

## NOTES PRÉLIMINAIRES SUR LES MINÉRAUX ARGILEUX DES ALTÉRATIONS ET DES SOLS MÉDITERRANÉENS DU LIBAN

Maurice LAMOUREUX, Hélène PAQUET, Maurice PINTA et Georges MILLOT

*Mission O.R.S.T.O.M. au Liban — Institut de Recherches Agronomiques de Tel'Amara (par Rayak)  
Centre de Recherches de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (C.N.R.S.)  
Laboratoire de Spectrographie, Services Scientifiques Centraux (O.R.S.T.O.M.)  
Laboratoire de Géologie et Paléontologie de l'Université de Strasbourg (\*)*

---

RÉSUMÉ. — Un inventaire des minéraux argileux des principaux sols et altérations du Liban a été effectué. Des analyses évolutives le long de certains profils les complètent. Sur les basaltes, des néoformations de montmorillonite et éventuellement de kaolinite sont enregistrées. Sur les roches sédimentaires, qui sont de beaucoup plus nombreuses, les argiles des sols sont principalement héritées des roches mères. Mais les dégradations peuvent être mises en évidence, surtout sur les illites, évoluant en interstratifiés vers les montmorillonites de dégradation. Les néoformations de montmorillonites dans les sols hydromorphes ou vertiques sont possibles, mais restent à démontrer.

### INTRODUCTION

Le Liban présente sur une surface limitée (10 000 km<sup>2</sup>) des variations climatiques considérables : ainsi la pluviosité varie de 250 à 1 500 mm. La lithologie est dominée par les roches carbonatées, mais des secteurs gréseux ou basaltiques fournissent des termes de comparaison utiles. Les roches carbonatées, calcaires ou dolomitiques présentent une variété très grande de composition, de structure et de fractionnement tectonique qui intervient profondément dans le drainage et la nature des sols produits.

Dans ce contexte, une grande diversité de sols méditerranéens s'est développée. Sous le climat humide du versant ouest du Mont Liban, les altérations sont intenses et les sols formés sont en équilibre avec le climat actuel. Dans le climat semi-aride du Nord de la

---

(\*) Travail effectué avec le concours de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

