

Observations sur l'altération
des roches calcaires sous climat
méditerranéen humide (Liban)

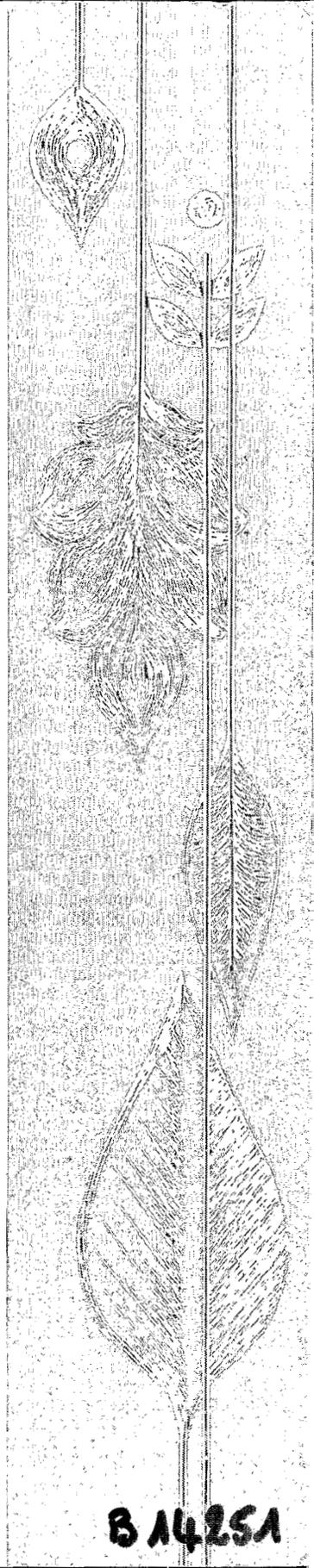
M. Lamouroux

PUBLICATION No 2 (Série Scientifique) FÉVRIER 1965

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES
LIBAN

MAGON

B 1425A



MAGON. — Écrivain carthaginois qui a vécu vers 140 av. J.-C. Il écrivit en 28 volumes un Traité sur l'Agriculture et la Médecine Vétérinaire qui fut traduit en latin par ordre du Sénat.

Extrait de *L'Histoire de l'Agriculture Ancienne*
par A. ABOU NASSER, Beyrouth 1960.

M A G O N

INSTITUT DE RECHERCHES AGRONOMIQUES

LIBAN

Publication n° 2

Série Scientifique

Février 1965

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

PAR

M. LAMOUREUX

SOMMAIRE

I — INTRODUCTION	1
II — LE MILIEU	2
III — ALTÉRATION DES CALCAIRES	5
IV — DISCUSSION	23
V — CONCLUSION et RÉSUMÉ	27
VI — BIBLIOGRAPHIE	29

5 AOUT 1970

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

n° 14251

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

par

M. LAMOUREUX *

I — 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, J. (1950) cite GÈZE, B. (1947) pour affirmer que « le climat méditerranéen actuel est un climat de conservation et non de génèse ».
- BOULAINÉ, J. (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, J.H. (1959) considère les terra rossa comme des paléosols formés de la fin du Tertiaire jusqu'au début du quaternaire (Sicilien).
- CHOUBERT, G. (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.

(*) Directeur de recherches à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Expert de la Coopération technique française.

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.

II — 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* du Liban est caractérisé par deux chaînes parallèles à la mer, le Mont Liban dominant la mer entre 2.000 m 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 du Liban* (REY, J., 1955) est un climat de contrastes, mais il reste typiquement méditerranéen. BALDY, Ch. (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 mètres, 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 1000 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 du Liban*, bien étudiée par L. DUBERTRET (1955) et ses collaborateurs, présente une certaine unité quant à la nature calcaire de presque toutes les roches. Le Jurassique formé de calcaires 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 échancrées, 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 du Liban* (GÈZE, 1947. BILLAUX, P 1960. LAMOUROUX, M. et A. 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 et s'observent sur Crétacé, Aptien et Albien du Centre Ouest du Mont Liban.

