

ARGILES DES SOLS DU LIBAN

par

M. LAMOUREUX +

Analyses et interprétations d'argiles

par G. MILLOT (Université de Strasbourg)

M. PINTA (S.S.C. ORSTOM - Paris)

+ Directeur de Recherches de l'ORSTOM, Expert de la Coopération Technique Française, détaché à l'Institut de Recherches Agronomiques de Tel'Amara.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 29493, ex 1

Cote : B

S O M M A I R E

I - INTRODUCTION

II - FRACTION ARGILEUSE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS DU LIBAN

- 1 - Sols formés sur grès
- 2 - Sols formés sur basalte
- 3 - Sols calcaires (types rendzines)
- 4 - Sols alluviaux de la Bekaa
- 5 - Sols rougés et bruns méditerranéens.

III - TENDANCE EVOLUTIVE DES MINERAUX ARGILEUX SUR QUELQUES PROFILS DE SOLS DU LIBAN.

- 1 - Résultats obtenus
- 2 - Essai d'interprétation.

IV - DISCUSSION

V - CONCLUSION

VI - BIBLIOGRAPHIE.

ARGILES DES SOLS DU LIBAN

I - INTRODUCTION

Bien que limité par sa superficie le Liban offre des variations climatiques considérables (150 à 1500 mm. de pluie), une lithologie dominée par les roches carbonatées avec des passées basaltiques et gréseuses. Le facteur temps prend enfin une importance particulière, non seulement par la superposition d'anciennes civilisations, mais aussi par la présence de témoins, enterrés ou non, de pédogénèses retraçant toute l'histoire du quaternaire et parfois au-delà.

Dans ce contexte si varié et limité à 10.000 km², l'étude des sols méditerranéens et de leur fraction argileuse en particulier est apparue du plus haut intérêt. Il n'existe que peu ou pas de résultats d'analyses de cette fraction fine des sols du Liban. Quant aux données existant sur les sols analogues du Bassin méditerranéen elles sont variables et apparemment contradictoires. Il est vrai que les facteurs de formation des sols et leurs conditions d'évolution sont eux-mêmes très variables et souvent mal connus ou mal définis. Les techniques d'études des minéraux argileux ont, en outre, beaucoup évolué ces dernières années.

Dans ce premier essai sur les argiles des sols du Liban, un inventaire succinct des minéraux argileux, des différents types de sols sera présenté. Mais, par son aspect statique, un tel inventaire ne saurait pleinement satisfaire. Pour la compréhension du profil et des sols, il est de plus en plus fait appel à des travaux d'évolution des matériaux constitutifs

.../...

du sol. Le Professeur G.MILLOT, ~~qui~~ depuis de nombreuses années a étudié cet aspect dynamique de la pédogénèse, comme en témoigne son ouvrage "géologie des argiles" (1963), a bien voulu faire étudier dans ses laboratoires quelques profils de sols, dont il sera fait mention dans cette note.

Enfin, un examen rapide de quelques résultats obtenus dans d'autres pays méditerranéens permettra d'élargir la discussion et de situer le Liban dans un contexte plus général.

II - FRACTION ARGILEUSE DES PRINCIPAUX TYPES DE SOLS DU LIBAN

1 - Les sols formés sur grès

1.1 - Sols

La série gréseuse du crétacé (grès de Nubie) est surtout représentée sur le versant Ouest du Mont Liban, plus faiblement sur le versant Est et sur l'Antiliban. Les grès apparaissent en bandes étroites auréolant les massifs calcaires crétacé et formant les lignes de crêtes des massifs calcaires jurassique. Ils ne représentent pas de grandes surfaces, mais des îlots plantés de pins, disséminés dans la montagne moyenne du Sud au Nord.

Les sols formés sur ces grès sont très érodés et fortement remaniés, souvent mêlés à des argiles ou marnes qui s'intercalent localement au grès ou qui les surmontent dans la série suivante. Ils sont de couleur brun, brun jaune avec souvent un horizon brun rouge, l'horizon de surface plus clair lessivé en argile et fer. Les pH varient entre 6,5 et 7, mais peuvent atteindre 7,5. Exceptionnellement, en position topographique particulière, les phénomènes de podzolisation apparaissent (horizon cendreuse, entraînement de fer et de matières organiques en profondeur, pH inférieur à 5).

1.2 - Argiles (tableau I)

Les échantillons prélevés correspondent à des régions relativement pluvieuses (900 à 1200 mm.).

La kaolinite domine dans ces sols bien lessivés à pH faiblement acide ou voisin de la neutralité.

La goethite existe souvent en forte proportion, la montmorillonite est également présente dans chaque échantillon, mais l'illite n'est pas observée.

Les basses teneurs en silice, hautes en alumine et fer confirment l'abondance de kaolinite.

Corrélativement les rapports SiO_2/R_2O_3 sont voisins de 1,5 et les rapports SiO_2/Al_2O_3 se rapprochent de 2, mais sont supérieurs à cette valeur.

TABLEAU I : ARGILES DES SOLS FORMES SUR GRES

Echantillons	1296	1424	119/58	
Localisation	Fanar	Dour Choueir	Amnik	
Profondeur (cm)	80.100	80.100	0 - 25	
Altitude (m)	300	1.300	900	
Pluie (m/m)	900	1.200	900	
Végétation	Pins	Pins	Pins	
Couleur sol Hde	5YR 5/7 à 4/8	5YR 4/4 (tâche) 10YR 4/4	7,5 YR 4/4 à 5/6	
C.E % d'argile	23,4	14,5	39,0	
pH sol (H ₂ O)	7,3	6,7	6,5	
Analyses (totales) (Triacide)	Perte au feu	13,40	17,10	12,65
	Résidu	1,60	0,35	3,35
	SiO ₂ silicates	32,60	35,50	35,40
	Al ₂ O ₃	25,00	28,00	25,20
	Fe ₂ O ₃	22,25	15,60	18,40
	Ti O ₂	2,75	1,65	1,90
	CaO	0,32	0,18	0,12
	MgO	0,59	0,69	0,65
	K ₂ O	0,72	0,53	0,59
	Na ₂ O	0,51	0,40	0,12
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,4E	1,58	1,61	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,21	2,15	2,39	
Argiles	Kaolinite: 65 à 75% Montm. : 5 à 10% Goethite : 20 à 30%	Kao.- 45 à 55% Montm.- 40 à 50% Goethite- 5 à 10%	Kao.- abondante Montm.- faible Goethite -	

