

**Influence de la PIERROSITÉ  
sur le DOMAINE D'EAU UTILE  
des SOLS CALCIMAGNÉSIQUES  
de la région de LEBAA (S-W LIBAN)**

---

**1975**

**P. WILLAIME et P. BILLAUX**

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
(O.R.S.T.O.M.)

INSTITUT DE RECHERCHES  
AGRONOMIQUES DU LIBAN  
(I.R.A.L.)

INFLUENCE DE LA PIERROSITE SUR LE  
DOMAINE D'EAU UTILE DES SOLS  
CALCIMAGNESIQUES DE LA REGION DE  
LEBAA (S.W. LIBAN)

P. WILLAIME  
P. BILLAUX

1975

INFLUENCE DE LA PIERROSITE SUR LE DOMAINE D'EAU UTILE  
DES SOLS CALCIMAGNESIQUES DE LA REGION DE LEBAA (S.W LIBAN)

---

Sommaire

I. Objet de l'étude.

II. Méthodes utilisées.

- II.1 - Densité apparente
- II.2 - Taux et spectre de pierrosité
- II.3 - Capacité au champ
- II.4 - Porosité des cailloux
- II.5 - Rétention d'eau des éléments caillouteux

III. Résultats et Discussion

- III.1 - Caractéristiques physico-hydrigue de la terre fine des horizons testés.
- III.2 - Caractéristiques des éléments grossiers
  - 1 - Importance relative et taille
  - 2 - Densité apparente et porosité
  - 3 - Nature - composition chimique
  - 4 - Pouvoir de rétention
- III.3 - Estimation du domaine d'Eau Utile des horizons caillouteux
  - 1 - Signification des symboles utilisés
  - 2 - Méthode de calcul
  - 3 - Limites d'application des formules
  - 4 - Application aux sols calcimagnésiques de Lebaa
- III.4 - Contribution des éléments grossiers dans le stockage de l'Eau Utile.
  - 1 - Cas des sols calcimagnésiques de Lebaa
  - 2 - Essai d'extrapolation aux autres sols caillouteux du Liban.

IV - Conclusion.

INFLUENCE DE LA PIERROSITE SUR LE DOMAINE D'EAU UTILE  
DES SOLS CALCIMAGNESIQUES DE LA REGION DE LEBAA (S.W LIBAN)

I - Objet et limite de l'étude

Cette étude a été entreprise dans le triple but tout d'abord de chiffrer les valeurs des taux de pierrosité dans les profils de sols calcimagnésiques cultivés de façon intensive, ensuite de mieux circonscrire le rôle que les éléments grossiers peuvent jouer dans le stockage de l'eau et, éventuellement, dans l'alimentation hydrique des plantes, enfin de confirmer certains résultats précédents (1) relatifs au domaine d'Eau Utile théorique de matériaux très calcaires.

Les résultats exposés dans cette présente étude ne concernent que les seuls horizons travaillés qui se développent sur des épaisseurs généralement comprises entre 20 et 30 cm. Plusieurs raisons nous ont incité à conférer de telles limites spatiales à ces premiers travaux.

Des recherches antérieures menées en particulier par R. GRAS et G. MONNIER (2) (3) ont, en effet, montré que la désorption de l'eau emmagasinée dans un caillou dépendait très étroitement des caractéristiques du couple caillou/matériau d'enrobage. Pour que l'eau stockée dans un élément grossier puisse être transmise à la terre fine environnante et par la suite, éventuellement, absorbée par la plante, il est nécessaire que s'exerce sur l'élément grossier une pression de succion minimale qui sera d'autant plus élevée que le matériau d'enrobage sera plus grossier. Cette pression de succion étant également fonction du taux d'humidité, elle n'interviendra de façon efficace que dans les horizons soumis périodiquement à une dessiccation relativement poussée. On conçoit alors très bien que dans les sols intensivement irrigués, où le déclenchement des arrosages a lieu dès que la tension à 30 cm atteint 70 cb voire même 50 cb pour certaines cultures (4), les cailloux piégés dans les horizons profonds (>40 cm) où le taux d'humidité reste toujours voisin du point de rétention, puissent être considérés comme un "lest inerte du point de vue hydrique".

.../...

Par ailleurs sur un plan méthodologique, l'action périodique des façons culturales qui estompe de façon très sensible l'anisotropie naturelle des horizons de surface permet d'accorder aux tests et mesures menés sur ces horizons un degré de représentativité incomparablement supérieur à celui auquel pourraient prétendre les mesures relatives aux horizons sous jacents.

Enfin, d'un point de vue agronomique, ces horizons de surface jouent un rôle prépondérant parfois même exclusif dans l'alimentation hydrique et minérale de certaines plantes annuelles.

Les diverses observations et mesures de terrain ont été effectuées à la station de Lebbaa ainsi que dans deux plantations d'agrumes qui jouxtent la station au N.W et au Sud (cf plan de localisation).

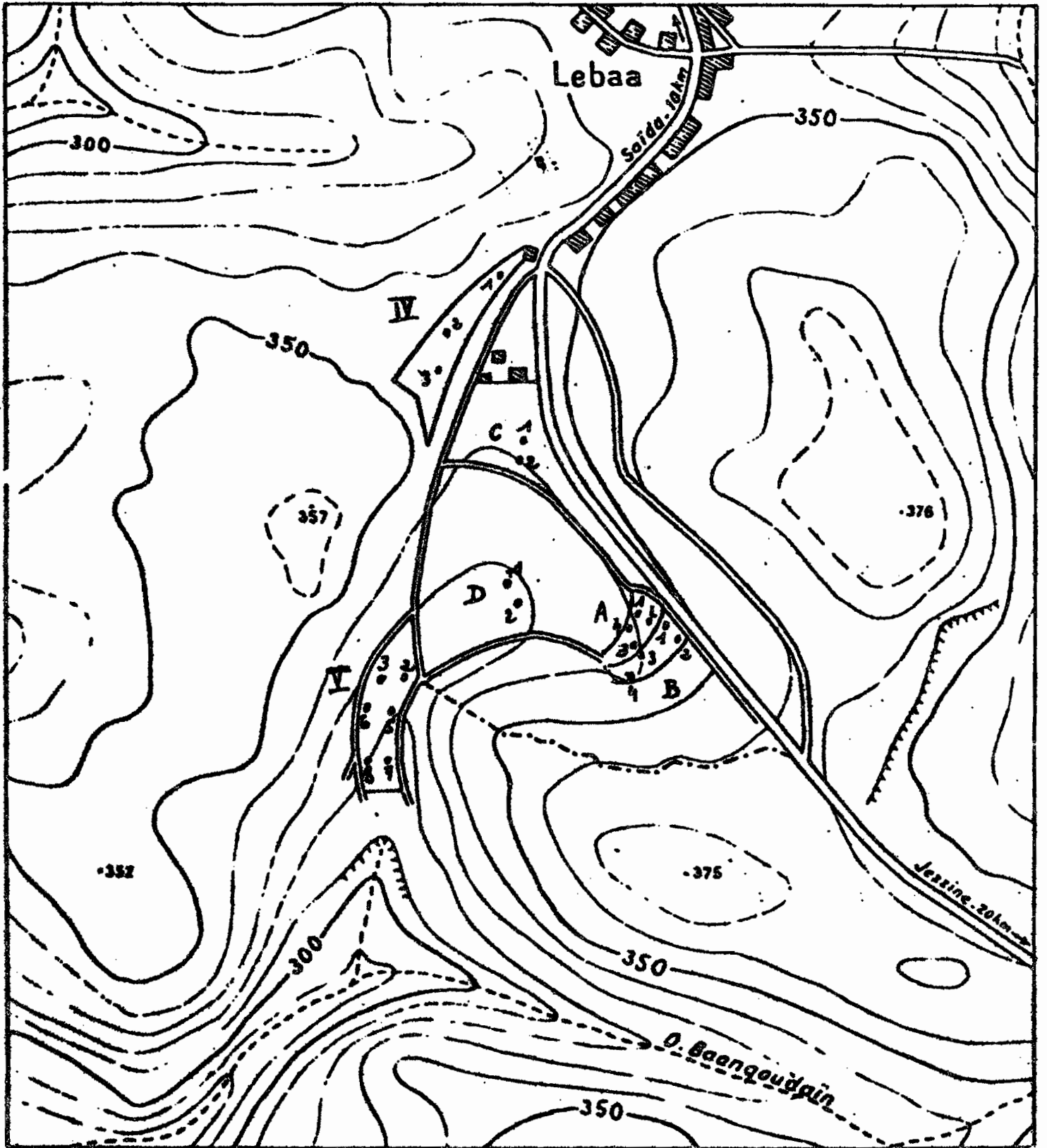
Les tests et analyses de laboratoire ont été pris en charge en partie par le département d'écophysiologie de la Faculté des Sciences, en partie par l'I.R.A.L. à Tel'Amara.

