



F. GRAS : LES SOLS "A PROFIL CALCAIRE DIFFERENCIÉ" DU LIBAN (BEKAA) - ETUDE D'UNE TOPOSEQUENCE  
(SOILS WITH "DIFFERENTIATED CALCAREOUS PROFILE" IN LEBANON (BEKAA) - STUDY OF A  
TOPOSEQUENCE)

ABSTRACT

Studying a catena of soils we research on one hand the relations between the different forms of calcareous accumulations (friable accumulations, nodules, encrustations, crusts) and the physical, chemical and mineralogical properties of the horizons observed in a same profile ; on the other hand, by comparison of a few profiles, the effect of the topography on the lateral migration of the carbonates.

An attempt to explain the natural facts is undertaken from the process of dissolution and precipitation of calcium carbonates as they result from experiments in laboratory (effects of CO<sub>2</sub>, of Magnesium ion, of the variety and size of carbonate crystals).

Le Liban est un petit pays constitué de deux chaînes de montagnes parallèles au littoral, le *Liban* et l'*Antiliban*, séparées par une plaine surélevée de 10 km de large environ et de 120 km de long. C'est à l'extrémité septentrionale de cette plaine non loin de la frontière syro-libanaise et de la trouée de Homs que l'étude qui suit a été effectuée.

I. LE MILIEU NATUREL

A. RELIEF. Assez simple, il peut être schématisé de la façon suivante :

- A l'E, au pied de l'Antiliban, un glacis descend en pente douce et uniforme vers la route Elkaa-Homs sur une longueur de 5 km environ.
- A l'W, un glacis analogue part du pied du Liban et s'arrête à environ 4 km de là, à une distance à peu près égale de l'Oronte. La pente est douce au N à proximité de la frontière libano-syrienne, plus raide et irrégulière vers le S à la hauteur de Hermel.
- Au centre, un plateau dont l'altitude s'abaisse lentement du SW vers le NE. Vers le S sa topographie est accidentée de collines en partie basaltiques; vers le N, la pente est plus régulière.
- Entre les glacis E et W et le plateau central, deux zones légèrement déprimées. La plus nette est celle qui s'étend sur plusieurs km au N d'Elkaa.

Les glacis E et W sont sillonnés selon leur plus grande pente par des talwegs qui incisent à peine la surface et qui souvent disparaissent avant le bas de la pente. Le plateau central est divisé en croupes parallèles par des vallons d'orientation générale SW-NE, assez profonds au S et s'estompant vers le N. Ils sont presque toujours à sec. L'Oronte ou nahr el Assi coule tout le long de son cours au fond d'une gorge assez encaissée, qui se juxtapose à cette zone sans en rompre l'unité.

B. GEOLOGIE. La stratigraphie et la tectonique assez simples sont conformes au schéma général de la Bekaa. Il s'agit d'un synclinal compris entre les anticlinaux faillés du Liban et de l'Antiliban. Les strates néogènes reposent en discordance sur les formations secondaires. Elles ont elles-mêmes subi les mouvements orogéniques de la fin du Tertiaire.

Du bas vers le haut, la succession stratigraphique des affleurements est la suivante :

- calcaires dolomitiques et dolomies du Cénomaniens ;
- calcaires marneux et calcaires cristallins du Turonien ;

25 OCT. 1983  
O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 3529ex 1

Cote : B

B3529 ex 1

- calcaire tendre du Sénomien-Eocène surtout visible au pied de l'Antiliban ;
- complexe du Néogène formé de lits alternés de poudingue calcaire à ciment rougeâtre et à éléments hétérométriques et de calcaire détritique plus ou moins tendre ;
- poudingues quaternaires dont les éléments hétérométriques sont fortement cimentés par un calcaire ayant l'aspect d'une croûte saumonée ;
- dépôts meubles argilo-limoneux récents remplissant les deux zones déprimées de part et d'autre du plateau central.