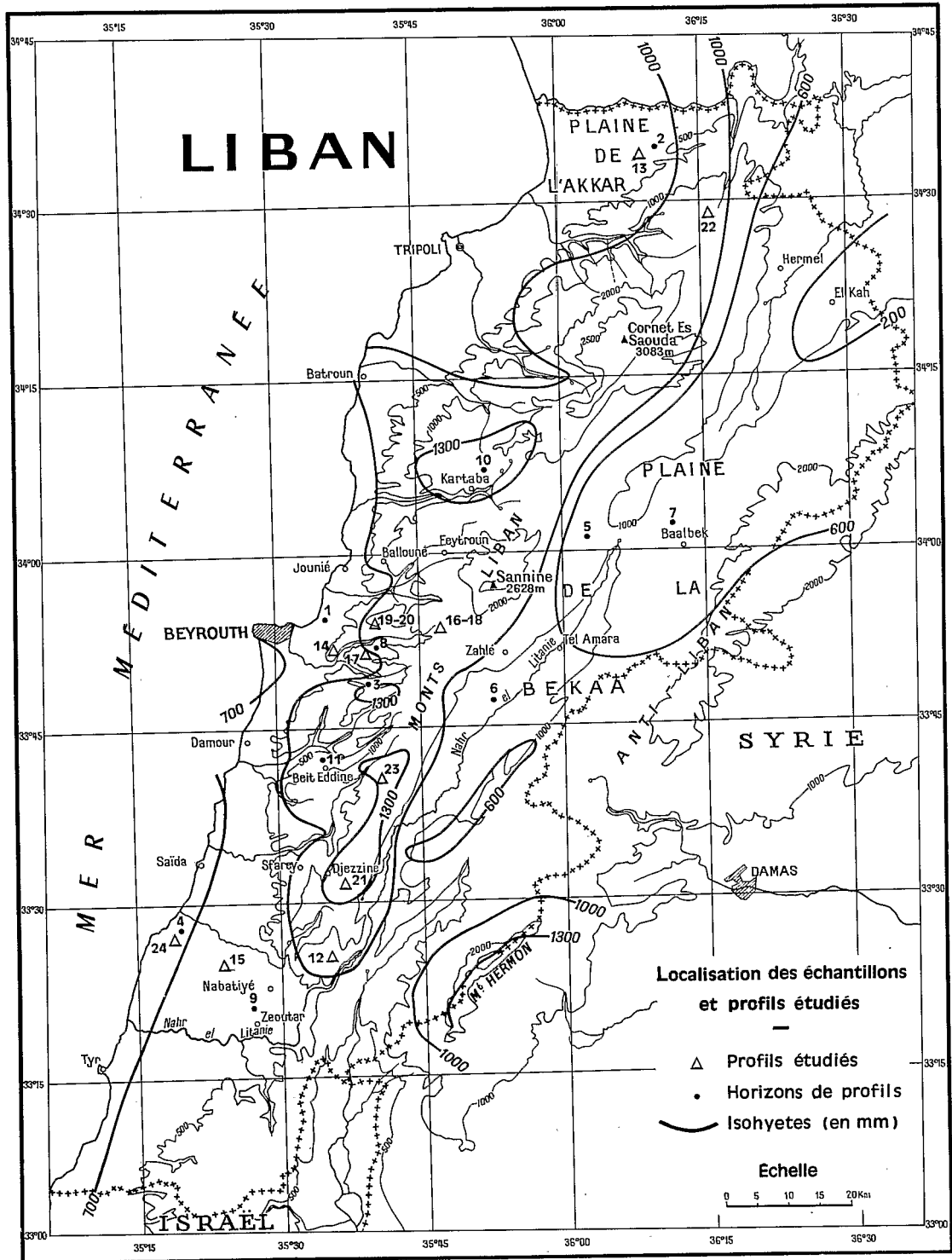


FIG. 1

Bekaa, les évolutions sont très ralenties et les sols témoignent parfois de pédogenèses passées.

L'étude de la fraction argileuse des altérations et des sols du Liban est apparue du plus haut intérêt, d'autant qu'il n'existe pas de données à ce sujet. Mais cette étude permet surtout d'éclairer le problème de l'évolution de la matière silicatée des sols rouges méditerranéens, dans des cas où les sols sont certainement vivants.

Le travail a été mené de deux manières : d'abord, un inventaire général des argiles d'une centaine de types de sols du Liban; ensuite, l'étude détaillée de treize profils, afin d'analyser d'une manière dynamique l'évolution de la fraction fine silicatée. Ce travail est le fruit de la collaboration entre les équipes de terrain et les laboratoires d'analyses de l'O.R.S.T.O.M. à Bondy et de l'Institut de Géologie à Strasbourg. La fig. 1 indique les lieux de prélèvement.

## I. — INVENTAIRE GÉNÉRAL SUR LA NATURE DES ARGILES DES SOLS DU LIBAN

Une centaine de prélèvements a été faite à travers le pays, dans les différentes conditions climatiques et sur des roches mères variées. Les tableaux I et II donnent quelques exemples de cet inventaire. Les résultats sont présentés selon les diverses roches mères.

### 1. Argiles des sols formés sur grès

Les sols formés sur grès sont érodés et remaniés, souvent mêlés à des marnes ou argiles alternant ou surmontant les formations gréseuses. De couleur brun, brun-jaune, avec souvent un horizon brun-rouge, ils présentent des pH de 6,5 à 7,5.

Dans plusieurs échantillons prélevés en zone humide (900 à 1 200 mm), la kaolinite domine, ( $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  très peu supérieur à 2), la montmorillonite est présente, l'illite est absente, la goéthite est abondante.

### 2. Argiles des sols formés sur basaltes

Le volcanisme s'est manifesté à plusieurs reprises entre le Jurassique et le Quaternaire. Des intercalations basaltiques sont fréquentes dans la série sédimentaire du flanc ouest du Liban. Mais les affleurements les plus précieux pour l'étude sont ceux du Plateau d'Akkar, au Nord du Liban, prolongement du Djebel Alaouites. On peut également faire des comparaisons avec les basaltes des plateaux syriens.

Les sols sont de couleur brune, exceptionnellement rouge, ils sont peu structurés et riches en éléments non altérés. Plusieurs échantillons prélevés en zone humide (900 à 1 100 mm) montrent que la montmorillonite représente plus des 3/4 de la fraction fine. La kaolinite est présente (10 à 30 %), la goéthite aussi, l'illite est pratiquement absente. Sous une faible pluviométrie, les sols rouges du plateau basaltique au S de Damas donnent les mêmes résultats.

TABLEAU I

*Minéraux de la fraction fine (< 2 μ) de sols variés,  
en % de minéraux cristallisés de cette fraction*

Types de sols	Sol brun lessivé sur grès	Sol rouge méditerranéen sur basalte	Brun calcaire	Brun vertique	Sol rouge méditerranéen de piedmont
Echantillons	1 296	1 336	1 370	1 326	1 344
Localisation	Fanar (1) (*)	El Teil (2)	Reichmata (3)	Sarafand (4)	Kfardane (5)
Profondeur (cm)	80–100	60–80	110–120	35–40	50–80
Altitude (m)	300	300	700	160	1 035
Végétation	Pins	Herbacées	Cultures	Cultures	Cultures
Pluie (mm)	900	950	1 200	700	450–500
Couleur sol humide	5 YR 4,5/7,5	2,5 YR 3/2	7,5 YR 4/4	10 YR 5/4	2,5 YR 3/4
pH sol (H <sub>2</sub> O)	7,3	7,0	8,1	8,1	7,6
C.E. % d'argile	23,4	38,0	35,7	45,0	28,2
CaCO <sub>3</sub> %	0	0	45,5	49,5	0
Argiles %	Montmorillonite 5 à 10 Kaolinite 65 à 75 Illite — Goethite 20 à 30 Divers —	65 à 75 25 à 30 traces traces Hématite (3 à 5)	30 à 40 20 à 30 40 à 50 2 à 5 —	85 à 95 5 à 10 — — —	30 à 40 25 à 35 traces traces Hématite (3 à 5)
Eléments majeurs des argiles % (triacides)	SiO <sub>2</sub> 32,60 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 25,00 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 22,25 SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 2,21	40,25 28,00 14,00 2,44	42,75 24,00 14,00 3,02	44,70 18,00 11,00 4,22	40,45 26,50 17,00 2,58

(\*) (1) Numéros d'ordre reportés sur la carte du Liban (fig. 1).

