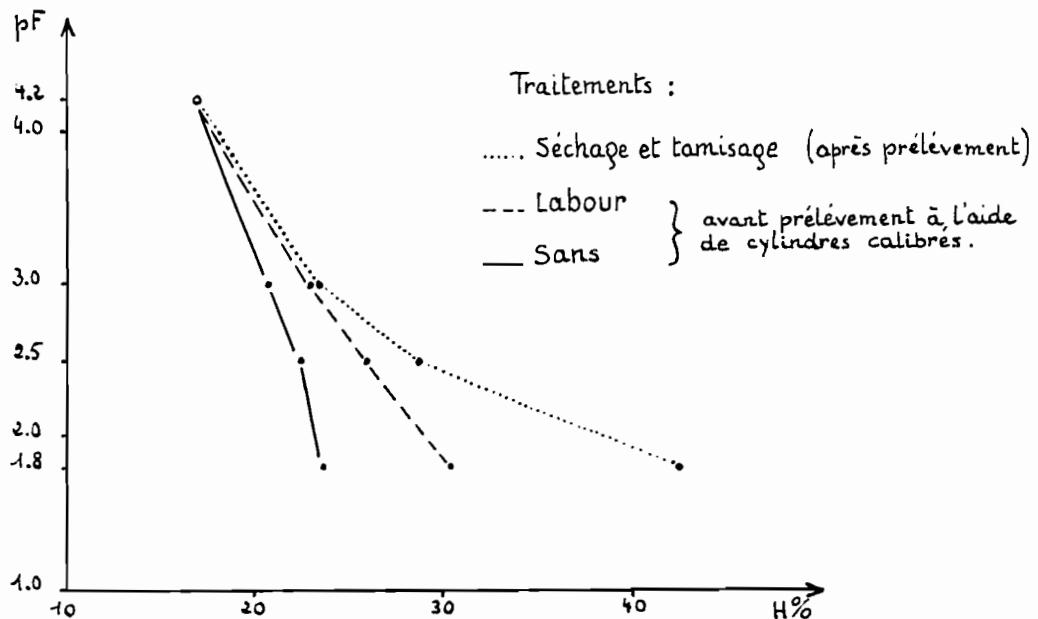
Il est tout d'abord intéressant de noter (graph. 7a) que, contrairement à ce que pourrait laisser croire une interprétation trop rigoureuse des données de laboratoire obtenues sur échantillons tamisés, un accroissement de compaction ne s'accompagne pas d'une augmentation parallèle du potentiel matriciel ; nous pouvons voir en effet sur le graphique 7a que pour un taux d'humidité donné, par exemple 25%, on passe de pF 2.5 à pF 0 quand la densité apparente croît de 1.3 à 1.6. C'est là un phénomène que l'on pourrait qualifier d'"effet éponge", car il est assimilable à ce qui se produit dans une éponge humectée soumise à des pressions de plus en plus fortes. Conséquemment il devrait être toujours possible à un système racinaire, dès lors qu'il s'est installé, d'extraire des quantités d'eau non négligeables d'horizons très compacts préalablement saturés (suite à une irrigation par exemple). C'est précisément ce qu'ont mis en évidence VINK et al. (24) en déterminant la part relative prise par diverses tranches de sol dans l'alimentation hydrique d'un maïs cultivé sur le même type de sol que "notre" profil 40.

Graph. 7

7a: Influence de la compacité sur la disponibilité de l'eau dans un sol vertique (profil 40).



7b: Influence de divers traitements sur les relations pF/H dans un sol vertique



Le graphique 7b de son côté nous permet de voir que si l'on choisit l'humidité à pF 2.5 comme borne supérieure du domaine d'eau utile les écarts enregistrés entre échantillons non perturbés et tamisés sont assez considérables ; il importera donc dans l'interprétation des résultats de toujours tenir compte des divers traitements qu'ont pu subir les échantillons testés. L'examen de ce graphique fait également ressortir l'influence que peuvent exercer sur l'importance relative de l'eau facilement disponible la modification par tamisage de l'agencement particulaire ainsi que la répétition des façons culturales ; les courbes de désorption des échantillons tamisés et des échantillons provenant d'horizons labourés ou non perturbés divergent assez nettement en deçà de pF 3.0.

Ce ne sont là évidemment que des résultats ponctuels qui n'ont en eux-mêmes qu'un intérêt limité mais qui devraient néanmoins nous inciter à manipuler avec une certaine prudence les résultats de laboratoire et à utiliser des méthodes d'approche plus sophistiquées pour cerner de plus près les valeurs réelles du domaine d'eau utile et du degré de disponibilité de cette eau sous conditions microclimatiques données.

CONCLUSION

Le dépouillement d'un nombre assez considérable de données hydriques relatives à des échantillons tamisés provenant des principales séries de sols irrigables de la Bekaa nous a permis de dégager quelques conclusions assez intéressantes.

Tout d'abord il est remarquable de constater qu'il existe pour ces sols tout un ensemble de relations plus ou moins étroites et interdépendantes entre position topographique, environnement pétrographique, contenu minéralogique, texture, teneur en carbonates et eau utile théorique pondérale. Il semble en particulier établi qu'une forte rétention d'eau utile dans des échantillons tamisés ne puisse intervenir que si se conjuguent une nette prédominance de la fraction "silt" sur les deux autres fractions et un fort pourcentage de limons fins carbonatés au sein de la première.

Ensuite il importe de souligner l'alignement sur presque tous les graphiques pF/humidité des trois valeurs de l'humidité aux pF 4.2, 3.0 et 2.5 ainsi que l'amplitude réduite des variations de EUp autour d'une valeur moyenne proche de 10% pour la grande majorité des échantillons provenant de sols non hydromorphes. Sur un plan pratique cela signifie que pour des plantes dont le système racinaire n'exploire que les seuls horizons perturbés de ces derniers sols, là où ne risquent donc pas de survenir des limitations de rétention liées à un excès de compacité, les doses d'irrigation et les périodicités d'arrosage pourront être identiques, à conditions microclimatiques sensiblement équivalentes ; par contre les sols hydromorphes limono-calcaires pourront supporter, sans dommage pour les plantes, des fréquences d'irrigation plus laches.

La prise en considération des densités apparentes déterminées in situ et des résultats obtenus sur échantillons non perturbés doit toutefois nous inciter à nuancer l'interprétation de ces données de laboratoire. La compacité peut effectivement limiter dans une large mesure les réserves disponibles et sans doute le développement racinaire ; mais il a pu être montré qu'elle n'accroissait aucunement les forces de liaison sol/eau et par conséquent ne contrariait en aucune façon les possibilités d'extraction.

Mais là encore l'isolement d'une portion de sol de son environnement naturel limite la portée de ces conclusions partielles. A vrai dire la seule détermination valable de la réserve utile ne peut être effectuée que si l'on parvient à saisir in situ le changement de rythme de la vitesse de ressuyage d'un sol préalablement saturé. Pour suivre cette cinétique de désorption, une expérimentation faisant intervenir un appareillage "non perturbateur" s'avère indispensable ; aussi est-ce dans cette direction que nous comptons développer nos travaux ultérieurs.