C. CLIMAT. Les données des trois stations les plus proches (Hermel, Fakehe et Qattine) montrent que le climat se caractérise par son aridité. Les précipitations moyennes annuelles sont de 250 mm à Hermel et de 210 mm à Fakehe. Qattine, située une vingtaine de km au N est plus arrosée, car elle subit déjà l'influence maritime de la trouée de Homs. A Hermel et Fakehe la saison sèche débute dès avril et se termine fin novembre. L'évaporation mensuelle n'est réduite qu'en décembre et janvier et s'accroît dès février : l'aridité se fait sentir pendant dix mois de l'année en moyenne.

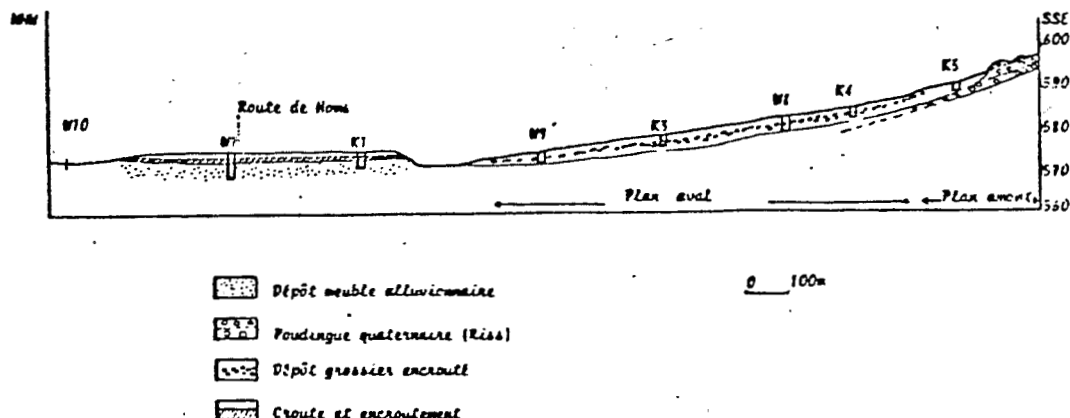
Les températures présentent de grandes amplitudes. A Hermel les amplitudes journalières sont de l'ordre de 25-30° et les écarts entre les extrêmes de l'année sont considérables (de -5° à +45°). Si dès le mois de juin le maximum diurne est élevé (45°) en hiver, par contre, il fait longtemps assez froid. Fakehe enregistre, sans abri, 15 jours de gelée par an, de décembre à mars. La tendance désertique est en outre soulignée par les vents desables et les trombes de poussière qui peuvent se manifester dès le printemps.

Températures, vent, intensité des radiations solaires, sécheresse de l'air se conjuguent pour déterminer une évapotranspiration très élevée qui peut atteindre 11 mm/jour en juillet-août. Les valeurs des indices de De Martonne (10,5) et d'Emberger (27) indiquent que cette région se classe encore en zone semi-aride, mais très près de la zone aride.

## II. ETUDE D'UNE TOPOSEQUENCE

Une succession de profils a été étudiée non loin de la frontière syro-libanaise sur le glacis oriental et la petite dépression qui lui fait suite (fig. 1). Le plateau central en est exclu.

PROFIL LONGITUDINAL DU GLACIS ORIENTAL  
TOPOSEQUENCE D'EL KAA



A. DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE DES MATERIAUX. Le glacis oriental est constitué par un plan amont s'étendant sur 2,2 km environ à partir de l'Antiliban avec une pente moyenne de 3,5 ‰ et un plan aval, plus court (1,2 km) et moins incliné (pente moyenne 2 ‰). Le poudingue néogène n'affleure

que très localement dans la partie supérieure du plan amont. Il disparaît ensuite sous des blocs de poudingue d'un aspect très différent : morceaux de calcaires gris très compacts (sans doute issus du Crétacé) hétérométriques (graviers et cailloux) généralement émoussés et de forme irrégulière pétrifiés dans une gangue ayant l'apparence d'une dalle compacte saumonée, qui présente une certaine hétérogénéité dans les teintes (saumon à rose), des dendrites de manganèse, de petits pores occupés par de la calcite blanche et, à la surface du poudingue, des pellicules rubanées de quelques mm d'épaisseur. Ce poudingue présente une ressemblance frappante avec celui que j'ai pu observer avec J. Pesançon dans la région de Tripoli, au pied du versant méditerranéen du Mont Liban et qui n'apparaît que très localement à l'altitude de 500 m environ. J. Besançon en fait remonter la formation au Riss.

