

OBSERVATIONS SUR L'ALTÉRATION DES ROCHES CALCAIRES SOUS CLIMAT MÉDITERRANÉEN HUMIDE (Liban)

par

M. LAMOUREUX *

Cet article a pu être rédigé, grâce à l'obligeance de Monsieur HARAOUÏ, Directeur Général de l'Institut de Recherche Agronomique du Liban, qui a donné toutes facilités à M. LAMOUREUX pour mener à bien les travaux qui en font l'objet.

A - INTRODUCTION

B - LE MILIEU (Carte du Liban au 1/500 000)

- 1 - Relief
- 2 - Climat
- 3 - Géologie
- 4 - Sols

C - ALTERATION DES CALCAIRES

- 1 - Altération des marnes et calcaires marneux
- 2 - Altération des calcaires tendres (accessoirement des basaltes)
- 3 - Altération des calcaires durs
 - 3.1 - Nature de ces calcaires (Tableau 8)
 - 3.2 - Différents mécanismes de l'altération
 - 3.2.1 - Observations de cinq stades dans l'altération d'un calcaire dur jurassique
 - 3.2.2 - Altération de roches calcaires en deux stades
 - 3.2.3 - Altération d'un calcaire dur jurassique
 - 3.2.4 - Altération de ruines romaines calcaires
 - 3.2.5 - Observations diverses
 - 3.3 - Sols formés sur ces calcaires durs

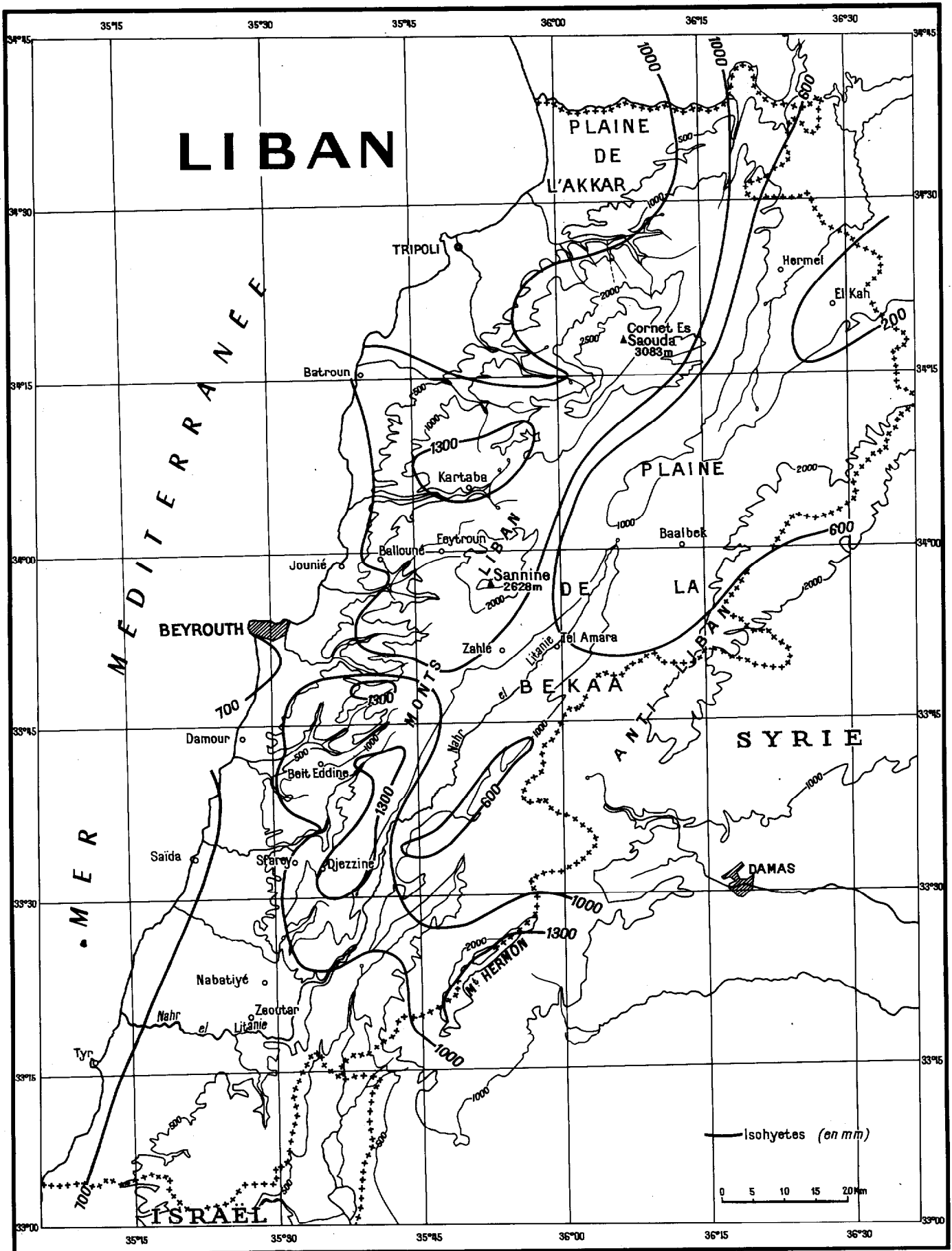
D - DISCUSSION

- 1 - Processus de formation des sols rouges méditerranéens
- 2 - Sols formés à partir des terra rossa. Equilibre climatique des sols méditerranéens

E - CONCLUSION

F - BIBLIOGRAPHIE

* Directeur de recherches O.R.S.T.O.M., détaché à l'Institut de recherches agronomiques de Tel'Amara.



A - INTRODUCTION

De nombreux auteurs se sont attachés à l'étude des sols méditerranéens. La terra rossa, en particulier, fait l'objet de controverses quant à sa définition, à ses caractéristiques, au mode et à l'époque de sa formation. Certains de ces auteurs pensent que "les sols rouges méditerranéens" se sont formés sous des climats très différents du climat actuel.

BORDAS (1950) cite GEZE (1947) pour affirmer que "le climat méditerranéen actuel est un climat de conservation et non de génèse". BOULAINÉ (1961) reprend la même idée en disant que "les sols méditerranéens sont dans des conditions de milieu qui ne sont pas celles qui ont déterminé leur génèse". Ce même auteur pense qu'un mode de pédogénèse, une fois déclenché, peut se poursuivre "ultérieurement". DURAND (1959) considère les terra rossa comme des paléosols formés de la fin du Tertiaire jusqu'au début du Quaternaire (Sicilien). CHOUBERT (1953) parle des climats rubéfiants du quaternaire et de dépôts rubéfiés qui ne se formeraient plus à l'époque actuelle, époque de tirsification des limons rouges.

Bien d'autres auteurs ont émis des hypothèses semblables. Les études du quaternaire, celles des géologues du Maroc en particulier, ont été déterminantes quant à la datation de nombreux sols rouges. Les pédologues d'Afrique du Nord, du Midi de la France, etc., ont, à juste titre d'ailleurs, donné une grande importance à ces formations anciennes. De là une tendance à généraliser et à considérer la formation des sols rouges et des terra rossa comme le résultat d'une pédogénèse ancienne ne se poursuivant plus de nos jours.

Malgré la lenteur de l'évolution des sols et l'absence quasi-absolue d'horizons d'altération sur roches dures carbonatées, il semble difficile d'admettre ce point de vue. Parler d'une évolution pédologique comme d'un "phénomène induit" apparaît tout aussi inacceptable. Bien qu'il soit difficile de montrer l'actualité d'une pédogénèse sous climat méditerranéen, de nombreux arguments - et l'agressivité du climat libanais n'en est pas un des moindres - militent en faveur de cette conception.

Dans le cadre du Liban, à climat méditerranéen humide, différents processus d'altération des roches calcaires vont être décrits. La nature lithologique du calcaire intervient dans la vitesse et le mode d'altération des roches carbonatées. En outre, le climat actuel imprime aux sols une marque indéniable.

Cette note a pour but de montrer que les processus pédogénétiques dans cette zone méditerranéenne se poursuivent encore aujourd'hui, tout en ayant perdu de leur intensité.

B - LE MILIEU

Quelques traits schématiques des facteurs de la pédogénèse et des sols vont situer l'étude dans ce milieu méditerranéen.

Le Liban est un petit pays de 10 000 km². Il borde la Méditerranée orientale sur 200 km de part et d'autre du parallèle 34°N.