TABLEAU II : ARGILES DES SOLS FORMES SUR BASALTE

Echantillons	1402	1340	1336	1250	67/58	
Localisation	Rachaya	Mechta Hammoud	El Theil	Riham	W. Far Meckhi	
Profondeur (cm)	100 - 120	50 - 80	60 - 80	60 - 80	0 - 25	
Altitude (m)	1000	460	300	1000	990	
Végétation	Cultures	Herbacée	Herbacée	Herbacée	Cultures	
Pluie (m/m)	1000	850	950	1100	900	
Couleur sol Hde	17,5 YR 4/4	10 YR 3/4	2,5 YR 3/2	10 YR 3/4	7,5 YR 3/2	
pH sol (H ₂ O)	6,7	7,5	7,0	6,7	6,5	
C.E. % d'argile	50,5	96,0	38,0	36,6	80,0	
Analyses totales (triacide)	Parte au feu	16,75	17,85	13,80	15,45	11,90
	Résidu	0,65	3,55	1,00	2,70	4,75
	SiO ₂ (Silicates)	38,60	40,85	40,25	39,95	38,95
	Al ₂ O ₃	26,00	20,00	28,00	22,00	24,05
	Fe ₂ O ₃	14,20	13,20	14,00	15,00	14,35
	TiO ₂	1,60	1,10	1,10	1,30	1,90
	CaO	0,28	0,35	0,26	0,39	1,35
	MgO	0,88	1,42	0,88	1,25	1,07
	K ₂ O	0,57	0,19	0,67	0,40	0,28
	Na ₂ O	0,32	0,34	0,35	0,61	0,13
	SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,86	2,43	1,85	2,13	2,01
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,51	3,46	2,44	3,07	2,75
Argiles	Mont. 75 à 85% Kao. - 20 à 35% Ill. - traces Goeth. - 2 à 3	Mont. - 85 à 95% Kao. - 5 à 10%	Mont. - 65 à 75% Kao. - 25 à 30% Ill. - Traces Hématites 3 à 5 Goeth. - traces	Mont. - 70 à 80% Kao. - 20 à 30% Goeth. - Traces Goeth.	Mont. - forte Kao. - peu Goethite. -	

Les teneurs en éléments totaux reflètent ces données et montrent très peu de différences avec les valeurs trouvées pour les sols rouges ou bruns méditerranéens.

3 - Sols calcaires (types rendzines)

3.1 - Sols

Ces sols riches en carbonates de calcium essentiellement sont extrêmement répandus au Liban.

Ce sont :

- des sols bruns très calcaires (1230 - 1370) formés sur colluvions de pentes ou de bas de pente, profonds, caillouteux, argilo-limon.
- des sols bruns calcaires (1232) très argileux formés sur marnes interstratifiées dans les calcaires ocres de l'Albien ou de l'Aptien.
- des sols blancs ou gris très calcaires (2204/56, 306/57, 117/58) sur marnes ou calcaires crayeux.
- des rendzines rouges (308/57), peu épaisses et caillouteuses formées sur le conglomérat tertiaire.
- des sols bruns plus ou moins calcaires (1318 - 1326 - 1328), très argileux, peu épais, formés sur des calcaires tendres poreux très développés sur les plateaux cotiers du versant sud Ouest.

3.2. - Argiles (tableau III et IV)

L'illite, plus ou moins interstratifiée à la montmorillonite, domine dans les deux premières séries de sols bruns calcaires sous les climats relativement pluvieux de la montagne (9 à 1200 mm). La montmorillonite très bien cristallisée est ~~presque~~ exclusivement représentée dans les sols bruns formés sur les calcaires tendres éocènes des régions moins pluvieuses du Sud Ouest (5 à 800 mm.).

La kaolinite est presque toujours présente, parfois en forte quantité (1230 - 1232).

La goéthite est fréquente en petite quantité.

Des taux de silice élevés, d'alumine bas, rapports silice sur oxydes métalliques élevés, caractérisent ces sols calcaires, où la montmorillonite est encore très abondante.

TABLEAU III : ARGILES DE SOLS BRUNS CALCAIRES ET UNE RENDZINE ROUGE

Echantillons	1230	1232	1370	306/57	308/57	
Localisation	Kab Elias	Baïdar	Reichmata	Ferzol	Ferzol	
Profondeur (cm)	60 - 80	0 - 20	110 - 120	0 - 30	0 - 30	
Altitude (m)	950	1500	700	1000	1000	
Pluie (m/m)	900	1200	1200	650	650	
Végétation	herbacée	herbacée	Cultures	Cultures	Cultures	
Couleur sol hde	10 YR 5/3	10 YR 5/3	7,5 YR 4/4	10 YR 5/4	5 YR 4/8	
pH sol (H ₂ O)	8,15	8,20	8,10	8,05	7,90	
C.E. % d'argile	26,2	-	35,7	82,0	63,00	
Analyses totales (Triacide)	Perte au feu	12,20	12,80	10,80	12,20	10,70
	Résidu	3,10	4,15	2,55	2,80	5,20
	SiO ₂ (silicabé)	40,95	41,10	42,75	41,75	40,15
	Al ₂ O ₃	24,00	24,00	24,00	21,95	22,80
	Fe ₂ O ₃	14,50	13,00	14,00	12,15	12,20
	TiO ₂	1,80	1,80	1,70	1,25	1,40
	CaO	0,88	0,91	1,45	3,00	2,75
	MgO	0,65	0,81	0,87	2,00	1,47
	K ₂ O	1,13	1,38	1,34	0,70	1,52
	Na ₂ O	0,59	0,30	0,32	0,63	0,23
SiO ₂ /R ₂ O ₃	2,09	2,15	2,20	2,40	2,25	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,89	2,90	3,02	3,23	2,99	
CO ₃ Ca %	30,3	25,4	45,5	36,0	30,0	
Argiles	Illite dont partie interst. à Montm. (45 à 55%)	Illite dont partie interst. à Montm. (50 à 60%)	Illite-40 à 50% Montm.-30 à 40% Kao.-20 à 30% Goeth. 2 à 3%	-	-	

TABLEAU IV : ARGILES DE SOLS FORMES SUR CALCAIRES CRAYEUX OU TENDRES

Echantillons	117/58	2204/56	1318	1326	1328
Localisation	Kfar Zabad	Zahlé	Sirabié	Sarafand	Sarafand Babliyé
Profondeur (cm)	0 - 25	0 - 25	0 - 25	35 - 40	10 - 30
Altitude (m)	940	1200	100	160	210
Pluie (m/m)	550	800	700	700	700
Végétation	Cultures	Cultures	Cultures	Cultures	Herbacée
Couleur sol hde	2,5 Y 7/2	2,5Y 6/2a4	5YR3/3a7,5R1/2	10 YR 5/4	10 YR 2/1
pH sol (H ₂ O)	8,0	8,1	7,9	8,1	7,6
C.E. % d'argile	60,5	85,0	51,5	45,0	42,5
Analyse Totales (Triacide)	Parte aufer	16,20	11,60		20,05
	Résidu	17,0 (Quartz)	2,85		2,20
	SiO ₂ (Silicates)	39,2	43,3		44,70
	Al ₂ O ₃	9,0	26,49		18,00
	Fe ₂ O ₃	6,38	9,17		11,00
	TiO ₂	0,60	1,44		0,60
	CaO	5,28	1,60		0,63
	MgO	5,07	1,90		1,85
	K ₂ O	0,25	0,71		0,43
	Na ₂ O	0,12	0,31		0,47
SiO ₂ /R ₂ O ₃	2,28	2,64		3,03	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,78	3,42		4,22	
CO ₃ Ca %	55,0	28,0	11,7	49,5	0
Argiles	Montm (dominant) Palygorskite Quartz	Montm (domin.) Kao.-	Montm. 80 à 90% Kao.- 5 à 10% Goeth.-Traces!	Montm. 85 à 95% Kao. 5 à 10%	Montm. 85 à 95% Kao - 5 à 10%

4.2. - Les argiles (tableaux V, VI et VII).