=====

Bibliographie

- (1) Litani River Project - 1952 - Reconnaissance Soil and Land Classification - carte au 1/100.000
- (2) Groupe Français du Litani - 1956 - Aménagement du Litani - Carte pédologique au 1/20.000
- (3) GEZE (B) - 1956 - Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols du Liban au 1/200.000
- (4) LAMOUREUX (M) - OSMAN (A) - 1963 - Périmètre du Yahfoufa - Carte des sols au 1/25.000
- (5) MAHLER (P) - KHAZAKHA (K) - 1966 - Ressources en sols de la région de Talia - carte au 1/50.000
- (6) KHAZAKHA (K) - 1967 - Ressources en sols de la région de Yammouneh - carte au 1/50.000
- (7) FAO/Leb. 10 - 1968 - Rapport final - Pédologie - carte des ressources en sols au 1/20.000 - Feuille Ghazzé - Joub Jannine
- (8) IRAL - 1970 - Inventaire des ressources en sols - Région Chtaura - Ammig - carte d'irrigabilité au 1/20.000
- (9) ABROL (I.P.) et al - 1968 - Relationship of texture to some important soil moisture constants - Geoderma, 2, pp.33-39
- (10) CHANG (R.K.) - 1968 - Component Potentials and Hysteresis in water retention by compacted clay soil aggregates - Soil Sc. vol. 105, 3.
- (11) HALLAIRE (M) et BALDY (C) - 1963 - Potentiel matriciel de l'eau dans le sol et tension superficielle de l'eau Ann. agron., 14 (4), 381 - 391
- (12) LAMOUREUX (M) - 1971 - Etude de sols formés sur roches carbonatées - Pédogenèse fersiallitique au Liban - Mém. ORSTOM n° 56
- (13) MASSOUD (F.I) - 1972 - Some Physical properties of highly calcareous soils and the related management practices - Regional Seminar FAO - Cairo -
- (14) MONNIER (G) - 1965 - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols - Ann. agron. 4 et 5
- (15) OSMAN (A) - 1971 - Contribution à l'étude des sols du Liban nord - thèse - Gand
- (16) SALTER (P.J), BERRY (G) et WILLIAMS (J.B) - 1966 - The influence of texture on the moisture characteristics of soils - III Quantitative relationships between particle size, composition and available water capacity - J. soil. sci. 17, 93-98
- (17) SAYEGH (A.H.), KHATIB (A), SHERMAN (D) - 1971 - The application of soil mineralogy to the management of soil fertility in Lebanon - A.V.B./IRAL - Annual Report.
- (18) WILLAIME (P) - 1967 - Note préliminaire sur les propriétés physiques des sols de la Bekaa moyenne et Sud - IRAL/ORSTOM, Tel Amara, 33p, multigr.
- (19) WILLAIME (P), OSMAN (A), GRAS (F) - 1971 - Etude comparée des propriétés hydriques et des caractéristiques hydrodynamiques de trois familles de sols du Liban Nord - Magon - série technique n°14.
- (20) WILLAIME (P), 1972 - Influence de divers modes de remaniement sur les relations pF/humidités dans un sol vertique - IRAL ORSTOM, Tel Amara, 10p, multigr.
- (21) WILLAIME (P), 1968 - Premiers résultats d'une étude d'évolution structurale entreprise au Liban - IRAL/ORSTOM, Tel Amara, 18 p, multigr.
- (22) VINK (N), ABOUKHALED (A), SARRAF (S) - 1969 - Evapotranspiration and yield of corn in the central Bekaa of Lebanon with reference to the effect of advection - Magon - Série scientifique n°29.

ANNEXES
=====

1 - Méthodes analytiques.

- + granulométrie : Dispersion à l'aide du pyrophosphate de sodium.
Agitation mécanique (2 heures) - Prélèvement des fractions fines (< 20 μ) avec la pipette ROBINSON - Tamisage des fractions plus grossières.
- + carbonates totaux: Calcimètre BERNARD
- + calcaire actif : Méthode DROUINEAU modifiée par GALET (oxalate NH₄)
- + carbone organique: Méthode WALKLEY et BLACK (à froid)
- + capacité d'échange cationique :
Saturation en ions NH₄ (Cl NH₄) - Elimination de NH₄ en excès par lavage à l'alcool. - Déplacement du NH₄ fixé par une solution N de ClK - Distillation de NH₄
- + humidités aux différents pF :
Saturation des échantillons durant 24 heures -
Maintien de la pression correspondant au pF désiré durant 48 heures.
Appareils : Presse à membrane pour pF 4.2
Plaques de porcelaine poreuse pour pF 3.0 et 2.5
- + humidité équivalente :
Saturation des échantillons dans des boîtes pour centrifugeuse durant 24 heures -
Egouttage 5 minutes -
Centrifugation à 2.400 t/min. durant 30 minutes.
- + densité apparente: Mesurée in situ à l'aide du densitomètre à membrane.
- + indice d'instabilité structurale (Is) :
Cet indice est égal à :
$$\frac{(a + 1) \text{ max.}}{3(Ag_a + Ag_b + Ag_e)} = 0,9 Sg$$

Ag_a , Ag_b , Ag_e représentent les taux d'agrégats stables à l'eau après prétraitement à l'alcool (Ag_a), au benzène (Ag_b) ou sans prétraitement (Ag_e).
(a + 1) max correspond à la quantité maximale d'éléments fins dispersés obtenue après l'un de ces trois prétraitements.
sg correspond à la teneur en sables grossiers.

2 - Résultats d'analyse

N.B. - Les profils ont été regroupés par ensemble géomorphologique et par affinités pédogénétiques - Leur localisation approximative est mentionnée entre parenthèses.

Classement des divers profils :I - Piedmonts et glacis à drainage externe correct.

I1 - Sols rouges (2.5 YR), non calcaires

I1.1 : relativement riches en kaolinite (T/a 40meq%)
Profils : 21 - 38 - 39 (Rayak)

I1.2 : relativement riches en argiles 2:1 (T/a > 40meq%).
Profils : 66 (Tell Znoub) ; 68 (Joub Jannine) ; 69-70 (Gabb Elias) ; 24-25 (Anjar) ; 33 (Kfar Zabad) ; 52 (Talia) ; 43-44 (Kfardane) 54 (Iaate) ; 55 (Deir El Ahmar).

I2 - Sols brun-rouges (5YR) et bruns, plus ou moins calcaires (<40%)

I2.1 : Sols brun-rouges (Bekaa nord et centre)
Profils : 41 (Saraaïn) ; 57 (Knaïssé) ; 59 (Chaate) ; 60-61 (Ha bata) ; 63-64 (Laboué)

I2.2 : Sols bruns (Bekaa sud)
Profils : 71, 72, 73, 74 (Chtaura) ; 75, 76, 77 (Gabb-Elias)

II - Bas glacis et terrasses moyennes à drainage externe ralenti.

II.1 - Sols brun-rouges à bruns, plus ou moins calcaires (<40%)

II1.1: non vertiques

Profils : 67 (Tell Znoub) ; 78, 79, 80, 85, 86, 87, 88, 89 (Gabb Elias) ; 11, 12, 13, 81, 82, 83, 84 (Chtaura) ; 30 (Barr Elias) ; 58, 62, 15, 29 (Zahlé) ; 28, 65 (Tell Amara) 53 (Talia) ; 49- 51 (Majdaloun) ; 46, 47, 48 (Haouch Barrada) 45 (Iaat) ; 5 - 6 (Hermel).

II1.2: vertiques

Profils : 19-20 (Ghazzé) ; 32 (Kfar Zabad) ; 14-18 (Bar - Elias) ; 40 (Terbol) ; 22-23 (Rayak) ; 27 (Zahlé).

II.2 - Sols bruns très calcaires (> 40%)

II2.1: A profil calcaire peu différencié

Profils : 100 (Chtaura) ; 26 (Zahlé) ; 50 (Majdaloun)

II2.2: Sierozem à encroûtement

Profils : 2, 3, 4, 7, 8, 9 (El Kaa)

III - Basses terrasses et alluvions récentes, à mauvais drainage externe.

Sols gris brun à gris hydromorphes souvent complexes dans le premier mètre.

III.1: Vertisols ou sols vertiques dans la partie supérieure du profil.

Profils : 93, 95, 96, 97 (Aammig) ; 90, 91, 92, 31 (El Marj) 16 (Barr Elias)

III.2: Sols limono-calcaires dans la partie supérieure du profil

Profils : 94, 98, 99 (Aammig) ; 17, 34, 35, 36, 37, 42 (Barr Elias).