## II - Méthodes utilisées :

### II.1 - Densité apparente.

Pour tenir compte des recommandations formulées par J. BOURRIER (5) à propos des relations qui devraient exister entre la taille moyenne des éléments grossiers et le volume minimum de terre à prélever, nous avons confectionné un densitomètre cylindrique, biseauté à la base, de diamètre 25,3 cm et de hauteur 20,4 cm (volume : 10.300 cm<sup>3</sup>). L'opération de prélèvement, rendue délicate par le fait que l'on cherche à perturber le moins possible l'horizon en place, a pu être menée à bien grâce à la conjugaison de certaines propriétés du substrat : les éléments caillouteux généralement tendres pouvaient être assez facilement sectionnés et façonnés à l'aide d'un couteau tranchant; la matrice de son côté, de nature argilo-limoneuse, était très cohérente. La technique consistait simplement à enfoncer le cylindre à la main de façon très lente en dégageant progressivement la terre plaquée sur sa partie externe. Les éléments caillouteux, très rares, qui résistaient au façonnement étaient dégagés avec précaution; les portions de caillou débordant des limites du cylindre étaient éliminées à l'aide d'un marteau, les fractions restantes étant mises en réserve. En fin de course, la terre emprisonnée était détachée du niveau sous-jacent par affouillement. Après arasement des parties supérieure et inférieure, la portion d'horizon dont le volume correspondait exactement à celui du cylindre était transvasée dans un grand sac en plastique ou, au préalable,

.../...



Echelle: 1/5.000



LOCALISATION DES PRELEVEMENTS

avaient été introduits les éventuelles "fractions restantes" des cailloux les plus compacts. Après pesée, trois échantillons de terre fine ainsi qu'un grand nombre de cailloux étaient prélevés pour des mesures d'humidité.

#### 11.2 - Taux et spectre de pierrosité.

Les éléments grossiers supérieurs à 1 cm environ étaient triés à la main et répartis sur 3 tamis à trous ronds de diamètre 5,2 et 1 cm. Le reliquat était forcé à la main, successivement à travers les mailles des tamis 1 cm et 2 mm.

#### 11.3 - Capacité au champ.

La détermination systématique et journalière du taux d'humidité d'un échantillon composite prélevé entre 15 et 20 cm non loin du profil B2 nous ayant montré que le processus de ressuyage in situ accusait un changement de rythme à partir du 3ème jour, nous avons effectué des prélèvements au voisinage des points de mesure de la densité apparente trois jours après une période pluvieuse (133 mm en 3 jours).

#### 11.4 - Porosité des cailloux.

La porosité a été calculée à partir des mesures de densités apparentes et réelles.

La première mesure a été menée sur des échantillons lavés, séchés à 105° puis enrobés de paraffine. Le volume a été estimé indirectement par pesée (poussée d'Archimède après immersion).

La densité réelle a été déterminée à l'aide d'un pycnomètre sur une fraction de caillou finement broyée.

#### 11.5 - Rétention d'eau des éléments caillouteux.

Les mesures de rétention n'ont intéressé qu'un nombre limité de cailloux dont les teneurs en calcaire oscillaient entre 72 et 98%.

Ces cailloux ont été découpés en "tranches" de 0,5 à 1 cm d'épaisseur. Sur une première tranche a été effectuée la mesure de la capacité maximale de rétention; sur une seconde la rétention à pF 2,5; sur les deux ou trois autres restantes la rétention à pF 4,2.

.../...

La quantité d'eau retenue après immersion, sous vide durant un quart d'heure, puis sous atmosphère normale durant 3 à 10 jours, a été supposée représenter la capacité maximale.

Les teneurs en eau à pF 4,2 et 2,5 ont été mesurées sur des échantillons enrobés d'une terre fine saturée par ascensum durant 3 à 10 jours, soumis ultérieurement à des pressions de ressuyage de 13 et 0,3 atmosphères durant 48 h.

Les caractéristiques de la terre d'enrobage, précisées dans le tableau 1, peuvent être considérées comme assez voisines des caractéristiques "moyennes" des sols calcimagnésiques de la région de Lebaa.

Tableau 1

Caractéristiques physico-hydriques de la terre d'enrobage.

a	Granulométrie				Calcaire		M.O.	pF		
	lf	lg	sf	sg	tot	act		4.2	3.0	2.5
86.5	33.0	10.3	7.9	4.2	57.0	22.5	2.1	13.1	26.2	30.4

### III - Résultats et Discussion

#### III.1 - Caractéristiques physico-hydriques de la terre fine des horizons testés.

L'examen des résultats consignés dans le tableau 2 semblerait prouver que les horizons de surface des profils analysés sont développés dans deux matériaux sensiblement différents.

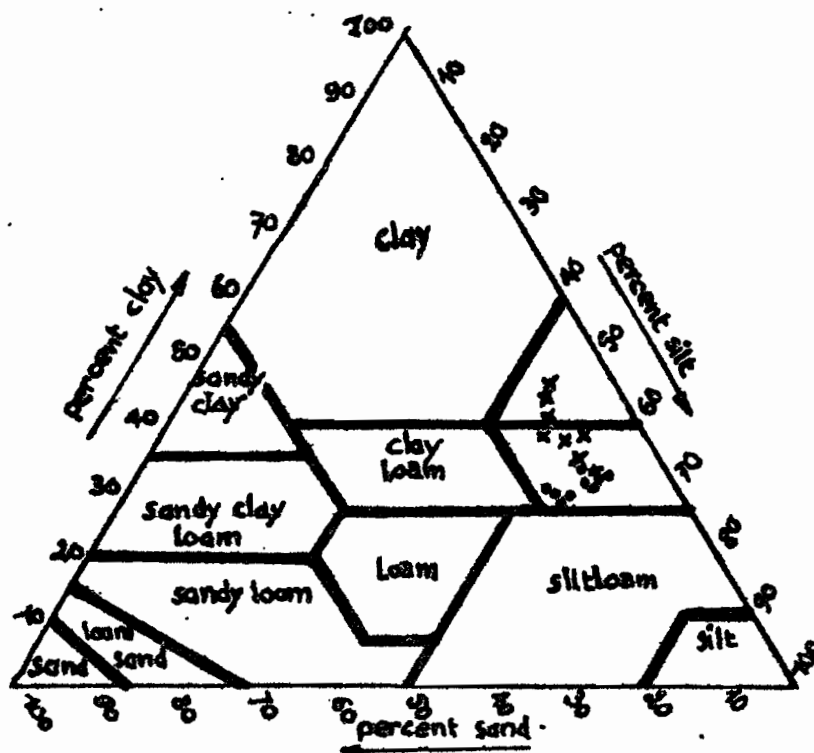
Le premier dont la teneur en argile est comprise entre 28 et 32% et le taux de carbonates entre 63 et 73% s'étale sur la partie Ouest et Sud de la Station ainsi que sur les parcelles IV et V.