Ce type de sols — *rendzines ou parendzines* — 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 1000 à 1400 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 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 châtains isohumiques* » de la classification française.
 - 350-450 mm. Zone de transition.
 - 200 à 350 mm. Sols brun-clair fortement calcaires en surface — « *Sols isohumiques bruns calcaires* » de la classification française.

III — 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 examinés:

- 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.

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 8 à 10 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 tâches 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.

Tâches 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.	Prof ^r .	Elts > 2m/m%	S.G. %	S.F. %	Lim. %	Arg. %	C.R. %	pH	Co ₂ 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 lib. %	P ₂ O ₅ Ass. %	Bases échan. méq. %		
							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 foncé (10 YR 3/2).

Grumelo-nuciforme, large à moyen, cohérent et consistant, moyennement poreux — argileux — calcaire. — Quelques cailloux et racines bien développés.

35-40 cm Limite nette, ondulée.

Brun clair (10 YR 5/4), avec tâches gris plus foncé.

Très calcaire — quelques cailloux calcaires tendres — peu ou pas structuré.

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.	Prof.	Elts > 2m/m%	S.G. %	S.F. %	Lim. %	Arg. %	C.R. %	pH	Co ₃ Ca	Fe ₂ O ₃
									T %	T %
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.R	Roche						23,8		75,0	0,45

Ech.	C %	N %	C/N	M.O. %	P ₂ O ₅ Ass. %	Bases échang. méq. %				
						Ca	Mg	K	Na	S
44.1	0,76	0,09	8,4	1,40	traces	39,2	7,6	Tr.	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, Cénomanién, Éocène).

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 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 Natures 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 carbonates 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 géolog.	Moy. de n. échant.	Carbonate % (Co ₃ Ca domine)	Densité appr.	Capacité de rétention max. %	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
Eocène (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 Bal-louné sur calcaire jurassique J 6 :

(x = 144,4, Y = 223,8) dans une tranchée nouvellement ouverte.

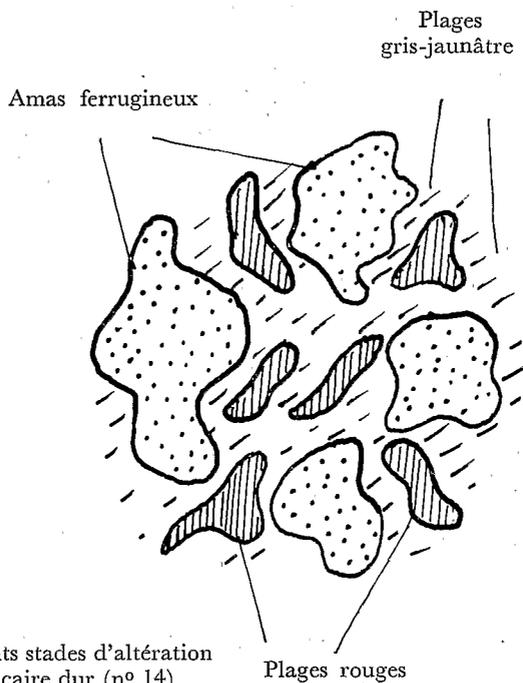


Fig. 1. — Différents stades d'altération d'un calcaire dur (n° 14)

Plages rouges

Un premier point doit être noté, c'est la grande différence qui existe 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

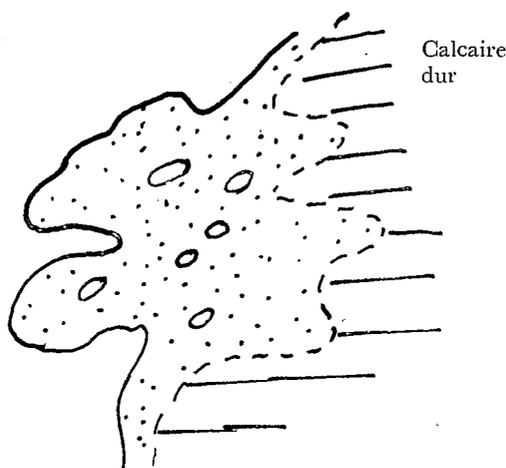


Fig. 2. — Racines d'un amas ferrugineux dans le calcaire dur.

s'observe une zone d'altération (près de 1 m^2) 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.