1 - Le relief

Le relief du Liban est caractérisé par deux chaînes parallèles à la mer, le Mont Liban dominant la mer entre 2 000 et 3 000 m et l'Antiliban formant frontière avec la Syrie. Entre ces deux chaînes un large fossé d'effondrement constitue la haute plaine de la Bekaa.

Le Mont Liban descend assez brutalement sur la mer en formant une série de plateaux plus importants vers le sud. - La plaine côtière s'élargit sur quelques kilomètres dans l'Akkar au nord, à Choueiffat, et au sud entre Saïda et Tyr.

2 - Le climat

Le climat du Liban (cf Bulletins climatologiques de Ksara, 1955) est un climat de contrastes mais il reste typiquement méditerranéen. BALDY (1959) le définit comme un climat mésothermique, à été très sec et à humidité très variable. La zone côtière sèche dans le sud, semi-humide dans le nord, a des températures élevées même en hiver et une assez forte humidité relative.

Le versant ouest du Mont Liban voit sa pluviométrie passer de 800 mm sur la côte à 1 400 et 1 500 mm en altitude. Les précipitations sont concentrées sur la période de novembre à mai. Les températures moyennes mensuelles varient en janvier de 13°C sur la côte à 0°C à plus de 2 000 m, tandis qu'en été les moyennes d'août atteignent presque 30°C sur la côte contre 18°C en montagne. Le climat de la plaine de la Bekaa et de l'Antiliban, moyennement pluvieux dans le sud (800 à 1 000 mm) se rapproche de l'aridité au nord (200 mm). Vers l'est, au delà de l'écran montagneux du Mont Liban, l'humidité relative baisse considérablement et les besoins en eau deviennent importants en été.

3 - La géologie

La géologie du Liban, bien étudiée par DUBERTRET (1943) et ses collaborateurs, présente une certaine unité quant à la nature calcaire de presque toutes les roches. Le Jurassique formé de calcaire gris, de dolomies lapiézées constitue le noyau du Liban et de l'Antiliban. Les alternances de marnes et de calcaires de l'Aptien et de l'Albien sont bien développées dans le centre ouest du Liban. Le Cénomaniens est une puissante formation du Mont Liban et de l'Antiliban.

Les calcaires cénomaniens, parfois dolomitiques, sont durs et compacts, bien que moins lapiézés que les calcaires jurassiques. Ils présentent de profondes dolines, des vallées échanrées, etc..

Au Sénonien se sont déposés des marnes grises et des calcaires marneux sur les plateaux du sud et du nord. Les calcaires éocènes, surtout abondants dans le sud Liban, sont tantôt durs, tantôt tendres, suivant les faciès.

Les formations quaternaires représentent les plaines côtières et la plaine d'effondrement de la Bekaa.

Quelques formations ne sont absolument pas calcaires : les grès de base du crétacé dans la partie centrale du Mont Liban et les pointements basaltiques surtout développés dans le nord du pays.

4 - Les sols cf. GEZE (1947) ; BILLAUX (1960) ; LAMOUREUX et OSMAN (1963).

Deux facteurs dominent la pédogénèse au Liban : la pluviométrie très variable du fait de l'écran montagneux du Mont Liban et la nature calcaire de la plupart des roches du substratum géologique.

A - SUR ROCHES CALCAIRES

Comme le montre cette note les sols formés sur roches calcaires ne sont pas forcément calcaires :

- sur roches calcaires dures, l'altération aboutit à une décalcarification totale des sols pour donner : des **terra rossa**, fossiles dans les fissures, plus ou moins anciennes dans les poches superficielles ; des **sols rouges méditerranéens** discontinus ou continus. L'influence de la matière organique transforme localement ces sols en **sols bruns forestiers**. L'hydratation ou l'hydromorphie du milieu entraîne une réduction des oxydes de fer donnant des sols de **couleur ocre ou brune** ;
- sur roches calcaires moyennement dures à tendres s'observent des **sols bruns** plus ou moins décalcarifiés ;
- sur roches calcaires très tendres ou sur marnes se forment des **sols gris et blancs** fortement calcaires et peu évolués.

Les flysch, alternances de lits calcaires et de lits marneux, sont fortement remaniés par l'érosion hydrique ou par l'homme. Ils sont caractérisés par des **sols bruns argileux très calcaires** sur tout le profil. Ces sols s'observent sur Crétacé, Aptien et Albien du centre ouest du Mont Liban.

Ce type de sol -rendzines ou pararendzines - est fréquent en bas de pente, de part et d'autre de la Bekaa.

B - SUR ROCHES NON CALCAIRES

- **sur basalte** dans le nord du Liban et en quelques points très localisés se forment des sols bruns, classés actuellement dans les sols bruns méditerranéens ;
- **sur grès du crétacé**, sous pluviométrie forte de 1 000 à 1 400 mm et sous végétation de pins, de bruyères, etc. **les sols sont lessivés**, à pH acide. Un podzol humo-ferrugineux a pu être observé en un point particulier du Liban.

C - EN POSITION DE TOPOGRAPHIE PLANE

Le long de la côte ou dans la Bekaa centrale, les alluvions et colluvions ont évolué différemment.

- le mauvais drainage favorise l'hydromorphie dans de nombreux sols ;
- les sols riches en argiles montmorillonitiques se tirsifient facilement dans les parties basses de la Bekaa et à l'arrière des plages côtières ;
- la baisse de pluviométrie du sud au nord de la Bekaa influe sur l'évolution du calcaire dans les sols :
 - 450 - 800 mm. Sols brun-foncé ou châtain plus ou moins décalcarifiés en surface et plus ou moins hydromorphes en profondeur. Ce sont les "sols châtaignes isohumiques" de la classification française.
 - 350 - 450 mm - Zone de transition.
 - 200 - 350 mm - Sols brun-clair fortement calcaires en surface. "Sols isohumiques bruns calcaires" de la classification française.

C - ALTÉRATION DES CALCAIRES

Il est bien connu que les roches carbonatées s'altèrent plus facilement que les roches siliceuses.

La dissolution dans l'eau chargée de gaz carbonique ou d'acides humiques est parfois très importante, par exemple dans les calcaires durs jurassiques.

Mais cette dissolution est relativement lente et peut être dominée, dans les roches calcaires tendres ou marneuses, par d'autres phénomènes physico-chimiques tels que l'hydratation ou l'hydrolyse.

Successivement seront examinées :

- l'altération rapide des marnes et calcaires marneux ;
- l'altération moins rapide mais nettement visible des calcaires tendres et des basaltes ;
- l'altération lente et difficilement observable des calcaires durs.

1 - Altération des marnes et calcaires marneux

A - Sur marnes ou calcaires marneux l'altération ou plus exactement le délitage est immédiat, puisqu'il suffit de quelques pluies pour transformer ces matériaux tendres en une masse terreuse, sans structure, mais bien différenciée de la roche-mère initiale.

En profondeur sous un sol marneux en place l'humidité se maintient pendant huit à dix mois et l'horizon C d'altération se distingue très nettement.

Profil observé sur marne sénonienne (n° 33, Tableau 8)

A la sortie de Saïda vers Djezzine, sur pente de 10 %, sous couvert herbacé et sous oliviers.

- 0 - 20 cm Gris clair (5 Y 7/2). Structure nuciforme moyenne à grosse, cohésion et consistance faibles, mais forte porosité. Argilo-limoneux-calcaire. Quelques cailloux et racines développées verticalement.
- 20 - 80 cm Gris clair (5 Y 7/2). Structure nuciforme grosse, tendance à une surstructure prismatique. Plus cohérent et plus consistant qu'en surface. Argilo-limoneux-calcaire. Quelques inclusions de nodules calcaires tendres, de cailloux. Racines verticales.
- 80 - 100 cm Idem, mais structure prismatique fine, consistante, peu cohérente et peu poreuse. Quelques taches ocre-rouille et des amas farineux calcaires indiquent un début d'hydromorphie.
- 100 - 140 cm Idem, avec une structure prismatique plus grosse, à tendance aux plaquettes. Taches ocre-rouille et facettes noires des éléments marneux plus ou moins altérés. Peu de racines.

Tableau 1 Analyses d'un sol dérivé de marnes, près de Saïda.