4.2.1 - Sols rouges de piedmonts

Si la montmorillonite domine généralement, sauf à Talia, l'illite est très bien représentée dans ces sols et la kaolinite, abondante à Talia, existe dans tous les échantillons, mais en quantités relativement faibles.

La goethite est également toujours présente.

Les éléments totaux laissent apparaître un accroissement relatif de silice et une diminution d'alumine, ce qui confirme les déterminations d'argiles.

Il faut noter que sous climat sec l'illite est relativement plus abondante que sous les climats plus pluvieux.

4 4.2.2. - Sols alluviaux plus ou moins évolués de la Bekaa entre 200 et 600 mm. de pluie.

La montmorillonite domine à 75% et plus, dans 9 échantillons sur 11. La kaolinite dans 2 échantillons seulement, mais ici la proximité des rivières peut laisser supposer des apports différents et peut-être une sédimentation sélective relativement aux types d'argiles.

La kaolinite est toujours présente en petite quantité, l'illite apparaît souvent, ainsi qu'un peu de goethite dans certains échantillons.

Peu de remarques pour ces sols, si ce n'est l'abondance de montmorillonite, ce qui est fréquent en sols de plaine à drainage souvent ralenti. Il est à noter, à nouveau, que l'illite apparaît plus abondante à mesure que la pluviométrie devient plus faible.

TABLEAU V : ARGILES DE SOLS ALLUVIAUX DE LA BEKAA ET S. DRUNS ISOHUMIQUES

Echantillon	913/57 X	11/58 Y	61/58 X	1308 Y	207/57
Localisation	Chtaura 167,5	Tel Amara 208,5	Bar Elias 167,8	Aïn Ahla 204	El Kaa
Profondeur (cm)	80 - 100	100 - 120	0 - 25	20 - 35	0 - 10
Altitude (m)	915	905	875	990	575
Pluie (m/m)	600	610	600	350 - 400	200
Végétation	Cultures	Cultures	Cultures	Cultures	Cultures
Couleur sol Hde	10 YR 5/6	7,5 YR 4/4	10 YR 3/2	5 YR 4/7	7,5 YR 6/5
pH sol (H ₂ O)	7,90	7,80	8,00	8,25	8,4
C.E. % d'argile	45,0	59,0	(45,0) 135,0	31,0	71,0
Analyses (triacide) totales	Parte au feu	12,1	12,75	9,9	10,05
	Résidu	1,8	4,35	5,2	7,25
	SiO ₂ (Silic.)	36,40	39,70	43,2	43,45
	Al ₂ O ₃	24,25	22,30	21,2	19,75
	Fe ₂ O ₃	20,70	15,35	12,95	10,2
	TiO ₂	1,55	1,74	1,50	1,15
	CaO	0,24	2,00	2,10	0,61
	MgO	1,56	1,30	2,00	4,50
	K ₂ O	0,59	0,96	0,57	1,80
	Na ₂ O	0,26	0,41	0,32	0,13
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,71	2,11	2,50	2,84	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,55	3,09	3,47	3,74	
CO ₃ Ca %	1,5	Tr,	28,0	59,4	56,0
Argiles	Kaol. Goethite	Mont. (domin.) Kao.- Illite Goeth.	Mont. impte Kao.- Goeth.	Mont. 80 à 90% Kao. 5 à 10% Ill. 5 à 10%	Mont. (dominte) Illite; Kao. Goeth.

TABLEAU VI : SOLS ROUGES ET BRUN ROUGES DE PIEDMONTS (BEKAA)

Echantillons	1344	1300/55	213/57	1039/55	1029/55	
Localisation	Kfardane	Talia	Koussaïr	Douris	Aïn Ahla	
Profondeur (cm)	50 - 80	0 - 25	0 - 15	0 - 25	0 - 20	
Altitude (m)	1035	1015	750	1095	1000	
Pluie (m/m)	450 - 500	450	350	440	400	
Végétation	Cultures	Cultures	Steppe	Cultures	Cultures	
Couleur sol Hde	2,5 YR 3/4	5à2,5 YR 4/6	5 YR 4/6	5 YR 5/6	5à7,5 YR 5/6	
pH sol (H ₂ O)	7,6	7,4	7,9	8,1	8,1	
C.E. % d'argile	28,2	62,0	10,7	94,0	77,0	
CO ₃ Ca %	0	0	3,0	24,0	19,0	
Analyses totales (triécide)	Perte au feu	11,35	10,40	10,02	10,00	11,20
	Résidu	0,10	4,00	3,25	5,25	5,40
	SiO ₂ (Silicates)	40,45	41,25	41,55	41,90	43,75
	Al ₂ O ₃	26,50	24,65	24,70	23,20	20,60
	Fe ₂ O ₃	17,00	13,45	11,95	12,50	12,20
	TiO ₂	1,15	1,50	1,20	1,40	1,30
	CaO	0,26	0,67	1,30	1,30	1,40
	MgO	1,23	1,72	2,10	1,80	2,30
	K ₂ O	1,52	1,37	2,20	1,37	1,55
	Na ₂ O	0,34	0,34	0,15	0,28	0,23
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,83	2,13	2,19	2,23	2,65	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,58	2,84	2,85	3,08	3,61	
Argiles	Montm 30à40% Kao. 25à35% Illite-traces Hémat 3à5% Goeth. traces	Kao. dominante Illite. Mont. Goeth.	Mont. (dom.) Illite. Kao. Goeth.	Mont. (dom.) Illite Kao. Goeth.	Mont. (dom.) Illite Kao. Goeth.	

TABLEAU VII : SOLS CHATAINS PLUS OU MOINS HYDROMORPHES (Bekaa)

Echantillons	62	1302	1348	1356	1/58
Localisation	Madé	Haouch Ba mda	Es Saïdé	Haouch Rafga	Rayak
Profondeur (cm)	0 - 20	60 - 80	30 - 50	50 - 60	0 - 30
Altitude (m)	1010	1025	1012	958	915
Pluie (m/m)	400	400	450	400	610
Végétation	Cultures	Cultures	Cultures	Cultures	Cultures
Couleur sol Hde	5 YR 4/6	5 YR 3/4	5 YR 3/4	10 YR 5/4	7,5 YR 4/4
pH sol (H ₂ O)		8,00	8,15	8,25	8,0
C.E. % d'argile		34,6	41,3	49,3	56,0
CO ₃ Ca %	21,3	6,5	14,7	49,0	2,0
Analyses totales (Trioxide)	Perte au feu				11,40
	Résidu				5,95 (Qz)
	SiO ₂ (Silicates)				38,40
	Al ₂ O ₃				23,40
	Fe ₂ O ₃				14,15
	TiO ₂				1,80
	CaO				1,12
	MgO				1,64
	K ₂ O				0,74
	Na ₂ O				0,14
SiO ₂ /R ₂ O ₃				2,09	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃				2,79	
	Mont. 75 à 85% Kao. 10 à 15% Ill. 5 à 10% Heimat. (?)	Mont. 65 à 75% Kao. 10 à 20%	Mont. 80 à 90% Kao. 10 à 10% Ill. 5 à 10% Goeth. Traces	Mont. 80 à 90% Kao. 5 à 10% Ill. 5 à 10% Goeth. Traces	Kaol. Mont. meth. G!

