

## LE KARST LIBANAIS \*

### SOLS DE KARST ET ALTÉRATIONS DES ROCHES CARBONATÉES

par M. LAMOUREUX.  
Pédologue de l'O.R.S.T.O.M.

#### Résumé

Le karst libanais est considéré par les pédologues comme « fermé », « ouvert » ou « couvert ».

La morphologie et la dynamique d'un sol rouge fersiallitique d'une poche karstique sont décrites. L'auteur attire l'attention sur un type de sol brun, dont la dynamique et la morphologie le situent entre un sol rouge bien drainé et un sol hydromorphe à mauvais drainage. Il présente en détail le mécanisme de l'altération des roches carbonatées; d'une part « l'altération pelliculaire » caractérise les roches dures carbonatées, d'autre part une altération progressive et profonde affecte les roches tendres.

En se basant sur la dynamique des sols du karst et sur le bilan géochimique de l'altération, l'auteur conclut à une pédogenèse actuelle dans le karst libanais.

#### Abstract

For the soil scientist, the Libanese karst is considered as closed, open or covered.

The morphology and dynamics of a red fersiallitic soil in karstic pockets are described. The Author draws attention to a brown soil, the dynamics and morphology of which are halfway between a well drained red soil and a poorly drained hydromorphic one. Details of the mechanisms of the weathering of limestone rocks are given. On the one hand, pellicular weathering of limestone rocks are given. On the one hand, pellicular weathering is a salient feature of hard limestone; on the other hand, a gradual deep weathering is outlined for soft porous limestone rocks.

From the karst soil dynamics and the geochemical weathering balance, the Autor comes to the conclusion that pedogenesis is still active in the Libanese karst.

#### I. — CADRE CLIMATIQUE, LITHOLOGIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Petit pays de 10 000 km<sup>2</sup> environ, le Liban est une porte de l'Asie sur la Méditerranée. Du point de vue climatique, il se situe à la charnière des masses d'air chaud intertropicales, des masses d'air tempérées ou froides septentrionales, des influences marines à l'Ouest et continentales à l'Est. C'est donc une zone de convergence des courants aériens. L'existence d'une double barrière montagneuse du sud au nord, s'élevant de 2 000 à 3 000 mètres, favorise les précipitations qui atteignent 1 000 à 1 500 mm sur le versant ouest du Mont Liban. Par contre, elles varient de 600 à 200 mm seulement du Sud au Nord de la haute plaine de la Bekaa, située entre les deux chaînes montagneuses parallèles à la Côte.

Nous distinguons :

- une zone très humide recevant de 1 000 à 1 500 mm de précipitations;
- une zone humide à subhumide de 600 à 1 000 mm;

\* D'après « Etude de sols formés sur roches carbonatées ». Mémoires O.R.S.T.O.M. n° 56 du même auteur.

- une zone semi-aride de 300 à 600 mm;
- une zone aride recevant moins de 300 mm.

La lithologie se résume aux formations calcaires et dolomitiques de deux grandes chaînes, le Mont Liban et l'Anti Liban. Par point s'intercalent des grès du Crétacé et des basaltes d'âge différent. Les plaines côtières et la haute plaine intérieure de la Bekaa sont comblées par des alluvions et des colluvions tertiaires et quaternaires. Les paysages karstiques sont donc généralisés, fortement influencés par la nature des roches carbonatées.

Ce sont des roches calcaires ou dolomitiques dures (Jurassique) de couleur grise, à cassure nette et esquilleuse, émergeant dans le paysage sous forme de grands horsts massifs et profondément fissurés. Ce sont aussi des calcaires plus ou moins dolomitiques (Cénomaniens) alternant avec des marnes. Ils sont peut-être moins friables et moins fissurés que les premiers. Ce sont encore des calcaires (Éocène, Miocène), blancs ou jaunâtres constituant des ensembles massifs, peu fissurés et plus plastiques que les précédents, sans doute du fait de leur teneur élevée en résidus insolubles.

Trois grands types de paysages karstiques ont été distingués :

— le « *karst fermé* » constitué de roches dures extrêmement fissurées et lapiazées. Ce sont des pans sculptés de larges cannelures parallèles, des surfaces hérissées d'une multitude d'arêtes et de pointes aiguës, rendant presque impossible la progression d'un point à un autre. Le paysage est ruiniforme à perte de vue, et les poches de sol se trouvent enfermées à plusieurs mètres ou dizaines de mètres au fond de profondes fissures;

— le « *karst ouvert* » est le type de karst le plus répandu au Liban. Il est constitué d'une multitude de poches de sol plus ou moins anastomosées, parfaitement apparentes d'où le terme de karst ouvert. Les roches lapiazées émergeant de partout, formant des croupes arrondies, beaucoup moins déchiquetées que dans le premier cas — les dolines y sont très nombreuses et les vallées très encaissées;