Ech.	Prof.	Granulométrie					N.O C%	CO3 %	CFC meq/l	Humidités		PF 2,5	ME	d.a	Is
		a	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0				
<u>Sols</u>		<u>Il.1</u>													
21.1	0.20	36.9	4.1	3.6	24.5	31.3	7.4	0	9.2	9.6	14.2	15.5	16.1	2.4	
2	30.50	60.1	1.0	3.1	15.5	18.3	3.2	0	13.6	16.8	20.3	23.8	24.6	2.9	
38.1	0.7	38.8	12.1	6.1	18.3	22.8	14.2	0		13.4	18.4	22.0	20.0	1.3	
2	10.20	47.4	9.5	6.7	14.6	20.1	14.6	0		14.7	20.0	22.9	20.6	1.6	
3	30.40	43.4	12.1	6.8	16.8	20.8	10.3	0		13.7	17.8	20.7	19.9	1.5	
4	50.60	38.8	6.5	7.2	19.2	28.0	4.7	0		10.4	13.2	16.5	16.4	2.3	
5	80.90	29.8	5.0	3.6	22.5	38.0	2.4	0		8.0	11.9	12.9	13.1	2.7	
6	120.130	53.5	9.0	4.7	12.6	18.8	-	0		16.1	20.0	23.5	22.5	2.4	
39.1	0.10	27.2	5.5	4.0	27.6	34.5	11.1	0		8.2	12.3	14.7	14.8	2.0	
2	15.25	27.2	3.0	3.6	24.1	39.1	6.7	0		7.8	12.1	13.7	14.1	3.4	
3	30.40	62.6	2.5	3.1	12.2	18.3	5.1	0		17.3	22.8	25.2	24.7	2.5	
4	60.70	58.0	7.0	3.5	12.8	18.3	2.0	0		17.5	23.1	26.6	25.4	3.3	
5	110.120	57.9	7.5	3.5	14.2	18.8	2.0	0		17.4	22.8	26.6	25.7	4.0	
<u>Sols</u>		<u>Il.2</u>													
66.1	0.15	51.0	21.5	7.8	10.4	8.0		0	36.8	19.8	24.4	29.1	30.3		
2	30.50	53.5	19.5	6.9	10.9	7.8		0	35.8	21.5	27.9	32.3	33.1		
68.1	0.10	34.8	13.9	14.3	17.0	19.8	5.6	0	29.2	9.2			18.0		
2	15.30	39.1	12.1	13.9	16.8	19.0	5.6	0	30.1	10.8			19.7		
3	40.60	62.0	6.0	8.5	9.0	10.1	4.6	0	29.3	18.7			28.1		
4	80.90	59.2	8.2	9.6	9.8	14.0	2.7	0	26.0	17.8			27.8		
69.1	0.15	53.0	23.0	11.5	5.1	4.9		5.5		19.9	28.8	32.5	30.5		
2	30.40	56.0	25.0	11.3	3.6	1.1		0		20.3	29.4	33.1	32.8		
3	70.90	58.0	24.5	11.5	3.7	1.6		0		21.0	29.4	33.2	32.5		
70.1	0.10	50.5	21.5	12.8	11.4	4.3	13.5	0	27.8	17.7	25.6	30.1	30.2	1.47	
2	30.40	48.0	19.5	12.9	12.3	6.6	10.8	0	26.6	17.1	22.6	26.1	26.7		
3	50.70	48.5	20.5	12.6	12.3	5.6	10.8	0	28.8	17.4	22.5	25.7	26.7		
4	85.10	42.0	15.0	12.8	18.9	10.7	6.7	4.5	21.2	15.3	20.7	24.0	24.8		
24.1	0.15	67.1	17.1	11.3	3.3	3.2	7.0	0	32.8	21.0	28.9	34.4	30.4	2.8	
2	15.30	64.1	20.1	11.0	2.1	5.4	5.9	0	33.0	21.2	29.4	33.8	30.5	2.3	
3	60.80	64.7	18.7	10.9	2.1	5.7	5.8	0	33.8	21.9	30.2	35.0	31.9	1.6	
25.1	0.15	62.6	22.2	11.8	2.2	3.9	9.8	0	34.8	22.3	32.5	37.4	33.7	4.2	
2	40.50	65.2	19.7	11.2	3.2	2.8	6.3	0	35.0	22.1	32.5	37.1	32.8	1.4	
33.1	0.10	66.6	20.2	9.5	2.5	1.2	5.7	0	41.0	21.0	30.4	35.8	32.0	2.7	
2	30.40	68.1	19.1	9.5	2.4	1.1	7.7	0	38.2	21.0	30.3	36.4	31.1	2.7	
3	70.90	67.6	18.6	9.4	2.4	2.0	4.7	0	38.0	22.0	31.4	37.3	31.2	1.9	
52.1	0.15	63.5	18.5	9.1	4.0	2.4	7.2	0	31.2	19.3	26.4	31.5	30.0	1.08	
2	40.60	67.5	15.5	8.2	3.4	2.1	6.0	0	30.8	21.4	28.7	32.6	31.1	1.24	
43.1	0.10	66.6	20.2	8.2	2.0	1.4		0		21.3	26.9	30.9	29.6	2.7	
2	10.28	74.2	12.6	8.1	1.8	1.7		0		22.0	28.3	32.5	31.2	3.0	
3	60.80	76.1	14.1	7.4	1.9	1.4		0		24.5	31.9	36.2	34.6	2.8	
44.1	0.10	68.1	18.1	9.4	1.8	1.2	4.2	0	32.2	21.0	27.6	30.5	29.0	1.07	
2	40.50	69.1	18.1	9.2	1.6	1.0	4.2	0	34.0	22.5	30.0	33.9	30.0	1.54	
3	80.90	69.3	17.6	9.6	1.7	0.7	3.8	1.0	-	25.4	32.8	37.1	33.4	1.43	
54.1	0.15	59.5	20.5	9.9	2.9	3.7	6.4	2.0	44.4	21.6	31.	35.3	33.2	1.09	
2	30.50	60.0	20.5	10.2	2.7	3.4	5.9	2.5	44.0	24.2	32.7	36.3	33.1	1.6	
55.1	0.15	57.0	22.5	11.3	4.3	3.2	5.9	1.0	30.6	19.1	25.7	28.8	27.4	1.25	
2	40.50	57.0	19.0	11.7	4.8	4.6	4.4	3.5	28.8	19.4	26.7	29.6	28.9	1.21	
3	80.90	54.0	23.5	11.9	4.9	4.9	3.0	10.0	26.6	19.9	26.8	31.0	29.1	1.36	