Ech.	Profondeur	Eléments > 2 mm%	S.G. %	S.F. %	Limon %	Argile %	C.R. %	pH	CO ₃ Ca %	
									total	actif
Sa 1.1	0 - 15	22,6	4,7	24,7	22,0	50,4	32,9	7,75	37,5	21,5
1.2	40 - 60	20,4	3,2	27,2	23,9	45,6	33,6	7,85	40,5	24
1.3	80 - 110	50	1,9	24,2	29,6	47,0	35,9	7,8	46	25,5
1.4	110 - 120	68,6	2,4	26,8	26,8	44,0	33,5	7,8	46	26
Ech.		C %	N %	C/N	M.O %	Fer libre %	P ₂ O ₅ ass. %	Bases échangeables m.éq. %		
								Ca	Mg	K
Sa 1.1		0,89	1,13	7,9	1,53	0,7	0,11	27,5	2,0	0,33
1.2		0,32	0,68	4,7	0,55	0,7	0,11	24,6	1,3	0,15
1.3		0,28	0,51	8,5	0,47	0,6	0,06	23,3	1,2	0,12
1.4		0,21	0,30	7	0,36	0,6	0,09	23,0	1,7	0,11

2 - Altération des calcaires tendres (accessoirement des basaltes)

L'horizon d'altération ou l'altération du matériau originel est parfaitement net sans être toujours très visible.

Entre Saïda et Nabatiyé, sur calcaire éocène tendre et crayeux, s'est formé un sol brun argileux. De 40 à 80 cm, des calcaires tendres, aplatis, enrobés d'une masse terreuse gris brunâtre fortement calcaire, constituent l'horizon d'altération.

Sur basalte, à l'est du plateau de l'Akkar, l'altération est très profonde : de 45-50 à 100 cm des poches terreuses et des colonnes de roches altérées alternent. De 100 à 250 cm une masse structurée brun-ocre-rouille sépare le sol du basalte vacuolaire sous-jacent.

Profil observé sur roche calcaire tendre éocène (n° 44, Tableau 8).

Plateau éocène du sud Saïda. Sous cultures, quelques cailloux calcaires en surface.

- 0 - 35 cm Brun-gris très foncé (10 YR 3/2). Grumelo-nuciforme, large à moyen, cohérent et consistant, moyennement poreux. Argileux-calcaire. Quelques cailloux et racines bien développées.
- 35 - 40 cm Limite nette, ondulée. Brun-clair (10 YR 5/4), avec taches gris plus foncé. Très calcaire, quelques cailloux calcaires tendres, peu ou pas structurés.
- 40 - 70 cm Altération du calcaire tendre formant des lits horizontaux. Calcaire très tendre, blanc crayeux, de densité 1,86.

Tableau 2 Analyses d'un sol dérivé d'un calcaire tendre, près de Saïda.

Ech.	Profondeur	Eléments > 2 mm %	S.G. %	S.F. %	Limon %	Argile %	C.R. %	pH	CO ₃ Ca		Fe ₂ O ₃	
									Total %	Total %	Total %	Total %
44,1	10 - 20	0	2,5	14,2	16,3	65,0	42,8	8,0	12,0		5,70	
44,2	35 - 40	2,2	2,2	14,4	33,1	50,5	36,4	8,1	49,5		4,18	
44,3	Roche						23,8		75,0		0,45	
Ech.	C %	N %	C/N	M.O %	P ₂ O ₅ ass. %	Bases échangeables m.éq. %						
						Ca	Mg	K	Na	S		
44,1	0,76	0,09	8,4	1,30	traces	39,2	7,6	traces	0,8		47,6	
44,2	0,36	0,06	6	0,62	"	18,8	4	"	0,6		23,4	

3 - Altération des calcaires durs (Jurassique, Cénomaniens, Eocène)

Le passage de la terra rossa à la roche dure aux surfaces lisses et bien nettes se fait souvent brutalement. Cette absence de transition entre le sol et la roche constitue un argument important permettant à certains auteurs de dire que les argiles rouges environnantes se seraient formées il y a très longtemps sous un autre climat.

De nombreuses observations sur différents calcaires durs du Liban montrent que les altérations existent, bien qu'éphémères et souvent difficiles à voir. Elles se traduisent par la formation d'argiles de décalcification rouges ou brunes suivant les cas.

3.1 - NATURE DE CES CALCAIRES

Les calcaires durs (Tableau 8) associés à des argiles rouges sont généralement :

- durs à très durs (à la main, au marteau) ;
- moyennement à peu friables (au marteau) ; éclats anguleux, coupants ; facilement fissurés sous les chocs ;
- les teneurs en carbonate de calcium (et de magnésie) sont élevées, généralement plus de 95 % ; les densités apparentes fortes (2,65 à 2,70) et une faible capacité de rétention pour l'eau (0,8 à 1,5 %).

Tableau 3 Caractéristiques analytiques de différents calcaires durs

Age géologique	Moyenne de n échantillons	Carbonate % (CO ₃ Ca domine)	Densité appr.	Capacité de rétention maximum %	Fe T. % (Fe ₂ O ₃)
Jurassique (J6)	8	96,5	2,70	0,80	0,46
Aptien (C2b)	4	97,5	2,68	1,18	0,18
Cénomanién (C4)	11	92,9 (96,9 pour 7 éch.)	2,63	1,49	0,09
Éocène (e) (Faciès dur)	5	98	2,65	1,47	0,06

- leur texture est fine, la cassure est nette et lisse, parfois un peu rugueuse ;
- les couleurs sont presque toujours claires (Munsell humide) :
 - blanc 10 YR 7/2 - 7/3 - 8/2
2,5 Y 7/2 - 8/4 - ...
 - blanc jaunâtre 10 YR 5/4 - 5/6
2,5 Y 7/4 - 5/6
 - gris clair 10 YR 6/2 - 5/2
2,5 Y 6/2.

3.2 - DIFFÉRENTS MÉCANISMES DE L'ALTÉRATION

Sur le tableau 8, est mentionné, dans la colonne altération, l'état de la surface des roches exposées à l'air : altération superficielle de 1 à 2 mm, aspect verruqueux de la surface, etc.. Des exemples précis d'altération de roches seront choisis et les phénomènes observés décrits.*

3.2.1 - Observations de 5 stades d'altération d'un calcaire dur jurassique

Une des observations les plus intéressantes a été faite à Ballonné sur calcaire jurassique J6 (x = 144,4 ; y = 223,8) dans une tranchée nouvellement ouverte.

* Les dolomies ont une altération bien différente, mais n'apportent que peu d'éléments supplémentaires au problème traité ici.

En premier lieu, une grande différence s'observe entre l'altération des faces d'un rocher situé, soit dans la terre, soit dans une masse aux fissures remplies de terra rossa. Généralement, la face inférieure présente les phénomènes d'altération les plus nets ou du moins les "plus en place". Milieu plus humide, moins soumis au lessivage.

Un bloc calcaire, arraché entre 1 et 2 mètres de profondeur, présente une profonde altération par poches, petits trous remplis d'une argile rouge finement polyédrique. Sur la face inférieure s'observe une zone d'altération (près de 1 m²) de couleur bigarrée : traînées ou petites plages rouges aux limites indistinctes, entre les plages apparaissent des masses nodulaires dures, plus ou moins hémisphériques, à surface rugueuse, altérée. Ces nodules sont rouges (2,5 YR 4 à 3/6 Hde) riches en fer et calcite, avec, au centre, quelques petits pores.

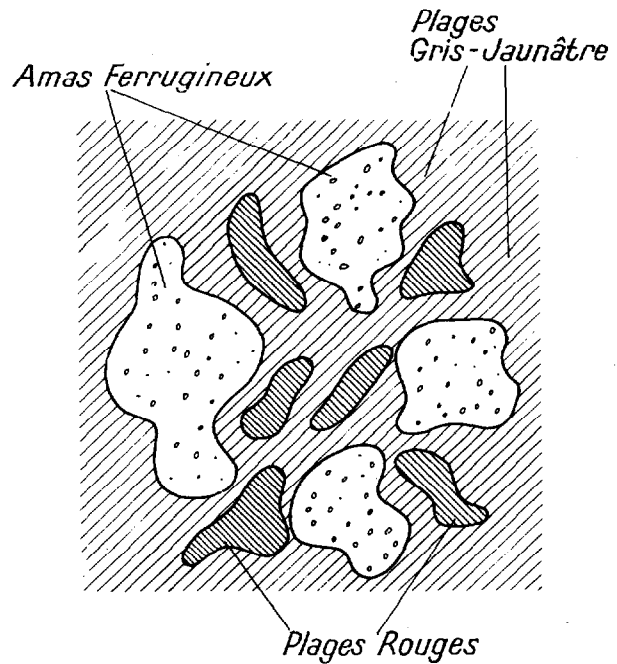


Figure 1 - Différents stades d'altération d'un calcaire dur (n° 14).