5 - Sols rouges et bruns méditerranéens

5.1 - Les sols

Ce type de sols, si caractéristique du climat méditerranéen s'est formé et se forme un peu partout dans les montagnes libanaises Mont Liban et Antiliban. Lorsqu'il est en place ou à peu près il est toujours associé à une roche dure calcaire ou dolomitique, sous forme de poches discontinues et plus ou moins profondes, sauf sur les calcaires durs éocènes du Sud où les sols rouges forment de grandes surfaces continues. Certains sols rouges enterrés ou observés dans des fissures profondes sont très anciens et fossilisés (13, 152/58, 153/58).

En surface la couleur rouge varie du rouge vif 10 R au brun rouge (5 YR) et peut devenir nettement brune (10 YR) sous l'effet de la matière organique ou de l'hydratation. Ces sols sont caractérisés par :

- une décalcarification totale du profil, parfois partiellement recalcarifié en surface ou en profondeur,
- une structure polyédrique très développée et fine, pouvant s'associer à une surstructure plus large en profondeur sans toutefois que la soustructure polyédrique ~~ne~~ disparaisse,
- une pH voisin ou supérieur à 8, une matière organique concentrée en surface, une forte teneur en argile, une absence de lessivage, un état de saturation parfait, etc...

En altitude, au-delà de 1700 mètres, les sols n'ont plus une très grande épaisseur. Malgré l'influence de la matière organique et de l'état d'hydratation, ils gardent les caractères des sols décrits ci-dessus, sauf dans le cas de certains sols encore sous vieilles forêts de cèdres (1384).

5.2. - Les argiles (Tableaux VIII, IX, X et XI)

Généralement prélevés dans des régions à pluviométrie élevée (700 à 1500 mm.), les échantillons de sols rouges ou bruns méditerranéens du Liban contiennent les argiles suivantes :

- Montmorillonite dominante (50 à 75%) dans 17 échantillons sur 20, même quand il s'agit de sols fossiles,
- Kaolinite toujours présente, parfois en quantité notable (40 à 50% et plus dans 3 échantillons),
- Illite existant généralement, pouvant parfois dominer (1362) ou être interstratifiée avec la montmorillonite (21, 1360, 13, 86)
- Goethite presque toujours présente, en quantité notable,
- L'hématite peut apparaître et exceptionnellement la gibbsite (21,20)

Les éléments totaux confirment ces déterminations et les moyennes sur 18 échantillons donnent :

SiO ₂	40%	Al ₂ O ₃	25%	Fe ₂ O ₃	14%
SiO ₂ /R ₂ O ₃	: 2,0	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	: 2,7.		

Il faut noter en conclusion :

- l'importance de la montmorillonite dans les sols rouges ou bruns méditerranéens, sous le climat humide et subhumide du Liban,
- la présence constante de kaolinite et de goethite,
- la faible importance relative de l'illite,
- l'absence de différences notables entre sols bruns et rouges méditerranéens, entre sols observés sous climat très pluvieux et sols observés sous climat nettement moins pluvieux,
- l'analogie entre les argiles de 3 sols fossiles et celles de sols analogues en équilibre, semble t-il, avec le climat sous lequel ils sont observés.

TABLEAU VIII : SOLS BRUNS OU HORIZON BRUN DE SOL ROUGE MEDIT.

Echantillons	20	1280	1288	1362	
Localisation	Baabdat	Bdillouné	Gharzouz	Machmaka	
Profondeur (cm)	150	50	60 - 80	50	
Altitude (m)	700	640	420	1050	
Pluie (m/m)	1250	1150	1000	1500	
Végétation	Arbustif	Arbustif	Arborée (chênes)	Arbustif	
Couleur sol Hde	10 YR 5/6	7,5 YR 4/4	7,5 YR 3/2	10 YR 4/4 à 5/6	
pH sol (H ₂ O)	8,00	7,95	7,7	7,95	
C.E. % d'argile	23,0	24,0	29,5	35,4	
Analyses totales (triacides)	Perte au feu	16,70	14,25	17,60	13,15
	Résidu	0,50	1,50	2,45	0,40
	SiO ₂ (Silic.)	37,95	38,95	42,95	40,60
	Al ₂ O ₃	27,00	28,00	25,00	22,00
	Fe ₂ O ₃	15,20	14,00	13,00	17,00
	TiO ₂	1,40	0,85	0,85	1,85
	CaO	0,39	0,49	0,67	0,57
	MgO	0,58	0,78	1,25	2,21
	K ₂ O	0,33	0,75	1,45	2,60
	Na ₂ O	0,34	0,64	0,59	0,34
SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,75	1,78	2,18	2,09	
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,38	2,36	2,91	3,12	
Argiles	Mont. 50 à 60%	Mont. 45 à 50%	Mont. 55 à 65%	Ill. 35 à 45%	
	Kao. 35 à 40%	Kao. 50	Ill. 10 à 20%	Mont. 25 à 35%	
	Goeth. 5 à 10%	Ill. Tr.	Kao. 15 à 25%	Kao. 25 à 35%	
	Gibbsite(?)	Goeth. 5	Goeth. Traces	Goeth. 10 à 15%	
			HeMat Traces		

TABLEAU IX : SOLS ROUGES MEDITERRANEENS

Echantillon	21	49	1278	1290	1332	1360	
Localisation	Baabdat 44,5 16,5	Innsar	Ballouné 223,8 144,4	Gharzouz 145,1 249,5	Zaoutar 226 155,5	Kaataba	
Profondeur (cm)	200	0 - 20	100	100	50 - 70	50	
Altitude (m)	700	360	630	420	500	1420	
Pluie (m/m)	1250	700	1150	1000	850	1550	
Végétation	Arbustive	Herbacée	Arbustive	Arborée(chêns)	Herbacée	Herbacée	
Couleur sol Hde	2,5 YR 3/6	5 YR 3/3	2,5 YR 3/6	2,5 YR 3/6	2,5 YR 3/4	5 YR 3/4	
pH sol (H ₂ O)	8,1		7,9	7,8	7,15	8,1	
C.E. % d'argile	30,6		22,0	28,5		38,5	
Analyses	(Porteau Bu	18,25	15,90	12,30	12,45	14,05	11,35
	(Résidu	1,15	2,35	2,60	2,95	1,05	0,90
	(SiO ₂ (Silicâ	37,45	40,00	39,30	42,55	39,80	40,90
	(Al ₂ O ₃	26,00	25,50	27,00	25,00	27,50	22,00
	(Fe ₂ O ₃	14,00	12,60	16,00	13,00	14,00	17,00
	(TiO ₂	1,20	1,20	1,00	0,60	1,10	1,95
	Totales (CaO	0,28	0,35	0,35	0,39	0,28	0,51
	(MgO	0,51	1,17	0,89	1,25	0,82	2,17
	(K ₂ O	0,48	0,96	0,66	1,26	0,61	2,40
	(Na ₂ O	0,30	0,37	0,54	0,51	0,34	0,32
Triacide	(SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,81	2,02	1,78	2,16	1,85	2,10
(SiO ₃ /Al ₂ O ₃	2,44	2,66	2,46	2,88	2,45	3,14	
Argiles	Ill. & Mont 75% (partie intr)	Mont. 60 à 70% Kao 20 à 25%	Mont. 50 Kao. 40 à 45	Mont. 70 à 80% Kao. 75 à 20%	Mont. 65 à 75% Kao. 25 à 35	Mont. 60 à 70 (partie intr)	
	Kao. 15 %	Ill. 10 à 15%	Ill. 2 à 5%	Ill. 5%	HeMat. 3 à 5%	Kao. 15 à 25%	
	Goeth 5%	Goeth 2 à 3	Goeth 2 à 5%	Goeth. 2 à 3%	Goeth. Tr.	Goeth. 5 à 10	
	Gibbsite 5%		HeMat Tr.			HeMat. Tr.	