Ech.	Prof.	Granulométrie					M.O C%	CO3 %	CFC meq/l	Humidités		rF 2,5	RE	d.a	Is
		a	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0				
<u>Sols I2.1</u>															
41.1	0.15	55.5	11.1	12.1	12.7	6.0	5.4	0	40.2	19.6	27.7	31.9		1.20	3.7
2	35.50	56.0	10.1	11.9	12.6	5.8	5.4	0	40.0	21.8	29.5	33.5			1.4
3	60.80	53.5	12.1	10.8	12.9	6.9	5.0	2.0	34.8	20.2	30.4	34.3		1.38	1.3
4	112.13	44.9	20.7	12.7	12.1	7.8	3.2	-	23.2	17.6	27.2	31.6			1.8
57.1	0.15	47.0	30.0	11.7	4.9	5.1	5.9	8.0	37.2	18.3	26.8	31.8	29.0	1.02	5.2
2	40.50	60.5	22.5	9.1	3.8	3.8	5.4	5.5	32.2	21.7	29.2	33.4	31.5	1.31	2.4
3	70.80	53.0	25.0	11.6	5.0	6.1	4.9	2.5	26.8	21.0	29.2	33.7	32.1		2.9
59.1	0.10	54.5	27.5	13.3	3.3	2.6	7.9	6.0	38.7	19.7	26.6	31.2	31.1	1.15	3.2
2	50.60	56.5	23.0	13.2	2.8	2.6	7.9	5.5	37.0	21.8	29.3	33.6	31.3	1.59	1.7
3	70.90	55.5	24.0	12.0	3.2	5.3	5.4	12.5	34.0	23.2	30.0	34.4	33.6		1.9
60.1	0.20	38.5	27.5	16.4	6.8	9.4	12.8	12.5	32.0	15.2	23.5	27.3	26.9		2.8
61.1	0.20	44.0	28.0	15.0	5.9	6.2	12.3	2.0	33.4	18.2	26.2	31.1	30.3		4.3
2	30.50	52.0	19.0	12.3	6.3	8.6	5.1	3.5	33.6	19.0	25.7	30.7	29.6		2.8
63.1	0.10	38.0	25.0	16.2	9.9	9.2	6.3	25.5	26.0	15.2	21.1	25.1	24.6	1.14	1.1
2	40.50	43.5	26.0	16.8	7.6	3.5	5.9	21.0	28.6	19.1	25.6	29.7	28.0	1.31	1.3
3	90.10	46.0	26.5	17.0	6.1	1.6	1.7	15.5	26.8	19.4	26.7	31.5	29.7	1.45	2.1
64.1	5.15	36.0	28.5	18.9	9.0	5.6	9.9	25.0	24.4	15.4	21.5	26.4	25.5	1.14	2.7
2	40.50	36.5	28.5	18.2	9.4	6.9	5.5	26.0	23.8	15.3	21.9	27.4	25.1	1.40	2.6
3	80.10	39.0	29.0	17.5	8.0	6.3	4.3	21.5	25.6	15.2	22.3	27.5	25.9		2.1
<u>Sols I2.2</u>															
71.1	0.10	42.0	10.5	10.0	21.3	14.4	13.7	12.5	23.8	14.2	20.1	25.3	24.5	1.10	
2	40.50	40.0	11.0	10.1	20.6	17.9	8.6	14.0	19.8	14.4	19.1	22.8	22.6		
3	80.90	36.0	16.0	11.6	18.9	16.4	7.4	27.0	17.2	12.9	19.2	23.7	21.6		
72.1	0.15	38.5	6.5	8.9	25.2	18.9	10.5	0	20.4	12.9	19.3	24.5	23.2	1.09	
2	15.35	35.5	8.5	7.7	25.4	22.9	7.8	0	18.0	10.9	16.0	20.4	20.0		
3	50.75	29.5	3.5	9.4	33.3	22.5	6.2	0	15.2	8.9	13.5	16.0	16.5		
4	85.10	39.5	7.0	8.4	21.8	21.6	5.8	0	20.0	14.0	19.2	22.4	21.6		
73.1	0.15	33.0	17.0	9.8	23.6	14.9	9.8	10.6	23.0	12.2	18.9	24.7	25.3		
2	20.40	33.6	18.0	10.4	25.1	11.8	7.0	13.0	20.6	14.0	21.1	27.4	25.7		
3	40.60	34.5	11.0	10.8	22.7	20.1	5.1	6.15	20.0	14.2	19.8	25.4	23.5		
4	70.90	25.5	11.5	4.0	14.4	43.8	4.7	20.0	13.2	10.9	16.3	20.1	21.3		
74.1	0.15	28.0	18.5	10.2	24.8	16.7	10.5	25.5	16.8	10.2	16.5	21.7	19.0		
2	15.35	27.5	20.5	10.0	24.7	15.5	10.2	27.9	16.4	11.0	18.1	24.2	23.2		
3	60.70	27.5	20.5	11.2	22.8	16.8	7.0	30.9	14.8	10.7	16.3	21.0	20.6		
75.1	0.15	19.5	8.5	8.4	37.6	25.7	16.5	15.0	14.2	8.8	13.8	16.7	17.0		
2	25.40	20.0	9.0	8.7	37.0	25.0	9.6	15.5	13.2	9.4	13.9	16.7	16.9		
3	50.70	20.0	9.0	8.2	33.9	28.1	6.5	22.5	9.6	8.0	12.9	19.9	15.4		
4	80.90	17.5	9.0	7.6	37.4	28.0	3.5	19.5	8.6	7.8	12.3	14.8	15.3		
76.1	0.15	20.0	13.0	13.8	38.5	14.5	13.0	22.5	12.1	8.3	13.8	18.6	18.9	0.97	
2	45.60	24.5	15.0	14.7	32.2	13.1	8.2	22.5	12.6	10.2	17.0	21.2	20.2	1.70	
3	10.11	33.0	10.0	12.3	28.5	13.1	6.2	14.5	18.2	11.9	18.6	23.3	22.3		
77.1	0.15	29.5	8.0	11.3	33.9	15.0		2.0		9.7	15.3	18.5	19.5		
2	30.40	37.0	6.5	10.0	31.6	14.7		1.5		12.2	17.9	21.5	20.5		
3	70.90	40.0	8.0	9.4	26.2	15.5		2.5		13.5	20.2	23.9	24.1		