A la base du plan amont, non loin de la zone de rupture de pente, le poudingue quaternaire est recouvert d'un matériau meuble dans lequel on peut distinguer deux horizons :

- un horizon supérieur de 50 cm environ contenant 30-40 % de graviers arrondis et durs et dans lequel le calcaire s'individualise sous forme d'amas friables dispersés. La cohésion est assez élevée et les agrégats, quoique très poreux, sont peu fragiles.
- un horizon de 30 cm correspondant à un encroûtement massif non feuilleté dépourvu d'éléments grossiers et présentant une cohésion assez élevée.

Dans la partie aval du glacis il n'y a plus d'affleurement de poudingue mais la surface du sol est jonchée de débris de poudingue de dimensions variées (graviers à blocs) lui donnant l'aspect d'un reg. Sous ce léger voile on peut distinguer avec plus ou moins de netteté suivant l'endroit trois niveaux :

- *Le niveau supérieur* (niveau I) brun très clair est constitué essentiellement de matériaux fins, sables, limons et argiles. Les graviers et cailloux, lorsqu'ils existent, sont peu abondants et dispersés. On peut y observer : jusqu'à 10-15 cm, un horizon très peu structuré et très meuble sans individualisation de calcaire visible; en-dessous, 35-60 cm dans lesquels le calcaire s'accumule sous forme de pseudomycélium et surtout d'amas friables pouvant, dans certains cas, envahir l'horizon qui devient alors un véritable encroûtement. Les graviers et cailloux, toujours émoussés et de forme irrégulière, présentent sur la face tournée vers le haut du profil une surface usée, presque lisse, qui devient chagrinée et irrégulière latéralement et surtout en-dessous du caillou. A cet endroit, un revêtement stalactiforme, suivant la terminologie d'A. Ruellan, plus ou moins dur, s'accroche à chacun des graviers et cailloux. L'observation macroscopique et microscopique de la section verticale de ces éléments montre un noyau gris blanc dur entouré d'un cortex compact et dur, épais à la base du caillou, et très fin ou inexistant au sommet. Ce cortex est formé de cernes de largeur variable, grossièrement concentriques, alternativement de teinte grise et saumon. A la base du caillou il passe progressivement au dépôt concrétionné blanchâtre friable et poreux qui s'épanouit parfois en un véritable "amas friable".
- *Le niveau moyen* (II) consiste en une accumulation de cailloux et de graviers tantôt joints tantôt plus dispersés, toujours ennoyés dans un encroûtement massif blancâtre très effervescent. L'épaisseur de ce niveau varie de quelques cm à 30 cm. Les cailloux et graviers qui se trouvent à son sommet, de même que ceux décrits précédemment, ne présentent de revêtements qu'à leur face inférieure, tandis que la face supérieure est usée et même parfois aplatie. On peut en déduire que la formation de l'encroûtement en ce cas précis est une généralisation du phénomène de stalagmitisation observé dans le niveau I. Les racines ne semblent pas pénétrer dans ce lit de cailloux.
- *Le niveau inférieur* (niveau III) est meuble, d'une épaisseur de 30-50 cm et repose directement sur les blocs de poudingue quaternaire. On y distingue deux horizons séparés par une limite très progressive et ondulée : au-dessus, un horizon d'accumulation calcaire généralement sous forme d'amas friables; en-dessous, un horizon brun-clair à distribution diffuse du calcaire. Les agrégats polyédriques sont très poreux mais beaucoup moins fragiles que dans les niveaux supérieurs.

Au glacis succède la zone déprimée, un plateau de 700 m de large qui correspond à un dépôt meuble alluvial-colluvial dont l'épaisseur atteint une vingtaine de mètres au centre.