TABLEAU X : SOLS ROUGES FOSSILES ET SOLS ROUGES

Echantillons	1398	13	152/58	153/58	
Localisation	Sfarey	Dar el Kamar	Jissel Amsi	Aïn Zarga	
Profondeur (cm)	80 - 90	Grotte 50cm	214,2 271,5	210,1 267,5	
Altitude (m)			600	650	
Pluie (m/m)	800	1100	250	250	
Végétation	Arbustive		Steppe	Steppe	
Couleur sol Hde	2,5 YR 4/3		5 YR 4/6	5 YR 4/6	
pH sol (H ₂ O)	7,55		8,15	7,70	
C.E. % d'argile	31,0		83,5	82,0	
Analyses	(Perte au feu	14,30	16,00	10,10	10,35
	(Résidu	1,65	1,40	4,8(Q ₃)	1,70
	(SiO ₂ (Silic.)	40,75	40,60	42,85	46,90
	(Al ₂ O ₃	27,00	23,00	23,45	21,80
	(Fe ₂ O ₃	13,00	14,00	11,30	11,30
	(TiO ₂	1,15	1,40	1,30	1,20
	(CaO		0,26	2,10	2,60
	(MgO		0,91	1,70	2,40
	(K ₂ O		0,99	1,27	1,21
	(Na ₂ O		0,32	0,13	0,12
Totales					
(SiO ₂ /R ₂ O ₃	1,95	2,15	2,39	2,68	
(SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,56	3,00	3,11	3,66	
Argiles	Mont. 70 à 80%	Ill + Mont. 5 à 7%	Mont (domin.)	Mont. (domin.)	
	Kao. 20 à 30	(1 partie inf)	Ill.	Ill.	
	Heimat 2 à 5%	Kao. 25 à 30	Kao.	Kao.	
	Goeth. 2 à 5%	Goeth. 2 à 3	Goeth.	Goeth.	

TABLEAU XI : SOLS DE MONTAGNE (ROUGES ET BRUNS)

Echantillons	1376	1374	86	1384	1416	1410	
Localisation	Hermon	Hermon	Sannine	Barrouk Vt Ouest	Barrouk Vt Ouest	Barrouk Vt Est	
Profondeur	0 - 15	0 - 10	0 - 15	40 - 50	0 - 20	0 - 20	
Altitude (m)	2200	1650	2100	1800	1750	1750	
Pluie (m/m)	1200	1100	1300	1400	1400	1200	
Végétation	Herbacée claire de haute montagne			Cédraie	Arbustif	Arbustif	
Couleur sol H&e	17,5YR 4/4	12,5à5YR 3/4	5 YR 3/4	17,5YR4/4à3/4	17,5 YR 3/2	12,5YR 3/5	
pH sol (H ₂ O)	8,0	7,65	7,40	7,40	7,60	7,25	
C.E. % d'argile	30,6	36,0		47,5	42,8	19,3	
Analyses	(Parteaufeu	13,90	13,95	17,45	15,90	20,05	15,50
	(Résidu	2,85	1,70	2,50	1,45	2,80	1,95
Totales	(SiO ₂ (Silic.)	40,20	40,90	38,90	42,65	37,85	39,55
	(Al ₂ O ₃	28,00	25,50	25,00	23,00	22,00	26,00
	(Fe ₂ O ₃	9,00	12,00	11,00	11,40	10,60	12,40
	(TiO ₂	1,40	1,25	1,15	1,15	1,05	1,25
	(CaO	0,39	0,32	0,39	0,53	2,66	0,39
Triaxide	(MgO	1,40	1,52	1,49	2,09	1,58	1,52
	(K ₂ O	2,39	2,02	1,99	0,99	0,83	1,35
	(Na ₂ O	0,32	0,35	0,47	0,34	1,16	0,35
	(SiO ₂ /R ₂ O ₃	2,02	2,08	2,06	2,38	2,22	1,97
	(SiO ₂ /Al ₂ O ₃	2,44	2,72	2,64	3,15	2,91	2,58
Argiles	!KaO-65à75%	!Ill-30à35%	!Ill+Mont. 80à90%	!Mont.70à80%	!Mont.65à75%	!Mont 60à70%	
	!Ill.20à25%	!Mont.30à35%	!(1 partie in- terstr.)	!Kao. 20à30%	!Kao. 20à30%	!Kao.15à25%	
	!Mont. Tr.	!Kao.30à35%	!Kao.10à20%	!Ill. Tr.	!Ill.-Tr.	!Ill.10à15%	
	!Goeth.2à3	!	!Goeth.Tr.	!	!Goeth.Tr.	!Heimat2à5!	

III - TENDANCE EVOLUTIVE DES MINERAUX ARGILEUX SUR QUELQUES PROFILS DE SOLS DU LIBAN

L'étude précédente donne une bonne idée de la nature des matériaux argileux des différents sols du Liban, mais n'explique absolument pas l'origine actuelle, ancienne ou héritée des différents types d'argiles, ni leur évolution.

Dans une première tentative, 3 profils complets de la surface à la roche mère ont été adressés au laboratoire du Professeur G. MILLOT de l'Université de Strasbourg pour analyses et interprétations (tableau XII).

1 - Résultats

Sol brun méditerranéen (1).

La roche saine et la roche altérée contiennent une dominance de montmorillonite sur une kaolinite bien cristallisée. Le quartz y est abondant. Dans le sol la kaolinite est dominante sur la montmorillonite.

Les nodules calcaires sont différents et du sol et de la roche, puisqu'ils contiennent une forte proportion de kaolinite (80), pour 20% seulement de montmorillonite.

Sol rouge méditerranéen (2)

Diagramme peu intense des éléments argileux de la roche saine où cependant la montmorillonite semble dominer sur la kaolinite.

Dans le sol les diagrammes sont plus nets et si la montmorillonite domine toujours, il semble que la kaolinite augmente un peu vers le haut du profil.

Sol brun calcaire (3)

Dans le calcaire poreux sain et altéré, la montmorillonite apparaît exclusivement.

Dans le profil du sol elle est très bien cristallisée, mais semble plus altérée en surface.

Kaolinite et illite ne sont présentes qu'à l'état de traces.