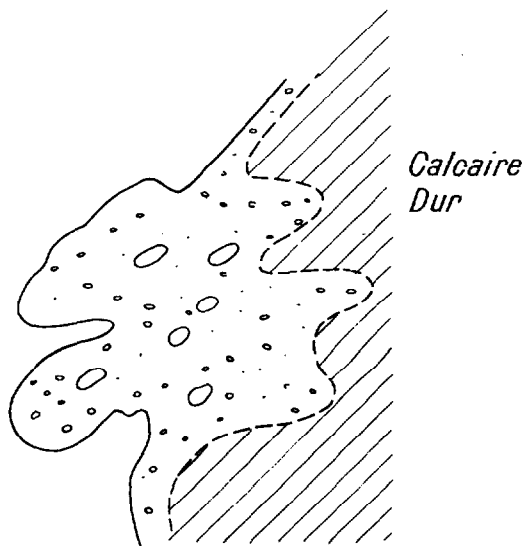


Figure 2 - Racines d'un amas ferrugineux dans le calcaire dur.

La racine des nodules se fait dans le calcaire par digitations relativement bien délimitées par rapport à la roche (il s'agit, semble-t-il, de produits exportés de la roche et non de dépôts sur la roche). Cette couche d'altération, très hétérogène, représente 4 à 5 cm d'épaisseur et plus par points.

Bien que difficilement, des échantillons des différents éléments de cette zone d'altération ont pu être prélevés et analysés.

Tableau 4 Analyses des produits d'altération d'un calcaire jurassique de Ballouné.

Echantillons	14.1 Roche saine	14.2 Amas durs ferruginés	14.3 Plages gris- blanc indurés	14.4 Plages rouges tendres	14.5 Terra rossa
Stades d'altération	1	2	3	4	5
Couleur (Hde)	10 YR 7/2	2,5 YR 4 à 3,6	Fond 7,5 YR 5,6 Mouchetures 5 YR 5/8	5 YR 4/6	2,5 YR 3/6
Da	2,68	2,47	-	-	-
Humidité maximum %	1,3	9,7	-	-	-
CO ₃ Ca %	98,0	82,0	61,0	39,7	0
Fe ₂ O ₃ T. %	0,13	2,32	3,74	7,17	14,70
Fe ₂ O ₃ en % d'éléments non calcaires	6,5	12,9	9,6	11,9	14,7
Fe ₂ O ₃ libre %	-	-	1,42	1,22	1,59
FeI/Fe T %	-	-	38	17	10,8
pH	-	-	7,8	7,9	7,9
C.R. %	-	-	22,0	30,4	44,0
N %	-	-	0,02	0,03	0,06
P ₂ O ₅ ass.	-	-	traces	traces	traces
Bases échangeables m.éq. %					
Ca	-	-	6,80	12,80	16,0
Mg	-	-	3,20	4,00	4,40
K	-	-	0,03	0,13	0,13
Na	-	-	0,48	0,52	0,52
S	-	-	10,51	17,45	21,05

Ce seraient là cinq stades successifs de l'altération actuelle d'un calcaire dur jurassique. Les résultats analytiques du tableau 4 montrent bien le passage progressif de la roche saine à la terra rossa. Le "Cortex verruqueux" (St. 2) devient poreux (9,7% de capacité maximum de rétention pour l'eau) et s'altère facilement pour donner des plages gris-blanc (St. 3) encore dures, plus riches en fer et moins calcaires que le cortex. Les plages rouges (St. 4) n'ont plus que 39,7% de calcaire ; par contre, le fer total et les bases échangeables augmentent considérablement. Mais il faut considérer l'augmentation relative des éléments par rapport à la masse non calcaire : dès le stade 2, les processus physico-chimiques d'altération des calcaires semblent avoir atteint leur optimum. La décalcarification se fait progressivement aux stades suivants sans départ de fer, tandis que le fer libre diminue par rapport au fer total. Les bases échangeables sont partiellement lessivées au stade terra rossa et peut-être une partie de la silice, ce qui provoquerait une augmentation relative des taux de fer.

Cependant, il ne peut s'agir là que d'un cas qui sans être rare n'est pas général. Un milieu humide est nécessaire mais pas trop humide puisqu'il n'y a pas réduction des oxydes de fer, moyennement drainé pour que tous les éléments restent en place du Stade 1 au Stade 5. En fait, les stades 3 et 4 ne sont pas souvent observables, par contre l'altération du type 1-2-5 est fréquente, comme le montre le tableau 8, du fait que le stade 2 est lié à la roche elle-même.

Le "cortex d'altération" est plus ou moins ferrugineux, plus poreux que la roche, toujours très calcaire. Il est parfois verruqueux, mais il se présente généralement comme une surface d'altération de 1 à 2 mm, plus mince par points, plus profonde en d'autres et pénétrant dans les fissures.

Pour beaucoup de calcaires durs, mais pas forcément les plus durs, le "cortex d'altération" est très mince ou n'existe pas, l'altération est alors du type 1-3-5, ou 1-5.

Pour les calcaires tendres, l'altération se fait dans la masse sur de plus grandes épaisseurs.

Il est inutile de multiplier les observations de ce genre, un tableau analytique comparatif entre les roches saines (R) et leurs produits d'altération (E) résume ces faits.

Tableau 5 Comparaison entre calcaires durs et leurs produits d'altération.

Echant.	Type d'altération	Age géologique	CO ₃ Ca %	da	Hté max. %	Fe T Fe ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ % d'éléments non calc.
4	R	C2b	97,5	2,66	0,60	0,15	6
	E		76,5	2,41	4,60	1,75	7,4
15	R	J6	95	2,66	0,50	0,17	3,4
	E		76,5	2,50	5,30	2,78	11,8
18.3	R	C4	96	2,72	0,15	0,04	1
	E		89	1,97	11,60	0,32	2,9
20	R	J6	96	2,76	0,41	0,76	19
	E		81,5	2,10	3,80	2,44	13,2
30.2	R	C4	96,3	2,58	0,70	0,07	1,9
	E		84,0	2,40	12,70	1,00	6,2
47	R	e	98,7	2,57	0,58	0,03	2,3
	E		36	1,97	8,05	0,20	0,3

Le produit E "dit d'altération" doit être considéré comme une formation secondaire liée à la roche-mère et non comme formant une véritable zone d'altération passant progressivement à la roche saine (sauf pour l'échantillon 47).

Les différentes formes de cette altération :

- les formations "verruqueuses" sont identiques à celles décrites plus haut (échantillons 14 et 4) ;
- la roche est totalement lisse, avec parfois des petites zones altérées tendres s'enlevant à l'angle. Tout autour, des nodules calcaires plus ou moins riches en fer s'individualisent dans une masse argileuse brune un peu calcaire et nettement hydromorphe (Echantillons 15-18) ;
- les formations verruqueuses et les nodules peuvent s'observer simultanément (Echantillons 20 - 30.2) ;
- phénomène bien différent des précédents, la roche se vide de son calcaire en auréoles (36 %, puis 13,4 % de CO₃Ca à la périphérie. Echantillon 47).

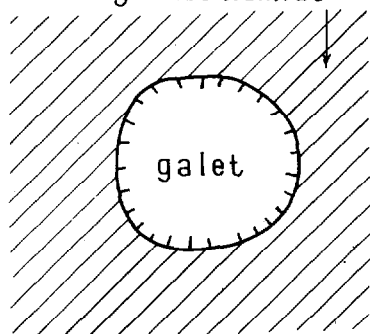
S'il ne fait aucun doute que la plus grande partie du calcaire de ces formations secondaires nodulaires vient directement des roches calcaires, le fer pourrait également provenir des argiles formant le milieu environnant.

3.2.2 - Altération de roches calcaires dures, en 2 stades

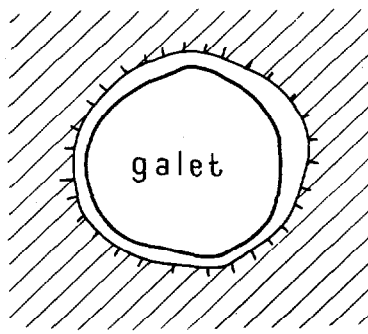
Sur Jurassique, Cénomaniens, Eocène, et sur galets quaternaires, un phénomène très courant d'altération des calcaires durs ou moyennement durs peut être observé.