— le « *karst couvert* » est ainsi qualifié parce qu'il disparaît sous un manteau de sols rouges plus ou moins épais. Par points cependant, sur des pentes plus fortes, l'érosion a décapé les sols et c'est le karst ouvert qui réapparaît. Les formes du relief sont ici plus arrondies, les pentes plus faibles, formant de grands ensembles tabulaires parcourus par des vallées larges et peu profondes. Depuis la mise en place des systèmes orogéniques libanais plusieurs cycles d'érosion se sont succédés. Une grande surface polycyclique, profondément démantelée reste le seul témoin de cette histoire (de VAUMAS, 1954). De la fin du Tertiaire ne subsistent que de vastes nappes de poudingues, formant l'ossature des cônes et glacis sur lesquels se sont déposés des matériaux arrachés aux versants karstiques. Les épisodes quaternaires, plus ou moins nombreux suivant les auteurs, s'inscrivent d'une part dans le modelé littoral, d'autre part dans les dépôts continentaux de bas de pente des régions semi-arides à arides. Au Liban, les formations quaternaires anciennes ont pratiquement disparu dans les régions humides et sub-humides fortement érodées. Mais elles subsistent dans les régions arides et semi-arides, sous forme de reliques quand il s'agit de dépôts du début du Quaternaire, sous forme d'épandages importants sur les cônes et glacis du milieu du Quaternaire. Par la suite les apports et remaniements semblent avoir été négligeables et limités aux alluvionnements récents en bordure des cours d'eau.

## II. — SOLS DU KARST ET DYNAMIQUE KARSTIQUE

Les 8 ou 9/10<sup>e</sup> des sols du Liban se sont formés sur des roches carbonatées. Trois catégories de roches, distinguées en fonction de leur dureté, orientent la pédogénèse :

— les roches dures carbonatées sur lesquelles se forment des sols rouges et bruns non calcaires;

— les roches moyennement dures sur lesquelles se forment des sols bruns plus ou moins calcaires;

— les roches tendres sur lesquelles se forment des sols gris ou blancs très calcaires.

Les sols rouges lixiviés et non calcaires caractérisent les formations pédologiques des régions méditerranéennes. Ce sont les anciennes terra rossa ou les sols rouges méditerranéens (CPCS, 1967) que l'on appelle aujourd'hui sols fersiallitiques.

Le fer, l'alumine et pour une grande part la silice restent dans les sols et ne sont pas exportés par les eaux, alors que la silice est évacuée des sols ferrallitiques. Par ailleurs, le fer se répartit uniformément dans le profil sous une forme particulière.

## A. - LES SOLS DU KARST.

### 1. La poche karstique, milieu lixivié, bien drainé.

a) *Le profil karstique* du sol fersiallitique est caractérisé par :

— une couleur brun rouge foncé en surface (5 à 7,5 YR 3/2), rouge plus vif en profondeur (2,5 à 5 YR 3/4 à 3/6);

— une texture très argileuse sur tout le profil, présentant un gradient d'argile inversement proportionnel au gradient de limon;

— de très faibles teneurs en sables et éléments grossiers;

— une décalcarification totale du profil et la présence de pellicules d'altération en profondeur;

— une structure polyédrique-subangulaire en surface (horizon A), à facettes mates, polyédrique en profondeur (horizon B), avec surstructure prismatico-cubique à cubique, aux facettes des polyèdres primaires et secondaires lissées et brillantes;

— une consistance dure à très dure en sec, sans cohérence entre éléments structuraux et friable à l'état humide, collant à l'état trempé;

— une très bonne pénétration du système racinaire;

— une différenciation peu marquée entre horizons sauf pour l'horizon de surface — le contact avec la roche carbonatée est brutal.

b) *Dynamique de la poche karstique.*

La poche karstique se subdivise en niveaux (fig. 1) : aérien, médian et souterrain.

Le *niveau aérien* (A) est le siège d'altérations météoriques et biologiques. Il alimente le sol en cailloux.

Le niveau pédologique proprement dit, (M), se subdivise en une zone humifère M1 de surface où les cailloux calcaires sont fortement altérés et une zone M2, profonde, où les altérations sont encore intenses.

Le *niveau souterrain* (S), fissuré, assure le drainage des solutions. Il s'y creuse des cavités, des gouffres, il s'y accumule des nodules et des croûtes calcaires.