TABLEAU XXI - Argiles de 3 profils et de quelques roches (%)

Type de sol	Echant.	Prof.	Kaoli- nite	Montmoril lonite	Illite	Quartz	Divers
<u>Sol brun-1-</u> <u>méditer.</u> sur calcaire dur Jurassique Baabdat	1-1	30-50	60	40	-	-	traces
	1.2	160-180	60	40	-	-	de goeth
	1.3	220-250	60	40	-	-	et de
	1.4	Nodules calcaires ferrugin.	80	20	-	-	gibbs
	1.5	roche plus ou moins altérée	30	70	-	abondant	
	1.6	roche saine	30	70 (édifice gonflant)	traces	Très abondant	
<u>Sol rouge -2-</u> <u>méditerranéen</u> sur calcaire dur jurassique Baabdat	2.1	15-25	50 ⁻	50 ⁺			
	2.2	75-90	40	60			
	2.3	110-120	40	60			
	2.4	Roche saine	40	60	présent	présent	
<u>Sol brun calc.</u> - 3 - sur calcaire tendre éocène Sarafand	3.1	10-30	traces	100	traces		
	3.2	50-70	-id-	100	-id-		
	3.3	roche altérée	- id-	100	-id-		
	3.4	roche saine	-id-	100	-id-		
Calcaire dur cénomanién du Sud Liban	4.5	Roche alt.	traces	40 (10 à 14 A)	60		
	5.1	roche saine			100 bien cristal.	traces de goethit	
Calcaire tendre poreux éocène	5.1	roche saine			présence (diag. peu intense)	Pyrophyll lite ou talc	
Calcaire dur dolomitique (Sfarey)	5.2	" saine					

20- Essai d'interprétation

Il est extrêmement difficile d'interpréter un profil pédologique en région méditerranéenne :

- les zones d'altération sont limitées ou inexistantes, le passage sol-roche est très brutal (Lamouroux 1966):

- des brassages continuels se produisent sur les pentes, à l'intérieur des couches de sol et souvent d'une poche à l'autre.

Le profil en place, tel qu'il est souvent observé en zone tempérée ou en position topographique plane, ne peut-être que l'exception en région montagneuse méditerranéenne à climat humide ou subhumide.

D'après ces premiers résultats G.MILLOT (1966) a émis deux hypothèses de travail, quant à l'évolution des matériaux argileux sous ce climat du Liban:

- A - "La kaolinite correspond à des néogénèses et altérations en milieu agressif. Dans ce cas, la roche-mère elle-même aurait été atteinte, ne serait-ce que dans ses fissures ou à la surface de ses blocs. Si ceci était vrai, on assisterait à une altération progressive des minéraux de style micacé, de plus en plus ouverts, jusqu'au stade des montmorillonites. Parallèlement cette évolution serait accompagnée d'une néogénèse de kaolinite augmentant de bas en haut du profil".

G.MILLOT, lui-même, émet des réserves quant à cette hypothèse, du fait que la kaolinite des calcaires est probablement héritée et qu'en milieu alcalin la néoformation de kaolinite est difficile.

- B - "La kaolinite appartient au patrimoine argileux de la roche-mère. Elle est héritée et n'a rien à voir avec la pédogénèse. Dans ce cas, seule évolue la fraction argileuse de style micacé. On voit dans la roche-mère une proportion dominante d'édifices gonflants qui évoluent dans le profil vers le type montmorillonite. Ceci s'effectue dans des conditions dégradantes qui diminuent la proportion des minéraux vulnérables et entraînent l'augmentation relative de la kaolinite".

Cette hypothèse, jugée plus satisfaisante par G.MILLOT, n'obtient cependant pas son adhésion totale du fait que le quartz fin diminue de bas en haut et que la kaolinite montre des pics de plus en plus nets vers le haut du profil. Ceci laisse craindre des contaminations.

On trouverait une vérification de cette hypothèse par l'examen du profil 3. Ces dépôts calcaires éocènes de Saïda appartiennent à une série chimique basique analogue à celles de l'éocène du Moyen-Orient, d'Afrique du Nord et d'Afrique Occidentale. La présence exclusive de montmorillonite néoformée en est une caractéristique.

Dans ce profil 3, la montmorillonite se maintient sur tout le profil, avec une légère altération en surface.

Cependant, il est nécessaire de comparer les conditions d'altération entre le profil 3 et les profils 1 et 2.

Pour ces derniers la pluviométrie est de 1250 mm. la température moyenne de 17 °C. environ. Les milieux aérés et alcalins bien structurés, drainant relativement bien sur pente.

Au contraire, pour le profil 3, la pluviométrie est de 700 mm. et la température moyenne de 20°C. environ. Il s'agit d'un sol de plateau à évolution verticale calcaire, à structure large, drainant très mal.

En accord avec les conclusions du professeur G.MILLOT, il faut considérer les données actuelles et études de profils, comme insuffisantes pour dégager nettement un sens évolutif de la matière silicatée dans les profils de sols du Liban. Cependant, ces quelques données et les résultats présentés dans le chapitre I permettent de consolider la seconde hypothèse du professeur G.MILLOT ce dont il sera discuté plus loin.

DISCUSSION

XIII
Le tableau récapitule les principaux résultats obtenus en fonction des grands groupes de sols observés au Liban.

La kaolinite n'est abondante et ne domine que dans les sols sur grès et dans certains alluvions non calcaires de la Bekaa (Chtaura, Rayak, Talia). Partout ailleurs elle ne vient le plus souvent qu'en 3ème position après la montmorillonite et l'illite.

La montmorillonite est de loin l'argile la plus représentative des sols du Liban aussi bien calcaires que décalcarifiés.

L'illite est en proportion appréciable dans la plupart des sols, ce qui justifie des taux élevés de potasse totale - K₂O (en méq.% d'argile) varie de 20 à 30 dans la plupart des sols, sauf sur grès et sur basalte (9 à 13 méq.%). Ces taux de potasse totale varient dans les sols suivant les pourcentages d'argile, mais ils restent très élevés et expliquent que les réponses aux engrais potassiques soient le plus souvent négatives.

RAVIKOVITCH S. et Al (1960) ont également étudié la composition des colloïdes argileux des sols de Palestine - sur 6 échantillons de sols rouges méditerranéens de régions humides et subhumides, la kaolinite domine, l'illite est très bien représentée, par contre la montmorillonite semble assez peu abondante. Dans d'autres types de sols (calcaires, alluviaux, etc...) la montmorillonite domine, tandis que l'illite et la kaolinite varient suivant les cas. Les auteurs soulignent en outre les faibles taux de potasse dans les sols rouges (0,49%).

Par contre Barshad et al. (1956) ont trouvé dans les sols rouges de Galilée de la montmorillonite, de la kaolinite, mais pas d'illite.

Yaalon (1955) trouve également que la montmorillonite domine dans les sols de Palestine.

Muir Alex (1951) parle de "kaolinoid of mellorsitie"

.../...