Ech.	Prof.	Granulométrie					M.O C%	CO3 %	CEC meq/g	Humidités			d.a	Is
		n	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0	2,5		
Sols	III.1													
67.1	0.15	30.5	17.0	12.8	21.5	17.3			13.9	18.2	23.2	21.6		
2	50.60	30.5	15.5	13.5	23.1	16.6			11.7	17.0	21.5	19.8		
87.1	0.15	58.0	19.5	7.5	3.9	7.6	15.0	4.5	42.0	21.2	27.2	32.6	31.3	1.23
2	40.60	60.0	16.5	6.7	3.3	8.5	11.1	5.0	43.4	21.9	27.8	31.5	31.2	1.25
3	90.10 ^o	55.5	22.0	8.1	3.1	9.5	7.1	9.0	36.2	20.3	26.6	31.5	29.2	
88.1	0.15	48.5	17.5	9.9	14.0	9.1	12.6	7.0	33.6	16.3	24.7	29.6	27.6	1.33
2	40.50	44.0	17.5	19.3	16.9	11.1	11.8	10.5	29.8	17.2	22.8	27.3	25.8	1.57
89.1	0.15	41.5	25.0	21.6	7.9	2.6	8.2	0	23.6	15.5	20.2	28.4	25.2	
2	50.60	40.5	25.0	20.1	6.6	3.5	7.4	0	30.4	15.6	20.5	28.1	26.2	
3	70.80	52.0	21.5	16.2	6.1	4.1	3.5	0	-	18.6	23.5	28.6	27.5	
79.1	0.15	32.0	16.5	10.3	22.6	9.5	11.7	19.0	17.4	11.0	18.4	22.1	23.7	1.11
2	40.50	33.0	17.5	11.9	27.8	8.1	10.2	20.0	16.4	12.2	19.3	23.4	24.3	1.93
3	80.90	48.0	22.0	12.9	11.2	4.2	9.8	16.0	27.2	19.5	27.3	31.7	30.3	
85.1	0.15	58.0	31.0	4.6	2.0	1.1	11.7	28.0	32.8	21.7	28.4	32.9	31.6	
2	25.35	61.5	30.0	4.4	1.8	1.2	11.7	27.0	33.0	21.0	27.6	32.1	30.5	
3	45.55	62.0	29.5	4.3	1.8	1.1	9.4	27.5	33.4	19.4	28.0	32.2	29.7	
4	80.10 ^o	59.5	32.0	5.2	1.9	1.1	9.0	30.0	31.8	20.2	28.7	32.9	30.8	
86.1	0.15	45.0	25.0	10.3	11.9	5.4	14.4	25.0	30.0	17.6	23.9	27.6	28.5	0.98
2	20.35	46.0	23.5	11.2	12.7	4.7	10.9	25.5	30.0	18.7	25.8	31.8	29.3	1.34
3	60.70	47.5	23.5	11.3	11.4	4.8	8.6	22.5	31.4	19.1	26.1	30.7	30.9	
78.1	0.15	30.0	18.0	13.2	25.3	11.0	14.5	27.0	19.8	12.1	19.3	22.7	22.1	1.30
2	20.40	30.0	20.5	14.1	21.7	12.1	9.4	34.5	15.8	12.9	19.7	23.4	24.1	1.59
3	50.70	25.0	15.5	14.0	26.9	17.9	4.3	30.5	10.4	9.8	16.2	19.5	20.0	
80.1	0.15	44.0	21.5	11.6	10.6	8.2	18.8	28.5	25.8	18.2	25.2	31.0	28.8	
2	20.30	46.0	20.5	12.6	10.5	7.6	13.7	30.5	24.8	17.8	25.1	29.5	27.4	
3	50.65	51.5	15.5	11.7	8.9	11.3	10.9	22.0	26.6	20.1	27.7	31.9	30.2	
81.1	0.20	32.5	22.0	10.0	21.1	12.5	10.5	29.0	17.2	12.3	19.1	23.2	23.6	1.36
2	25.40	31.0	20.5	10.6	21.2	15.4	7.4	31.0	15.6	11.9	17.8	21.3	21.4	1.43
3	65.85	33.5	21.0	10.6	19.3	14.9	4.3	31.0	16.1	12.8	19.5	22.9	23.5	
82.1	0.15	32.0	17.0	10.9	23.4	16.8	9.4	18.0	22.8	12.0	17.9	22.8	22.0	1.28
2	30.40	30.5	17.5	10.9	23.3	16.3	9.8	20.0	23.8	12.3	18.1	23.2	21.0	1.43
3	50.60	36.5	21.0	13.1	19.4	8.0	6.7	19.5	21.8	15.1	20.1	25.4	24.5	
4	80.90	33.5	20.0	19.7	21.6	3.9	3.5	25.0	17.8	14.4	20.4	26.2	24.2	
11.1	0.20	36.4	21.2	11.6	20.9	12.1	12.4	16.5	22.0	13.5	20.2	24.9	21.5	0.9
2	20.35	37.9	20.7	11.5	20.6	10.1	11.4	14.5	23.6	13.7	20.6	25.7	23.7	1.0
3	40.60	35.9	20.2	13.1	21.0	10.4	7.1	16.0	20.8	13.1	19.7	25.1	22.7	1.4
12.1	0.15	32.9	17.2	11.9	24.2	14.2	10.6	15.5	17.8	11.7	18.5	23.7	21.2	2.7
2	15.30	31.8	16.2	12.1	24.9	14.3	10.3	17.5	17.4	11.2	18.2	23.3	21.4	1.9
3	50.70	32.9	20.2	13.2	21.9	12.4	5.5	21.0	16.8	12.6	18.6	23.3	21.1	1.4
13.1	0.15	31.3	21.2	12.0	23.1	14.1	9.1	20.0	17.4	12.8	20.0	25.3	23.0	1.8
2	20.40	31.8	17.7	9.9	23.2	19.4	10.9	14.0	20.2	12.0	19.2	23.2	21.2	1.4
3	60.80	20.7	12.6	9.5	27.2	32.3	5.3	18.0	11.8	8.1	13.1	16.1	16.4	1.7
83.1	0.15	39.0	28.5	12.2	14.3	4.3	9.8	31.0	25.8	14.9	22.4	29.1	24.9	
2	30.40	41.0	26.0	14.0	13.8	3.3	10.9	30.5	26.0	16.8	22.9	29.4	27.4	
3	70.80	43.5	29.0	8.1	10.3	7.6	8.6	31.0	26.0	17.9	23.7	31.4	29.4	
84.1	0.20	47.5	26.5	10.9	8.6	3.2	16.1	24.5	27.0	18.3	25.4	31.4	29.1	0.94
2	40.60	45.5	29.5	11.4	8.9	3.4	7.5	26.5	27.4	16.8	23.1	28.6	25.7	1.70
3	90.10 ^o	54.0	30.0	9.7	3.4	0.6	6.3	25.5	25.0	19.5	26.1	31.7	29.5	