Très riches en argile (60 à 90 %) souvent montmorillonitiques, ces poches s'humectent à la fin de l'automne par leur périphérie, par les fentes et les racines. Il se produit alors un gonflement très hétérogène de la masse, provoquant des distorsions, des tensions et des cisaillements avec lissage des surfaces frottant l'une sur l'autre. Les minéraux argileux s'orientent sur le pourtour des agrégats ou des grains du squelette et forment des « cutanes de pression », tandis qu'en profondeur la masse argileuse est littéralement injectée dans les fentes du karst où elle atteint des densités très élevées (1,8) et forme des « argilifluanes ».

Au moment de la saison sèche s'amorce le retrait de la surface vers la profondeur, mais le

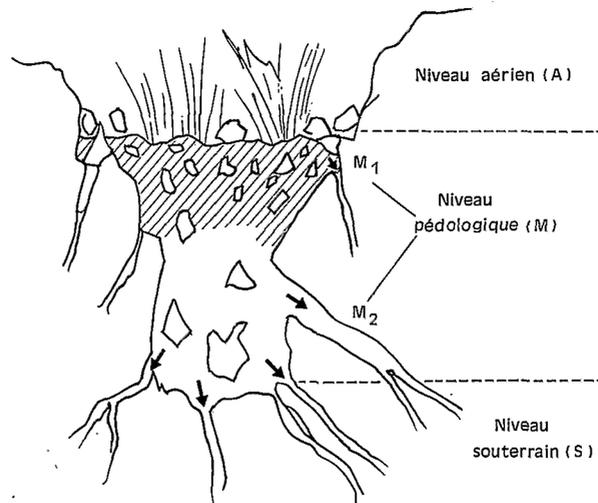


FIG. 1. — La poche karstique.

milieu est hétérogène (racines, cailloux, réseaux de cutanes) et une multitude de fissures se produit dans tous les sens, favorisant la création d'une structure polyédrique.

## 2. Les sols en milieu confinant hydraté.

Les sols de ce milieu se caractérisent par un engorgement temporaire et localisé, n'allant pas toujours jusqu'à l'hydromorphie. Leur couleur brun-jaune à jaune vif (7,5 à 10 YR) est due à la goëthite dont les agglomérats avec un peu de silice, d'alumine et de minéraux argileux, souvent appelés limonite, sont fortement hydratés d'où le nom donné à ce milieu et à ces sols.

a) *Le profil de sol hydraté* est caractérisé par sa couleur brune, sa texture argileuse, une décalcarification avec recalcarification fréquente en profondeur. Les pellicules d'altération se forment en surface, jamais en profondeur quand il y a accumulation de carbonates. Le sol brun est très cohérent à l'état sec, très plastique et collant à l'état humide. Sa structure est polyédrique s'organisant en une structure large prismaticocubique. Il se forme en profondeur des concentrations d'hydroxydes de fer cristallisé, sous forme de petites masses brunes de goëthite ou d'indurations noires et tendres. Il apparaît parfois des traînées gris vert, quand il y a hydromorphie.

Il existe des sols partiellement hydratés et des sols, encore rouges, de transition avec les sols bruns.

### b) *Dynamique du sol brun hydraté.*

Le sol brun hydraté est plus fréquent dans les karsts des régions humides et subhumides. L'apparition de la couleur jaune est directement liée à un mauvais drainage actuel dont les causes sont variées :

- niveau marneux sous-jacent, subhorizontal et imperméable;
- obturation des poches karstiques par des concentrations de carbonate de calcium;
- niveau très argileux, partiellement désaturé, mal structuré et dispersé;
- ralentissement du drainage en rupture de pente, etc.

Ces causes ne sont pas fortuites, elles apparaissent à un moment donné de la pédogénèse karstique et le milieu, auparavant rouge et lixivié, se transforme lentement en un milieu brun

confinant hydraté (confinant en  $\text{CaCO}_3$  et parfois en  $\text{SiO}_2$  — hydraté par transformation de ses oxydes rouges en goëthite brune).

### 3. Les sols du karst couvert.

Sur les reliefs plus mous des calcaires éocènes du Sud-Ouest des Monts Liban les sols recouvrent souvent les pentes du karst de façon continue. C'est le karst couvert. Ces sols cultivés depuis longtemps sont soumis à de lentes dégradations. Une chaîne de sols a été étudiée à Nabatyé, sous 800 mm de précipitations sur 850 m de long et 45 m de dénivellation, avec 8 profils.

La présentation schématique de la texture (fig. 2) met en évidence un décapage des sommets au profit des pentes où les sables viennent s'accumuler, alors que les argiles sont piégées sur des terrasses à quelques kilomètres de là ou sur les plaines côtières. Nous notons dans les sols de cette chaîne des zones de mauvais drainage (horizon hydraté) à mi-pente et en bas de pente.