TABLEAU XIII - Récapitulation des résultats obtenus (moyennes)

Sols	Nbre d'éch.	Eléments totaux % (Moy. Nécant.)					Colloïdes minéraux classés par ordre d'importance et de fréquence (1)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	K ₂ O	
Sur Grès	3	34,50	26,00	18,75	2,25	0,62	Kao - Goe - Mont.
Sur basalte	5	39,72	24,01	14,15	2,84	0,45	Mont - Kao - Goe - Ill. - Hém -
Sols calcaires	8	42,10	23,03	12,29	<u>3,24</u>	1,03	Mont - Ill. (interst) Kao - Goe -
Sols r. méditer. piedmont (Bekaa)	5	40,00	24,64	15,70	2,76	1,47	Mont - Ill. - Kao - Goe - Hém -
Alluv. calc. de Bekaa	4	43,07	21,19	11,96	<u>3,47</u>	1,32	Mont - Ill. et Kao - Goe -
Alluv. non calc. de Bekaa	3	38,17	23,36	16,73	2,81	0,76	Kao - Mont - Goe - Ill.
Sols bruns méditer.	6	39,73	25,00	13,96	<u>2,71</u>	1,24	Mont - Ill. et Kao - Goe - Hém.
Sols r. méditerr.	12	39,73	25,36	13,81	2,66	1,25	Mont - Ill (interst.) Kao - Goe - Hém.

(1) Kao = kaolinite Mont = Montmorillonite Ill. = Illite
 Goe : Goethite Hém = Hématite Interst = interstratification
IM

(kaolinite désordonnée) pour les sols rouges de Syrie, avec un peu de quartz, d'hématite et de mica. Cet auteur pensait qu'un des éléments du groupe kaolinite pouvait être pris comme caractéristique de ces sols rouges sur roches carbonatées.

Bramão, Cady et Hendricks (1950) observent de l'halloysite (voisine de la kaolinite) dans les terra rossa du Portugal.

Pour MUNOZ Taboadela M. (1953) l'illite dominerait dans les sols rouges d'Espagne et d'Afrique de l'Ouest, avec un peu de kaolinite, d'hématite, mais pas de montmorillonite.

Pour l'Italie Luigi Enrico Lisanti (1960) donnent des résultats d'analyses totales d'argiles très voisins de ceux obtenus au Liban (tableau XIV).

Tableau XIV - Comparaison entre les argiles du Liban, d'Italie de Palestine (Moyennes d'éléments totaux).

Pays	Nombre d'échant. considérés	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Al ₂ O ₃
Liban	12	39,73	25,36	13,81	2,66
Italie	12	39,43	27,86	11,74	2,36
Palestine	6	44,92	28,11	12,81	3,00

De ce faisceau de données, bien incomplet cependant, ressort une apparente divergence quant à la nature des argiles, des sols rouges ou bruns méditerranéens. Ainsi suivant les régions étudiées différentes argiles sont observées en dominance :

- La kaolinite est souvent observée en Palestine (Raviksvitch et al), en Syrie (Muir), en Algérie (J.H.Durand - 1959) etc...
- L'halloysite, voisine de la kaolinite, au Portugal (Bramao et al).
- L'illite en Espagne (Munoz Toboadela), en Italie (Cecconi 1955)
- La montmorillonite enfin en Palestine (Yaalon, Barshad et al) et au Liban (Lauvion)

En fait ces divergences ne sont qu'apparentes, si l'on considère les facteurs de pédogénèse susceptibles de libérer, de modifier ou de dégrader les minéraux silicatés des roches sédimentaires, carbonatées et des sols méditerranéens.

1°/ - La composition des roches sédimentaires carbonatées

GRIM, LAMAR et BRADLEY (1937, G.MILLOT (1949-1966) YAALON (1955) et bien d'autres chercheurs ont montré, par de très nombreuses analyses de roches carbonatées et de marnes, que la fraction non carbonatée de ces sédiments était en grande partie formée de minéraux argileux bien individualisés. Ces produits sont hérités des continents voisins, déposés au fond des mers et plus ou moins transformés par la suite (MILLOT 1964).

Si l'illite domine dans de très nombreux sédiments calcaires la kaolinite lui est souvent associée en quantité non négligeable et la montmorillonite peut parfois dominer comme c'est le cas dans les calcaires tendres de Saïda.

Cet héritage jouera un rôle déterminant dans la composition des minéraux argileux des sols méditerranéens.

2°/ - L'âge et le vieillissement des formations

Certains minéraux beaucoup plus stables que ~~les~~ autres, comme la kaolinite, se conserveront beaucoup mieux au cours des temps et apparaîtront en dominance sur d'anciens glacis ou terrasses quaternaires (Talia, Rayak). BESANCON et MAHLER (1966) feraient remonter les épandages "talia" et sans doute ceux de Rayak à la période Riss (datation provisoire).

Beaucoup de formations rouges d'Afrique du Nord, du Sud de la France, des plaines syriennes, etc... sont absolument aclimaciques sous une pluviométrie inférieure à 500 mm. Ces formations rouges, plus ou moins anciennes, ont subi les fluctuations diverses des pluviaux et interpluviaux quaternaires, leurs minéraux argileux ~~sont~~ ^{sont très} souvent kaolinitiques. Mais dans ces formations il ne faut pas exclure les néogénèses ultérieures de minéraux 2/1, comme la montmorillonite, surtout si le milieu, plus ou moins hydromorphe, est alimenté en Ca, Mg, SiO₂, etc... à partir des massifs voisins.

Inversement des formations plus jeunes, sols sur marnes, alluvions peu évoluées, sols bruns steppiques calcaires, etc... contiendront des minéraux d'héritage variés, dont la kaolinite.

3°/ Les influences climatiques actuelles

Nous avons noté, à deux reprises, que l'illite devient plus abondante quand la pluviométrie diminue, avec parfois de fortes proportions de kaolinite, alors que la montmorillonite domine nettement sous le climat humide et subhumide du Mont Liban. Dans d'autres régions méditerranéennes, relativement sèches, kaolinite et illite sont également abondantes.

Pour expliquer cette répartition il faut considérer :

a) - un climat méditerranéen "conservateur" dont la pluviométrie est insuffisante pour provoquer d'une part l'altération des roches carbonatées, d'autre part des néogénèses ou des transformations de minéraux argileux. D'après de nombreuses observations cette pluviométrie critique se situerait, au Liban, autour de 400 mm. La pédogénèse se trouve donc stoppée ou du moins ralentie et les argiles restent sensiblement telles que les ont laissées les climats ou variations climatiques antérieures.

A₁ - Sur de vieilles surfaces, du quaternaire moyen par exemple, peu remaniées par les transformations ultérieures, la kaolinite dominera. Cette kaolinite peut résulter de néogénèses anciennes facilitées par des climats chauds et humides de types subtropicaux. Plus vraisemblablement elle peut être le résultat d'héritages successifs dus aux altérations des roches et du fait de sa grande stabilité elle subsiste facilement alors que la montmorillonite et l'illite mal cristallisées sont facilement détruites.

A₂ - Dans des sols plus récents, mais n'évoluant plus ou très peu, du fait des conditions d'aridité, les illites ou montmorillonites libérées par les altérations, à la fin du dernier pluvial, n'ont pas eu le temps de se dégrader quand le climat était encore humide, aussi se retrouvent-elles en assez grande quantité dans ces sols (sols bruns steppiques par exemple).

.../...