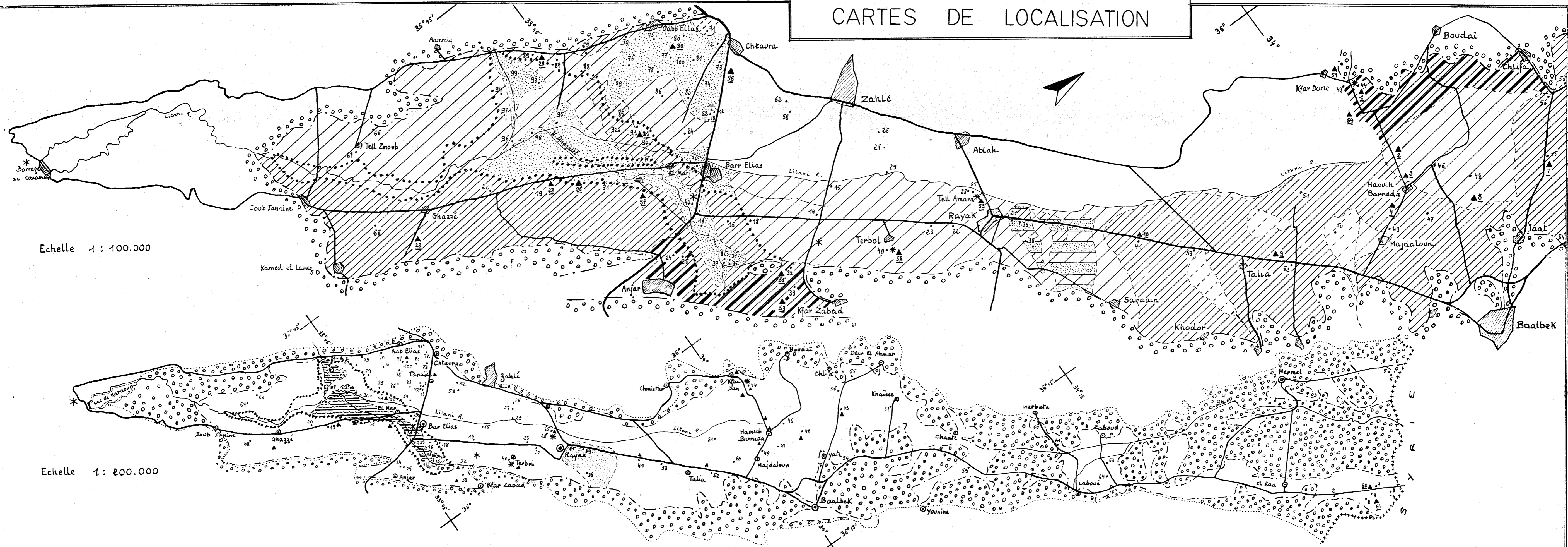
Ech.	Prof.	Granulométries					N.O C%	CO3 %	CTC meq%	Humidités			RR	d.a	Is
		a	lf	lg	sf	sr				4,2	3,0	2,5			
<u>Sols III.1</u>															
58.1	0.15	56.0	19.0	11.4	6.8	5.0	11.6	4.5		21.4	28.2	34.2	32.1		
2	30.45	57.0	18.5	11.3	6.6	4.2	8.9	4.5		22.2	30.2	37.8	35.3		
3	65.80	53.0	16.0	12.0	8.1	7.3	6.6	15.0		23.0	30.7	36.8	35.5		
4	99.10°	39.0	21.0	11.3	7.3	19.5	2.7	38.5		16.0	23.3	29.0	27.8		
62.1	0.15	55.0	22.0	10.8	6.6	4.3	11.2	14.5		20.9	28.9	35.8	31.0		
2	30.50	54.5	24.5	10.2	5.5	3.2	8.1	19.0		22.3	29.2	36.2	33.2		
3	70.90	52.5	24.5	10.6	6.7	4.2	7.3	19.0		22.0	30.3	37.9	35.2		
4	12°13'	46.5	21.5	14.5	7.8	8.3	0.8	24.5		18.4	26.3	33.6	28.2		
28.1	0.20	47.0	14.0	7.8	16.6	12.8	9.5	7.5	29.2	17.2	23.5	27.5	28.4		2.2
2	40.60	46.0	12.5	9.6	17.4	13.2	7.5	5.0	29.6	16.8	22.4	27.0	26.1		1.7
3	80.10°	41.0	10.5	8.7	20.8	18.3	4.3	0.5	24.6	15.1	19.9	25.1	23.0		1.0
65.1	0.20	49.0	8.0	7.9	21.1	12.7				16.5	22.2	25.6	25.0		2.0
2	50.70	49.5	11.0	8.0	21.7	10.9				18.1	24.3	27.6	26.8		2.8
3	12°14'	40.0	17.5	10.5	24.7	7.9				15.5	22.7	25.9	25.7		2.2
53.1	0.10	55.0	23.5	11.9	5.3	2.8	7.2	3.5	26.0	19.2	26.4	31.8	30.0	1.02	4.0
2	35.45	54.0	21.0	12.8	5.7	4.3	6.0	8.0	27.6	19.5	26.9	32.6	28.9	1.37	2.9
3	80.10°	53.5	22.5	12.3	5.0	5.4	4.5	12.5	20.6	19.9	27.2	32.0	29.1		2.5
46.1	0.15	45.5	26.0	15.3	6.1	7.4	6.3	26.0	33.2	18.3	26.4	33.3	30.1	1.30	2.7
2	15.30	43.5	27.0	16.5	6.0	7.5	5.4	26.0	33.6	18.1	26.2	32.2	30.3	1.42	3.4
47.1	0.10	60.0	22.0	11.3	3.2	3.1	7.6	11.0	37.6	23.7	31.8	37.8	36.2	1.00	7.1
2	40.50	62.5	18.5	11.5	3.1	2.6	4.8	10.5	44.0	26.6	35.5	41.2	37.8	1.40	1.4
48.1	0.10	50.5	28.5	13.5	4.0	2.8	6.3	29.5	32.8	20.1	26.6	31.5	30.7	1.05	2.4
2	40.50	52.5	26.0	12.1	3.8	3.8	5.4	29.5	31.8	21.5	28.5	33.2	31.0	1.21	1.3
51.1	0.10	51.0	26.0	10.9	4.3	5.0	10.0	29.5	25.0	20.8	27.8	32.5	30.9	0.94	1.6
2	30.40	56.0	23.5	9.2	3.5	4.9	6.3	32.0	-	20.6	30.3	35.3	32.2	1.26	1.0
56.1	0.15	56.5	24.5	8.8	3.4	2.9	6.4	14.5	46.6	23.2	31.6	35.8	33.6	1.01	1.1
2	40.50	56.0	25.0	8.7	3.2	5.9	5.4	15.0	46.2	24.7	32.3	36.0	34.1	1.25	0.9
3	60.70	57.0	25.5	9.0	3.0	2.7	5.4	17.0	42.0	26.0	33.4	37.6	35.2	-	0.8
45.1	0.15	69.1	16.6	8.5	3.1	3.3	3.8	2.5	44.0	24.2	31.5	36.9	35.5	1.04	3.8
2	40.50	69.1	13.6	8.4	3.3	3.8		3.0	43.4	24.6	33.0	38.2	35.8	1.28	2.2
49.1	0.15	61.0	20.0	11.8	3.5	2.0	7.3	4.0	36.4	24.4	32.9	38.7	35.5	1.09	4.4
2	40.50	62.0	17.0	12.1	3.8	2.8	4.2	5.0	37.2	26.8	33.0	40.1	35.9	1.35	1.8
3	80.90	62.0	17.5	11.8	3.8	3.0	3.0	8.5	35.4	26.2	32.9	39.1	35.8		2.0
30.1	0.10	34.3	31.3	15.4	17.6	3.9	9.8	37.0	24.0	13.9	23.4	28.9	24.7		1.6
2	30.45	33.3	28.2	13.7	20.5	6.1	7.8	36.0	22.2	12.8	21.3	25.9	22.4		1.5
3	45.65	23.2	20.2	15.4	32.3	9.6	4.3	39.5	15.4	9.3	18.0	22.7	19.6		1.8
5.1	0.20	28.5	32.5	19.3	11.5	6.1		7.5		14.8	23.4	26.7	25.1		1.6
2	30.50	40.0	32.0	13.0	5.4	6.1		14.5		15.4	21.2	24.9	24.3		2.7
3	70.90	42.5	29.0	13.2	6.5	6.0		22.0		15.3	21.3	25.7	24.4		2.5
6.1	0.15	28.5	28.5	18.8	11.8	10.2		9.5		13.3	20.9	25.4	24.2		6.7
2	20.30	35.0	33.0	14.4	7.6	7.2		10.5		15.3	23.2	28.4	25.0		4.0
3	35.45	34.5	34.0	15.9	8.4	5.4		12.0		15.1	22.7	27.5	25.2		3.7
15.1	0.15	36.3	25.2	16.4	17.0	5.1	11.7	34.0	23.1	14.0	22.8	29.2	25.1		2.5
2	20.40	35.8	23.2	16.1	17.5	4.6	7.4	36.0	23.2	14.0	21.7	27.0	23.4		1.0
3	60.80	54.0	23.7	12.9	8.5	2.6	6.2	35.0	29.0	15.3	23.3	29.8	26.0		1.0
29.1	0.15	25.2	14.1	16.7	36.3	5.8	11.7	38.0	13.0	10.5	18.1	23.2	20.6		1.1
2	40.60	21.7	16.2	15.3	35.9	8.5	7.4	42.0	12.4	9.4	16.6	21.2	19.6		1.8