Le second, localisé sur la partie E de la Station (Parcelles A et B), diffère du précédent par de plus fortes teneurs en argile (32 à 43%), une moindre richesse en carbonates (43 à 64%) et, semble-t-il, une pierrosité originelle plus importante.

Le triangle des textures ci-joint précise la localisation des points représentatifs et permet de conférer à ces matériaux les appellations respectives de limono-argileux et argilo-limoneux.

.../...

## Localisation des Points Représentatifs des données texturales



- x Matériaux argilo-Limoneux (Parcelles A - B)
- Matériaux Limono-Angileux (Parcelles C - D - V - Y)

Tableau 2

Données analytiques relatives à la terre fine des horizons de surface.

N°	Profils	Granulométrie				M.O %	Humidités pF			Calcaire		
		lf	lg	sf	sg		4.9	3.0	2.5	TOT	ACT	
IV	1	20.5	48.8	18.8	10.2	4.4	1.8	11.4	28.9	28.9	73.5	26.0
	2	31.5	48.5	12.5	9.8	2.9	1.5	11.9	28.6	29.8	73.5	26.2
	3	31.0	48.0	12.6	9.5	3.1	1.0	-	-	-	72.5	24.2
V	2	30.5	37.5	11.4	11.6	6.8	2.0	11.7	28.7	20.2	73.0	26.4
	3	29.5	38.0	13.6	11.0	6.1	2.0	11.3	28.7	20.4	77.0	26.4
	5	29.0	40.0	13.0	9.2	6.8	2.2	11.5	28.4	20.1	77.5	26.6
	8	28.0	40.0	12.3	10.3	6.3	2.1	11.1	24.3	29.0	75.5	25.0
C	1	31.0	45.0	12.2	6.0	4.5	1.3	12.2	23.3	23.1	69.5	24.0
	2	32.0	44.0	12.0	6.0	3.3	2.5	11.1	23.2	26.6	68.0	24.0
D	1	31.5	40.0	14.0	8.1	4.0	2.3	14.0	22.1	25.5	63.5	24.5
	2	33.0	40.5	13.9	7.6	3.1	2.0	14.5	23.0	27.2	71.0	26.0
A	1	32.5	43.0	11.5	7.5	2.7	2.4	15.5	23.7	29.1	64.0	25.6
	2	38.5	36.0	11.0	7.0	5.3	2.0	-	-	-	54.0	24.0
	3	46.5	34.0	13.7	5.0	2.3	2.4	24.4	31.5	34.6	46.0	18.8
	4	39.5	36.0	11.3	6.3	2.9	2.6	16.9	23.5	29.1	62.5	23.0
B	1	34.0	41.5	11.3	7.3	3.5	2.0	13.1	24.6	29.2	63.5	23.5
	2	39.5	34.5	9.3	7.9	5.3	2.3	21.3	28.4	31.7	51.5	21.2
	3	40.0	37.5	9.8	7.0	3.7	2.0	21.5	22.7	32.6	50.5	21.4
	4	44.0	33.0	3.4	6.2	3.7	3.2	22.5	23.2	31.5	43.5	19.3

Cette disparité est également manifeste sur le plan hydrique (tableau 3). Elle se traduit en particulier par de plus grandes réserves d'eau utile dans les matériaux limono-argileux, les plus riches en calcaire. Il existe même une corrélation assez étroite entre EUp et taux de carbonates totaux (graphique 2), ce qui tendrait donc à confirmer les résultats que nous avons exposés dans un rapport précédent (1), à savoir que les carbonates peuvent jouer, dans certaines conditions texturales, un rôle important dans la rétention d'eau utile dès que les teneurs globales excèdent 55%.

.../...

Tableau 3

Valeurs moyennes et coefficients de variation des  
Humidités caractéristiques (Données pondérales)

Matériau	C.C.		pF 2.5		pF 4.2		EUp	
	m	cv	m	cv	m	cv	m	cv
Argilo-limoneux(7)	22.6	11.2	31.0	6.1	19.0	16.7	11.2	14.0
Limono-argileux(4)	27.0	4.1	26.0	3.6	12.9	12.9	14.0	13.3

N.B.- Entre parenthèses figure le nombre de profils pour lesquels nous disposons à la fois de données de terrain et de laboratoire (profils de la Station de Lebaa)

III.2 - Caractéristiques des éléments grossiers

III.2.1 - Importance relative et taille (tableau 4)

Les taux de pierrosité oscillent entre 10 et 30%. La comparaison de la pierrosité de matériaux "homologues" (caractéristiques de la terre fine similaires) semblerait prouver que l'épierrage a été plus soigné dans la Station qu'à l'extérieur. Par ailleurs, il est fort probable que les taux de pierrosité "résiduelle", systématiquement plus élevés dans les matériaux argilo-limoneux, reflètent une disparité originelle non négligeable entre les deux types de matériaux.

Les cailloux de taille supérieure à 5 cm ne se rencontrent qu'assez rarement sur la Station alors qu'ils sont toujours présents à l'extérieur; ce résultat corroborerait donc l'hypothèse précédemment formulée concernant l'efficacité comparée de l'épierrage.

L'analyse des spectres de pierrosité fait ressortir une assez nette prédominance de la fraction 2-5 cm; le spectre "moyen" pour l'ensemble des horizons testés est en effet le suivant :

0,2 à 1 cm = 21%    1 à 2 cm = 23%    2 à 5 cm = 47%    >5 cm = 9%.

Le graphique 3 nous montre qu'il existe une assez bonne relation entre le taux de pierrosité et le type de spectre.

.../...

Tableau 4

Pierrosité et densité apparente des horizons de surface

N° Profil	Taux %	Pierrosité en % Répartition par classe de taille				Densité appar.		
		0 à 1	1 à 2	2 à 5	> 5	H%	tot.	part
A 1	14	23	14	53	0	26	1.24	1.06
2	10	27	12	61	0	25	1.23	1.15
3	15	21	24	55	0	32	1.15	0.93
4	26	14	19	37	0	33	1.10	0.81
B 1	13	24	29	47	0	13	1.27	1.04
2	23	15	24	35	26	11	1.19	0.35
3	20	20	25	42	13	19	1.31	1.04
4	15	14	37	39	10	12	1.22	1.03
C 1	10	31	14	55	0	23	1.22	1.10
2	12	19	17	34	0	24	1.30	1.15
D 1	11	36	11	53	0	27	1.23	1.13
2	12	31	11	53	0	26	1.23	1.13
IV 1	27	20	26	34	20	11	1.30	0.94
2	21	13	34	37	11	15	1.15	0.91
3	17	21	20	40	19	13	1.21	1.01
V 2	20	17	36	37	10	13	1.25	1.00
3	20	21	21	32	26	15	1.24	0.99
5	23	20	29	43	8	15	1.31	1.02
6	30	16	29	30	25	19	1.25	0.37
7	23	19	25	44	12	12	1.36	0.99
8	26	20	22	47	11	11	1.44	1.06

N.B. - Le taux de pierrosité est exprimé "en poids" par rapport à la terre totale séchée à l'étuve.  
H% correspond à l'humidité de l'horizon au moment où a été effectuée la mesure de densité apparente.