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.

Échantillons	14.1 Roche saine	14.2 Amas durs ferruginisés	14.3 Plages gris blanc indurées	14.4 Plages rouges tendres	14.5 Terra rossa	
Stades d'altération	1	2	3	4	5	
Couleur (Hde)	10YR 7/2	2,5 YR 4 à 3/6	Fond 7,5YR à 5/6 Mouchetures 5 YR à 5/8	5YR 4/6	2,5 YR à 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	
Fcl/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 Echang. Méq. %	{ Ca Mg K Na S	—	—	6,80	12,80	16,0
		—	—	3,20	4,00	4,40
		—	—	0,03	0,13	0,13
		—	—	0,48	0,52	0,52
		—	—	10,51	17,45	21,05

Ce seraient là 5 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, 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 géol.	Co ₃ Ca %	da	Ht. max %	Fe T Fe ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ % d'élt. 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).

Différentes formes de cette altération sont observées :

- Les formations « verruqueuses » sont identiques à celles décrites plus haut (Echant. 14 et 4).
- La roche est totalement lisse, avec parfois des petites zones altérées tendres s'enlevant à l'ongle. Tout autour de nodules calcaires plus ou moins riches en fer s'individualisent dans une masse argileuse brune un peu calcaire et nettement hydromorphe (Echant. 15-18).
- Les formations verruqueuses et les nodules peuvent s'observer simultanément (Echant. 20-30.2).

— Phénomène bien différent des précédents, la roche se vide de son calcaire en auréoles (36% puis 13,4% de CO_3Ca à la périphérie Echant. 47).

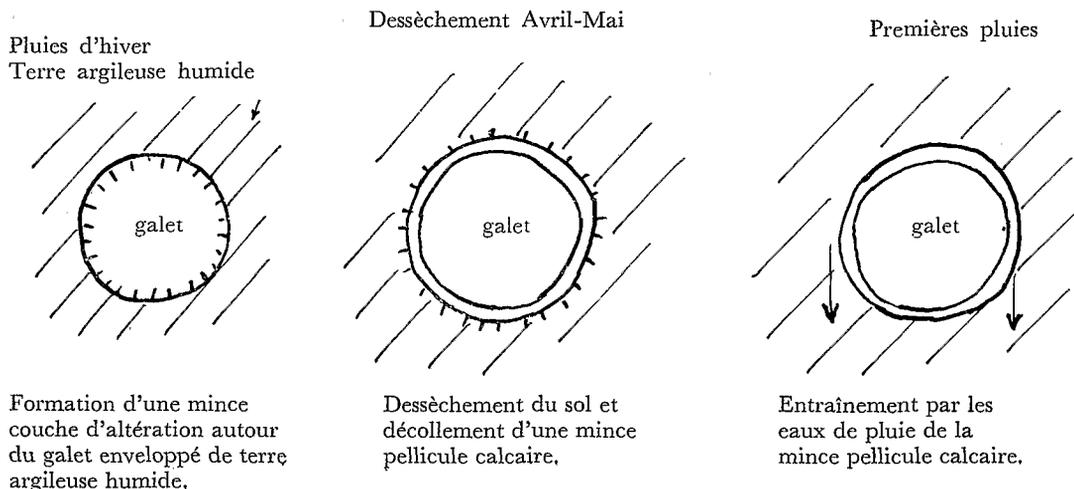
S'il ne fait aucun doute que la plus grande partie du calcaire de ces formations secondaires nodulaires vient directement des roches calcaires, le fer pourrait également provenir des argiles formant le milieu environnant. Mais cette hypothèse est à exclure étant donné la faible mobilité des sesquioxides de fer à l'état floculé dans le sol.