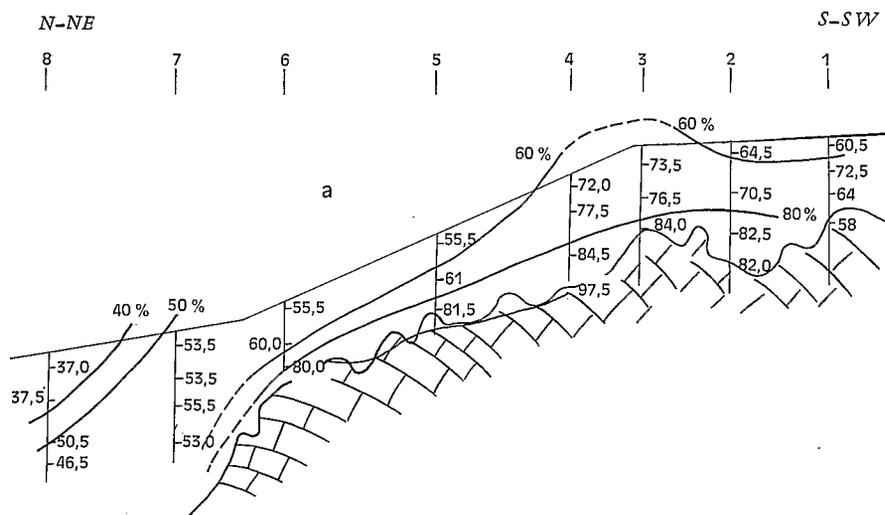


FIG. 2. — Chaîne de sols de Nabatyé.

## B. - ÉVOLUTION DU RELIEF KARSTIQUE.

1. **Le karst fermé** (fig. 3) est pour l'agropédologue une surface morte. Son évolution résulte de puissantes altérations de surface, alors que les altérations à l'intérieur du sol sont relativement faibles. Il reste en relief par rapport au karst voisin.

2. **Le karst ouvert** évolue essentiellement sous l'influence « d'altérations pédologiques » se produisant à l'intérieur des poches. Ces poches de sols sont multiples, fortement fissurées et diaclasées, mais ce réseau naturel de drainage peut s'oblitérer en commençant par les fins canalicules. Au sol rouge fersiallitique succède le sol brun hydraté. Les poches brunes constituent des « culs de sac » qui ne font plus évoluer le karst en raison du blocage des altérations. Il y a « nécrose du karst ». La poche brune colmatée est appelée à disparaître relativement vite, quitte à renaître dans une poche rouge voisine.

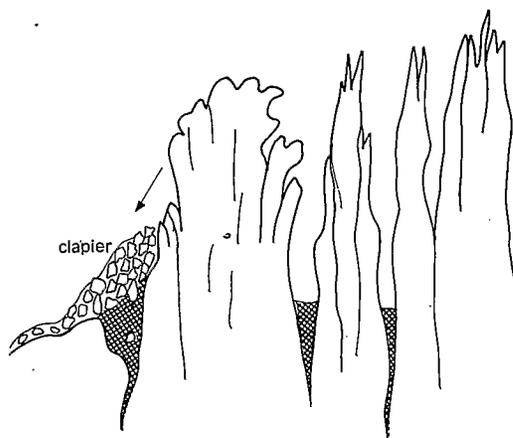


FIG. 3. — Karst fermé.

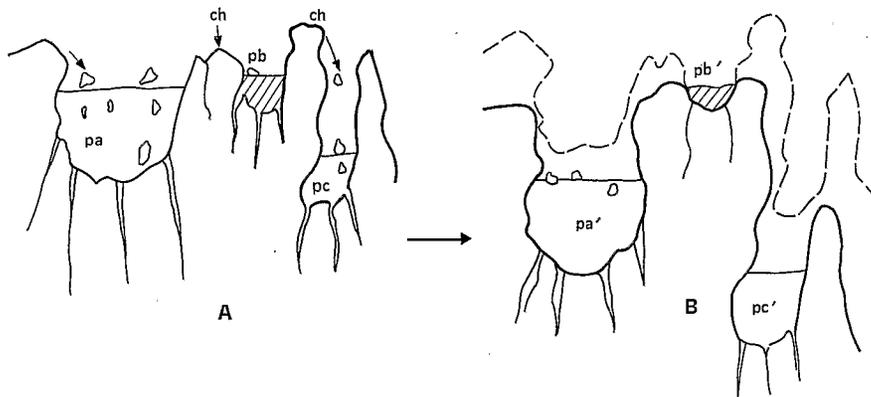


FIG. 4. — Karst ouvert.

Par le jeu des altérations, dont les mécanismes seront envisagés plus loin, la poche karstique taraude lentement le karst. Comme le montre la figure 4, l'enfoncement des poches bien drainées pa et pc se fait normalement, alors que la poche colmatée pb reste en relief avant de disparaître.