.../...

### III.2.2 - Densité apparente et porosité

La densité apparente a été déterminée sur un lot de 25 cailloux de taille comprise entre 3 et 6 cm, prélevés au hasard parmi les éléments grossiers recueillis dans le densitomètre cylindrique. Ils proviennent essentiellement des parcelles B, IV et V.

Les résultats illustrés sur le graphique 4 par des histogrammes de fréquence révèlent une assez nette prédominance de cailloux de faible densité; les valeurs moyenne et médiane du lot sont respectivement égales à 1,75 et 1,62.

Des mesures de densité réelle effectuées sur 5 cailloux de densités apparentes très différentes (cf. tableau 5) nous ont fourni des valeurs oscillant entre 2,61 et 2,70 (moyenne 2,66). De ce fait, les corrélations entre densité apparente et porosité totale seront-elles très étroites.

Tableau 5

Porosité des 5 cailloux soumis aux tests de rétention

N° échantillon	V6a	V7b	IV3a	IV1a	V2b
Densité réelle	2.70	2.69	2.66	2.61	2.65
Densité apparente	2.37	2.12	1.67	1.54	1.51
Porosité	12	21	37	41	43

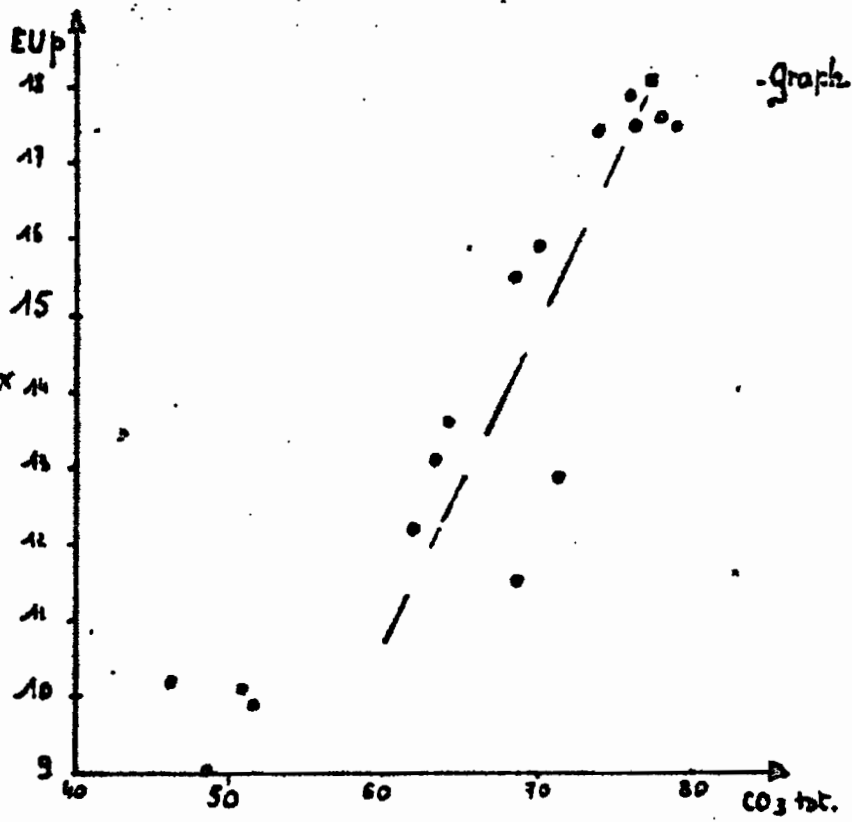
### III.2.3 - Nature - Composition chimique

Les pourcentages de résidus non carbonatés obtenus après attaque chlorhydrique à chaud ont été mis en relation sur les graphiques 5 et 6, respectivement avec le pourcentage de sesquioxides solubilisés et avec la densité apparente. Nous avons repéré par des signes différents les points représentatifs des échantillons renfermant des éléments non carbonatés en proportion forte (> 25%), moyenne (10 à 25%) ou faible (< 10%).

Si l'on suppose qu'il existe une relation de proportionnalité entre les pourcentages de sesquioxides solubilisés et le

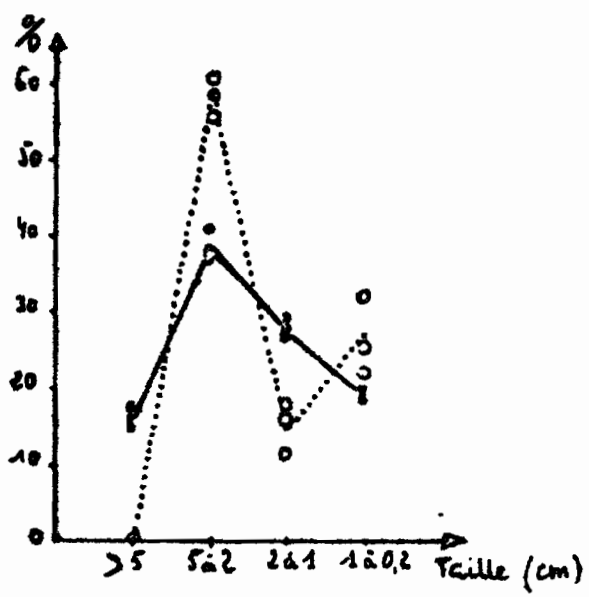
.../...