3.2.2 Altération de roches calcaires dures en 2 stades.

Sur Jurassique, Cénomaniens, Éocène 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.

Fig. 3. — Processus possible d'altération d'un calcaire dur.



En supposant que ce processus est annuel et que l'épaisseur altérée représente 1/2 mm, 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'œil.

Si l'altération de la roche suivant les 5 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 cénomanien dur (Tableau 8, n° 5) présente une altération superficielle laissant en

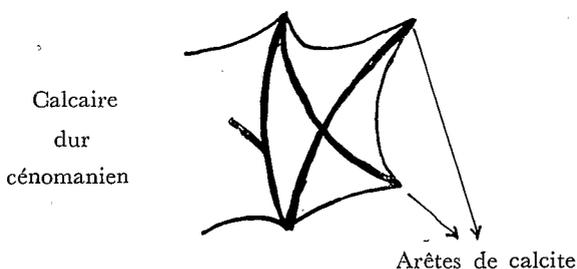


Fig. 4. — Altération superficielle d'un calcaire dur cénomanien.

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.

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

3.2.3 Altération d'un calcaire dur jurassique.

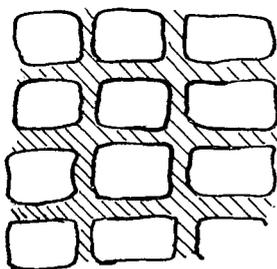


Fig. 5. — Altération d'un calcaire jurassique fissuré en parallélépipèdes.

De Feytrou en descendant vers Kalaat Fakra le calcaire jurassique est morcellé en une multitude de petits parallélépipèdes.

Entre 5 et 3 mètres 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 important près de la surface du sol.

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 formée de larges dalles dont le centre de chacune d'elle 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 éocène (N° 48, Tableau 8).

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

0-20 cm Brun 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. — Analyse d'un sol rouge méditerranéen formé sur calcaire dur éocène (Zaoutar).

Echant.	Prof.	Elts > 2m/m%	S.G. %	S.F. %	Lim. %	Arg. %	C.R. %	pH	Fe ₂ O ₃ Total %	CO ₃ Ca %
48.1	0-15	4,2	1,0	8,0	13,4	76,4	34,4	7,65	10,7	0
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 échang. méq. %				
						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

CALCAIRES DURS

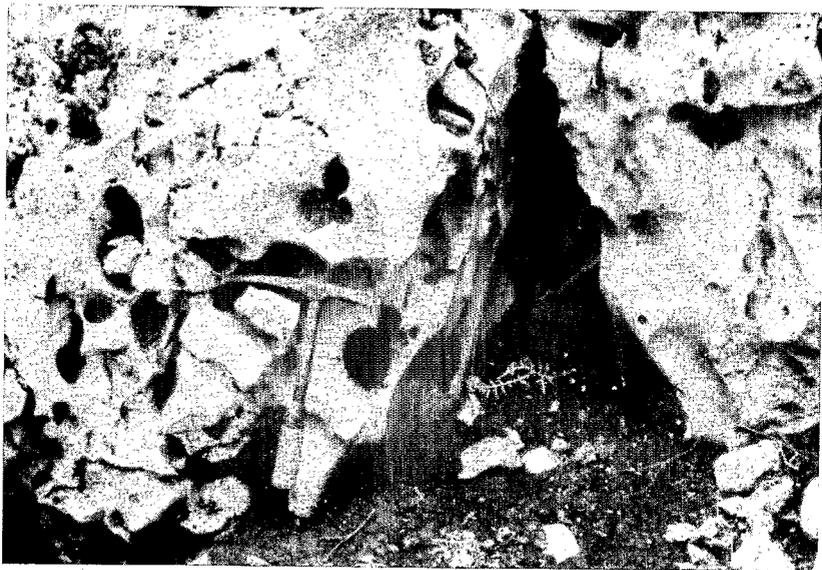


1 — *Paysage sur calcaire jurassique de Reyfoun à Feytroun.* — Calcaire ruini-forme dolomitique. — Les argiles formées disparaissent dans les poches et les fissures profondes.