Quand le sol se dessèche en avril-mai, des galets ou rochers retirés du sol non calcaire laissent dans leurs alvéoles une mince couche calcaire d'environ un demi-millimètre d'épaisseur, tandis que la surface du calcaire est blanche et lisse. Ce phénomène peut se produire pendant une période sèche assez longue, dans le courant de l'hiver.

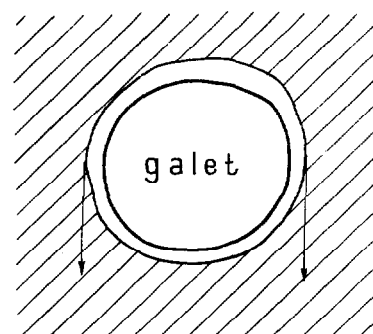
Terre argileuse humide



Formation d'une mince couche d'altération autour du galet enveloppé de terre argileuse humide.



Dessèchement du sol et décollement d'une mince pellicule calcaire.



Entraînement par les eaux de pluie de la mince pellicule calcaire.

Figure 3 - Processus possible d'altération d'un calcaire dur.

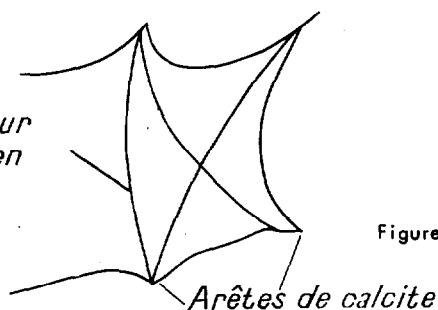
En supposant que ce processus est annuel et que l'épaisseur altérée représente un demi-millimètre, un galet de 10 cm de rayon disparaîtra en 200 ans, laissant autour de lui une terre argileuse non calcaire.

Il est évident que la dureté du calcaire interviendra pour augmenter ou diminuer l'importance de la pellicule altérée et dans de nombreux cas cette pellicule n'est même pas visible à l'oeil.

Si l'altération de la roche suivant les cinq stades décrits plus haut est rare et difficile à observer, par contre ce dernier processus d'altération a été observé très fréquemment.

Près de Beit-Eddine, vers Baakline, un calcaire dur cénomanien (Tableau 8, n° 5) présente une altération superficielle laissant en relief des arêtes de calcite formées par des veines traversant la roche. Parfois, quand on arrache la roche du sol, la partie altérée entre deux arêtes reste attachée à la terre.

Calcaire dur Cénomanien



Des observations de ce genre ont été faites en de nombreux points.

Figure 4 - Altération superficielle d'un calcaire dur cénomanien.

3.2.3 - Altération d'un calcaire dur jurassique

De Feytroun en descendant vers Kalaat Fahra, le calcaire jurassique est morcelé en une multitude de petits parallépipèdes.

Entre 5 et 3 m, ces éléments sont enveloppés d'une masse altérée blanc-brunâtre et bougent dans leur loge. Au dessus, ces couleurs deviennent plus brunes, puis rougeâtres en surface.

L'altération se fait sur toutes les faces accessibles aux solutions du sol, l'individualisation du fer et le départ de CO_3Ca étant plus importants près de la surface du sol.

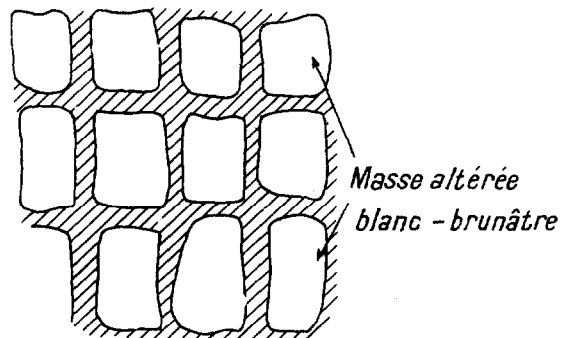


Figure 5 - Altération d'un calcaire jurassique fissuré en parallépipèdes.

3.2.4 - Observations sur l'altération de ruines romaines

Les ruines romaines de Jérache (Jordanie), sous une pluviométrie de 600 mm, sont en général bien conservées dans un sol calcaire. Pourtant, certains blocs calcaires récemment déterrés présentent en surface une couche de 1 à 2 cm d'un calcaire pourri ferruginisé, très irrégulier, formant des plaques et des trous. Des granites roses voisins ne sont pas touchés par l'altération.

Près d'Alep (400 mm), un tronçon de voie romaine est formé de larges dalles dont le centre de chacune d'elles est creusé d'une cuvette de 1 à 2 cm de profondeur. Il ne semble pas que ces petites cuvettes soient dues à une usure mécanique (roue de char par exemple), mais elles seraient plutôt le résultat d'une dissolution du calcaire.

En une vingtaine de siècles, et certainement moins dans le cas de Jérache, l'altération a nettement marqué certaines pierres calcaires de monuments romains partiellement enterrés.

3.2.5 - Observations diverses

D'autres observations permettent de constater l'action dissolvante des racines, le transport de calcaire par les eaux qui coulent le long de parois rocheuses ou dans les grottes, la fraîcheur des nodules calcaires plus ou moins ferruginisés formés sur les parois des calcaires, etc., autant de phénomènes qui concourent à montrer que la dissolution et le transport de calcaire, les mouvements du fer par altération des calcaires même durs, sont des processus qui n'ont pas cessé de se produire depuis des milliers et des milliers d'années.

3.3 - SOLS FORMÉS SUR CES CALCAIRES DURS

Le produit d'altération des roches calcaires dures est une terre très argileuse, un peu limoneuse, très peu sableuse et totalement décalcarifiée. L'argile est essentiellement montmorillonitique et illitique, saturée en bases. Sa couleur, due au fer très abondant, va du rouge vif (10 R), aux couleurs gris bleu du gley, suivant les conditions de drainage du milieu. Le fer joue un rôle important dans la structuration des éléments, fins polyèdres peu cohérents, formés dès que le fer floccule après sa libération sous forme de complexes ferrisiliciques (Stade 4) du premier exemple d'altération.

Sol rouge méditerranéen sur calcaire dur cénomanien (n° 39, Tableau 8)

A 1 km à l'ouest de Sfarey, sur pente de 15 à 20 %, et sous une maigre végétation naturelle (graminées, *Poterium*, etc.). Surface rocheuse développée. Cailloux abondants.

- 0 - 8 cm Rouge brun foncé (5 YR 3/4). Finement nuciforme cohérent, consistant et peu poreux. Argilo-limoneux, quelques cailloux et racines bien réparties.
- 8 - 75 cm Rouge-brun (5 YR 3/4). Finement polyédrique, peu cohérent, consistant et peu poreux. Facettes des polyèdres légèrement revêtues. Argileux et caillouteux. Racines bien développées.
- 75 - 95 cm Rouge-brun (2,5 YR 6/3). Masse humide compacte. Très argileux, avec revêtements calcaires dans les alvéoles des cailloux.

Tableau 6 Analyses d'un sol rouge méditerranéen sur calcaire dur de Sfarey.

Echant.	Profondeur	Eléments > 2 mm %	S.G. %	S.F. %	Limon %	Argile %	C.R. %	pH	Fe ₂ O ₃ %		Fe L/ Fe T %
									libre	total	
Sa 119.1	0 - 8	52	3,4	20,4	21,8	55,8	34,8	7,6	2,70	8,40	32
119.2	15 - 30	27,6	2,6	12,9	21,1	66,2	36,5	7,45	2,75	5,70	48
119.3	45 - 55	29,6	2,1	19,1	18,3	65	40,2	7,45	2,75	6,75	41
119.4	80 - 90	43,5	4,9	9,8	15,2	70	42,8	7,55	3,97	5,70	69,5
Roche							2,7			0,11	

Echantillon	CO ₃ Ca	C %	N %	C/N	M.O %	P ₂ O ₅ ass. ‰	K ₂ O ‰
Sa 119.1	0	1,90	0,22	8,6	3,2	0,02	1,94
119.2	"	1,79	0,19	9,4	3,0	"	1,90
119.3	"	1,37	0,15	9,1	1,6	"	1,78
119.4	"	0,59	0,08	7,4	1,0	"	1,28

Sol rouge méditerranéen sur calcaire dur éocène (n° 48, Tableau 8)

Près de Zaoutar, sur pente de 8 %, couvert herbacée dense (*Poterium*), fortement caillouteux en surface.