Le niveau caillouteux observé sur le glacis a complètement disparu. Par contre, l'encroûtement massif beige clair à blanc contient quelques nodules calcaires et son sommet se transforme en une croûte peu dure plus ou moins stratifiée horizontalement, assez souvent disloquée, contenant encore des nodules. Son épaisseur varie entre 3 et 10 cm. Les horizons la recouvrant, d'une épaisseur totale de 30-40 cm, sont semblables à ceux du niveau I. Sous l'encroûtement le calcaire continue à s'individualiser en amas friables, abondants jusqu'à 1 m, plus rares en-dessous. Le matériau très cohérent a une structure polyédrique moyenne bien développée et une microporosité bien visible. A plus grande profondeur apparaissent des petites poches dans lesquelles s'accumulent des cristaux de dolomite.

### III. PRINCIPAUX CARACTERES CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES DES SOLS

Nous nous sommes plus spécialement intéressé aux constituants les plus importants : carbonates et minéraux argileux. La matière organique est remarquable, moins par sa quantité (inf. à 5 %) que par sa présence au sein de l'encroûtement et même en-dessous. Quant aux sels solubles, ces sols en contiennent très peu (moins de 1/1000) et l'augmentation de la teneur avec la profondeur semble très faible.

A. REPARTITION DES CARBONATES DANS LE PROFIL. Les données numériques concernant les quantités globales de carbonates et leur répartition dans les fractions fines (argile et limon) et les fractions sableuses se trouvent dans le Tableau I.

échantillons		K11 Ap	K12 AF	K13 EM	K14 AF	K15 Sels	K31 Ap	K32 AF	K33 EM	K51 Ap	K52 AF	K53 EM
granulo. avant décal- cification	sables totaux	73,7	68,4	45,4	55,8	50,6	64,7	62,9	50,2	58,1	47,5	44,3
	Argile + limon	24,0	29,0	62,5	42,0	47,0	32,5	34,5	48,0	38,0	50,0	53,5
sables pour 100g de sol	éléments carbonatés	64,7	55,9	38,7	49,0	43,9	53,1	52,2	46,3	42,9	38,7	37,2
	éléments non carbonatés	9,0	12,5	6,7	6,8	6,7	11,6	10,7	3,9	15,9	8,8	7,1
% d'éléments carbonatés dans sables		88	82	85	88	87	82	83	92	74	81	84
Argile+limon pour 100 g de sol	éléments carbonatés	1,8	2,8	37,8	17,2	20,9	7,8	11,9	35,7	4,8	18,2	33,4
	éléments non carbonatés	22,2	27,2	14,7	24,8	26,1	24,7	22,6	12,3	33,2	31,8	20,1
% d'éléments carbonatés dans argile+limon		7,5	9,7	72,0	40,5	44,5	24,4	55,0	74,0	12,6	36,4	62,5
carbonates totaux pour 100 g de sol		66,5	58,7	76,5	66,2	64,8	60,9	64,1	82,0	47,7	56,9	70,6

TABEAU I : REPARTITION DES CARBONATES DANS LES PROFILS K1, K3 et K5

Les quantités de calcium et de magnésium augmentent de la fraction argileuse jusqu'à celle des sables. Une exception, les sables grossiers contiennent moins de magnésium que les sables fins. Les spectres de diffusion des rayons X montrent que dans les fractions argileuses de nos échantillons les carbonates sont sous forme de calcite et de dolomite et que les proportions relatives de ces deux minéraux varient considérablement du sommet à la base des profils. Dans le profil K1 la calcite est importante juste au-dessus de la croûte et dans l'encroûtement et disparaît presque complètement vers 1 m de profondeur, tandis que la dolomite à l'état de traces en surface devient abondante dans l'encroûtement et demeure seule à 1,50 m.