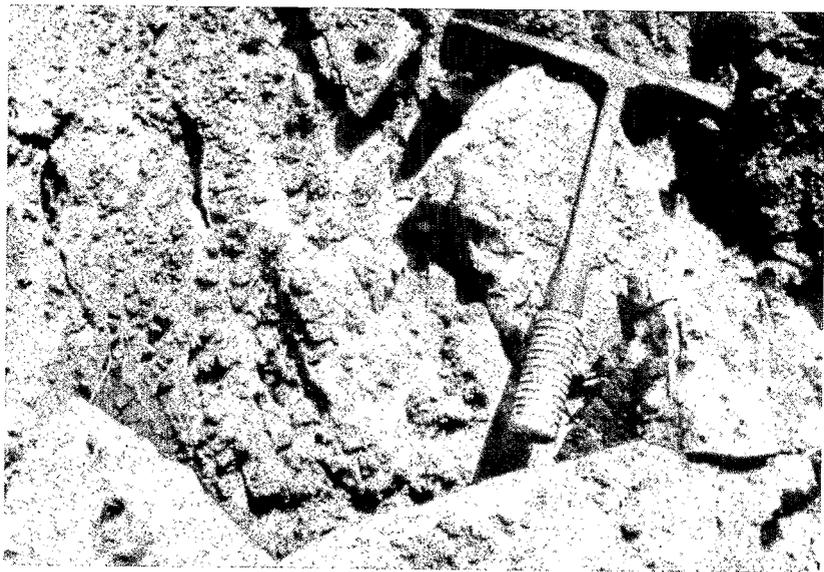


2 — *Sur calcaire cénomani.* — L'altération se fait ici par poches, mais moins profondément que sur jurassique. Les surfaces offertes à l'altération sont considérables par rapport aux quantités relativement réduites de terre rossa.

CALCAIRES DURS



3 — *DEIR el AHMAR*. — Le calcaire dur cénomaniens semble être rongé comme un os. Aucune altération n'est discernable, si ce n'est, par point, une mince pellicule plus ou moins ferruginisée.



4 — *BEIT el RAMEL*. — Sur calcaire dur de l'Aptien supérieur. L'altération «verruqueuse» provoque une concentration superficielle de nodules calcaires riches en fer.

CALCAIRES DE L'APTIEN SUPÉRIEUR



5 — *MDEREIJ*. — Le calcaire dur débité en une multitude de parallélépipèdes s'altère profondément et de plus en plus quand on approche de la surface. Le sol formé est ici brun, non calcaire.



6 — *BEIT el RAMEL*. — Entre 5 et 10 mètres de profondeur, le calcaire dur mais friable est entièrement débité en petits prismes, probablement sous l'effet des mouvements orogéniques. Des dépôts de calcite se font dans les fissures, mais l'altération est très faible à cette profondeur.

PRODUITS DE L'ALTÉRATION DES CALCAIRES DURS



7 — *DAIR el KAMAR*. — Terra rossa probablement très ancienne, prélevée dans une petite grotte. Notons la surstructure prismatique large, s'effritant en une soustructure polyédrique fine. — Cette faible cohésion des éléments structuraux est caractéristique des formations rouges dites « méditerranéennes ».

IV — 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 ?

PROCESSUS DE FORMATION DES SOLS ROUGES MEDITERRANÉENS.

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

Pour Stremme et Del Villar, cité par Durand, J.H. (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 érosion.

Durand J.H. assimile les sols rouges à des sols ferrallitiques formés sous climat tropical en période de biostasie Ehrart, H. (1956). Ces deux points de vue, peu vraisemblables, ne seront pas retenus.