- Gr. 2 -  
Relations EUp / CO<sub>3</sub> totaux

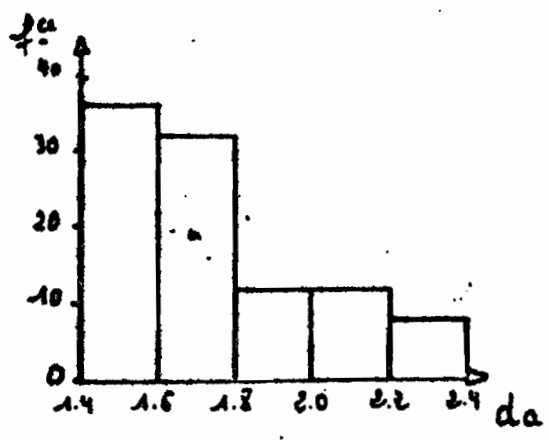


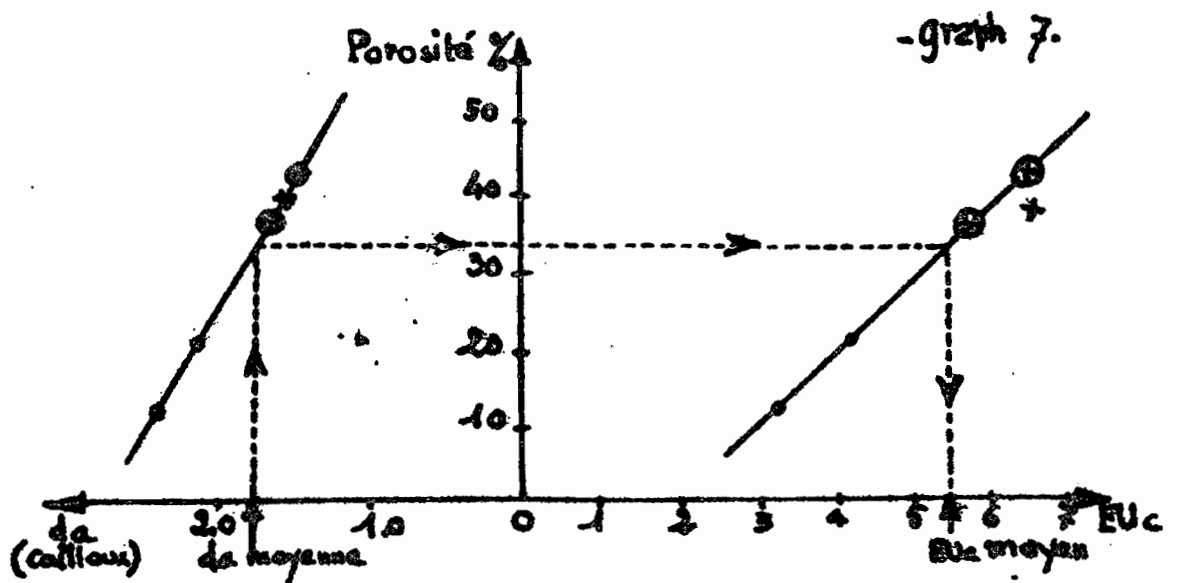
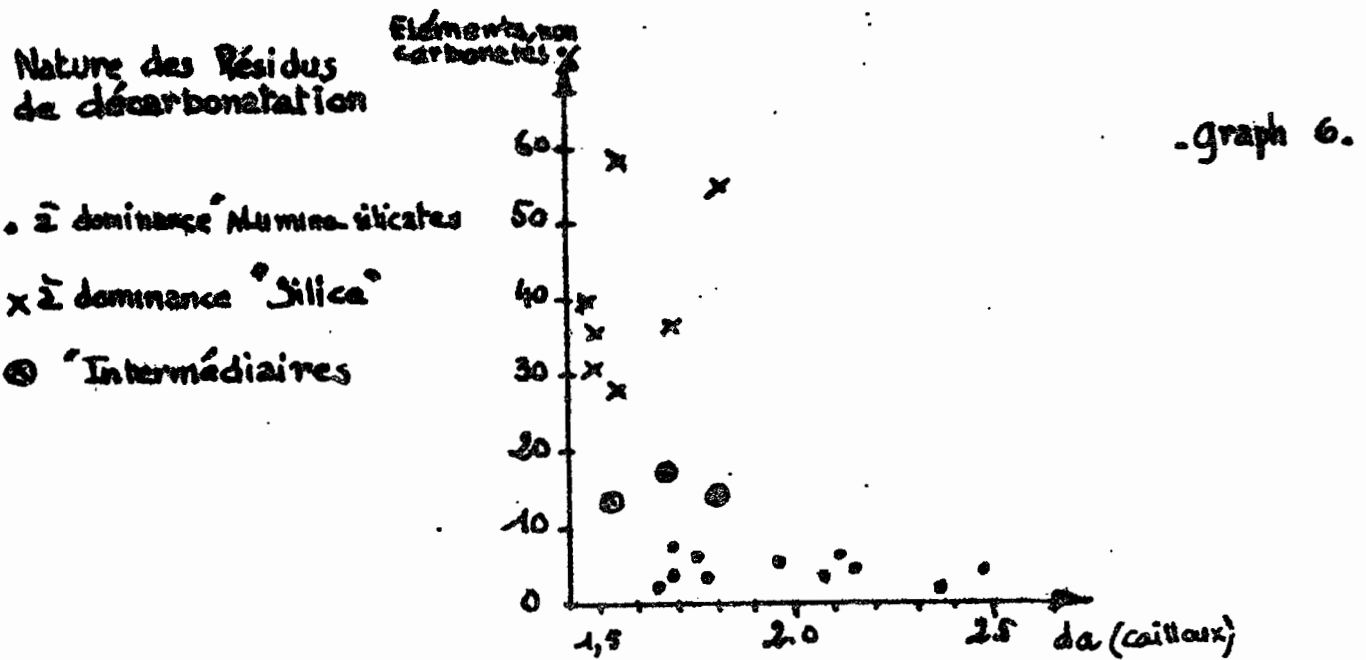
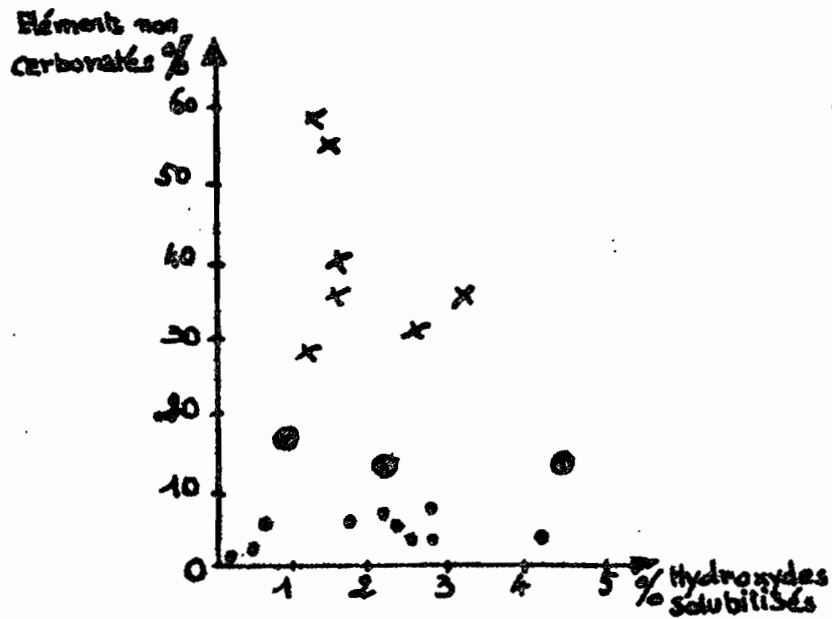
- Gr. 3 -  
Spectres de pierrosité  
(valeurs moyennes)

Parcelles	Tx pierrosité
→ { B	20
→ { II	22
→ { Y	24
... { A	16
... { C	11
... { D	11



- Gr. 4 -  
Densités apparentes  
des cailloux





pourcentage d'alumino-silicates, on est amené en examinant la distribution des points représentatifs à formuler les remarques suivantes :

- les résidus de décarbonatation renferment, en proportion parfois considérable, des éléments autres que des argiles minéralogiques;

- aucune relation ne peut être établie entre ces teneurs en résidus et la porosité totale. Tout au plus peut-on dire que les matériaux très poreux (da < 1,6) sont relativement peu carbonatés.

Des analyses complémentaires effectuées sur les 5 cailloux retenus pour les tests de rétention nous ont permis à la fois de confirmer l'hypothèse précédente et de préciser la composition des résidus, qui s'avèrent, dans certains cas, être très riches en SiO<sub>2</sub> non combinée. Elles révèlent également la nature essentiellement "calcique" des carbonates.