L'évolution du microrelief karstique est donc irrégulière et du fait des nourrissements latéraux d'une poche à l'autre de l'amont vers l'aval, la résultante est une progression saccadée ou en « cascade ». C'est donc la pédogénèse qui sculpte et fait évoluer le microrelief karstique.

Le modelé karstique est cependant dominé par le creusement des cours d'eau. Sur les versants du Mont Liban les rivières sont loin d'avoir atteint leur profil d'équilibre, les sections en V restent très accusées et aucune accumulation n'apparaît en bas de pente. Mais dès qu'elles sont plus faibles, comme aux pieds des versants intérieurs de la Bekaa, des colluvions abondantes s'accumulent. Au karst ouvert de pente forte succède le karst couvert de pente faible.

**3. Le Karst couvert** des régions subhumides du Sud du Liban a une évolution conditionnée d'abord par le couvert végétal, mais aussi par la pente :

- quand celle-ci a plus de 10 %, il y a érosion des sols et le karst ouvert apparaît;
- quand la pente est moyenne (5 à 10 %), l'entraînement par érosion n'intéresse que la partie supérieure du sol dont les matériaux sableux s'accumulent en bas de pente, alors que les éléments fins sont transportés beaucoup plus loin;

— quand la pente n'est que de quelques pour cent, le squelette sableux ne bouge pas, les éléments fins s'accumulent en bas de pente, tandis que les éléments solubles sont évacués par les eaux.

Mais si ce schéma est valable à un instant donné, il peut varier dans le temps et dans l'espace, avec les précipitations et le couvert végétal. Si les précipitations diminuent, les entraînements sont plus faibles, et inversement si les précipitations augmentent. La végétation freine par son couvert les entraînements, il en est de même des cultures en terrasses.

En conclusion, la pédogénèse karstique est un des grands moteurs de l'évolution karstique. Les matériaux résiduels des dissolutions des roches carbonatées forment des sols dont les constituants, par paliers successifs, atteignent le bas de pente et les plaines. Que ce soit en « cascades » sur les fortes pentes du karst ou par transport direct sur les pentes plus faibles du karst couvert, la pédogénèse karstique crée ses propres milieux, infléchit son évolution et contribue à sculpter les formes du relief. A l'échelle du paysage il en serait de même si l'enfoncement des vallées et la tectonique ne venaient continuellement rajeunir le relief.

### III. — ALTÉRATION DES ROCHES CARBONATÉES

Les roches carbonatées présentent un certain nombre de caractéristiques dont la principale est leur constitution en 2 phases : une carbonatée facilement soluble dans les solutions du sol, et l'autre plus ou moins silicatée, difficilement soluble dans les solutions du sol. Ces roches ont un certain degré de pureté par rapport aux carbonates, une certaine granulométrie, une porosité, un degré de consolidation, etc., mais une des caractéristiques qui, du point de vue pédologique, nous a paru fondamentale est leur résistance aux altérations qui se traduit par une certaine dureté des roches. D'où le tableau suivant où trois types de roches carbonatées sont distingués avec leur principales caractéristiques.

Caractéristiques	Roches dures	Roches moyennement dures	Roches tendres
Cassure	Au marteau	Faible pression d'un outil	Facilement à la main
Insoluble %	2,2 2,68	7,7 1,94	10 à 70 Inférieure à 2
Absorption d'eau (en % du poids)	1	16,5	20 à 50
Altération	très lente	Moyenne à rapide	Effritement très rapide

#### A. - RÉSIDUS DE DÉCARBONATATION.

Deux méthodes ont été utilisées pour obtenir ou apprécier ces constituants insolubles :

— une attaque totale par décarbonatation (attaque HCl) et une fusion alcaline du résidu nous permettent d'apprécier les teneurs globales insolubles et leurs différents constituants;

— une attaque ménagée à l'acide acétique, tamponnée à pH 4,2 avec de l'acétate d'ammonium pour éviter de trop grosses pertes en fer et obtenir un produit qui servira aux études ultérieures.

Nous constatons qu'il existe une *grande hétérogénéité* dans la teneur des roches en insolubles d'un faciès à l'autre et également dans un même faciès. Or, dans la nature, ces sédiments se présentent en une succession de couches de composition variée, si bien qu'un grand nombre de couches sont intéressées dans la formation d'un sol. Nous concevons alors :

- que la roche prélevée à la base d'un profil de sol peut être ou non en rapport avec le sol observé au-dessus-d'elle;
- qu'un véritable échantillonnage, en la matière, devrait intéresser une série de couches successives. Les teneurs moyennes en insoluble des roches de ces différentes couches ne sont pas si faibles qu'on le croit habituellement et sont généralement compatibles avec les quantités de sols formés.