### 3. Argiles des sols calcaires (type rendzine)

Les sols riches en carbonates de calcium sont très répandus au Liban. On distingue :

- des sols bruns très calcaires, formés sur colluvions de pente ou de bas de pente, profonds, caillouteux, argilo-limoneux;
- des sols bruns calcaires, très argileux, formés sur les marnes incluses dans la série des calcaires ocreux de l'Albien et de l'Aptien;
- des sols blancs ou gris très calcaires, sur marnes ou calcaires crayeux;

TABLEAU II  
*Minéraux de la fraction fine (< 2 μ) de sols variés,  
 en % de minéraux cristallisés de cette fraction*

Types de sols	Peu évolué sur alluvions	Brun isohumique	Brun méditerranéen	Rouge méditerranéen	Rouge méditerranéen	Rouge méditerranéen fossile	
Echantillons	26	62	2984	1332	1360	57	
Localisation	Bar Elias (6)	Yaaté (7)	Arbanyé (8)	Zaoutar (9)	Kartaba (10)	Dar el Kamar (11)	
Profondeur (cm)	0-25	0-20	90-120	50-70	50	grotte	
Altitude (m)	875	1010	580	500	1420	—	
Végétation	Cultures	Cultures	Pins Chênes	Herbacées	Herbacées	—	
Pluie (mm)	600	400	1070	850	1550	1100	
Couleur sol humide	10 YR 3/2	5 YR 4/6	10 YR 5/8	2,5 YR 3/4	5 YR 3/4	—	
pH sol (H <sub>2</sub> O)	8,00	8,2	8,5	7,15	8,1	—	
CaCO <sub>3</sub> %	28,0	21,3	0	0	0	0	
C.E. % d'argile	—	—	15,9	—	38,5	—	
Minéraux Argileux	Montmorillonite	dominante	75 à 85	25 à 30	65 à 75	(I et M) 60 à 70	(I et M) (65 à 75)
	Kaolinite	présente	10 à 15	70	25 à 35	15 à 25	25 à 30
	Illite	0	5 à 10	2 à 3	—	(I + M)	(I + M)
	Goethite	présente	—	Importante	traces	5 à 10	2 à 3
	Divers	—	—	—	Hématite (3 à 5)	Hématite (traces)	—
Éléments majeurs des argiles % (triacides)	SiO <sub>2</sub>	43,20	—	42,15	42,55	40,90	40,60
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,20	—	26,50	25,00	22,00	23,00
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,95	—	14,50	13,00	17,00	14,00
	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09	—	2,70	2,88	3,14	3,00

— des rendzines rouges peu épaisses et caillouteuses formées sur le conglomérat tertiaire;  
 — des sols bruns plus ou moins calcaires, très argileux, peu épais, formés sur des calcaires tendres poreux, très développés sur les plateaux côtiers du versant sud-ouest.

L'illite et ses produits d'altération, illite ouverte, illite gonflante, interstratifiés illite-montmorillonite dominant dans les sols bruns calcaires. La montmorillonite est également présente, mais domine dans les sols formés sur les calcaires tendres de l'Eocène, riches en ce minéral. La kaolinite est toujours présente, la goethite également, mais en petite quantité.

#### 4. Argiles des sols sur alluvions ou colluvions de la plaine de la Bekaa

La Plaine de la Bekaa occupe un fossé tectonique orienté N-S, entre les monts Liban et les monts Antiliban. Elle est garnie d'alluvions ou de colluvions issues des deux chaînes

qui la bordent. Elle est située à haute altitude (800 m en moyenne), et la pluie qui l'arrose varie de 900 mm au S à 250 mm au N.

a) Sols rouges de piedmont. Ces sols occupent les grands piedmonts issus des chaînes bordières. Ils forment le passage entre les sols rouges méditerranéens des montagnes et les sols brun-rouge steppiques. Ils sont souvent profonds, peu caillouteux, très argileux, structurés, à pH voisin de 8. Situés actuellement sous des pluviosités inférieures à 500 mm, ils ne correspondent pas à ce climat relativement sec.

b) Sols bruns très calcaires. Ces sols ont évolué sous les climats secs et semi-arides du Nord de la Bekaa. La faible pluviosité ne facilite pas la pédogenèse. Les sols restent très calcaires sur tout le profil et sont souvent peu profonds.

c) Sols sur alluvions le plus souvent hydromorphes. C'est le grand ensemble des sols châtaîns et sols hydromorphes et vertiques de la Bekaa centrale et méridionale. Ces sols sont développés sur les alluvions du Litani et du Ghazial, les deux cours d'eau importants, et soumis à l'hydromorphie. Ces sols sont bruns, plus ou moins foncés, profonds, parfois totalement dépourvus de calcaire en surface, avec un horizon calcaire en profondeur.

d) Les argiles de ces trois groupes de sols sont caractérisées par la nette dominance de la montmorillonite sur l'illite, avec un peu de kaolinite (et de goéthite) toujours présente. Mais il faut noter que l'illite augmente dans les sols soumis à un climat sec et que la montmorillonite atteint 75 % dans les sols de la plaine à drainage ralenti.