Tableau 6

Composition chimique des cailloux testés

N° Echantillon	V6a	V7b	IV2a	IV1a	V2b
Porosité %	12	21	37	41	43
CO <sub>3</sub> totaux %	98,0	93,0	33,0	72,5	87,0
<u>Analyse totale</u>					
Perte au feu	43,34	42,75	38,39	35,00	40,54
SiO <sub>2</sub>	1,25	1,90	12,90	20,70	6,10
Sesquioxides	0,40	0,55	0,95	1,20	2,20
CaO	53,76	53,54	45,92	42,14	50,68
MgO	0,40	0,40	0,90	0,60	0,28
Total	99,15	99,14	99,06	99,64	99,80

Il semble donc que les fortes porosités observées soient principalement l'apanage des cailloux calcaire-siliceux assez fortement altérés; le processus d'altération se traduisant principalement par la solubilisation et l'exportation des carbonates et donc par l'accumulation relative de silice non combinée.

Ce type de caillou ne serait relativement abondant que sur la partie Est du périmètre d'expérimentation. Partout ailleurs

.../...

prédominant des éléments grossiers calcaires renfermant surtout des résidus de décarbonatation de nature alumino-silicatée en proportion relativement limitée (<10%).

#### III.2.4 - Pouvoir de rétention.

Les études menées par GRAS et MONNIER (2) (3) ayant mis en évidence l'influence prépondérante de la texture du matériau d'enrobage sur les processus de désorption, nous n'avons utilisé qu'un seul matériau dont les caractéristiques ont été précisées antérieurement (cf. paragraphe II E).

Par ailleurs, l'extrapolation de nos résultats obtenus sur des tranches de cailloux de 1/2 à 1 cm d'épaisseur à des cailloux de taille moyenne voisine de 4 cm devrait être possible car cette taille est probablement inférieure à la hauteur maximum d'ascension capillaire propre aux divers cailloux rencontrés dans les horizons de surface (porosité fine).

Les résultats consignés dans le tableau 7 et illustrés sur le graphique 7 appellent les remarques suivantes :

- la capacité utile maximale, obtenue en multipliant l'Humidité pondérale à saturation (H sat.) par la densité apparente a été trouvée sur trois échantillons très proche de la Porosité totale, ce qui semblerait prouver que pour ces échantillons la porosité des cailloux est de type "ouvert".

- l'Humidité des cailloux théoriquement placés en équilibre hydrique avec le matériau d'enrobage lorsque la pression de ressuyage appliquée au couple terre fine/caillou est de 0,3 atmosphère (H 0,3 atm.) est en général légèrement supérieure à l'Humidité à saturation; ce résultat quelque peu paradoxal peut s'expliquer sans doute par le fait que nous avons eu recours à deux modes d'humectation : humectation par immersion pour l'Humidité à saturation, humectation par contact dans une terre saturée pour l'Humidité sous 0,3 atmosphère.

Si l'on considère que ces écarts sont de l'ordre de grandeur des erreurs expérimentales et que par conséquent les deux humidités sont égales, on peut alors invoquer, pour rendre plausible un tel résultat, deux types de situation :

- ou bien la durée de ressuyage sous 0,3 atmosphère n'a pas été assez longue (48 heures),
- ou bien la pression de succion exercée par le matériau d'enrobage n'a pas été suffisante.

.../...

La différence entre les humidités des cailloux en équilibre hydrique avec la terre d'enrobage sous 0,3 et 16 atmosphère que nous désignerons par analogie par EUC (Eau Utile des cailloux) est une fonction croissante de la porosité totale, tout au moins pour les cailloux calcaires concernés; les teneurs en SiO<sub>2</sub> non combinés ne semblent pas suffisantes pour influencer la relation graphique sensiblement linéaire.

La prise en considération de cette relation et des valeurs moyennes des densités réelles et apparentes des cailloux (2,66 et 1,75) permet de conférer à EUC une valeur moyenne proche de 5,5% en poids (cf graph.7).

Tableau 7

Humidités caractéristiques des cailloux testés

N° Echantillon	V6a	V7b	IV2a	IVIA	V2b
<b>Données</b>					
<b>a/volumiques</b>					
Porosité tot.	12	21	37	41	43
C.U. max.	17(?)	22	24	39	44
<b>b/pondérales</b>					
H 16 atm.	4.6xx	6.3xx	3.9x	18.4x	23.4xx
H 0,3 atm.	7.3	10.4	-	25.0	29.3
H sat.	7.3	10.3	14.6	25.6	29.1
EUC	3.2	4.1	5.7	6.6	6.4

N.B. - x Moyenne sur 2 morceaux d'un même caillou  
 xx id 3 id  
 (?) erreur expérimentale.

III.3 - Estimation du domaine d'Eau Utile des horizons caillouteux

III.3.1 - Signification des symboles utilisés.

Nous désignerons par :

.../...

- $d_a$  = la densité apparente totale de la terre caillouteuse  
 $d_{af}$  = la densité apparente "partielle" classique, égale au rapport Poids terre fine/volume total.  
 $d_{ac}$  = la densité apparente "partielle", calculée en supposant que seuls les éléments grossiers jouent un rôle dans la rétention de l'eau, égale au rapport Poids cailloux/volume total.  
 $EUF$  = l'Eau Utile pondérale de la terre fine (en %)  
 $EUC$  = "l'Eau Utile" des cailloux (cf. parag. III.2.4)  
 $EUV$  = l'Eau Utile volumique de l'horizon considéré (en %)  
 $x$  = le taux de porrosité (% pondéral).

### III.3.2 - Méthode de calcul.

Nous écrirons que l'Eau Utile volumique EUV correspond à la somme de deux termes; d'une part l'Eau Utile volumique de la terre fine, d'autre part l'Eau Utile volumique des cailloux.

$$EUV = EUF d_{af} + EUC d_{ac} \quad (1)$$

Si l'on veut faire apparaître explicitement le facteur taux de porrosité, il nous faut faire intervenir les relations suivantes qui peuvent être facilement établies :

$$d_{af} = d_a (1 - x/100) \quad (2)$$

$$d_{ac} = d_a x/100 \quad (3)$$

$$d_a = d_{af} + d_{ac} \quad (4)$$

La relation (1) peut alors s'écrire

$$EUV = d_a (EUF (1-x/100) + EUC x/100) \quad (5)$$

Dans le cas particulier où il n'y a pas de cailloux, on retrouve à partir de (1) la formule classique, car dans ce cas :

$$EUC d_{ac} = 0 \quad d_{af} = d_a$$

Si les cailloux sont trop compacts ou si, bien que poreux ils ne retiennent pas l'eau (porosité fermée),  $EUC = 0$ . Les formules (1) et (5) deviennent :

$$EUV = EUF d_{af}$$

$$EUV = EUF d_a (1-x/100)$$

.../...

### III.3.3 - Limites d'application des formules

Comme l'on très bien montré GRAS et MONNIER, l'eau emmanisée dans un caillou ne peut contribuer de façon sensible à l'alimentation hydrique d'une plante que par l'intermédiaire d'un matériau à pouvoir de succion assez marqué. Cette participation des éléments grossiers est donc également conditionnée par l'importance relative des contacts terre/caillou, autrement dit par la façon dont ces derniers se répartissent dans le solum; une répartition anarchique et individualisée étant a priori plus favorable qu'une concentration par plages ou par strates.

Dans le cas le plus favorable on peut également penser qu'il existe un taux de pierrosité limite au delà duquel les formules (1) ou (5) ne sont plus applicables. Afin d'estimer l'ordre de grandeur de ce taux limite, nous allons d'une part supposer que se conjuguent dans un même horizon des données idéales de forme (cailloux sphériques), de taille (même taille), de répartition (répartition homogène) et d'autre part nous placer dans le cas particulier où tous les cailloux sont jointifs.