Une augmentation sensible des précipitations (4 à 700 mm.) permet une lente altération des roches carbonatées, un entrainement incomplet des carbonates et les minéraux argileux ainsi libérés n'évoluent pas ou très peu.

b - un climat méditerranéen agressif, dont les pluviométries supérieures à 1 mètres permettent une profonde altération des roches dures carbonatées et donnent naissance à des argiles de décarbonatation qui rubéfiennent ou non suivant les conditions locales (Lamouroux 1965-1966). Ces pluviométries (1000 à 1500 mm.) ne sont ~~pas~~ cependant pas suffisantes pour entrainer un complet lessivage des alcalino-terreux qui s'accumulent dans des poches, des horizons et plus généralement au-delà du "front d'altération". Le milieu reste franchement alcalin favorisant des néogénèses ou des transformations de type montmorillonitique.

En milieu lessivé, comme c'est le cas dans les sols sur grès, la kaolinite domine nettement, probablement du fait de la dégradation et de l'entrainement des minéraux 2/1. Mais il est possible que ces grès cèdent aux sols, par héritage, des minéraux argileux presque exclusivement kaolinitiques.

Que se passerait-il sous de très fortes pluviométries, supérieures à 2 mètres ? Des lessivages intenses, corrélatifs à une forte humification, acidifieraient-ils le milieu et favoriseraient-ils les accumulations relatives de "kaolinite" ? La dégradation des minéraux 2/1 ne serait-elle pas compensée par des apports accrus, dus aux altérations de plus en plus intenses ?

4°/ - La topographie influe considérablement sur le milieu. C'est un fait bien connu que les milieux hydromorphes, à lessivage ralenti ou stoppé, donc riches en Ca et Mg, favorisent les néogénèses de montmorillonite, même en régions ferrallitiques.

Donc rien d'étonnant à ce que les sols alluviaux ou les sols mal drainés de la Bekaa ou de la côte soient riches en montmorillonite

.../...

5°/ - La nature elle-même des minéraux argileux doit être prise en considération dans une étude dynamique de la fraction argileuse. Plus les minéraux sont fins, plus ils sont facilement entraînés par lessivage. C'est le cas des produits amorphes non encore organisés en silicates et des montmorillonites. Ces entraînements préférentiels sont facilement observables dans les sols tropicaux à texture variée, mais dans les sols méditerranéens très argileux un départ d'argile fine (inférieure à 1μ) ne fera qu'accroître la fraction comprise entre 1 et 2 γ ^{microns} sans changer beaucoup les résultats de l'analyse granulométrique habituelle. =====

Sans avoir encore vérifié cette hypothèse, nous supposons que l'entraînement préférentiel des minéraux argileux peut se produire dans les sols méditerranéens.

Ce phénomène interviendrait dans de nombreux sols rouges méditerranéens à poches brunes, où les minéraux argileux des poches sont moins bien structurés qu'en surface.

Cet entraînement pourrait également expliquer qu'un sol prélevé à 2200 m. sur les pentes de l'Hermon soit très riche en kaolinite, alors que ce sol peu épais et proche du sommet doit être relativement récent et aussi riche en minéraux argileux variés que les sols prélevés plus bas à 1650 mètres sur le même type de roche.

V - CONCLUSION

Héritages variés, âge des formations, conditions climatiques actuelles, milieu de formation ou de transformation, etc... autant de facteurs qui influent sur la nature des minéraux argileux des sols méditerranéens. Il n'est donc pas inattendu d'obtenir de très grandes variations dans les résultats d'analyses de sols méditerranéens ~~certes, mais~~ prélevés dans des conditions de climat, de milieu, de topographie, etc... très variées.

L'étude des colloïdes argileux ~~des sols méditerranéens~~ met en évidence la "position charnière" des sols de cette région climatique. Position charnière justifiée par des oscillations climatiques quaternaires, importantes certes, mais qui n'ont jamais

atteint un degré tel que la kaolinite des sols méditerranéens soit attribuable à des climats tropicaux favorables à la ferrallitisation. Si rarement la gibbsite, seule preuve généralement admise de ferrallitisation, apparaît dans un sol, elle peut-être un résidu d'héritage ou même de climats, bien différents du climat actuel, et même antérieurs aux climats du quaternaire.

L'illite, pas plus que la kaolinite ou la "montmorillonite ne peut caractériser les sols méditerranéens, suivant l'âge des formations, l'intensité pluviométrique, la composition des roches carbonatées et la topographie le type d'argile variera.

Sous le climat humide et subhumide du Liban, alors que des sols rouges méditerranéens se forment encore, les illites semblent évoluer dans ces sols, en montmorillonite et celle-ci se dégraderait partiellement en surface où le milieu est bien lessivé.

En altitude la température diminue, la pluviométrie est élevée, l'humidité se maintient dans les sols dont les argiles sont très riches en montmorillonite. Sur basalte la montmorillonite est très abondante, mais la kaolinite est présente en petite quantité. Tandis que sur le grès faiblement acide, la kaolinite domine, peut-être du fait de la dégradation des illites et des montmorillonite, mais si des néogénèses de kaolinite semblent peu probables *actuellement*, il n'est pas possible, dans l'état ~~actuel~~ de nos connaissances, d'exclure totalement des possibilités de kaolinisation au cours du quaternaire.

Sous les climats pluvieux du Mont Liban la dominance dans les sols d'argiles montmorillonitiques serait le signe d'une pédogénèse très active, favorisant la formation de montmorillonite et celle de sols rouges et bruns méditerranéens, à partir des résidus d'altération des roches carbonatées.

B I B L I O G R A P H I E

- BARSHAD (I) et Co - Clay minerals in some limestone soils from Israël - Soil Sciences 1956 - 81 - 423-7.
- BESANCON J. et MAHLER Ph (1966) - Etude géomorphologique préliminaire de la région de Talia (Bekaa centrale, Liban) (en cours de publication).
- BILLAUX (P) - Analyses diverses - Archives Tel'Amara.
- DURAND (J.H.) - Les sols rouges et les croûtes en Algérie - n°7 - 1959 - Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural.
- LAMOUREUX (M) - Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide (Liban) Cahiers ORSTOM - Pédologie - Vol. III - n°1 - 1965
- A propos de la formation des sols rouges méditerranéens sous climat humide et subhumide du Liban - 1966 - Conférence de Madrid sur les sols méditerranéens.
- LISANTI (L.E.) The red earths and the colloids of the red earths - J. of S. Science vol. 11 - n° 1 - 1960.
- MILLOT (G) - Géologie des argiles - Masson et Cie - 1964
Etude de la fraction argileuse de quelques profils de sols du Liban - non publiés - 1966.
- MUIR (A) - Notes on the soils of Syria - J. of S.Sc. Vol. 2 - 1951
- MUNOZ TABOADELA (M) - The clay mineralogy of some soils from Spain and from Rio Muni (West Africa). J.O. S.Sc. vol. 4 - 1953
- PINTA (M) - Analyses et interprétations diverses - non publiés - S.S.C. Bondy - 1965.
- RAVIKOVITCH (S) and al - Composition of colloids in the soils of Israël. J. of. S. Sc. - Vol. 11 - n° 1 - 1960.
- REIFENBERG (A) - The soils of Palestine - 2ème édit. Thomas Murby and Co - London - 1947 -
- YAALON (D.H.) - Note on the clay mineralogy of the major soil types of Israël - Bull. Res. Counc. Israël - 58 - 168-73 - 1955
- SINGER (A.) - *The mineralogy of the clay fraction from basaltic soils in the Galilee, Israël*
J. of. S. Sc. - vol 17 - n° 1 - 1966