##### 5. Argiles des sols rouges et bruns méditerranéens

Ces sols sont caractéristiques des montagnes libanaises, Liban et Antiliban. Quand ils sont en place, ou à peu près en place, ils sont toujours associés à une roche dure calcaire ou dolomitique, sous forme de poches discontinues logées dans les dessins du karst. Seuls les calcaires durs de l'Eocène du Sud forment de grandes surfaces continues.

Ces sols ont une couleur qui varie du rouge vif (10 R) au brun-rouge (5 YR) et peut devenir nettement brune (10 YR). On doit noter : une décalcarification totale du profil, parfois partiellement recalcarifié en surface ou en profondeur; une structure polyédrique fine et très marquée, qui reste dominante, même quand une structure s'installe en profondeur; un pH voisin de 8; une matière organique concentrée en surface; une forte teneur en argile; une absence de lessivage et un complexe adsorbant saturé pour presque tous ces sols.

Prélevés dans la zone à pluviosité élevée (700 à 1 500 mm), les échantillons de sols rouges ou bruns méditerranéens montrent les minéraux argileux suivants : montmorillonite dominante (50 à 75 %) dans 36 échantillons sur 44, illite (et ses interstratifiés) abondante, pouvant rivaliser avec la montmorillonite, kaolinite toujours présente, rarement importante, goéthite presque toujours présente, hématite et gibbsite rares.

On doit remarquer l'importance de la montmorillonite, l'absence de différences entre sols rouges et sols bruns, entre sols en équilibre avec des pluviosités variées (700 à 1 500 mm), entre sols vivants et sols enterrés fossiles.

## II. — ÉTUDE ÉVOLUTIVE DE LA FRACTION ARGILEUSE DE QUELQUES PROFILS

L'étude présentée au chapitre précédent est un inventaire ponctuel; elle donne une précieuse idée de la nature des argiles des sols du Liban. Ici est entreprise une étude dynamique de l'évolution de la fraction argileuse silicatée dans certains profils bien choisis et complètement étudiés.

### 1. Profils sur basaltes

L'intérêt des profils sur basaltes est grand. La roche mère ne contient pas d'argile. L'argile des altérations et des sols est née *in situ*. Le tableau III montre les minéraux argileux des sols sur basaltes. Le profil 339 est celui d'un sol jeune. Il montre une montmorillonite très bien cristallisée, aussi bien dans le noyau basaltique en voie d'altération, que dans le sol. Des traces de kaolinite sont seulement sensibles.

TABLEAU III  
*Minéraux argileux de la fraction fine (< 2 μ)  
de sols formés sur basalte, exprimés en %*

Numéro d'échantillons	Profondeur (cm)	Edifices à 7 Å (kaolinite)	Montmorillonite
339 1	0-15	traces	100
339 2	30-60	traces	100
339 R2	2ème cortex	traces	100
339 R1	1er cortex	traces	100
339 R0	Noyau peu altéré	traces	100
179 1	0- 15	+	+
179 3	60- 70	40	60
179 4	90-110	40	60
179 5	R.A	20	80
179 6	R.S	-	100

Le profil 179, mis à part l'horizon de surface colluvionné, montre une évolution. La montmorillonite, seule et assez mal cristallisée dans la roche à peine altérée, devient très belle dans la roche altérée et le sol. Mais la kaolinite se développe parallèlement.

## 2. Profils sur roches carbonatées

### a) *Présentation*

Le tableau IV donne les déterminations des minéraux argileux de 11 profils sur roches carbonatées. Le dernier, n° 24 - profil 3, est un sol brun vertique sur calcaire crayeux de l'Eocène. L'avant-dernier, n° 23 - profil 341, est un sol brun forestier. Les 9 autres sont des sols rouges ou bruns méditerranéens. Les profils ou horizons rouges appartiennent à des milieux bien drainés ou « milieux ouverts », tandis que les profils et horizons bruns sont à drainage ralenti et constituent des « milieux confinés hydratés ». Tous les profils ont été prélevés sur le versant ouest du Mont Liban, sous une pluviosité d'un mètre, sauf le profil 319 - n° 15, et le profil 3 - n° 24, qui appartiennent à des régions moins pluvieuses (700 mm), sous un faible couvert végétal.

### b) *Symboles*

La lecture des symboles utilisés dans le tableau IV doit se faire de la manière suivante :

- 1) I ..... illite, minéral stable à 10 Å
- I<sub>0</sub> ..... illite, dont les interfoliaires commencent à bâiller sans toutefois gonfler sous l'influence des polyalcools. Le minéral tient encore.
- 2) I-(IM) ..... complexe formé de particules stables à 10 Å et de particules interstratifiées (IM). Dans ces interstratifiés, certaines espèces interfoliaires sont stables à 10 Å sous l'influence des polyalcools, d'autres gonflent à 17 Å comme le fait la montmorillonite.
- 3) I-(IM)-M ..... complexe formé de 3 catégories de particules avec passage des unes aux autres : particules stables à 10 Å, particules interstratifiées (IM) comme précédemment, et particules dont tous les espaces interfoliaires gonflent à 17 Å après traitement aux polyalcools : ce sont des particules à comportement de montmorillonite.
- 4) (IM)-M ..... complexe formé des deux dernières catégories du complexe précédent : les particules d'illite à 10 Å stable n'existent plus.
- 5) (IM) traces — M . complexe formé de traces d'interstratifiés et d'une grosse quantité de montmorillonite gonflante.
- 6) M ..... montmorillonite.