Nous constatons également que tous ces *résidus insolubles sont de couleur brune*, brun foncé ou noirâtre, ils sont exceptionnellement rouges (quand les sédiments sont d'origine continentale, de sédimentation côtière ou s'ils ont été soumis à des actions de métamorphisme de contact). La rubéfaction des sols n'est donc pas héritée, c'est un processus pédogénétique.

*Nature des résidus* : Une grande partie des constituants insolubles est formée par un plasma très fin et quelques éléments quartzeux, des débris organiques apparaissant sous forme de phytolithes. Qualitativement ces résidus sont composés comme les sols : minéraux argileux, produits amorphes, sesquioxydes de fer, d'alumine, etc.

## B. - ALTÉRATION PELLICULAIRE DES ROCHES DURES CARBONATÉES.

Nous avons distingué trois types d'altération :

- une altération à l'air libre (biologique et météorique);
- une altération souterraine dans les fissures profondes et les grottes;
- une altération à l'intérieur du sol, appelée « altération pelliculaire » en ce qui concerne les roches dures carbonatées.

### 1. Mise en évidence.

En saison sèche, si on arrache un caillou calcaire situé dans un sol rouge, une mince pellicule calcaire, détachée du caillou, reste collée à son alvéole. Cette pellicule disparaît avec la saison des pluies.

Différentes zones apparaissent (fig. 5) :

1. Sol rouge lixivié. — 2. Zone enrichie en  $\text{CaCO}_3$ . — 3. Bordure du plasma formée de deux éléments (cutanes de pression et dendrites de plasma entre les grains de calcite). — 4. Pellicule d'altération collée au plasma. — 5. Espace de retrait. — 6. Cortex d'altération très calcaire, se grattant à l'ongle. — 7. Roche saine calcaire. La pellicule peut varier suivant les précipitations, la texture du sol, la teneur en matière organique, la nature du milieu (n'existe pas dans les sols hydromorphes), la roche mère — de 1/100 à 1/10 de mm.

### 2. Cycles de l'altération pelliculaire.

L'altération pelliculaire est liée à la succession des saisons et même des périodes sèches et humides. Quatre phases successives peuvent être distinguées :

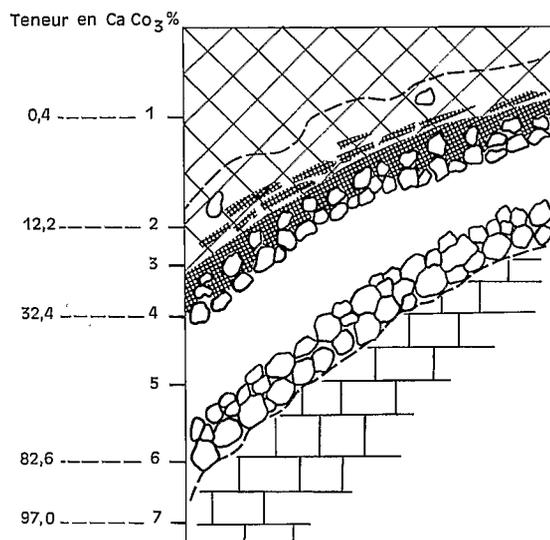


FIG. 5. — Pellicule d'altération.

a) LA PRÉPARATION DU CORTEX D'ALTÉRATION.

Les roches dures ayant séjourné plusieurs années dans le sol présentent en surface une mince couche de quelques dixièmes de millimètres, de couleur plus claire, facile à gratter à l'ongle et ayant perdu jusqu'à 50 % de ses carbonates. Expérimentalement, nous avons pu reproduire ce cortex d'altération. Le cortex se produit lors du contact roche-plasma, celui-ci est saturé d'eau et colle à la surface 5 (fig. 6a). Les solutions du sol pénètrent dans les clivages et dissolvent lentement les cristaux qu'elles déchaussent en formant une pellicule poreuse. Puis le plasma humide pénètre à son tour dans les fissures sous l'effet du gonflement (fig. 6b).

b) ARRACHEMENT DE LA PELLICULE.

Quand la période sèche survient les argiles se rétractent, arrachant la partie supérieure du cortex qui forme la pellicule d'altération (fig. 6c).