Ech.	Prof.	Granulométries					M.O C%	CO3 %	CEC meq/l	Humidités pF			H	d.a	Is
		a	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0	2,5			
Sols III.2															
19.1	0.15	52.5	23.3	10.7	6.1	6.9	10.0	11.0	43.2	20.1	28.6	33.8	29.4		1.3
2	20.40	54.1	19.7	11.0	6.9	6.5	7.6	12.5	43.0	19.5	28.2	32.2	30.6		1.1
3	60.80	53.0	24.8	10.9	6.7	6.2	6.3	14.0	43.2	19.9	28.7	33.5	29.9		0.7
20.1	0.15	69.7	17.2	9.5	2.6	0.9	6.2	0	50.8	21.9	31.5	35.8	31.5		1.1
2	30.40	69.2	18.2	9.6	2.5	0.9	5.1	0	49.0	22.3	30.6	35.5	31.7		1.0
3	70.90	69.2	16.7	9.6	2.5	1.1	5.1	0	49.0	23.3	32.4	36.9	33.1		0.9
32.1	0.15	63.1	21.7	10.2	4.3	1.1	9.3	17.0	42.6	24.5	34.9	42.1	35.8		1.6
2	40.60	63.1	24.2	10.7	3.8	1.3	5.3	17.0	46.6	24.4	34.0	41.2	33.7		1.4
3	80.10	62.6	22.2	9.8	3.0	1.8	4.7	17.0	45.8	24.4	33.9	41.8	34.3		1.6
14.1	0.15	55.5	33.3	7.7	2.8	1.7	9.8	30.0	38.8	18.8	28.0	33.2	30.0		1.7
2	20.40	58.1	30.8	8.0	2.3	1.5	8.6	30.0	38.7	18.2	28.0	33.1	29.1		1.3
3	60.80	56.0	32.8	8.4	2.1	1.3	7.0	31.5	34.2	18.3	27.1	31.1	29.7		2.2
18.1	0.15	60.6	33.9	5.5	1.6	0.6	12.5	30.5		19.6	29.5	34.7	31.8		2.6
2	30.50	61.1	30.8	5.3	1.8	0.8	12.9	30.5	44.2	20.3	31.2	35.2	32.0		1.5
3	70.90	63.1	27.8	6.0	2.2	0.8	5.1	29.5		23.3	33.7	38.6	35.2		1.5
40.1	0.15	43.0	13.0	9.8	19.0	13.9	7.5	0	28.0	15.9	22.6	28.8	27.8	1.27	
2	30.40	46.5	14.0	10.8	17.5	12.0	4.7	0	28.8	17.4	22.6	29.0	28.8	1.63	
3	60.70	48.5	12.5	9.6	17.1	11.5	4.7	0	29.9	17.0	23.4	29.1	26.8	1.70	
22.1	0.20	50.0	16.2	11.6	13.3	7.0	12.0	13.0	27.8	15.4	23.2	28.4	25.2		3.3
2	35.50	48.5	16.2	12.2	13.7	6.1	8.2	16.0	28.2	15.3	22.0	27.3	24.5		1.0
3	55.75	48.5	18.2	13.5	13.4	7.0	5.8	20.0	26.6	15.2	22.8	26.3	25.1		1.3
23.1	0.20	48.5	14.6	9.0	17.7	12.1	8.6	0	29.2	15.2	23.1	27.8	26.7		2.6
2	40.60	47.5	15.2	8.7	16.0	13.6	7.2	0	27.8	15.4	22.9	27.3	24.2		1.6
3	70.90	50.0	11.1	8.8	16.1	14.5	5.3	0	25.8	15.4	22.9	26.6	24.7		1.6
27.1	0.15	52.0	29.3	9.8	4.4	3.3	9.8	30.0	42.0	21.6	29.7	37.8	32.8		0.8
2	15.35	53.0	28.8	5.8	4.5	3.0	9.7	30.5	38.2	22.7	30.3	39.1	33.6		0.9
3	60.80	52.5	28.8	8.3	4.4	3.9	7.9	32.0	38.4	22.3	29.4	36.5	32.2		0.8
Sols II2.1															
50.1	0.10	31.0	32.0	21.6	9.5	5.2	5.7	44.5	22.0	11.6	20.2	25.0	22.7	0.8	4.0
2	20.35	32.5	37.0	20.2	7.7	4.5	3.8	43.5	21.8	12.7	21.2	25.4	22.8		3.9
3	50.70	35.0	29.5	19.7	8.3	5.2	2.7	45.5		13.3	21.2	25.9	23.2	1.28	3.0
4	90.10	31.0	27.5	20.0	11.3	9.4	-	52.0	17.6	11.8	20.2	24.7	22.0		4.3
26.1	0.15	39.9	32.4	15.1	11.6	1.2	12.5	54.5	20.8	14.9	24.0	32.4	27.1		1.8
2	20.35	41.4	31.4	14.6	12.3	1.4	12.1	54.0	19.0	15.3	24.9	32.9	26.2		2.4
3	70.90	42.9	38.9	12.1	5.3	1.6	8.7	54.0	25.2	16.8	24.8	30.5	26.8		1.0
100.1	0.15	32.0	30.0	12.4	14.0	10.8	11.2	48.5	17.0	12.2	20.7	26.8	23.8	0.93	
2	40.50	21.5	22.5	12.2	16.6	18.3	7.7	49.0	13.2	10.5	16.8	20.5	20.0	1.53	
3	70.90	27.5	21.0	12.3	19.6	19.6	3.8	45.5	11.8	9.9	15.9	19.4	18.8		

Ech.	Prof.	Granulométries					M ₂₀ C%	CO ₃ %	CFC meq%	Humidités pF			EM	d/a	Is
		a	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0	2,5			
Sols II2.2															
2.1	0.10	13.1	15.6	20.8	37.3	11.5	4.7	54.0	10.8	7.3	14.5	16.9	15.6	1.30	1.8
2	10.20	20.2	17.6	17.0	31.5	11.1	4.7	55.0	14.0	9.5	16.9	19.4	18.6		1.2
3	40.60	31.8	35.3	15.9	12.3	0.9	1.8	67.0	5.8	10.4	18.5	21.3	21.0	1.42	1.2
4	80.90	27.7	31.3	25.5	14.0	0.3	1.1	68.0	6.0	9.5	17.9	23.7	20.7		4.4
3.1	0.10	30.8	22.7	17.6	21.7	6.3	7.6	52.0	14.4	11.5	19.9	23.8	22.7	1.25	1.4
2	50.60	43.4	31.3	16.6	7.8	1.5	2.3	52.0	15.6	14.7	22.3	26.1	24.1	1.46	0.8
4.1	0.10	26.7	24.2	17.8	23.0	7.2	5.7	53.5		11.3	20.0	22.9	21.4	1.22	1.7
2	40.50	43.9	33.8	14.9	8.8	1.0	3.8	53.5		15.0	24.3	28.1	26.7	1.25	1.6
3	10 ^o 11 ^o	38.8	36.8	17.7	7.2	0.8	1.5	49.0		15.7	24.5	28.5	27.0	1.36	1.0
7.1	0.15	16.5	16.0	18.5	34.4	13.6	5.9	30.0	14.6	8.2	14.5	17.8	18.0		
2	30.40	29.0	18.0	19.0	19.7	11.9	7.8	39.0	16.2	11.4	17.4	21.2	22.4		
3	40.55	19.5	12.0	11.3	21.9	33.2	3.0	81.0	13.2	10.9	18.1	20.9	20.5		
4	90.10	38.5	30.0	15.8	11.6	2.0	1.0	45.0	13.2	12.7	20.3	25.0	25.1		
5	12 ^o 14 ^o	33.0	34.0	19.6	14.0	1.0	0.8	45.0	12.8	13.3	22.0	27.5	27.0		
8.1	0.15	21.0	22.5	20.9	20.0	16.6	5.0	37.0	16.4				20.7		
2	30.50	37.0	25.5	17.0	12.1	8.2	2.3	47.0	12.4				22.2		
3	60.80	25.5	21.5	21.0	19.3	13.0	1.5	60.0	10.6				18.5		
4	80.10 ^o	19.5	27.5	28.0	19.4	5.9	1.1	62.0	9.2				19.5		
9.1	0.15	15.0	23.0	20.3	27.0	14.7	4.6	37.0	13.6				18.5		
2	20.30	22.5	23.0	20.3	23.5	11.1	2.3	38.0	13.2				19.8		
3	45.55	21.5	25.5	17.4	27.4	8.6	1.5	60.0	7.0				18.0		
4	80.10 ^o	28.0	33.0	20.1	14.9	4.0	1.0	37.0	16.0				22.8		
Sols III.1															
31.1	0.10	48.9	28.7	12.1	9.0	3.1	16.3	30.5	38.8	18.8	30.2	35.9	31.2		1.6
2	30.50	50.5	27.2	10.0	7.7	3.0	15.1	32.5	38.8	19.7	33.7	41.0	33.0		1.6
3	70.90	30.3	32.3	17.1	16.9	4.8	10.1	66.5	24.8	14.4	27.2	37.3	29.6		2.2
16.1	0.10	54.5	29.3	10.5	5.0	2.7	19.9	31.5	46.2	21.8	30.1	36.0	32.6		1.6
2	15.35	55.5	28.3	11.5	4.9	1.6	14.4	39.5	35.9	21.8	32.2	38.6	33.7		1.4
3	35.45	26.8	34.4	23.2	13.5	4.7	7.8	73.5		11.9	28.3	36.6	30.9		1.8
4	50.60	31.4	33.4	19.8	13.0	2.9	11.0	52.5		19.9	33.1	41.3	35.7		2.1
90.1	0.15	52.5	18.5	8.0	10.1	7.0	12.1	20.5		21.5			31.7		
2	30.50	50.0	26.0	8.1	8.7	5.4	8.2	32.0		18.3			27.7		
3	60.80	53.0	32.0	10.0	3.2	1.3	7.8	31.5		20.5			28.8		
4	90.11 ^o	73.5	18.0	2.1	2.7	1.1				39.1			52.0		
91.1	0.15	48.0	22.0	7.8	11.8	8.3	12.6	15.5	38.6	19.8	26.7	31.0	30.1		
2	40.50	46.5	19.0	7.4	12.9	12.2	9.4	18.5	32.4	18.3	22.4	25.3	25.4		
3	80.10 ^o	41.0	26.5	9.2	5.9	5.0	5.9	25.5	31.6	19.0	26.9	31.0	29.2		
92.1	0.15	69.0	21.0	5.3	2.7	0.8	13.3	8.0	59.0	27.4	35.4	40.1	39.2		
2	30.50	68.0	20.5	5.0	3.6	1.2	13.3	6.5	59.0	28.7	37.1	41.9	41.0		
3	60.80	66.5	14.0	6.0	8.7	4.9	10.2	4.5	55.0	28.8	36.7	41.9	41.0		
93.1	0.15	51.5	27.5	10.5	5.1	1.8	22.9	3.5	47.2	25.0	31.0	37.3	36.5	0.94	
2	25.40	48.5	27.5	13.2	5.3	2.0	21.7	40.0	46.0	24.6	32.5	39.3	36.1	1.40	
3	65.80	12.5	34.5	27.7	18.8	6.9	7.9	76.0	16.4	7.3	24.0	38.2	33.0		
4	11 ^o 12 ^o	25.5	35.5	21.8	11.0	4.9	9.1	70.5	24.6	11.4	25.2	36.2	32.9		
95.1	0.15	45.0	32.5	12.1	5.3	2.7	13.8	36.0	39.2	21.0	28.1	35.4	33.8	1.32	
2	35.45	43.0	34.0	12.6	5.1	3.3	11.3	39.0	38.2	21.7	27.4	33.9	33.3	1.59	
3	70.80	48.0	27.5	13.4	5.7	4.6	-	14.0	42.0	22.6	28.8	34.8	33.5		
4	90.10 ^o	53.0	17.5	12.6	6.6	8.8	-	32.5	47.8	27.3	31.1	36.4	36.1		
96.1	0.15	47.5	35.5	9.1	4.3	1.3	13.7	35.0	43.8	24.8	30.5	35.3	37.2		
2	40.50	50.0	35.0	10.4	3.1	0.8	14.1	35.0	44.2	23.8	29.3	34.0	37.6		
97.1	0.15	55.5	23.0	9.7	5.1	4.3	13.3	23.0		21.0	25.2	32.0	22.0		
2	40.50	56.5	21.0	9.2	4.5	6.6	9.4	21.5		23.9	28.5	35.4	33.1		
3	70.80	57.5	18.5	10.0	5.3	5.6	8.2	19.5		24.5	28.1	35.4	32.8		
4	85.10 ^o	45.5	22.5	13.7	9.2	8.7	7.0	28.0		19.5	22.9	29.9	26.5		