### c) *Minéraux argileux*

Dans le profil 3 - n° 24, sur calcaire crayeux éocène, la roche mère contient une montmorillonite bien cristallisée. Elle se maintient dans le profil pour se dégrader légèrement en surface.

Dans le profil 2 - n° 20, sur calcaire dur, la roche mère contient un mélange de kaolinite et de montmorillonite. Celle-ci se maintient pour se dégrader en surface, au bénéfice de la kaolinite.



TABLEAU IV

Minéraux de la fraction fine ( $< 2 \mu$ ) de sols rouges et bruns méditerranéens, en % de minéraux cristallisés de cette fraction

Types de sols (*)	Echantillon	Profondeur (cm)	Edifice à 7 Å (kaolinite)	Edifices gonflants I (IM) M	Pluie (mm)	Drainage
Sol rouge méditerranéen à poche brune (14) sur calcaire dur	151.2	20- 30	+	+ I-(IM)	1000	très bon en surface, médiocre dans les poches
	151.4	80-100	20	80 I-(IM)		
	151.R	roche saine	+	+ I-(IM)		
Sol rouge méditerranéen (15) sur calcaire dur	319.1	0- 15	30	70 I-(IM)-M	700	bon
	319.3	50- 70	30	70 I-(IM)		
	319.5	110-125	30	70 I-(IM)		
	319.7	terra rossa	30	70 I-(IM)		
	319.RA	roche altérée	0	100 I <sub>0</sub> (IM) traces		
	319.RS	roche saine	0	100 I <sub>0</sub> (IM) traces		
Sol rouge méditerranéen (16) sur calcaire dur grossier	343.1	30- 40	20	80 (IM) traces-M	1450	très bon
	343.RA	roche altérée	20	80 (IM)-M		
	343.RS	roche saine	30	80 (IM)-M		
Sol rouge méditerranéen (17) sur calcaire dur	287.2	30- 40	30	70 (IM) traces-M	1000	bon
	287.4	80-100	30	70 (IM)-M		
	287.5	100-110	30	70 (IM)-M		
	287.R	roche saine	amorphe			
Sol brun méditerranéen (18) sur calcaire dur	344.3	80-100	10	90 (IM) traces-M	1250	très bon
	344.4	110-130	30	70 (IM)-M		
	344.5	140-160	20	80 I-(IM)-M		
	344.R	roche saine	0	100 I-(IM)-M		
Sol brun méditerranéen (19) sur calcaire dur grossier	1.1	30- 50	60	40 M	1100	médiocre
	1.2	160-180	60	40 M		
	1.3	220-250	60	40 M		
	1.4	nœuds calcaires	80	20 M		
	1.5	roche altérée	30	70 M		
	1.6	roche saine	30	70 I-(IM)-M		
Sol rouge méditerranéen (20) sur calcaire dur	2.1	15- 25	50	50 M	1100	assez bon
	2.2	75- 90	40	60 M		
	2.3	110-120	40	60 M		
	2.4	roche saine	40	60 M		
Sol rouge méditerranéen à poche brune sur dolomie (21)	315.1	0- 12	30	70 (IM) traces-M	1300	très bon en surface, médiocre dans les poches
	315.3	35- 50	30	70 I-(IM)-M		
	315.5	85- 95	30	70 I-(IM)-M		
	315.R	roche saine	20 (chlorite) ?	50 I <sub>0</sub> + 30 (IM)-M		
Sol rouge méditerranéen (22) sur dolomie dure, à passées tendres	342.3	30- 40	20	80 (IM) traces-M	2100	très bon
	342.4	60- 70	20	80 (IM)-M		
	342.5	100-120	traces	100 (IM)-M		
	342.6	roche altérée	traces	100 (IM)-M		
	342.7	roche saine	traces	100 I <sub>0</sub>		
Sol brun forestier (23) sur calcaire dur	341.1	0- 10	30	70 (IM) traces-M	1750	très bon
	341.2	20- 30	30	70 (IM) traces-M		
	341.R	roche saine		amorphe		
Sol brun calcaire (24) vertique, sur calcaire tendre	3.1	10- 30	traces	1 traces, 100 M	700	assez bon
	3.2	50- 70	traces	1 traces, 100 M		
	3.3	roche altérée	traces	1 traces, 100 M		
	3.4	roche saine	traces	1 traces, 100 M		

Dans les deux profils n° 17 et 23, la fraction argileuse extraite de la roche mère ne donne pas de pics sur les diffractogrammes réalisés par diffraction des rayons X. L'interprétation de l'évolution dans la zone de départ est donc impossible et la matière argileuse n'évolue pas sensiblement dans les profils.