Dans les sables grossiers, nous avons pu reconnaître l'existence par dissolution au citrate d'ammonium à pH 5,85 (procédé de Petersen et Chesters) de grains très clairs calcitiques

et de grains plus ocre dolomitiques. Par ailleurs, sans en avoir encore la preuve formelle nous pensons qu'une partie de la calcite est plus ou moins magnésienne. Nous fondons cette hypothèse sur deux constatations :

- dans certains échantillons la mise en solution par l'HCl de quantités importantes de magnésium alors que la raie de diffraction X de la dolomite est peu apparente ;
- dans tous les échantillons traités, la différence très importante de Mg extrait suivant que l'on utilise pour la détermination des bases échangeables une solution d'acétate d'ammonium à pH 7, ou une solution de chlorure d'ammonium à pH 8,4. La dolomite n'étant pratiquement pas attaquée par ces deux solutions, il faut que du Mg soit lié à la calcite pour expliquer des différences de 10 me/100 g de Mg entre les deux méthodes.

C. NATURE ET REPARTITION DES MINERAUX ARGILEUX. Le mieux représenté dans tous les profils observés est la polygorskite (ou attapulgitite), constituée par un empilement de rubans à structure interne brique creuse, qui contient également beaucoup de Mg. Nous retrouvons ici cette argile si souvent associée aux sols à profils calcaires différenciés. On constate une accumulation relative de ce type d'argile au niveau de la croûte ou de l'encroûtement par rapport aux autres phyllites (interstratifiés chlorite-montmorillonite, illite, chlorite et éventuellement kaolinite).

#### IV. PEDOGENESE

Dans les conditions climatiques actuelles ou subactuelles de cette région, le processus principal de l'évolution des sols est la migration verticale et latérale des carbonates et leur accumulation sous les différentes formes que nous avons rapidement décrites. Si les processus mécaniques (érosion, transport et remaniement) ont joué un rôle non négligeable au cours des différentes phases du Quaternaire, les processus chimiques sont certainement plus importants encore et doivent être pris en compte, non seulement pour expliquer la pédogenèse mais également la morphogenèse comme le souligne J. Besançon (1960) dans son étude sur les cônes de cette région. La connaissance des mécanismes régissant la dissolution et la précipitation des carbonates peut aider à expliquer les phénomènes naturels d'accumulation calcaire. En partant de cette idée, nous avons été amené à mettre au point une méthode expérimentale permettant de déterminer en laboratoire l'effet du gaz carbonique sur le pH et la solubilité des carbonates dans des échantillons de sols calcaires. Nous commenterons ici les quelques résultats obtenus à 23° C et qui sont présentés dans le tableau II.

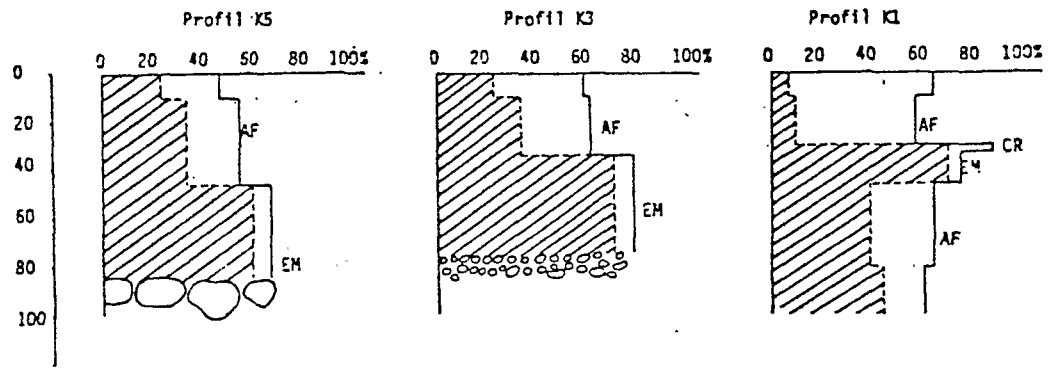
L'échantillon de Sierozem à croûte est celui dont il a été question au paragraphe III (W 71). De la comparaison avec l'échantillon prélevé dans un sol brun très calcaire du Liban Sud (calcaire total : 52 % - calcaire actif : 23 %), pour W 71 :

- le pH est légèrement plus élevé (0,1 unité pH) ;
- les quantités de calcium dissous sont moins importantes ;
- les teneurs en magnésium sont par contre nettement plus élevées.