Bordas, J. (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 3 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 kaolinitiques 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, A. (1947) à propos des sols de Palestine.

- Reifenberg considère les terra rossa comme un 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 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.*

Pour A. Reifenberg le mécanisme de l'altération calcaire serait le suivant:

« 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 sols, tandis que les particules floculées provoqueraient des transformations physico-chimiques secondaires avec formation de silicates bien définis et même cristallisés. »

Bastisse, E.M. (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 possible 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. Bétrémieux, R. (1951). Deb/B.C. (cité par Bétrémieux) ont montré que le fer pouvait migrer, même en milieu calcaire sous l'effet de petites quantités d'acides humiques.

Agafonoff, V. (1956) 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 le 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..., sont autant de points qui mériteraient une étude plus approfondie.

LES SOLS FORMÉS A PARTIR DES TERRA ROSSA.

Equilibre climacique des sols méditerranéens.

— 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 des 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 talwegs, il n'est pas rare de trouver dans le sol des éléments totalement étrangers au milieu. Aussi, comme nous le verrons par ailleurs, distinguons-nous :

- des sols formés en place à partir des 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.
- Les variations climatiques actuelles et en particulier celles de la pluviométrie marquent profondément les types de sols.

Du Nord au Sud de la Bekaa nous passons de sols bruns calcaires plus ou moins encroutés jusqu'à 350 mm de pluie, à des sols rouges calcaires jusqu'à 450 mm puis à des sols rouges ou châtaîns décalcarifiés en surface.

Même succession 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 (1000 à 1500 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 1500 et 2000 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 trop 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.

V — CONCLUSION

L'altération des calcaires se présente sous des formes extrêmement variables suivant la nature lithologique de la roche, le pédo-climat, 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 (5 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 réel intérêt, bien que critiquables sur certains points.

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

(*) Notre raisonnement a été limité aux calcaires mais il en est de même pour les basaltes.

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.

VI — BIBLIOGRAPHIE

GÈZE, B.

(1947) — Le Congrès International de Pédologie Méditerranéenne — Notes et réflexions. *Ann. Ecole Nationale d'Agriculture Montpellier* — Fasc. 4 (XXVII).

—, (1956) — Carte de reconnaissance des sols du Liban au 1/200.000 — *Ministère de l'Agriculture du Liban*.

BORDAS, J.

(1950) — Contribution à l'étude des facteurs de la production agricole du Bas-Rhône (Thèse). — *Imprimerie Rullière frères* — Avignon.

BOULAIN, J.

(1961) — Facteurs de formation des sols méditerranéens — *African soils* — n° 2 et 3 — 1961.

—, (1957) — Étude des sols des plaines du Chéelif. — *Thèse Université d'Alger* — Année 1957, n° 1.

DURAND, J. H.

(1959) — Les sols rouges et les croûtes en Algérie — *Direction de l'hydraulique et de l'Équipement rural* — Alger.

CHOUBERT, G.

(1953) — Les rapports entre les formations marines et continentales quaternaires — *IV^e Congrès de l'INQUA* — Rome — Pise 1953.

REY, J.

(1955) — Carte pluviométrique du Liban au 1/200.000 — *Observatoire de Ksara - Liban*.

Observatoire de Ksara.

Bulletins climatologiques mensuels.

BALDY, CH.

(1959) — Contribution à l'étude climatique du Liban — *Revue de Géographie de Lyon* — Vol. XXXIV, n° 1.

DUBERTRET, L.

(1943) — Carte lithologique de la bordure orientale de la Méditerranée.

—, (1955) — Carte géologique du Liban 1/200.000.

BILLAUX, P.

(1960) — Notice explicative pour la carte d'utilisation des sols de la région Hermel El Kaa. — *Institut de Recherches Agronomiques — Tel Amara - Liban*.

LAMOUROUX, M. et A. OSMAN.