Dans tous les autres profils, les caractéristiques sont les suivantes :

— nette dominance des complexes illite-interstratifiés-montmorillonite. L'illite peut dominer (profil 1 - n° 19), la montmorillonite peut dominer (profils 343 - n° 16, 287 - n° 17, 344 - n° 18, 315 - n° 21, 342 - n° 22 et 341 - n° 23), mais le mélange des particules I, (IM) et M peut aussi se présenter en proportions diverses. Une grande fidélité est témoinnée, dans l'ensemble, au stock argileux des roches mères;

— tendance générale à une évolution de bas en haut du profil par augmentation des interstratifiés (IM), au détriment de l'illite I, et par augmentation de la montmorillonite M, au détriment de l'interstratifié (IM);

— présence de la kaolinite, mais tendance nette dans la plupart des profils à l'augmentation de ce minéral de bas en haut, au détriment des complexes à illite, interstratifiés et montmorillonite.

### III. — ESSAI D'INTERPRÉTATION DE L'ÉVOLUTION DES ARGILES DES SOLS DU LIBAN

#### 1. Difficultés

Il est difficile de reconstituer l'évolution de la fraction fine silicatée dans un profil pédologique au Liban pour les raisons suivantes :

— le climat méditerranéen, même humide, ne provoque pas des hydrolyses puissantes dont les étapes sont faciles à saisir;

— la majorité des roches mères du Liban sont calcaires et la zone de départ est limitée ou inexistante : le passage roche-sol est très brutal (LAMOUREUX, 1965, 1966). De plus, tant qu'une matrice calcaire est présente, les solutions ne sont pas dessaturées et l'hydrolyse des silicates est ménagée;

— à l'exception des basaltes, les roches mères calcaires, dolomitiques, marneuses ou gréseuses sont sédimentaires. La matière silicatée d'origine est donc déjà argileuse et complexe, et beaucoup moins sensible aux altérations que les silicates des roches cristallines ou volcaniques;

— enfin, des brassages continuels se produisent dans les profils, à l'intérieur des poches de dissolution, d'une poche à l'autre, et le long des pentes.

#### 2. Les trois mécanismes possibles

L'évolution des argiles au cours de l'altération peut se dérouler selon trois mécanismes principaux (MILLOT, 1964). Et ces mécanismes peuvent se superposer dans un même profil. Ce sont :

— l'héritage. Les minéraux argileux du sol sont hérités de la roche mère. Ceci est particulièrement important dans les roches sédimentaires, et nécessite une comparaison

entre les argiles de la roche mère et celles du produit d'altération;

— les transformations négatives ou dégradations. L'altération de l'illite en édifices interstratifiés en est un bon exemple. Mais la perte de cristallinité de la montmorillonite et de la kaolinite au sommet des profils constitue d'autres cas. L'hydrolyse est ménagée, mais il y a dissolution partielle et perte de substance.

— la néoformation. L'illite et la chlorite ne se forment pas dans les sols. Mais la kaolinite naît par néoformation dans les profils bien lessivés et profondément dessaturés, par soustraction. La montmorillonite, au contraire, naît dans les milieux confinés où silice, fer, magnésie et alumine sont accumulés par addition.

### 3. Les argiles des sols sur grès

Dans les sols situés sur les grès, la kaolinite domine. L'essentiel de cette kaolinite est hérité des grès du Crétacé, au faciès « grès de Nubie » qui sont riches en kaolinite. Il n'est pas exclu que dans les sols bien lessivés et désaturés, la kaolinisation ne recommence et n'atteigne d'autres fractions argileuses ou silicatées.

### 4. Les argiles des sols sur basaltes

On se trouve, sur roche basaltique, dans d'excellentes conditions pour raisonner : la roche mère ne contient pas d'argile. L'hydrolyse des verres et silicates engendre les ions et crée les conditions de milieu favorables à la néoformation de la montmorillonite. Cette montmorillonite est typiquement néoformée. Ce n'est que dans les voies poreuses de cheminement préférentiel des solutions, où le lessivage sera intense, que la kaolinite pourra se former, peut-être aussi au sommet des profils. Les mouvements du sol entraînent le mélange que l'on observe à l'analyse.

Le profil 339 correspondant à un sol jeune montre cette évolution. Le profil 179 est plus riche en kaolinite, mais la géologie montre que le basalte est pliocène. L'abondance de la kaolinite peut être due, soit à des climats anciens plus agressifs, soit à des lessivages préférentiels plus prolongés.

### 5. Les argiles des sols calcaires (type rendzine)

Dans les sols calcaires, le milieu reste alcalin et les hydrolyses sont très modérées. Les minéraux argileux prélevés dans les sols sont très probablement hérités. Tout juste pourrions-nous déceler une dégradation de l'illite en produits interstratifiés et une altération de la montmorillonite au sommet des profils.