Si  $V_c$ ,  $V_t$ ,  $d_c$ ,  $d_a$  et  $x_l$  désignent respectivement le volume occupé par les cailloux, le volume total, la densité apparente des cailloux, la densité apparente du sol et le taux de pierrosité limite, on peut écrire :

$$\frac{V_c}{V_t} = \frac{4}{3} \frac{\pi R^3}{(2R)^3} = \frac{\pi}{6}$$

or

$$\frac{V_c}{V_t} = \frac{x_l}{100} \times \frac{d_a}{d_c}$$

$$\text{d'où } x_l = \frac{\pi}{6} \times \frac{d_c}{d_a} \times 100$$

### III.3.4 - Application aux sols calcimagnésiques de la région de Lebaa

Pour les horizons de surface de ces sols dont la densité apparente oscille assez peu autour d'une valeur moyenne égale à 1,25 et où la densité moyenne des cailloux est proche de 1,75, le taux de pierrosité limite théorique atteint 73%. Les taux de pierrosité réels n'excédant pas 30%, nous nous trouvons donc

.../...

très loin des conditions limites d'application des formules précédentes, d'autant plus que la répétition des façons culturales superficielles favorise une répartition anarchique des éléments grossiers dans la masse du sol.

Il est une autre difficulté à aplanir qui consiste à savoir si l'on peut ou non affecter dans certains cas un facteur correctif à la valeur moyenne de EUC précédemment définie (5,5% en poids). En nous référant à certaines observations macromorphologiques (densité des pellicules d'arrachement en particulier) il semble à priori logique de penser que les cailloux piégés dans un matériau "argilo-limoneux calcaire" connaissent un environnement matriciel plus favorable aux processus de désorption que leurs homologues répartis dans un matériau "limono-argileux très calcaire"; la présence de plus fortes quantités d'argiles minéralogiques devrait en effet accentuer le pouvoir de succion du matériau d'enrobage. Comme par ailleurs l'agressivité des eaux météoriques s'atompe d'autant plus rapidement que le matériau au travers duquel elles percolent est moins perméable (cas des matériaux les plus limoneux), il est également fort probable que les cailloux seront en moyenne plus altérés et par conséquent plus poreux dans le matériau argilo-limoneux. C'est d'ailleurs ce que semblerait confirmer les mesures ponctuelles de densité de caillou.

Pour toutes ces raisons, nous adopterons deux valeurs moyennes pour estimer EUC : 6% pour les cailloux enrobés d'une matrice argilo-limoneuse; 5% pour les autres.

L'Eau Utile volumique ainsi que la réserve utile (R.U) des 30 premiers cms de chacun des profils testés sont assemblés dans le tableau 3.

#### III.4 - Contribution des éléments grossiers dans le stockage de l'Eau Utile.

##### III.4.1 - Cas des sols calcimagnésiques de Lebaa :

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que la contribution des éléments grossiers pouvait s'exprimer, en valeur absolue, par le produit de trois paramètres : l'eau utile moyenne des cailloux, le taux de pierrosité et la densité apparente totale de l'horizon considéré (EUC x/100da). Etant donné que la densité apparente des horizons Ap fluctue assez peu d'un profil à l'autre, et que, devant l'impossibilité pratique de tester le comportement

.../...

Tableau 8

Domaine d'Eau Utile des horizons de surface

Type de matériau	N° de Profils	da	x	EUF%	EUV%	RU (30cm)	
Argilo- Limoneux	A1	1.24	14	13.3	15.4	46	
	A3	1.15	15	10.2	11.0	33	
	A4	1.10	26	12.2	11.6	35	
(EUC=6%)	B1	1.27	13	13.1	14.3	44	
	B2	1.10	23	9.9	10.5	31	
	B3	1.31	20	10.1	12.2	36	
	B4	1.22	15	9.0	10.4	31	
Limono- Argileux	C1	1.22	10	15.9	17.7	53	
	C2	1.30	12	15.5	13.5	55	
	D1	1.23	11	11.5	13.3	41	
	D2	1.23	12	12.9	15.3	46	
	(EUC=5%)	IV1	1.30	27	17.5	18.4	55
		2	1.15	21	17.4	17.0	51
		V2	1.25	20	17.5	18.7	56
		3	1.24	20	13.1	13.2	53
		5	1.31	23	17.6	19.2	53
		3	1.44	23	17.9	20.9	63

N.B. RU (30 cm) -- Réserves utiles d'une tranche de sol de 30 cm présentant les mêmes propriétés physico-hydriques d'un horizon Ap. Cette réserve est exprimée en "équivalent hauteur d'eau" (en mm).

hydrique de chaque couple caillou/terre d'enrobage, EUC a été assimilée à une constante (égale à 5 ou 6% selon le type de matériau), la quantité volumique d'eau utile retenue par les éléments grossiers sera donc une fonction croissante et sensiblement linéaire du taux de pierrosité. Pour les horizons testés et pour une même épaisseur arbitrairement fixée à 30 cm, le complément d'eau utile d'origine "lithique" oscille entre 1,5 et 3 mm.

Le pouvoir d'évocation de ces derniers chiffres étant très limité, il nous a semblé plus intéressant de quantifier la part relative qui revient aux éléments grossiers dans le stockage de l'eau utile.

Les résultats bruts consignés dans le tableau 9 ont été repris sous une forme plus synthétique dans le tableau 10 pour mieux faire ressortir la double influence du taux de pierrosité et de la nature du matériau d'enrobage. On constate en particulier qu'à taux de pierrosité équivalent, la contribution des éléments grossiers est moins forte dans les matériaux limono-argileux que dans les matériaux argilo-limoneux.

Tableau 9

Contribution absolue et relative des éléments grossiers dans le stockage de l'Eau Utile

a/ matériau argilo-limoneux

N° Profil	A1	A3	A4	B1	B2	B3	B4
C. abs (mm/30 cm)	3.1	3.1	5.1	4.1	6.0	4.7	3.3
C. rel.	6.7	9.7	14.3	9.3	19.0	12.9	10.5

b/ matériau limon-argileux

N° Profil	C1	C2	D1	D2	IV1	IV2	V2	V3	V5	V6
C. abs.	1.8	2.3	2.1	2.3	5.2	3.3	3.7	3.7	4.5	5.6
C. rel. %	3.4	4.2	5.1	5.0	9.5	7.1	6.7	6.5	7.9	8.9

.../...

Tableau 10

Contribution relative en fonction du taux de pierrosité(x)  
et du type de matériau (m.o)

m.o	x < 10	10-15	15-20	20-30
al	négl.	7	7 à 12	13 à 19
la	négl.	5	7 à 6	7 à 10

Si à présent on suppose que la densité apparente totale n'est pas influencée par le taux de pierrosité, dans les limites qui sont celles des horizons A<sub>2</sub> des sols de Lebaa (à savoir 10 et 30%) on peut alors exprimer le préjudice causé par la présence de cailloux au domaine d'eau utile de l'horizon considéré, par une relation simple. Dans ces conditions, en effet, la perte relative d'Eau Utile volumique est égale à

$$\frac{da_{EUF} - da_{[EUF(1-x/100) - x/100 EUC]} \times 100}{da_{EUF}}$$

soit après simplification :

$$x \frac{(1-EUC)}{EUF}$$

Cette perte sera donc d'autant plus marquée que le taux de pierrosité sera plus élevé, les cailloux moins adsorbants, l'Eau Utile pondérale du matériau d'enrobage plus importante; le domaine d'Eau Utile des matériaux "la" sera donc plus affecté que celui des matériaux "al". Autrement dit, dans ce cas particulier plus la contribution relative des éléments grossiers sera faible, plus le préjudice causé au stock potentiel d'Eau Utile sera grand.