(Janvier 1963) — Périmètre du Yahfoufa — (I) : Milieu et mise en valeur.

(II) : Les Sols.

Institut de Recherches Agronomiques — Tel Amara - Liban.

(Juillet 1963) — Sols et aptitudes des sols du périmètre Awali-Leimoun

— *Institut de Recherches Agronomiques — Tel Amara - Liban*.

EHRART, H.

(1956) — La genèse des sols en tant que phénomène géologique — Masson & Cie Paris.

REIFENBERG, A.

(1947) — The soils of Palestine — Murby & Cie — London.

BASTISSE, E. M.

(1960) — Rôle vecteur de divers anions minéraux ou organiques dans les phénomènes géochimiques et physiologiques — Ann. Agro — 1960.

BETREMIEUX, R.

(1951) — Étude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols — Thèse — Ann. Agro — n° 1 — 1951.

AGAFONOFF, V.

(1936) — Sols types de Tunisie — Ann. S.B.A.T., t. XII, XIII.

TABLEAU 8. — Échantillons de roches prélevées au LIBAN

Echant.	Localité	Alti.	Pluv. m/m	Type de sol (1)		Dureté (2)	Friabi- lité (3)	Dolomie* CO ₃ Ca%	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. sur 1 à 2 m/m
15 —	»	640	1150	Poches B.	n.c.	D.	M.F.	95	2,66	0,50	0,17	10 YR 7/3	Gr. fins, lisse	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 m/m 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. moy. fins	Alt. sup. 1 à 2 m/m
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	Saccharoïde, rugueux	—
72 —	Machnaqa	1250	1500	R.M.	n.c.	M.D.	—	99	2,70	0,78	—	10 YR 6 à 5/4	Gr. fins, lisse	Alt. sup. 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, lisse	» » »
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. sup. sur 1 à 2 cm
2 — APTIEN (C21 - C2b) :														
C ₂ b2 —	Chahrour	230	1000	R.M.	n.c.	D.	M.F.	97	2,63	1,05	—	10 YR 6 à 5/8	Gr. moy. fins rugueux	Alt. sup. 2 à 3 m/m
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, lisse	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, lisse	Alt. sup. 1 à 2 m/m
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	—
C ₂ a68 —	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	—
.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, lisse	Altération
75. —	Bhowara	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. sup. 1 à 2 m/m
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	Alt. sup. 1 à 2m/m
44	Saïda	160	750	B.	c.	Très tendre	F.	75	1,86	23,8	0,45	Blanc laiteux	Crayeux	Alt. de la masse
46	Babliyé	210	750	Noir	n.c.	Tendre	F.	87	1,62	17,6	0,37	» »	Gr. moyens, rugueux	» » »
47	Nabatiyé-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, lisse	Alt. sup. 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, lisse	Alt. par poches
58	Chemstar	1100	600	R.M.	n.c.	M.D.	F.	99,5	2,64	0,95	0,08	Blanc 2,5 Y 8/2	Saccharoïde	Alt. sup. 1 m/m par et trous
63	Yaté Baalbeck	1100	440	R.M.	c.	T.D.	F.	98	2,88	0,70	0,06	10 YR 8/2	Très fins, lisse	Alt. par points et fissures

TABLEAU 8 (suite)