Ech.	Prof.	Granulométries					M.O C%o	CO3 %	CEC meq%	Humidités pF			HE	d.a	Is
		a	lf	lg	sf	sg				4,2	3,0	2,5			
Sols	III.2														
94.1	0.15	43.0	26.0	16.8	7.5	4.1	15.4	50.5	31.4	17.5	25.2	33.4	31.7	1.21	
2	50.60	39.0	27.5	18.7	10.1	2.2	15.0	60.5	27.2	18.3	26.3	33.2	32.5	1.25	
3	90.10 ^o	28.0	32.0	21.4	11.2	5.6	10.3	62.5	26.8	17.2	29.1	38.9	36.8		
98.1	0.15	35.5	34.0	15.9	9.4	3.3	11.3	52.5	30.2	16.7	24.0	29.4	32.1	0.81	
2	30.40	29.0	32.5	18.1	13.7	5.2	8.6	55.5	27.6	15.8	24.9	30.7	30.7	1.23	
3	60.70	41.5	20.5	13.1	12.6	11.5	4.7	26.0	34.2	20.5	25.4	29.0	30.1		
4	80.90	43.0	18.5	11.4	13.6	12.7	4.3	16.0	36.6	21.6	26.4	29.4	28.6		
99.1	0.15	38.5	33.5	12.0	6.4	2.2	41.1	64.0	31.0	24.4	35.4	41.7	40.2	0.79	
2	40.55	17.5	39.0	22.7	11.0	2.9	25.3	75.0	19.8	12.0	30.1	44.9	37.8	1.07	
3	60.70	18.5	40.5	19.3	13.9	6.0	10.3	75.0	17.2	4.5	32.4	42.9	41.0		
4	75.90	56.0	25.0	11.8	2.9	1.6	15.4	29.5	56.0	27.7	36.8	47.6	41.1		
17.1	0.15	28.8	40.9	18.0	10.8	4.0	29.2	65.0	22.6	13.0	27.9	34.4	29.6		3.7
2	15.35	29.8	38.4	19.4	10.8	4.3	30.4	68.5	21.8	13.0	28.7	35.2	31.4		3.4
3	50.65	27.8	34.9	17.1	19.0	4.4	15.2	83.5	16.8	7.5	36.4	41.6	36.8		
34.1	0.15	20.7	38.8	22.7	11.4	3.3	26.6	71.0	14.8	11.8	29.6	37.5	33.4	1.01	1.9
2	20.40	19.1	37.3	24.2	11.7	3.1	27.8	71.5	13.8	12.2	29.9	38.1	33.7		2.8
3	45.60	11.1	37.3	32.4	12.0	2.4	27.5	77.5	12.2	11.2	26.3	42.8	33.0	1.21	3.2
4	80.10 ^o	18.1	39.3	28.0	11.6	3.1	8.8	79.0	11.6	9.4	23.5	34.2	28.8		6.7
35.1	0.20	19.6	34.3	22.7	13.0	5.6	24.2	72.5	14.0	11.4	28.6	37.2	32.2	1.25	3.0
2	50.70	16.6	39.3	28.0	10.3	3.1	21.7	79.5	14.0	10.3	26.2	36.7	30.5	1.03	3.4
3	70.90	30.3	37.3	27.9	8.1	2.4	8.0	61.0	27.2	16.4	28.0	35.9	31.4		1.9
36.1	0.20	21.2	45.4	17.5	8.9	3.4	26.8	66.0	19.2	17.9	36.2	42.7	40.0	0.92	1.4
2	35.45	22.7	41.9	18.0	9.6	3.3	26.8	65.5	18.4	12.9	35.1	42.3	39.8		1.2
3	60.80	19.6	42.4	22.0	10.6	2.5	23.7	70.5	15.0	12.4	35.4	46.2	41.4	1.08	1.6
37.1	0.20	23.2	33.3	17.6	15.0	6.7	32.9	76.5	12.6	12.7	33.3	41.0	37.1	0.82	1.2
2	40.60	21.7	37.3	19.8	13.4	5.1	34.3	77.0	12.8	12.4	34.1	43.7	38.6	1.02	1.8
3	80.10 ^o	46.4	32.8	10.1	4.9	3.4	10.0	41.5	30.8	17.0	32.9	39.5	32.4		0.7
42.1	0.10	34.8	35.3	16.5	10.3	3.5	13.0	65.5	23.4	15.2	27.6	34.2	29.4	1.18	3.4
2	20.35	35.3	35.8	16.0	10.1	3.6	14.9	61.5	22.0	13.9	26.7	34.2	28.3		3.1
3	40.60	34.3	35.8	16.7	10.2	3.8	12.6	64.0	21.6	13.2	26.3	34.0	29.1	1.22	3.2

CARTES DE LOCALISATION



LEGENDES

① Générale ② Carte au 1:100.000 ③ Carte au 1:200.000

- ①
- ○ ○ ○ Limites approximatives des secteurs propices à une irrigation intensive
 - 21 Profils analysés
 - ▲ 27 Données minéralogiques
 - * Stations agronomiques de l'I.R.A.L.
 - * Autres stations

- ②
- TENEURS en ARGILE, généralement comprises entre (%):
- 25 et 35
 - ▨ 35 et 45
 - ▧ 45 et 55
 - ▩ 55 et 65
 - 65 et 75
 - ▬ Superposition dans le premier mètre de matériaux à textures très différentes
 - limite d'extension des sols hydromorphes, noirs, gris ou gris brun, d'origine alluviale.

- ③
- EAU UTILE PONDERALE (Eup), généralement comprise entre (%):
- 6 et 8
 - 8 et 12
 - ▨ 12 et 30
 - Limite de la Bekaa