Les principales conclusions à en tirer sont les suivantes :

1. les taux d'éléments fins sont plus élevés au-dessus des horizons d'accumulation en calcaire qu'au sein de ces horizons et qu'en-dessous ;
2. les fractions sableuses sont essentiellement carbonatées et dans une proportion à peu près identique (80-90 %) quelque soit la profondeur ;
3. par contre, les pourcentages d'éléments carbonatés dans la fraction argile + limon présentent des variations considérables. Les profils calcaires (fig. ) établis d'une part à partir des teneurs globales en carbonates, et d'autre part en ne considérant que les quantités de carbonates des fractions fines, permettent de visualiser le phénomène. Dans le premier cas, les variations sont faibles ou même nulles entre l'horizon de surface et celui à amas friables et elles ne dépassent pas 20 % entre ce dernier et l'encroûtement. Dans le deuxième cas, par contre, les accumulations de calcaire apparaissent très nettement. Ce résultat est important car il permet d'affirmer que l'entraînement des carbonates affecte essentiellement les cristaux les plus fins (cristaux micritiques).

PROFILS CALCAIRES DANS DES SOLS A PROFILS CALCAIRES TRES DIFFERENCIES



| Teneur en carbonates dans la terre fine

| Teneur en carbonates dans la fraction argile + limon fin

AF : masses friables  
EM : encroûtement massif  
CR : croûte

B. NATURE DES CARBONATES. L'attaque chlorhydrique à chaud de la terre fine tamisée à 2 mm comme des différentes fractions granulométriques séparées par traitement aux ultrasons, libère des quantités plus ou moins importantes de calcium et de magnésium. Ainsi dans un échantillon prélevé à la surface d'un sol à croûte identique à K1, on a obtenu les valeurs suivantes exprimées en carbonates (échantillon W 71) :

	terre fine	argile	limon fin	limon grossier	sable fin	sable grossier
Ca CO <sub>3</sub> ‰	22	4,9	15,8	21	28,6	35,8
Mg CO <sub>3</sub> ‰	8,1	3,4	4,0	9,5	12,6	6,4

Lorsque l'on augmente la pression partielle de CO<sub>2</sub>, tout en maintenant la température constante, le pH de la suspension de W 71 dans l'eau diminue tandis que les quantités de Ca et de Mg solubilisées augmentent suivant une progression logarithmique. Ce résultat ne peut s'expliquer que par la présence de la calcite assez fortement magnésienne dans l'échantillon.

Ces premiers résultats, quoique partiels, montrent à notre avis le rôle important joué par le magnésium dans les processus chimiques de dissolution qui interviennent dans ces sols. D'ores et déjà, on peut émettre l'hypothèse que le magnésium libéré dans les horizons supérieurs joue également un rôle dans la précipitation des carbonates au sein des horizons d'accumulation.

ORIGINE	Sol brun calcaire de LEBAA (LIBAN SUD)						Sierozem à croûte d'ELKAA					
	pH	Calcium		Magnésium		Ca + Mg	pH	Calcium		Magnésium		Ca + Mg
mg/l		me/l	mg/l	me/l	mg/l			me/l	mg/l	me/l	mg/l	
3. 10 <sup>-4</sup>	8,47	38	1,90	4,0	0,33	2,29	8,87	18,24	0,91	8,7	0,72	1,65
3,2. 10 <sup>-3</sup>	7,75	65	3,15	3,5	0,29	3,44	7,82	38,4	1,92	19,2	1,58	3,50
7. 10 <sup>-3</sup>	7,54	80	4,00	3,3	0,31	4,31	7,60	48,0	2,40	22,0	1,81	4,21
1.2. 10 <sup>-2</sup>	7,37	100	5,00	"	"		7,47	"	"	28,4	2,32	4,24

TABEAU II. : EFFET DU GAZ CARBONIQUE SUR LE PH ET LA DISSOLUTION DES CARBONATES DANS DEUX ECHANTILLONS DE SOL (TEMPERATURE DE L'EXPERIENCE : 23°)