Echant.	Localité	Alti.	Pluv. m/m	Type de sol (1)	Dureté (2)	Friabilité (3)	Co ₃ Ca % Dolomie*	Da	Hté. max. %	Fe T % Fe ₂ O ₃	Couleur Munsell Hde	Texture (gr. = grain)	Altération	
4 — CÉNOMANIEN (C 4)														
3 —	Est Damour	200	1000	R.M.	n.c.	T.D.	M.F.	97,0	2,58	2,50	—	10 YR 8/2	Gr. fins, lisse	Alt. sup. 2 à 3 m/m
5 —	Sud BeitEdine	870	1250	B.R.M.	n.c.	D.	M.F.	96,3	2,68	1,68	0,12	2,5 Y 7/2	Gr. fins, rugueux	Alt. sup. 1 à 2 m/m
18.3 —	Ghargouz	420	1000	B.	n.c.	D.	M.F.	96,0	2,72	0,15	0,04	2,5 Y 8/4	Gr. fins, lisse	Alt. sup. faible (dendrites de Mn)
18.4 —	»	»	»	R.M.	n.c.	D.	M.F.	96,0	2,52	1,50	0,08	2,5 Y 7/4	Gr. fins, lisse	Alt. sup. faible
30.2 —	Arsal	1450	450	R.M.	c.	T.D. à D.	M.F.	96,3	2,58	0,70	0,07	10 YR 7/3	Gr. fins, lisse	Alt. sup. 1 à 2 m/m (fissures)
37. —	Sfarey	550	1100	B.	c.	D.	F.	88,2	2,67	0,80	—	2,5 Y 7/2	Saccharoïde	Alt. sup. 1 à 3 m/m (trous)
39. —	»	»	»	R.M.	n.c.	T.D. à D.	M.F.	82,3	2,58	2,70	0,11	10 YR 8/2	Gr. fins, rugueux	Alt. sup. faible
49. —	Insar	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. sup. et par points
60. —	Deir el Ahmar	1200	600	R.M.	n.c.	T.D.	P.F.	98	2,88	0,70	—	Bl. 10 YR 8/2	Gr. fins, lisse	Alt. sup. 1 à 2 m/m
65. —	Jbeil	500	1300	B.	n.c.	M.D.	T.F.	82,5*	2,75	1,90	—	—	—	—
67. —	Torzaya	1100	1500	B.	n.c.	D.	M.F.	99 *	2,60	2,72	0,16	10 YR 7/3	Gr. moy. fins, lisse	Alt. sup. 1 à 2 m/m
5 — SÉNONIEN (C 6)														
32 —	Miyé Oumiyé	60	800	Rendzine	blan.	Tendre		83,0	1,86	21,8	1,43	Bl. 10 YR 8/1	Gr. moyen, un peu rugueux	Alt. profonde
33 —	Ain Delbé	120	800	Marne grise		Très tendre		30,5	2,00	53,8	2,43	5 Y 5 à 6/2	Gr. fins, lisse	Alt. dans la masse
35 —	Kfar Falouss	480	1000	B.C.		M.D. à tendre		91,5	2,13	16,0	0,29	Blanc laiteux	Gr. moy. rugueux	»
40 —	Fosta Faouqa	50	850	Rendzine bl.		Très tendre		94,2	1,94	26,6	0,86	» »	Poreux	»
6 — MIOCÈNE (m)														
1 —	Baabdat	90	950	R.M.	n.c.	Tendre (ciment)		94,5	2,42	6,80	0,50	75, YR 8/2 à 4	Ciment rugueux poreux	Alt. dans la masse
57 —	Hamate	100	1070	R.M.	n.c.	D.	M.F.	98,0	2,70	2,06	—	10 YR 8/2	Gr. fins, lisse	Alt. 1 à 4 m/m (trous)
Ramleh	Beyrouth	20	700	R.M. sableux	n.c.	M.D.	F.	58,5	2,31	13,00	0,86	Hétérogène (fond gris-ocre)	Grés calcaire	Alt. dans la masse
7 — ALBIEN (C 3)														
76	Reichmachta	700	1200	B.	c.	M.D.	F.	90,5	2,67	0,92	—	10 YR 5/8	Gr. fins, lisse	Alt. sup.

(1) R.M. Rouge méditerranéen B. Brun
n.c. Non calcaire c. Calcaire

(2) D. Dur
M.D. Moy. dur
T.D. Très dur

(3) F. Friable (Appréciation man.)
M.F. friable
P.F. Peu friable

Co₃Ca Calcimètre Bernard
Fer total Extraction aux triacides
 Dosage à l'orthophénantroline