- 0 - 20 cm Brun-rouge foncé uniforme (2,5 YR 3/4), structure nuciforme moyenne à large, faible cohérence, consistante, peu poreuse. Argileux, 10 à 20 % de cailloux de 5 à 10 cm de diamètre. Racines bien développées. Non calcaire.
- 20 - 80 cm Passage progressif (non labouré). Brun-rouge foncé (2,5 YR 3/4). Structure cubique s'effritant en une structure polyédrique, consistante et peu poreuse. Lissage des agrégats. Argileux, caillouteux. Peu de racines.

Tableau 7 Analyses d'un sol rouge méditerranéen sur calcaire dur éocène de Zaoutar.

Echant.	Profondeur	Eléments > 2 mm %	S.G. %	S.F. %	Limon %	Argile %	C.R. %	pH	Fe ₂ O ₃ total %	CO ₃ Ca %
48.2	50 - 70	2,6	0,6	4,4	7,2	87,6	39,6	7,15	12,8	0
Roche							0,45		0,03	97,5

Echant.	C %	N %	C/N	M.O %	P ₂ O ₅ ass. ‰	Bases échangeables m. éq. %				
						Ca	Mg	K	Na	S
48.1	1,25	0,16	7,8	2,15	0,032	14,4	4,8	0,18	0,64	20
48.2	0,42	0,08	5,2	0,72	traces	11,6	2	0,05	0,52	14,1

D - DISCUSSION

Ces résultats d'observations et d'analyses succinctes contribuent à montrer que l'altération des calcaires se poursuit encore de nos jours.

Mais quels processus physico-chimiques président à la formation des "argiles de décalcification" ?

Que sont les sols formés à partir des produits d'altération des calcaires ? Ces sols sont-ils en équilibre avec le climat actuel ?

1 - Processus de formation des sols rouges méditerranéens

Différentes hypothèses ont été émises quant à l'origine et à la formation des terra rossa et des sols rouges méditerranéens.

Pour STREMMÉ et DEL VILLAR (cités par DURAND, 1959) les sols rouges ne seraient que l'horizon d'accumulation de l'argile et des sesquioxydes de sols lessivés ou de rendzines tronqués par l'érosion. DURAND (1959) assimile les sols rouges à des sols ferrallitiques formés sous climat tropical en période de biostasie (12). Ces deux points de vue, peu vraisemblables, ne seront pas retenus.

BORDAS (1950), reprenant certaines idées de HOLLSTEIN et de MARCELLIN, considère la terra rossa comme une argile de décalcification formée aux dépens des calcaires. Des éléments détritiques se seraient mêlés à cette argile à la suite d'actions colluviales. Il décrit le processus d'altération des calcaires en trois stades :

- 1 - **Une décalcification** surtout intense en profondeur où les innombrables cavités et fissures sont constamment humides ;
- 2 - **Une kaolinisation**, résultat d'une altération dite "siallitique", aboutissant à la formation d'argiles kaoliniques ou illitiques ;
- 3 - **Une ferruginisation**. Le fer est abondant dans le reste insoluble des calcaires. Ce fer serait complexé par la silice dans les micelles argileuses et diffuserait dans la zone superficielle en période sèche où la séparation fer-silice se produirait. Le fer insolubilisé sur place par dessiccation colorerait le sol en rouge. La silice serait entraînée en profondeur avec les bases par les pluies suivantes.

Le complexe argilo-silicaté, plus ou moins siliceux formerait la terra rossa. Cette argile résiduelle du calcaire se mélangerait au complexe détritique formé de débris variés recouvrant les reliefs karstiques.

La terra rossa et ces éléments détritiques constitueraient les "terres rouges".

Les terres rouges astructurées et privées de matières organiques seraient les "roches-mères" des sols observés sur les roches calcaires des régions méditerranéennes.

Cette théorie fait appel à trois stades successifs d'altération sans trop en expliquer les mécanismes et les conditions.

Peut-on parler d'une "dissociation fer-silice en période sèche sous l'influence de l'évaporation à travers les horizons superficiels" alors que l'altération des calcaires se fait en grande partie en profondeur ?

Les terra rossa et les "terres rouges" sont considérées comme des roches-mères, donc des matériaux fossiles. Ce stade intermédiaire des terres rouges astructurées est très discutable : la terra rossa, argile de décalcification constitue un matériau parental - et non une roche-mère - qui donne naissance à un sol parfaitement bien structuré, incluant des éléments détritiques variés.

Une théorie peut-être moins récente mais tout aussi acceptable est celle émise par REIFENBERG (1947) à propos des sols de Palestine. REIFENBERG considère les terra rossa comme produit de décalcification de certains calcaires (durs pour la plupart). Ce produit serait caractéristique du climat méditerranéen, à saison sèche très marquée et dont l'indice de Lang P/T varierait entre 30 et 60.

Les observations faites au Liban conduisent à une conclusion semblable, cependant la limite supérieure de l'indice de Lang (60) valable pour la Palestine ne l'est plus pour le Liban. Ainsi des terra rossa se forment sous une pluviométrie assez forte à indice de Lang atteignant 80 et même 100 :

- Kartaba	89
- Bikfaya	86
- Machgara	100.

En fait, l'indice de Lang Pluviométrie moyenne/T°C moy. n'a que très peu de signification alors qu'une des caractéristiques essentielles du climat méditerranéen est sa sécheresse estivale. L'alternance d'hivers pluvieux et d'étés très secs semble être le facteur dominant de cette pédogénèse particulière.

Sous climat méditerranéen, pluvieux en hiver et sec en été, l'humus ne se forme qu'en petite quantité et son action protectrice sur les composés du fer est inhibée par les hautes teneurs en sels minéraux des sols dont les pH sont généralement alcalins.

En hiver, le calcaire des roches est lessivé, entraînant un enrichissement relatif en silice et en sesquioxydes. La silice colloïdale formée peptise en milieu alcalin les sesquioxydes qui, sans elle, auraient été précipités par le calcaire. Les sesquioxydes prennent la place des cations fixés aux micelles siliceuses et sont alors chargés négativement.

En été, les solutions montent dans le sol et les sesquioxydes bien que protégés par la silice sont finalement floculés par des électrolytes plus concentrés, rencontrés au cours de leurs mouvements ascendants (l'hydroxyde de calcium produit par les bicarbonates de calcium jouerait un grand rôle dans ce processus).

Au cours de leur floculation, les sesquioxydes peuvent envelopper d'autres particules de sol, tandis que les particules floculées provoqueraient des transformations physico-chimiques secondaires avec formation de silicates bien définis et même cristallisés. BASTISSE (1960), REIFENBERG et bien d'autres auteurs ont étudié le rôle vecteur de la silice, la formation et les mouvements des complexes ferri et ferro-siliciques. Il est fort probable qu'en sols méditerranéens la silice joue un rôle important dans la migration du fer. Mais elle n'existe qu'en très faible quantité dans les roches calcaires (souvent moins de 1%).

L'intervention des matières humiques, liées à l'activité microbienne ne peut pas être exclue. Les matières organiques plus ou moins abondantes suivant les points et les époques - les forêts libanaises étaient très développées il y a plusieurs siècles - peuvent également jouer ce rôle protecteur et peptisant que joue la silice. BETREMIEUX (1951), DEB (cité par BETREMIEUX) ont montré que le fer pouvait migrer, même en milieu calcaire sous l'effet de petites quantités d'acides humiques.

AGAFONOFF (1936) a défendu un tel mode de formation, mais pour lui les sels ferriques peuvent également être lessivés.

Le processus de formation des sols rouges méditerranéens n'est pas absolument connu. Les mouvements du fer ou de ses complexes avec la silice ou les matières humiques, le rôle du fer dans la structuration de ces sols rouges, la place de la silice dans ces phénomènes et son devenir, etc.. autant de points qui mériteraient une étude plus approfondie.

2 - Sols formés à partir des terra rossa. Équilibre climatique des sols méditerranéens

2.1 - Les résidus non calcaires de roches très riches en carbonates (95 à 98 %, tableau 8) servent à former une quantité appréciable de sols, compte-tenu des érosions et des infiltrations profondes.