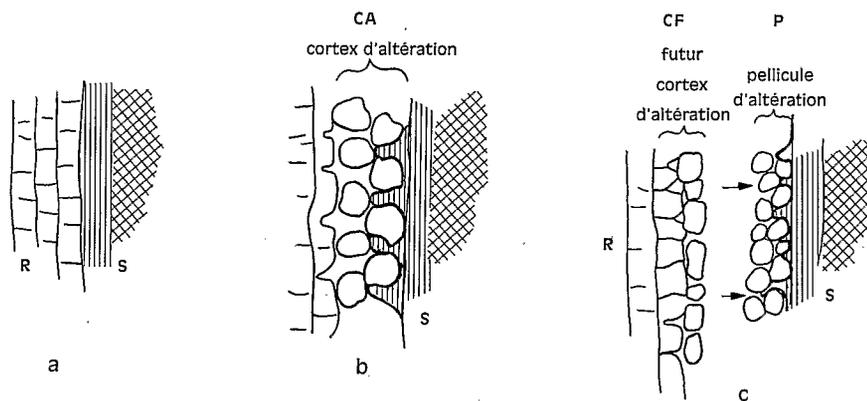


FIG. 6. — Formation de la pellicule d'altération.

c) DISSOLUTION DES CARBONATES DE LA PELLICULE.

*Influence des alternances saisonnières.*

Les dissolutions commencent en décembre après les premières fortes pluies. Elles sont complètes en février, alors que sur le terrain on ne voit plus les pellicules, les extraits aqueux (au 1/5) présentent à cette époque le minimum de calcium en solution.

*Le rôle du sol dans les dissolutions.*

Une partie de la pellicule peut être dissoute directement par les eaux d'infiltration, mais une autre partie emprisonnée par le plasma est dissoute par les solutions du sol. Ainsi le sol, qui a tendance à épuiser ses réserves calciques par lixiviation, les reprend en dissolvant les pellicules. Il joue un rôle de volant entre la roche calcaire et les eaux d'infiltration. Cet équilibre qui s'établit dans l'état de saturation du plasma, grâce aux minéraux argileux, explique que des sols développés dans des poches karstiques ne sont jamais désaturés.

*Mise en place des résidus insolubles.*

Le plasma enveloppe les grains de calcite, les dissout et adsorbe directement les éléments insolubles libérés.

### 3. Expérimentation.

Des morceaux de calcaire ont été mélangés à un sol et placés dans des tubes de verre. Des percolations d'eau distillée étaient effectuées pendant 15 jours et on laissait se dessécher les tubes pendant des périodes plus ou moins longues. L'expérience a duré 2 ans. Les exportations en calcium étaient les plus fortes dans les premiers percolats suivant la période sèche. Il était alors intéressant de vérifier l'influence de cette période sèche en faisant varier sa durée : il existe une relation entre les quantités de calcium exportées après la période sèche et la longueur de cette période.

### C. - ALTÉRATION PROGRESSIVE ET PROFONDE.

Les roches dures carbonatées subissent presque exclusivement l'altération pelliculaire; il existe cependant des roches dures très friables, probablement parce qu'elles ont été soumises à un métamorphisme de contact, qui s'altèrent un peu différemment : le plasma du sol (95 % d'éléments inférieurs à  $2\mu$ ) lors de son humidification gonfle et est littéralement injecté dans les fissures de la roche déjà friable (fig. 7). Les fragments de carbonates ainsi emprisonnés sont lentement dissous par les solutions du sol.

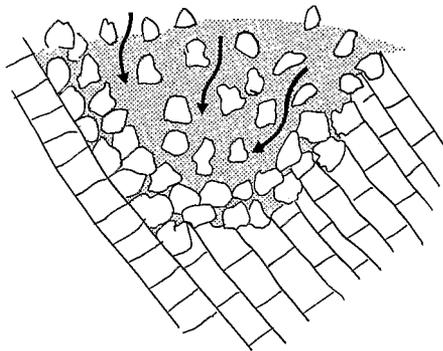


FIG. 7. — Pénétration du plasma dans une roche dure friable.

Sur roches plus tendres et plus poreuses l'altération est de type progressif, comme nous avons l'habitude de l'observer sur roches cristallines. Les mécanismes ne semblent cependant pas les mêmes si l'on s'en réfère à des observations de terrain et de lames minces faites sur molasses.

*Mécanisme hypothétique de l'altération d'une roche poreuse* (fig. 8). L'eau pénètre dans la molasse par des canalicules principaux (C1), puis très profondément par de fins canalicules secondaires (C2). Lentement des résidus insolubles (i) prisonniers des grains de calcite, se trouvent déchaussés et relativement libres (fig. 8a). Au début de la saison sèche, les eaux d'imbibition se retirent aspirées vers l'extérieur. Elles entraînent alors avec elles des particules insolubles (i) et des éléments solubles. Tant que l'eau circule, elle peut véhiculer facilement les éléments solubles, très faiblement les particules insolubles sur de petites distances et sous l'effet de l'aspiration, mais arrivées dans une canalicule plus large (C1) les forces de capillarité ne jouent plus, et les eaux s'évaporent laissant sur place une frange de calcite secondaire et des amas d'insoluble (fig. 8b). Ce processus se répétant une multitude de fois, comme une éponge qui s'imbibe et se vide, aboutit à une purification de plus en plus grande de la frange insoluble. Et l'on constate que progressivement la partie insoluble de brune devient brun rouge, puis rouge, tout en restant encore relativement riche en carbonates qui sont, à ce niveau, des carbonates secondaires. Continuellement approvisionné en calcite, le sol reste calcaire, mais localement la partie insoluble est suffisamment purifiée pour subir la rubéfaction.