### 6. Les argiles des sols alluviaux et colluviaux de la plaine de la Bekaa

Dans la plaine de la Bekaa, on se trouve devant le difficile problème de l'histoire des alluvionnements et colluvionnements qui ont fourni la matière première de ces sols. Et cette

histoire peut comporter plusieurs remaniements, si bien que c'est sur un tout-venant polygénique que la pédogénèse s'exerce. Notons cependant qu'un glacis provenant d'un pays gréseux sera riche en kaolinite, tandis qu'un glacis provenant d'un pays calcaire garni de sols rouges méditerranéens karstiques verra la montmorillonite dominer. Dans les basses plaines la montmorillonite augmente encore, soit parce que, plus fine, elle a gagné les atterrissages les plus lointains et les plus calmes, soit parce que, sous l'influence des hydromorphies des bas-fonds, elle s'est développée par néoformation. La question reste ouverte.

## 7. Les argiles des sols rouges et bruns méditerranéens

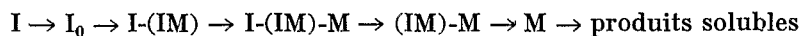
Dans les sols rouges et bruns méditerranéens développés sur roches calcaires karstiques et lapiazées, la part de l'héritage est extrêmement prédominante. Ainsi, l'on voit la montmorillonite, l'illite et ses associés, et la kaolinite varier selon les roches mères. Mais on peut serrer le problème de plus près.

Dans le profil 3 - n° 24, la roche mère crayeuse éocène fournit au sol une très belle montmorillonite qui se dégrade en surface. Dans le profil 2 - n° 20, le phénomène est analogue, mais la dégradation de la montmorillonite provoque l'augmentation différentielle de la kaolinite minoritaire.

Dans les autres profils, les traits de l'évolution des silicates sont les suivants :

### a) Héritage de l'illite et sa dégradation

L'illite et ses interstratifiés sont hérités des roches mères. Elles sont livrées par des hydrolyses ménagées aux dégradations. On peut schématiser la suite des dégradations de la manière suivante :



Cette suite est due au soutirage par hydrolyse des ions interfoliaires, eux-mêmes remplacés par des ions de la structure. Cette évolution chimique et cristalochimique est accompagnée par un fractionnement mécanique et aboutit à une montmorillonite de dégradation qui s'ajoute à la montmorillonite héritée éventuellement présente. Ainsi, la fraction argileuse d'un sol évolue vers les petites tailles, acquiert la facilité de migration et l'augmentation des propriétés de gonflement par l'eau et de rétraction par la sécheresse au gré des saisons. Au terme de cette évolution, une partie de cette fraction argileuse est hydrolysée comme en témoigne l'augmentation relative de la kaolinite dans les profils.

La dégradation de l'illite et de ses interstratifiés par hydrolyse est d'autant plus vraisemblable que sa teneur augmente dans les sols soumis à un climat sec et diminue au bénéfice de la montmorillonite, quand la pluviosité augmente.

### b) Héritage de la kaolinite, augmentation relative et dégradation

La kaolinite des sols rouges méditerranéens du Liban est héritée des roches mères : le milieu n'est pas assez dessaturé pour permettre la néoformation. Mais, au fur et à mesure que les illites et leurs interstratifiés ainsi que les montmorillonites sont hydrolysés, sa teneur relative augmente. On retrouve ce qui a été signalé par SINGER (1966). La kaolinite est en

effet sensiblement plus résistante, quitte à ce qu'au sommet des profils, dans les horizons riches en matière organique, sa dégradation commence.

Ici se pose la question complexe de la néoformation possible de la kaolinite. Cette néoformation est certaine bien que discrète sur basalte. Est-il possible de l'envisager sur le stock argileux de dissolution des calcaires ? On a décrit (YAALON, 1955, 1966) une kaolinisation dans les profils soumis à une pluviosité élevée. Pour prouver que ceci n'est pas dû à un enrichissement relatif, il faut étudier des profils dont la roche mère est dépourvue de kaolinite. L'apparition de ce minéral sera probante, si l'on peut éliminer le rôle de pédogénèses agressives antiques.

### c) *La triple origine possible de la montmorillonite*

— Héritage : nombre de montmorillonites des sols du Liban sont héritées. L'analyse des roches mères en témoigne. On assiste souvent à une dégradation de ce minéral au sommet des profils ;

— Montmorillonite de dégradation : on a vu qu'une des étapes terminales de l'hydrolyse des illites, plus vulnérables que la montmorillonite, est l'apparition progressive de la montmorillonite de dégradation par l'intermédiaire des interstratifiés (illite-montmorillonite). Cette fraction fine peut s'ajouter à la précédente ;

— Montmorillonite de néoformation : elle existe certainement dans l'altération des basaltes. Est-elle possible dans les zones hydromorphes où s'étalent les sols châtaîns hydromorphes, les sols vertiques et les vertisols ? Ce qu'on sait des vertisols ailleurs, permet de le supposer. Pour le prouver, il faudrait étudier des profils où le stock argileux d'origine ne contient pas de montmorillonite.

## CONCLUSION

Ce premier inventaire des minéraux argileux des altérations et des sols du Liban et l'étude évolutive dynamique sur un certain nombre de profils, nous offrent quelques conclusions.

La conclusion première est que, si la néoformation sur basalte est évidente, c'est l'héritage qui est le mécanisme premier de la formation des argiles des altérations et des sols en climat méditerranéen sur les roches sédimentaires. En première approximation, les sols miment les roches mères.