Il faut cependant considérer que les masses énormes de calcaires sont soumises à l'action dissolvante des eaux météoriques depuis des milliers d'années. Les surfaces d'altération de ces calcaires fissurés, déchiquetés, sont considérables.

L'altération, même lente, accumule dans des poches et des fissures profondes un matériau argileux plus ou moins mélangé aux débris de surface.

Cependant, sur calcaire éocène et sur poudingues néogènes, les sols rouges peuvent être profonds, continus, et il est alors difficile de ne pas parler d'apports. De même, quand il y a transport en bas de pente ou dans les thalwegs, il n'est pas rare de trouver dans le sol des éléments totalement étrangers au milieu. Aussi, comme nous le verrons par ailleurs, distinguerons-nous :

- des sols formés en place à partir de produits de l'altération des calcaires. Ces sols sont discontinus dans les poches ou fissures du calcaire, plus ou moins mélangés à des éléments détritiques ;
- des sols transportés (colluvions - alluvions), enrichis en éléments étrangers aux "argiles de décalcification" et formant des sols continus.

2.2 - Les variations climatiques actuelles et en particulier celles de la pluviométrie marquent profondément les types de sol.

Du nord au sud de la Bekaa nous passons de sols bruns calcaires plus ou moins encroûtés jusqu'à 350 mm de pluie, à des sols rouges calcaires jusqu'à 450 mm puis à des sols rouges ou châtaîns décalcariés en surface.

La succession est la même en Syrie, de Homs à Palmyre, de Damas à Jérusalem.

Pour les sols sur basalte, il en est de même.

Dans la région d'Hermel-El-Kaa (250 mm), nous avons observé dans des fentes de calcaires et de poudingues des argiles rouges un peu calcaires ne correspondant pas aux sols environnants. Ces argiles rouges fossiles sont constituées de montmorillonite, d'illite et d'un peu de kaolinite ; elles sont riches en bases et saturées. Elles correspondent aux argiles des sols rouges formés sous un climat un peu plus pluvieux que celui-ci (4 à 600 mm).

Par contre, les colluvions rouges de la Bekaa, accumulées sur plusieurs mètres, sont parfois riches en kaolinite (Tel'Amara) et certaines ont probablement une origine très ancienne.

En montagne, les pentes sont très fortes, la pluviométrie très élevée (1 000 à 1 500 mm), la disparition des anciens sols est encore plus poussée. Mais il se produit là un autre phénomène "le soutirage des argiles" dans les fissures et les cavernes profondes où nous trouvons de très vieilles terra rossa. Nous avons observé sur les pentes du Mont Hermon, entre 1 500 et 2 000 m des sols formés d'argiles rouges à structure grumeleuse fine bien développée. Il n'est pas possible que ces sols argileux remontent très loin dans le temps, l'érosion est très intense sur fortes pentes et ils ne peuvent pas venir de très loin, car nous sommes à quelques centaines de mètres d'un sommet dénudé et rocailleux.

E - CONCLUSION

L'altération des calcaires se présente sous des formes extrêmement variables suivant la nature lithologique de la roche, le pédoclimat, etc.. Si, sur calcaires moyennement durs, la zone d'altération est souvent bien visible, il n'en est pas de même sur calcaires durs. Exceptionnellement, nous pouvons observer tous les termes de passage de la roche dure à la terra rossa (cinq stades supposés). Plus fréquemment, ce n'est qu'une mince pellicule calcaire qui fait la transition entre la roche et l'argile de décalcification (altération du type 1-3-5). Cette mince pellicule est transitoire et n'apparaît qu'en fin de saison des pluies quand le sol se dessèche. Elle est souvent trop mince pour être perceptible à l'œil, l'altération est alors du type (1-5).

Le mécanisme de cette altération fait l'objet d'hypothèses variées. Les théories résiduelles de BORDAS, de REIFENBERG, semblent présenter un certain intérêt, bien que critiquables sur certains points.

A notre point de vue un grand nombre de sols observés au Liban sont en parfait équilibre avec le climat actuel, l'altération des calcaires * se poursuit de nos jours, ainsi que la formation d'argiles de décalcification.

En montagne, les sols se seraient formés depuis des milliers d'années, sans qu'il y ait eu de grandes variations climatiques, pluviométriques en particulier. Ce seraient des sols actuels. Par définition, un sol actuel est un sol formé dans des conditions semblables aux conditions actuelles et dont l'évolution s'est toujours produite dans le même sens et sans discontinuité.

Dans les plaines de la Bekaa, de l'Akkar et peut-être sur les plateaux du sud Liban, les sols semblent également en équilibre avec le climat actuel, mais ils sont "héritiers" de sols ayant évolué sous des climats différents au cours du quaternaire. Et, dans le cas de sols héritiers, il n'est pas rare d'observer la surimposition de processus pédogénétiques différents, les uns actuels et actifs, les autres anciens et fossiles. La succession de sols enterrés est également fréquente dans ces plaines.

F - BIBLIOGRAPHIE

- AGANOFF (V.) - Sols types de Tunisie. *Ann. S. B. A. T.*, 1936, XII-XIII.
- BALDY (C.) - Contribution à l'étude climatique du Liban. *Revue de Géographie de Lyon*, 1959, XXXIV, 1.
- BASTISSE (E.M.) - Rôle vecteur de divers anions minéraux ou organiques dans les phénomènes géochimiques et physiologiques. *Ann. Agro.*, 1960.
- BETREMIEUX (R.) - Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Thèse. *Ann. Agro.*, 1951, 1.
- BILLAUX (P.) - Notice explicative pour la carte d'utilisation des sols de la région Hermel El Kaa. Institut de Recherches agronomiques, Tel'Amara, Liban, 1960.
- BORDAS (J.) - Contribution à l'étude des facteurs de la production agricole du Bas-Rhône. Thèse. *Imprimerie Rullière Frères*, Avignon, 1950.
- BOULAIN (J.) - Facteurs de formation des sols méditerranéens. *Sols Africains*, 1961, 2-3.
- " - Etude des sols des plaines du Chélif. Thèse Université d'Alger, 1957, 1.
- CHOUBERT (G.) - Les rapports entre les formations marines et continentales quaternaires. IV^o Congrès de l'INQUA, Rome-Pise, 1953.

* Nous avons limité notre raisonnement aux calcaires, mais il en est de même pour les basaltes.

- DUBERTRET (L.) - Carte lithologique de la bordure orientale de la Méditerranée. 1943.
- " - Carte géologique du Liban au 1/200 000. 1955.
- DURAND (J.H.) - Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Direction de l'hydraulique et de l'équipement rural, Alger, 1959.
- ERHART (H.) - La genèse des sols en tant que phénomène géologique. *Masson et Cie, Paris, 1956.*
- GEZE (B.) - Le Congrès international de Pédologie méditerranéenne. Notes et réflexions. *Ann. Ecole Nationale d'Agriculture, Montpellier, 1947, XXVII, 4.*
- " - Carte de reconnaissance des sols au Liban au 1/200 000. Ministère de l'Agriculture du Liban, 1956.
- LAMOUREUX (M.) et OSMAN (A.) - Périmètre du Yahfoufa. 1. Milieu et mise en valeur. 2. Les Sols. Institut de Recherches Agronomiques, Tel'Amara, Liban, janv. 1963.
- Sols et aptitudes des sols du périmètre Awali-Leimoun. Institut de Recherches Agronomiques, Tel'Amara, Liban, juil. 1963.
- Observatoire de Ksara - Bulletins climatologiques mensuels.
- REIFENBERG (A.) - The soils of Palestine. *Murby and Sons, London, 1947.*
- REY (J.) - Carte pluviométrique du Liban au 1/200 000. Observatoire de Ksara, Liban, 1955.