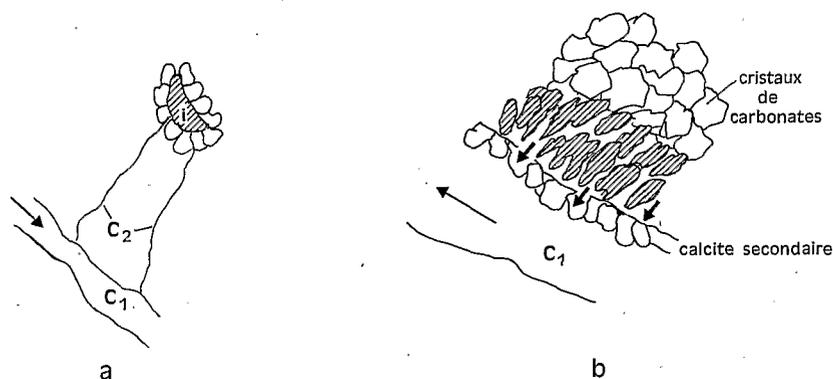
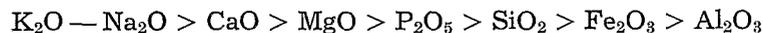


Fig. 8. — Mécanisme hypothétique de l'altération d'une molasse.

#### D. - ASPECTS GÉOCHIMIQUES DES ALTÉRATIONS.

Des analyses d'éléments totaux de roches, de produits d'altération et d'eaux ont permis d'établir un ordre relatif de départ des différents ions :



Le fer et l'alumine ne sont pratiquement pas exportés à l'état dissous, à ces pH de sol. De petites quantités de fer ferreux peuvent cependant migrer au moment de la dissolution des carbonates, enfin il peut se produire des complexes ou des chélates avec certains types de matières organiques et les déplacements sont alors possibles, mais c'est extrêmement rare en régions méditerranéennes. La silice migre peu, mais toujours en petites quantités, de l'ordre de 2 à 10 mg/l. Par contre, le magnésium et surtout le calcium sont très abondants dans les eaux du sol et de ruissellement.

## E. - CONCLUSIONS.

De l'étude de l'altération des roches carbonatées nous retiendrons :

- le rôle fondamental de l'altération pelliculaire dans la formation des sols rouges;
- le rôle des alternances saisonnières pour arracher la pellicule et dissoudre les carbonates;
- que les résultats des altérations varient en fonction de la roche mère. Plus une roche carbonatée sera résistante à l'altération, plus le sol sera pauvre en calcaire et plus il sera évolué. Réciproquement plus une roche sera vulnérable à l'altération, plus le sol sera calcaire et son degré d'évolution faible;
- le rôle fondamental des résidus insolubles : qualitativement les roches carbonatées contiennent tous les constituants du sol, quantitativement les résidus insolubles peuvent avoir formé les sols actuellement observés; exemple : une épaisseur de 30 cm de sol continu est formée par 5 m de roches carbonatées dures à 2,2 % d'insoluble, par 1,5 m de roches moyennement dures à 7,7 % d'insoluble ( $d$  du sol = 1,3;  $d$  de la roche = 2,6).

Cette étude permet de considérer les sols des régions méditerranéennes humides et subhumides comme des sols actuels.

Pour former ces 30 centimètres de sol, 5 000 à 7 000 ans seraient nécessaires sur roches moyennement dures, contre 50 à 70 000 ans sur roches dures.

*Jeunes ou rajeunis, les sols du Liban, formés sur le karst, apparaissent comme des sols actuellement vivants.*

## BIBLIOGRAPHIE

C.P.C.S. — *Classification des sols*. Labo. de Géol.-Pédologie, Grignon, 1967, ronéo, 87 p.

LAMOUREUX M. — Etude de sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersiallitique au Liban. *Mémoires O.R.S.T.O.M.*, 1972, n° 56, 266 p.

VAUMAS (de) E. — *Le Liban (Montagne libanaise, Bekaa, Anti-Liban, Hermon, Haute Galilée)*. — *Etude de géographie physique*. Firmin Didot édit., Paris, 1954, 367 p.