Sur ce bagage s'exercent des actions d'hydrolyse modérées, mais qu'il est possible de surprendre par une analyse dynamique fine. La dégradation saisit l'illite et l'incline à des interstratifications progressives jusqu'à l'apparition de montmorillonite de dégradation. La montmorillonite elle-même s'altère au sommet des profils. Et parfois la kaolinite, pourtant plus stable, montre une perte de cristallinité dans les horizons supérieurs.

La néoformation est totale sur basalte, par apparition de montmorillonite et éventuellement de kaolinite. Ceci souligne que les altérations sont complètement différentes sur les silicates issus de la profondeur et sur les argiles déjà caractéristiques de « la surface » extraites des roches sédimentaires.

La question des néoformations dans les sols développés à partir de roches sédimentaires reste à préciser. La néoformation de la kaolinite en milieu bien lessivé et dessaturé reste à démontrer. La néoformation de la montmorillonite dans les sols mal drainés livrés à l'hydromorphie est tout à fait possible.

Héritage très important, dégradations ménagées, néoformations encore à démontrer, sauf sur les basaltes, voici le bilan provisoire auquel nous parvenons. Il sera nécessaire de le vérifier, de le compléter ou de l'infirmier par de nouvelles études, mais aussi de le comparer aux résultats obtenus dans d'autres pays méditerranéens.

---

#### Abstract

A catalog of clay minerals in the most important soils and weathering products of Lebanon has been completed and enlarged by evolutive analysis along some profiles. On basalts, neof ormation of montmorillonite and more seldomly kaolinite have been recorded, while on the definitely more abundant sedimentary rocks, the soil clay minerals are mainly inherited from parent rocks. But degradations may be recognized, especially for illite, which evolves in interstratified minerals towards degradation montmorillonite. Montmorillonite neof ormations are possible in hydromorphic or « vertic » soils, but are still to be demonstrated.

---

#### Zusammenfassung

Ein Inventar der Tonminerale in den Böden und Verwitterungen des Libanon geht einer genauen Untersuchung verschiedener Profile voraus. Über Basalt bildet sich Montmorillonit neu, eventuell auch Kaolinit. Zahlreiche Böden, die sich auf sedimentärem Untergrund entwickeln, erben dessen Tonminerale. Dabei können Abbauerscheinungen festgestellt werden, hauptsächlich bei Illit, der sich über Wechsellagerungsminerale zu Montmorillonit abbaut. Die Montmorillonit-neubildung in den hydromorphen Böden und in den Vertisols ist möglich, sie muss aber noch bewiesen werden.

---

#### РЕЗЮМЕ

Предварительные сообщения о глинистых минералах  
Выветриваний в средиземноморских почвах Ливана.

Было осуществлено описание глинистых минералов в наиболее распространенных почвах и выветриваниях Ливана. Эволюционные анализы вдоль некоторых разрезов дополняют эти анализы. На базальтах были обнаружены новообразования монтмориллонита и наверно каолинита. На материнских осадочных породах, которые более многочисленны, глины почв являются наследниками материнских пород. Но разложения могут быть обнаружены главным образом в иллитах, которые между стратификациями переходят в монтмориллониты разложения. Вполне возможны новообразования монтмориллонитов в гидроморфных и вертикальных почвах, но это нужно еще доказать.

---

## DOCUMENTATION SOMMAIRE

- LAMOUREUX M. (1965). — Observations sur l'altération des roches calcaires sous climat méditerranéen humide (Liban). *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, Pédologie, 3, p. 21-42.
- LAMOUREUX M. (1966). — A propos de la formation des sols rouges méditerranéens sous climat humide et subhumide du Liban. *C.R. Conférence sur les sols méditerranéens*, Madrid, p. 285-296.
- MILLOT G. (1964). — Géologie des argiles. Masson et Cie Ed., 499 p.
- SINGER A. (1966). — The mineralogy of the clay fraction from basaltic soils in the Galilee, Israël. *Journ. Soil Sc.*, 17, p. 136-147.
- YAALON D. H. (1955). — Notes on the clay mineralogy of the major soil types of Israël. *Bull. Rest. Counc. Israël*, 58, p. 168-173.
- YAALON D. H., NATHAN Y., KOYUMDJISKY H. and DAN J. — Weathering and catenary differentiation of clay minerals in soils on various parents materials in Israël. *Proceedings of the international clay conference*, p. 187-198.

**NOTES PRÉLIMINAIRES SUR LES MINÉRAUX ARGILEUX  
DES ALTÉRATIONS ET DES SOLS MÉDITERRANÉENS DU LIBAN**

par

**Maurice LAMOUREUX, Hélène PAQUET, Maurice PINTA et Georges MILLOT**

Mission O.R.S.T.O.M. au Liban — Institut de Recherches Agronomiques de Tel'Amara (par Rayak)

Centre de Recherches de Sédimentologie et de Géochimie de la Surface de Strasbourg (C.N.R.S.)

Laboratoire de Spectrographie, Services Scientifiques Centraux (O.R.S.T.O.M.)

Laboratoire de Géologie et Paléontologie de l'Université de Strasbourg

IMP. LOUIS-JEAN

— 1968 —

28 AVR. 1976

Centre de Recherche

Bibliothèque de Référence

n° B8402 Poché