A la lumière de ces dernières remarques, on serait donc tenté d'encourager à une intensification des opérations d'épierrement principalement dans les matériaux les plus limoneux. A vrai dire, un épierrement trop poussé risque de déclencher toute une série de modifications d'ordre physico-hydrigue qui par leur conjugaison viendraient probablement annihiler l'effet bénéfique

.../...

que l'on pourrait théoriquement espérer d'un accroissement de la réserve utile. A notre avis un taux de porosité de 10 à 15% dans ces sols calcimagnésiques n'altère en rien leur capacité de production, surtout si la plus grande partie de ces éléments grossiers se concentrant en surface (effet mulch non négligeable). C'est d'ailleurs ce qui ressort des essais en fûts lysimétriques menés à la station de Lebna : des taux de porosité voisins de 15% ne semblent avoir aucun effet différentiel sur la dynamique actuelle des matériaux "a".

#### III.4.2 - Essai d'extrapolation aux autres sols caillouteux du Liban

Nous envisagerons successivement le cas des sols d'apport évoluant dans des matériaux non ou faiblement consolidés (certains conglomérats), puis celui des sols formés "in situ" sur des matériaux consolidés.

+ sols d'apport :

La grande majorité des cailloux rencontrés dans ces sols, qui couvrent les grandes plaines et plate-formes du Liban, sont de nature calcaire ou calcaro-siliceuse et sont très compacts ( $d_a > 2,5$ ). Ils peuvent être associés localement à des débris de grès ferruginisés ou de basalte plus ou moins altérés. Si ces derniers éléments, pris individuellement, peuvent emmagasiner des quantités d'eau Utile non négligeable, ils ne constituent à l'échelle du profil qu'une minorité très peu influente, exception faite toutefois de certains profils développés dans les formations conglomératiques du Koura.

Dans la majorité des cas, on peut considérer que dans ces sols les éléments grossiers n'interviendront aucunement dans la rétention de l'eau.

+ sols en place :

a/ évoluant sur des roches non carbonatées

Sur basalte, il est peu probable que les débris de roche puissent participer activement à l'alimentation hydrique des plantes; leur porosité bien que souvent forte, n'est en effet que très partiellement "Utile" (porosité fermée).

Les débris de grès offriront des caractéristiques à priori plus favorables; leur porosité assez grossière, bien que peu propice à un stockage prolongé de l'eau adsorbée, peut retenir des quantités non négligeables d'eau facilement utilisable.

.../...

b/ évoluant sur roches carbonatées

De par leur situation géographique, la grande majorité de ces sols évoluent en milieu décarbonatant; de ce fait les débris de roches qui parsèment les profils seront presque toujours soumis à des processus d'altération, dont l'intensité et les modalités seront bien sûr fonction à la fois du type de pédoclimat et du type de substrat.

Sur calcaire dur l'altération n'intéressera qu'une mince pellicule superficielle et, par conséquent, n'accroîtra en aucune façon la porosité originellement réduite des éléments grossiers. L'Eau Utile de ces derniers restera donc insignifiante.

Sur calcaire tendre, la contribution des éléments grossiers peut ne pas être négligeable; c'est le cas en particulier des sols calci-magnésiques de Lebaa que nous avons étudiés.

Sur calcaire crayeux, au sein desquels se différencient des sols rendziniiformes très caillouteux et peu profonds, la participation des cailloux pourrait être assez importante, si l'on se réfère aux données fournies par les auteurs déjà cités (3). La contribution relative de ces roches à porosité très fine a pu être estimée dans certains profils à plus de 55%, chiffre qui doit nous inciter à prêter une attention toute particulière aux propriétés hydriques de ces sols qui couvrent des superficies assez importantes dans le complexe calcaro-marneux de la région de Saïda.

### CONCLUSION

Au terme de cette étude menée de façon trop artisanale pour embrasser un vaste champ d'application, il apparaît néanmoins possible de dégager quelques conclusions, les unes confirmant certains résultats antérieurs, les autres ouvrant la voie à un certain nombre de recherches complémentaires.

Il a pu être confirmé, en effet, que l'augmentation, parallèlement à la teneur en carbonates totaux, de l'Eau Utile pondérale de matériaux calcaires ne devenait sensible qu'à partir d'une valeur seuil analogue à celle que nous avons déjà déterminée pour les sols de la Bekaa et qui serait proche de 55%.

Les éléments grossiers de nature calcaire ou calcaro-siliceuse présents en nombre assez limité dans les horizons Ap des

.../...

des sols calcaire-magnésiques de Lobaa (taux de pierrosité au plus égal à 20%) peuvent, quand ils sont enrobés d'une terre fine argilo-limoneuse, participer au stockage de l'eau utile dans des proportions pouvant atteindre 20% du domaine d'eau utile de l'horizon considéré. Il importe donc de ne pas négliger dans l'évaluation des réserves utiles de ces sols le rôle joué par ces éléments, surtout lorsqu'ils proviennent de calcaires crayeux. Une attention particulière devrait être également portée aux débris de roches gréseuses qui doivent influencer le pédo-climat de nombreux sols de montagne.

Par ailleurs, il est nécessaire de signaler que les résultats de ces premiers travaux sur l'influence de la pierrosité ont été obtenus dans des conditions qui ne sont pas exactement celles du milieu naturel; nous avons en effet opéré avec un matériau d'enrobage tamisé, réalisé artificiellement des contacts sol/caillou parfaits et raisonné sur des valeurs moyennes fictives qui ne peuvent rendre compte de la spécificité de chaque profil observé. Aussi ces résultats doivent-ils être considérés comme des ordres de grandeur qui pourraient être précisés progressivement en orientant les recherches ultérieures dans deux directions : il serait intéressant d'une part de multiplier les tests de description sur une série de couples terre/caillou bien représentatifs afin de mieux circonscrire les valeurs du facteur correctif à introduire dans le calcul des réserves utiles des sols caillouteux; d'autre part, de suivre de façon détaillée les relations pression de ressuyage/quantité d'eau désorbée afin de mieux connaître le degré de disponibilité de l'eau stockée.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) P.WILLAIME et K. KEZAKHA - 1977 - Contribution à l'étude du domaine d'Eau Utile des principaux types de sols irrigables de la Bekaa.  
Ronéo I.R.A.L./O.R.S.T.O.M, dec.
  - (2) R.GRAS et G.MONNIER - 1968 - Contribution de certains éléments grossiers du sol à l'alimentation en eau des végétaux.  
Science du Sol. N°1.
  - (3) R.GRAS - 1972 - Effets des éléments grossiers sur la dynamique de l'eau dans un sol sableux. III - Dynamique de l'eau dans le système terre fine/éléments, variations négatives d'humidité.  
Ann.Agron. Vol. 23-4.
  - (4) A.ABOUKHALED et S.SARRAF - 1970 - A comparison of water use for a hybrid corn in the Bekaa and the coastal plain.  
Magon, série tech. n° 12.
  - (5) J.BOURRIER - 1965 - La mesure des caractéristiques hydrodynamiques des sols par la méthode Vergière.  
Bull. tech. du génie rural, n° 73.
-