Tableau 8 - Echantillons de roches prélevées au Liban

Echant.	Localité	Altitude	Pluviom. mm	Type de sol (1)	Dureté (2)	Friabilité (3)	CO ₃ Ca CO ₃ Mg* %	Da	Hté max. %	Fe T % Fe ₂ O ₃	Couleur Munsell Hde	Texture (gr. = grain)	Altération
1 - Jurassique (J)													
14	Ballouné	630	1150	R.M. n.c.	D.	M.F.	98	2,68	1,30	0,13	10 YR 7/2	Gr. fins un peu rugueux	Alt. superf. 1 à 2 mm
15	"	640	1150	Poches B n.c.	D.	M.F.	95	2,66	0,50	0,17	10 YR 7/3	Gr. fins, lisses	Verruqueux
16	Feytroun	1200	1350	Noir n.c.	D.	F.	95	2,63	2,30	0,07	10 YR 7/3	Gr. fins	Alt. superf. 2 à 3 mm trous
20	Baabdat	700	1250	B n.c.	M.D. à D	F.	96	2,76	0,41	0,76	10 YR 5/6	Gr. moyen. fins	Alt. superf. 1 à 2 mm
21	"	700	1250	R.M. n.c.	T.D.	P.F.	95,5	2,70	0,40	0,26	10 YR 6 à 5/2	Gr. fins	Verruqueux
69	Ehmej	1300	1500	R.B. sableux n.c.	D.	M.F.	95 *	2,78	0,41	0,10	2,5 Y 7/2	Saccharofde, rugueux	
72	Machnaqa	1250	1500	R.M. n.c.	M.D.		99	2,70	0,78	-	10 YR 6 à 5/4	Gr. fins, lisses	Alt. superf. légère
77	Hermon	1450	1200	R.M. n.c.	D.	M.F.	98,5	2,73	0,29	0,08	10 YR 4 1 à 2	Gr. fins, lisses	" " "
22	Salima	800	1300	B. n.c./c	D.	M.F.	91,4	2,75	2,00	1,87	2,5 Y 4/4	Gr. moy. fins, rugueux	Alt. superf. 1 à 2 mm
2 - Aptien (C2a - C2b)													
C2b 2	Chahrour	230	1000	R.M. n.c.	D.	M.F.	97,6	2,63	1,05	-	10 YR 6 à 5/8	Gr. moy. fins, rugueux	Alt. superf. 2 à 3 mm
4	Beit Ramel	500	1150	R.M. n.c.	D.	-	97,5	2,66	0,60	0,15	2,5 Y 6/2	Gr. fins, lisses	Verruqueux-Fissuré
71	Kartaba	1420	1550	R.M. n.c.	T.D.	M.F.	99 *	2,60	2,72	0,20	10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt. superf. 1 à 2 mm
74	Brichtein	720	1300	R.M. n.c.	D.	M.F.	96	2,81	0,35	0,21	2,5 Y 6/2	Gr. fins	-
C2a 68	Ehmej	1200	1500	B. c.	M.D.	T.F.	87	2,73	0,66	1,05	2,5 Y à 10 YR 5/6	Gr. moy. fins rugueux	-
73.1	Machnaqa	1050	1500	B. n.c.	M.D.	F.	80	2,73	2,22	4,30	10 YR 5/8	Gros, rugueux	Alt. profonde
73.2	"	1050	1500	B. n.c.	D.	M.F.	96	2,96	0,05	0,20	10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt.
75	Bhouara	650	1300	B. c.	M.D.	T.F.	90,5	2,67	0,92	-	10 YR 5/6	Gr. grossiers	
3 - Eocène (e)													
31	Sirabié	150	800	R.M. c.	M.D.	F.	96,3	2,55	4,7	0,15	10 YR 8/2	Oolithique, rugueux	Alt. superf. 1 à 2 mm
34	Bayssour	340	900	B. c.	M.D. à D	F.	74,7	1,94	12,2	0,42	10 YR 7/3	Gr. fins, rugueux	" "
44	Safda	160	750	B. c.	très tendre		75,0	1,86	23,8	0,45	blanc laiteux	Crayeux	Alt. dans la masse
46	Babliyé	210	750	Noir n.c.	Tendre	F.	87,8	1,62	17,6	0,37	"	Gr. moyens, rugueux	"
47	Nabatyé-Zaoutar	510	850	R.M. n.c.	T.D.	M.F.	98,7	2,57	0,60	0,20	10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt. superf. faible
48	"	500	850	R.M. n.c.	T.D.	P.F.	97,5	2,66	0,45	0,03	10 YR 8/2	Gr. très fins, lisses	Alt. par poches

58	Chemstar	1 100	600	R.M.	n.c.	M.D.	F.	99,5	2,64	0,95	0,08	Blanc 2,5 Y 8/2	Saccharolde	Alt. superf. 1 mm et par trous
63	Yaté Baalbeck	1 100	440	R.M.	c.	T.D.	F.	98	2,88	0,70	0,06	10 YR 8/2	Très fins, lisses	Alt. par points et fissures
4 - Cénomaniens (C4)														
3	Est Damour	200	1 000	R.M.	n.c.	T.D.	M.F.	97	2,58	2,50	-	10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt. superf. 2 à 3 mm
5	Sud Beit Edine	870	1 250	B.R.M.	n.c.	D.	M.F.	96,3	2,68	1,68	0,12	2,5 Y 7/2	Gr. fins un peu rugueux	Alt. superf. 1 à 2 mm
18.3	Ghargouz	420	1 000	B.	n.c.	D.	M.F.	96	2,72	0,15	0,04	2,5 Y 8/4	Gr. fins, lisses	Alt. superf. faible dendrites Mn
18.4	"	420	1 000	R.M.	n.c.	D.	M.F.	96	2,52	1,50	0,08	2,5 Y 7/4	Gr. fins, lisses	Alt. superf. faible
30.2	Aarsal	1 450	450	R.M.	c.	T.D. à D.	M.F.	96,3	2,58	0,70	0,07	10 YR 7/3	Gr. fins, lisses	Alt. superf. 1 à 2 mm fissures
37	Sfarey	550	1 100	B.	c.	D.	F.	88,2	2,67	0,80	-	2,5 Y 7/2	Saccharolde	Alt. superf. 1 à 3 mm et trous
39	"	550	1 100	R.M.	n.c.	T.D. à D.	M.F.	82,3	2,58	2,70	0,11	10 YR 8/2	Gr. fins, un peu rugueux	Alt. superf. faible
49	Innsar	360	800	R.M.	n.c.	T.D.	M.F.	90,2	2,40	1,48	0,06	2,5 Y 7 à 8/2	Gr. moyens	Alt. superf. et par points
60	Deir el Ahmar	1 200	600	R.M.	n.c.	T.D.	P.F.	98	2,88	0,70	-	Blanc 10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt. superf. 1 à 2 mm et par points
65	Jbeil	500	1 300	B.	n.c.	M.D.	T.F.	82,5*	2,75	1,90	-	-	-	-
67	Torzaya	1 100	1 500	B.	n.c.	D.	M.F.	99*	2,60	2,72	0,16	10 YR 7/3	Gr. moy. fins lisses	Alt. superf. sur 1 à 2 mm
5 - Sénonien (C6)														
32	Miyé Oumiyé	60	800	Rendzine bl.		tendre		83	1,86	21,8	1,43	Blanc 10 YR 8/1	Gr. moy. un peu rugueux	Alt. profonde
33	Afn Delbé	120	800	Marne grise		très tendre		30,5	2	53,8	2,43	5 Y 5 à 6/2	Gr. fins, lisses	Alt. dans la masse
35	Kafer Falouss	480	1 000	B.C.		M.D. à tendre		91,5	2,13	16	0,29	Blanc laiteux	Gr. moy. fins, rugueux	"
40	Fosta Faouqua	50	850	Rendzine bl.		très tendre		94,2	1,94	26,6	0,86	"	Calcaire poreux	"
6 - Miocène (m)														
1	Baabdat	90	950	R.M.	n.c.	tendre (ciment)		94,5	2,42	6,80	0,50	7,5 YR 8/2 à 4	Ciment rugueux poreux	Alt. dans la masse
57	Hamate	100	1 070	R.M.	n.c.	D.	M.F.	98	2,70	2,06	-	10 YR 8/2	Gr. fins, lisses	Alt. 1 à 4 mm et par trous
Ramleh	Beyrouth	20	700	R.M. sableux		M.D.	F.	58,5	2,31	13,0	0,86	Hétérogène (fond gris ocre)	Grès calcaire	Alt. dans la masse
7 - Albien (C3)														
76	Reichmächta	700	1 200	B.	c.	M.D.	F.	90,5	2,67	0,92	-	10 YR 5/8	Gr. fins, lisses	Alt. superf.

(1) R.M. rouge méditerranéen ; B. brun ; n.c. non calcaire ; c calcaire.

(2) D : Dur ; M.D. : moyennement dur ; T.D. : très dur.

(3) F : friable ; M.F. : moyennement friable ; P.F. : peu friable (appréciation manuelle).

CO₃Ca : Calcimètre Bernard.

Fer total : extraction aux triacides. Dosage à l'orthophénantroline.